ANDRA.398.B

DOCUMENT TECHNIQUE

DOSSIER D'OPTIONS DE SÛRETÉ
PARTIE EXPLOITATION
(DOS-EXPL)

Identification
CG-TE-D-NTE-AMOA-SR1-0000-15-0060/A

08/04/2016

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

AUTHENTIFICATION GED
{8779CDC2-F497-4495-B04D-130687BC1B35}

Sommaire

Table des illustrations 9

VOLUME I - Contexte - Objet - Stratégie de sûreté 17

1. Introduction 19

1.1 Le besoin 20

1.2 Le projet Cigéo - un processus par étapes 21

1.2.1 Des itérations de sûreté dès le début du projet 21

1.2.2 Repères chronologiques 24

1.3 Le périmètre et l'objet du présent document 26

1.3.1 Périmètre du projet 26

1.3.2 Objet 27

2. Présentation générale de Cigéo 29

2.1 Les déchets destinés à Cigéo 30

2.1.1 Les déchets de haute activité (HA) 30

2.1.2 Les déchets de moyenne activité et à vie longue (MA-VL) 31

2.2 Le centre de stockage Cigéo 32

2.2.1 Les installations de surface 32

2.2.2 Les liaisons surface-fond 34

2.2.3 L'installation souterraine 35

2.3 L'implantation de Cigéo 36

2.4 Le phasage de Cigéo 38

3. Stratégie de sûreté 41

3.1 Cadre réglementaire et référentiels 42

3.1.1 Réglementation de référence 42

3.1.2 Projets de décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire applicables aux installations nucléaires de base 42

3.1.3 Guides et règles fondamentales de sûreté 42

3.1.4 Référentiels professionnels 43

3.1.5 Référentiels Andra 43

3.1.6 Standards et pratiques internationaux (AIEA, CIPR, AEN…) 44

3.2 Principes et démarche de sûreté 45

3.2.1 Principes 45

3.2.2 Application du principe de défense en profondeur à la sûreté en exploitation 47

3.2.3 Étude des situations de fonctionnement 48

3.2.4 Établissement des éléments et activités importants pour la protection (EIP/AIP) 54

3.2.5 Méthodes et outils pour la démonstration de sûreté 55

3.3 Fonctions de sûreté 56

3.4 Objectifs de radioprotection 58

3.5 Management de la sûreté 59

3.5.1 L'organisation du management de sûreté dans le système de management intégré (SMI) 59

3.5.2 La maîtrise des exigences 60

3.5.3 Un processus de revues internes et externes 60

3.5.4 Intégration des facteurs humains et organisationnels (FSOH) 61

VOLUME II Présentation des colis, de l'installation et de son environnement 63

1. Les colis de déchets MA-VL et HA 65

1.1 La provenance des déchets et la nature des familles de déchets 66

1.1.1 Hypothèses retenues pour l'inventaire des déchets 67
1.1.2 Répartition des familles de colis de déchets MA-VL et HA 67
1.1.3 Données d'entrée du projet relatives aux familles de colis 68
1.1.4 Modalités prévisionnelles de livraison 68

1.2 Les familles de colis de déchets MA-VL 69

1.2.1 Familles de colis de déchets de structure issus du retraitement des combustibles usés 69
1.2.2 Familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des réacteurs nucléaires de production d'électricité 70
1.2.3 Familles de colis de déchets d'exploitation (hors déchets bitumés) et de démantèlement des usines du cycle du combustible 70
1.2.4 Familles de colis de déchets au fonctionnement (hors déchets bitumés) et de démantèlement des installations de recherche du CEA 72
1.2.5 Familles de colis de déchets bitumés 74
1.2.6 Familles de colis de déchets de fonctionnement, de maintenance et de démantèlement des nouvelles installations 74
1.2.7 Récapitulatif des familles de colis de déchets MA-VL 74

1.3 Les familles de colis de déchets HA 75

1.3.1 Familles de colis de déchets vitrifiés 75
1.3.2 Autres familles de colis de déchets HA (sources scellées usagées, déchets technologiques…) 76
1.3.3 Récapitulatif des familles de colis de déchets HA 76

1.4 Les colis de stockage MA-VL 77

1.4.1 Modèles de colis de stockage MA-VL (colis primaire (s) dans un conteneur de stockage) 78
1.4.2 Fonctions du colis de stockage MA-VL 80
1.4.3 Options de conception du conteneur de stockage MA-VL 82
1.4.4 Fabrication des conteneurs de stockage MA-VL 87

1.5 Les colis de stockage HA 89

1.5.1 Modèles de colis de stockage HA 89
1.5.2 Fonctions du colis de stockage HA 90
1.5.3 Options de conception du conteneur de stockage HA 91
1.5.4 Fabrication des colis de stockage HA 95

1.6 Les caractéristiques des colis retenues pour la conception et les études de sûreté - Domaine de fonctionnement 97

1.6.1 La démarche 98
1.6.2 Les données d'entrées : la connaissance des colis 99
1.6.3 Les caractéristiques dimensionnantes 100

2. Le site d'implantation 115

2.1 Présentation générale 116

2.1.1 Des travaux scientifiques depuis plusieurs années réalisés pour caractériser le site 116

2.2 Géographie et topographie 119

2.3 Géologie et sismologie 121

2.3.1 Contexte géologique et tectonique 121
2.3.2 Les formations à l'affleurement 123

2.3.3 Les formations géologiques traversées par les ouvrages de liaisons surface-fond 124
2.3.4 La formation hôte de Cigéo : Le Callovo-Oxfordien 126
2.3.5 Activité sismique 130
2.4 Hydrologie et hydrogéologie 133
2.4.1 Le réseau hydrologique de surface 133
2.4.2 Structure et fonctionnement des unités hydrogéologiques sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien 134
2.5 Météorologie et climat 137
2.5.2 Précipitations (pluie et neige) 139
2.5.3 Autres phénomènes 141
2.5.4 Glissements de terrains et éboulements 141
2.6 Ressources naturelles et denrées alimentaires 142
2.6.1 Les ressources minérales et en hydrocarbures 142
2.6.2 Les ressources géothermiques 143
2.6.3 Les ressources en eaux 143
2.7 Autres activités aux alentours du site 143
2.7.1 Activités industrielles 143
2.7.2 Voies de communication terrestres 144
2.7.3 Voies de communication aériennes 145

3. Les installations et équipements 147

3.1 Installations nucléaires de surface de la zone descenderie 148
3.2 Fonctions et présentation des installations nucléaires de surface 149
3.3 La description générale du procédé en surface 152
3.3.1 Organisation par filières 152
3.3.2 Filière F1 : Déchargement des convois (emballages de transport et colis primaires) 153
3.3.3 Filière F2 : Introduction des colis dans des conteneurs de stockage 156
3.3.4 Filière F3 : Conditionnement/Déconditionnement des colis de stockage 163
3.3.5 Filière F4: Mise en hotte des colis de stockage 166
3.3.6 Filière F5 : Contrôles par prélèvement 169
3.3.7 Filière F6 : Gestion des déchets nucléaires et conventionnels 170
3.3.8 Filière F7 : Support aux process 171
3.3.9 Les familles d'équipements de manutention jusqu'à la mise en hotte 172
3.3.10 La gestion et le transfert des hottes jusqu'au transfert incliné 173
3.3.11 La zone de surface EP1 relative à la gestion des hottes 178
3.3.12 Les systèmes auxiliaires de l'installation de surface 185
3.4 L'installation souterraine 191
3.4.1 Principes de conception et choix de l'architecture souterraine 191
3.4.2 Le développement progressif du stockage 192
3.5 La description de l'installation souterraine et des procédés de transfert des colis 193
3.5.1 Les liaisons surface-fond 193
3.5.2 Les liaisons surface-fond en zone « Descenderies » 194
3.5.3 Le transfert incliné dans la descenderie 195
3.5.4 Les liaisons surface-fond en « zone puits » 209
3.5.5 Les fonctionnalités et équipements en puits (à fin APS) 210
3.5.6 Les zones de soutien logistique dans l'installation souterraine 211
3.5.7 Le transfert de la zone de soutien logistique exploitation vers les alvéoles HA et MA-VL 214
3.5.8 La zone de stockage MA-VL 217

3.5.9 Transfert et stockage dans les alvéoles MA-VL 228
3.5.10 Les zones de stockage HA 237
3.5.11 Transfert et stockage dans les alvéoles HA 242
3.5.12 La phase industrielle pilote, les ouvrages d'essais, les démonstrateurs et les alvéoles témoins, la reconnaissance et la réception des ouvrages 246
3.5.13 Systèmes auxiliaires de l'installation souterraine 248
3.6 Les systèmes auxiliaires au niveau de l'installation Cigéo 252
3.6.1 Système d'Information Industriel 252
3.6.2 Systèmes Courants Faibles Industriels 258
3.6.3 Système de Contrôle-commande du process nucléaire 260
3.7 Gestion des effluents liquides et des déchets du centre 266
3.7.1 Gestion des effluents 266
3.7.2 Gestion des déchets 266

4. Exploitation de Cigéo 267

4.1 Principes généraux d'exploitation du centre 268
4.2 La fonction exploitation 268
4.3 La fonction interface client 269
4.3.1 La gestion des colis 269
4.3.2 Le processus d'acceptabilité 270
4.4 La fonction ingénierie/travaux 271
4.5 La fonction Qualité, Santé, Sécurité, Sûreté et Environnement (Q3SE) 271
4.6 La fonction support 273

VOLUME III Options de sûreté liées aux opérations de transfert et de mise en place des colis 275

1. Synthèse des opérations de transfert et de mise en place des colis 277

1.1 Synoptique général des opérations faisant intervenir les colis 278
1.2 Opérations en surface 278
1.3 Opérations de transfert des colis de déchets depuis la surface jusqu'à leur mise en place dans les alvéoles de stockage 282

2. Inventaire des risques et disposition de maîtrise de risques 285

2.1 Risques internes nucléaires 286
2.1.1 Exposition externe et interne 286
2.1.2 Dispersion de substances radioactives 294
2.1.3 Criticité 304
2.1.4 Thermique 308
2.1.5 Radiolyse des déchets 311
2.2 Agressions internes 316
2.2.1 Risques liés aux opérations de manutention 316
2.2.2 Risque incendie 333
2.2.3 Risque d'explosion 357
2.2.4 Risques liés à la perte de l'alimentation électrique 358
2.2.5 Risques liés à la perte des fluides 361
2.2.6 Risques liés à la perte de la ventilation 362
2.2.7 Risques liés à la perte de la surveillance 364
2.2.8 Risques liés à la perte du contrôle commande 365

2.2.9 Risques liés à une inondation interne 366
2.2.10 Risques liés à des émissions de substances dangereuses 367
2.2.11 Risques liés à des émissions de projectiles et aux équipements sous pression 368
2.2.12 Risques liés au vieillissement 369
2.3 Agressions externes 374
2.3.1 Risques liés aux chutes d'avions 374
2.3.2 Risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication 377
2.3.3 Risques liés au séisme 379
2.3.4 Risque d'inondation externe 383
2.3.5 Risques liés aux conditions météorologiques ou climatiques extrêmes 386
2.3.6 Risques liés à la foudre et aux interférences électromagnétiques 389
2.3.7 Risques liés à un incendie externe 390
2.4 Cumuls d'agressions 392
2.5 Risques liés à la coactivité 394
2.5.1 Origine du risque 394
2.5.2 Dispositions de prévention 397
2.5.3 Dispositions de surveillance 405
2.5.4 Dispositions de limitation des conséquences 406
2.6 Risques de malveillance 408
2.7 Risques liés aux alvéoles « pleins » en attente de fermeture 409
2.7.1 Alvéole MA-VL 409
2.7.2 Alvéole HA 411
2.8 Risques liés aux opérations de retrait d'exploitation 411
2.8.1 Retrait d'un colis de stockage remonté en surface 411
2.8.2 Retrait de colis transférés dans un autre alvéole 412
2.9 Prise en compte du retour d'expérience 413
2.9.1 Retour d'expérience relatif aux incendies en milieu souterrain 413
2.9.2 Retour d'expérience concernant le vieillissement 417
2.9.3 Retour d'expérience du Laboratoire souterrain 418
2.9.4 Retour d'expérience des essais technologiques 418
3. Étude des situations de dimensionnement 419
3.1 Etude des situations de dimensionnement 420
3.1.1 Présentation des situations incidentelles 420
3.1.2 Présentation des situations accidentelles 421
3.1.3 Etude des scénarios enveloppes 422
3.2 Étude des situations de dimensionnement du PUI 429
3.2.1 Présentation des situations de dimensionnement du PUI 429
3.2.2 Étude des scénarios 431
3.3 Présentation des situations exclues 436
4. Gestion des situations accidentelles/post-accidentelles 441
4.1 Les situations accidentelles de dimensionnement 442
4.1.1 Rappel des situations 442
4.1.2 Principes retenus 442
4.2 Les situations accidentelles de dimensionnement du PUI 444
4.2.1 Rappel des situations 444
4.2.2 Principes retenus 444
5. Prise en compte des ECS 447

5.1 Principes 448
5.2 Identification des situations redoutées 449
5.2.1 Identification des substances pouvant être mobilisées 449
5.2.2 Situations redoutées et risques d'effet falaise 449
5.3 Dispositions retenues 451

6. Éléments importants pour la protection (exigences et activité associées) 453

VOLUME IV Options de sûreté liées aux opérations de fermeture 461

1. Stratégie de fermeture 463

1.1 Principes 464
1.2 Les opérations de démantèlement 465
1.3 Les opérations de fermeture de l'installation souterraine 466
1.4 La fermeture définitive 467

2. Opérations de fermeture 469

2.1 Les ouvrages de fermetures 470
2.2 Fermeture de l'alvéole MA-VL 472
2.3 Fermeture de l'alvéole HA 473
2.4 Fermeture des quartiers et des galeries de liaison 475
2.5 Fermeture des puits et descenderies 477
2.6 REX des essais de mise en place de scellements 478

3. Inventaire des risques et dispositions de maîtrise des risques lors des opérations de fermeture 480

3.1 Risques nucléaires d'origine interne 481
3.1.1 Au niveau de la zone MA-VL 481
3.1.2 Au niveau de la zone HA0 et de la zone HA1/HA2 483
3.2 Risques liés aux agressions internes et externes 484
3.2.1 Risque de choc/collision 484
3.2.2 Risque incendie 484
3.2.3 Risque lié à la perte de la ventilation 485
3.2.4 Risques liés à la co-activité 485
3.2.5 Séisme 486

Annexes 488

Références bibliographiques 513

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1.2-1	Illustration du processus itératif	22
Figure 1.2-2	Le développement du projet Cigéo un processus itératif en matières de sûreté par étapes depuis 1991 repères chronologiques	23
Figure 2.1-1	Illustration d'un colis de déchets vitrifiés HA	31
Figure 2.2-1	Schéma illustratif de l'installation Cigéo comprenant les installations de surface et souterraine	32
Figure 2.2-2	Schéma des périmètres géographiques des emplacements des bâtiments de la zone descenderie	33
Figure 2.2-3	Schéma des périmètres géographiques de la zone puits de Cigéo	34
Figure 2.2-4	Illustration des différentes zones et liaisons surface-fond	35
Figure 2.3-1	Localisation de la ZIRA et des zones potentielles d'implantation des installations de surface	38
Figure 2.4-1	Schéma des principales phases temporelles de Cigéo	39
Figure 2.4-2	Schéma de l'enchaînement des travaux de construction et de réalisations des tranches successives	40
Figure 3.2-1	Schéma illustrant l'approche coordonnée entre la sûreté en exploitation et après fermeture	46
Figure 3.2-2	Logigramme présentant la démarche d'identification et d'étude des situations de fonctionnement	50
Figure 1.4-1	Modèles de colis de stockage MA-VL à ce stade	79
Figure 1.4-2	Conteneur de stockage MA-VL de type CS4 à couvercle vissé	82
Figure 1.4-3	Illustration des pieds des conteneurs lors du coulage et sur un prototype échelle 1	83
Figure 1.4-4	Illustration d'essai de chute d'un conteneur CS4	84
Figure 1.4-5	Illustration d'un conteneur CS4 avant chute et après chute de 2.3 m sur coin (résultats de simulations numériques et résultats sur prototypes échelle 1)	85
Figure 1.4-6	Conteneur de type CS-4 instrumenté, fermé et clavé, pour essai feu ISO 834 1h, Illustration de l'état d'un prototype échelle 1 avant et après essai.	86
Figure 1.4-7	Caractérisation de l'étalement de la formule de référence sans fibre de polypropylène	87
Figure 1.4-8	Illustration des étapes de fabrication de prototypes CS3, CS2 et CS4	88
Figure 1.5-1	Modèles de colis de stockage HA à ce stade	89
Figure 1.5-2	Illustration d'un colis de stockage de déchets vitrifiés de type AVM biplace	92
Figure 1.5-3	Illustration pour le colis de stockage R7-T7 du détail de la gorge de préhension du colis de stockage sur la figure en haut à droite	93
Figure 1.5-4	Exemple de marquage par gravure sur un patin en céramique	93
Figure 1.5-5	Essais de chute et d'étanchéité à l'hélium	94
Figure 1.5-6	Illustration d'essais réalisés sur conteneurs HA	95
Figure 1.6-1	Processus d'utilisation des connaissances des colis primaires pour Cigéo	98
Figure 1.6-2	Critère de sûreté associé à un colis de boues bitumées	108
Figure 1.6-3	Essai feu réalisé sur un colis CS4 intégrant 4 fûts d'enrobés bitumineux dans un laboratoire agréé en résistance au feu (Effectifs France)	109
Figure 2.1-1	Forage EST442, objectif Dogger. Forage au marteau fond de trou en circulation inversée (photo : Eric Poirot, Andra)	118
Figure 2.1-2	Campagne de sismique réflexion autour du Laboratoire de l'Andra (photo : Véronique Paul, Graphix)	118

Figure 2.1-3 Intégration des données dans les modèles géologiques (photo : Patrice Maurein) 119
Figure 2.2-1 Carte topographique du secteur 120
Figure 2.3-1 Bloc diagramme géologique 3D du site de Meuse/Haute Marne et description de la succession des formations géologiques 122
Figure 2.3-2 Carte de l'épaisseur des calcaires du Barrois et des formations plus récentes (sur la ZIRA, cette épaisseur correspond à l'épaisseur des calcaires du Barrois) 124
Figure 2.3-3 Profil géologique le long des descenderies et estimation des linéaires par formation traversée (réalisation sous le modeleur 3D Godard, échelle verticale x4) 125
Figure 2.3-4 Epaisseur des argilites du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (distance en mètres entre la base et le toit de la formation) 127
Figure 2.3-5 Altitude du sommet du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (complété par rapport au niveau de la mer, mNGF) 127
Figure 2.3-6 Profondeur du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA 128
Figure 2.3-7 Principales unités géologiques : unité argileuse (UA), unité de transition (UT) et unité silto-carbonatée (USC). Limites géologiques du Callovo-Oxfordien : LS0 (base du COX) et SNC (sommet du COX) 129
Figure 2.3-8 Zonage sismique en France (gauche) et cartographie des séismes enregistrés entre 1962 et 2009 (droite) 131
Figure 2.3-9 Spectre retenu pour le dimensionnement des installations de Cigéo pendant la phase exploitation - composantes horizontale et verticale des mouvements sismiques. 132
Figure 2.4-1 Représentation des niveaux aquifères et leurs écoulements dans les différentes formations géologiques du secteur de Meuse/Haute-Marne 134
Figure 2.4-2 Distributions de la perméabilité en m/s du Kimméridgien marneux (à gauche) et des flux spécifiques en m^3/m^2.an échangés avec les calcaires du Barrois (à droite) 135
Figure 2.4-3 Structure verticale du système aquifère des calcaires de l'Oxfordien. Les couleurs correspondent aux différents niveaux poreux (violet, jaune, marron). La présence des marnes est représentée en orange et rouge 136
Figure 2.4-4 Piézométries simulées des deux nappes des calcaires de l'Oxfordien (nappe de l'Oxfordien supérieur à gauche) Piézométries latérales des calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur 137
Figure 2.5-1 Cycles annuels moyen des températures maximales et minimales établis sur la période 1980-2014 pour les stations d'Erneville aux Bois, Cirfontaines, Epinal et Saint Dizier 138
Figure 2.5-2 Rose des vents de Saint-Dizier établie sur la période 1999-2014 141
Figure 2.7-1 Carte aéronautique de l'environnement de Cigéo 146
Figure 3.1-1 Périmètre géométrique « zone descenderie » 148
Figure 3.1-2 Installations nucléaires sur la « zone descenderie » 149
Figure 3.2-1 Décomposition des bâtiments d'EP1 151
Figure 3.3-1 Schéma récapitulatif des fonctions principales nécessaires à la mise en stockage des colis 152
Figure 3.3-2 Répartition des filières dans EP1 153
Figure 3.3-3 Préparation et déchargement des ET-HV au niveau +0,00m et -4,50 m (Illustration fin APS) 154
Figure 3.3-4 Schéma de principe de réception et de basculement des ET à la verticale 155
Figure 3.3-5 Préparation et déchargement des ET-H au niveau +0,00m (illustration fin APS) 156
Figure 3.3-6 Cellule de déchargement, contrôle et chargement des CP en CS, issus des ET-V (Illustration fin APS) 157
Figure 3.3-7 Schéma de principe de déchargement d'un emballage ET-V (fin APS) 158
Figure 3.3-8 Cellule de déchargement, contrôle et chargement des CP en CS (Illustration fin APS) 160

Figure 3.3-9 Schéma de principe de déchargement d'un ET-H 161
Figure 3.3-10 Synoptique d'approvisionnement des conteneurs de stockage (CtS) (illustrations fin APS) 162
Figure 3.3-11 Localisation du conditionnement MA-VL (illustration fin APS) 163
Figure 3.3-12 Localisation du conditionnement HA (illustration fin APS) 164
Figure 3.3-13 Schéma de principe de conditionnement HA (illustration fin APS) 165
Figure 3.3-14 Provenance des CS MA-VL à déconditionner (Illustration fin APS) 166
Figure 3.3-15 Cellule de déconditionnement (illustration fin APS) 166
Figure 3.3-16 Cellule de contrôle C5 et chargement de CP en CS (illustration fin APS) figure à mettre en annexe et revoir la lisibilité 166
Figure 3.3-17 Zone tampon des CS HA et MA-VL et cellules de mise en hottes (illustrations fin APS) 167
Figure 3.3-18 Schéma de principe de mise en hotte des colis de stockage HA (illustrations fin APS) 168
Figure 3.3-19 Schéma de principe de mise en hotte colis de stockage MA-VL Illustration fin APS) 169
Figure 3.3-20 Vue éclatée des constituants de la Hotte MA-VL 173
Figure 3.3-21 Différentes hottes MA-VL 174
Figure 3.3-22 Schéma de principe d'une hotte HA 175
Figure 3.3-23 Schéma du cycle des transferts en surface 176
Figure 3.3-24 Principe de gestion de la tête de descenderie 177
Figure 3.3-25 Poste de maintenance MA-VL – Local de maintenance 178
Figure 3.3-26 Machine à Levage Limité (MLL) 179
Figure 3.3-27 Machine à Levage Limité (MLL) –dispositif anti-soulèvement 180
Figure 3.3-28 Façade d'accostage MA-VL en surface 181
Figure 3.3-29 Façade d'accostage HA en surface 182
Figure 3.3-30 Navette de chargement du transfert incliné 183
Figure 3.3-31 Tables tournantes en surface 184
Figure 3.3-32 Tables tournantes en surface – navettes et hottes 185
Figure 3.3-33 Schéma des principes de ventilation 186
Figure 3.3-34 Schéma de principe de ventilation des batiments nucléaires de surface 187
Figure 3.3-35 Principes de ventilation des bâtiments de surface légende des symboles pour les figures précédentes 188
Figure 3.4-1 Installation souterraine de Cigéo 192
Figure 3.4-2 1ère tranche (T1) de construction 193
Figure 3.5-1 Descenderies colis et de service (vue au stade d' APS) 195
Figure 3.5-2 Schéma de l'emprise du système de transfert incliné 195
Figure 3.5-3 Principe et cas de fonctionnement de la boucle mouflée 197
Figure 3.5-4 Aménagement gare amont 198
Figure 3.5-5 Aménagement du tunnel (section courante) de la « descenderie colis » 198
Figure 3.5-6 Aménagement gare aval 199
Figure 3.5-7 Vue partielle du profil du véhicule 200
Figure 3.5-8 Localisation de l'AUS sur le véhicule 201
Figure 3.5-9 Implantation des motrices 202
Figure 3.5-10 Anti dérailleur 203
Figure 3.5-11 Frein de pince 203
Figure 3.5-12 Matrice/Support/Process/Information et Communication 205
Figure 3.5-13 Configuration du système de continuité quai/véhicule 208
Figure 3.5-14 Véhicule de maintenance en zone de renvoi 208
Figure 3.5-15 Les puits dans les zones de soutien logistique (vue à fin APS) 210
Figure 3.5-16 Vue en plan de la zone de soutien logistique travaux (illustration fin APS) 212
Figure 3.5-17 Vue en plan de la zone de soutien logistique exploitation (illustration fin APS) 214
Figure 3.5-18 Chariot de transfert de fond 214
Figure 3.5-19 illustration de voie de roulement 216
Figure 3.5-20 Tables tournantes dans l'installation souterraine 217

Figure 3.5-21 Zone MA-VL à terminaison 218
Figure 3.5-22 Vue en plan du quartier MA-VL pour la tranche 1 219
Figure 3.5-23 Galerie de liaison exploitation (section courante réalisée au tunnelier, fin APS) 220
Figure 3.5-24 Galerie de liaison travaux (section courante fin APS) 221
Figure 3.5-25 Galerie de retour d'air exploitation (section courante creusement à la MAP fin APS) 222
Figure 3.5-26 Principe de conception : Alvéole MA-VL 223
Figure 3.5-27 Section type d'Alvéole MA-VL avec soutènement et revêtement, exemple des CS1 (fin APS) 223
Figure 3.5-28 Remplissage d'alvéoles avec des CS1 et CS2 (fin APS) 224
Figure 3.5-29 Remplissage d'alvéoles avec des CS3 et CS4 (fin APS) 224
Figure 3.5-30 Remplissage d'alvéole avec des CS5 (fin APS) 225
Figure 3.5-31 Remplissage d'alvéoles avec des CS6 et CS7 (fin APS) 225
Figure 3.5-32 Chronologie de déploiement des alvéoles MA-VL (fin APS) 226
Figure 3.5-33 Quartier MA-VL - interfaces entre zone travaux et zone exploitation 227
Figure 3.5-34 Illustration d'un schéma possible de déploiement entre activités travaux équipement-exploitation 228
Figure 3.5-35 Alvéole de stockage des colis CS1 à CS5 229
Figure 3.5-36 Navettes d'accostage MA-VL 230
Figure 3.5-37 Translation de la table d'accostage vers la façade 230
Figure 3.5-38 illustration d'une cellule de manutention et de pont stockeur 231
Figure 3.5-39 Table de réception 232
Figure 3.5-40 Pont stockeur 232
Figure 3.5-41 Pont dans l'alvéole – dernier niveau 233
Figure 3.5-42 Chariot stockeur CS6 à CS7 233
Figure 3.5-43 Fermeture de l'alvéole – Bloc béton 234
Figure 3.5-44 Alvéole de stockage des colis CS 6 et CS7 235
Figure 3.5-45 Porte de radioprotection (à gauche pour les CS1 à CS5 et à droite CS6 et CS7) 235
Figure 3.5-46 Schéma du cycle des transferts en fond MA-VL 236
Figure 3.5-47 Equipements de contrôle et de traitement de la contamination 236
Figure 3.5-48 Coupe d'un alvéole HA1/HA2 : ici en fin de chargement (illustration fin APS) 239
Figure 3.5-49 Quartier HA0 (illustration au stade de l'APS) 240
Figure 3.5-50 Principe de déploiement des quartiers HA1/HA2 241
Figure 3.5-51 Vue en plan de la zone HA1/HA2 242
Figure 3.5-52 Alvéoles de stockage HA 243
Figure 3.5-53 Bouchon d'exploitation des alvéoles HA 243
Figure 3.5-54 Hotte / robot de retrait et pousseur 244
Figure 3.5-55 Schéma du cycle des transferts en fond HA0 245
Figure 3.5-56 Schéma du cycle des transferts en fond HA1/HA2 245
Figure 3.5-57 Schéma de fonctionnement de la ventilation (intemporel) 251
Figure 3.6-1 Architecture générale fonctionnelle du SII 252
Figure 3.6-2 Infrastructure des réseaux de communication 253
Figure 3.6-3 Principe général architecture réseau pour un ensemble fonctionnel incluant les connexions aux réseaux secondaires 254
Figure 3.6-4 Représentation schématique de l'organisation en ensembles fonctionnels de Cigéo 255
Figure 3.6-5 Principe de distribution du réseau principal 256
Figure 3.6-6 Architecture globale réseaux et niveaux d'acquisition et de traitement des informations 257
Figure 3.6-7 Schématisation des domaines d'exploitation référence manquante 260
Figure 3.6-8 Les différents systèmes et capteurs du contrôle commande 262
Figure 3.6-9 Pyramide CIM : Principe et logique de contrôle-commande 264

Figure 1.2-1 Installation de surface de zone descenderie de Cigéo - Localisation des différents locaux dans lesquels transitent les colis de déchets 279
Figure 1.2-2 Installation de surface de zone descenderie de Cigéo - Synoptique de la manutention des colis de déchets 280
Figure 1.2-3 Installation de surface de zone descenderie Cigéo - Liste des étapes du synoptique de manutentions des colis de déchets 281
Figure 1.3-1 Descenderie colis et installation souterraine - Synoptique des opérations de transfert des colis jusqu'aux alvéoles de stockage 282
Figure 1.3-2 Descenderie colis et installation souterraine de Cigéo - Liste des opérations de manutention des colis de déchets 283
Figure 2.1-1 Solutions retenues pour la constitution des colis de stockage MA-VL 297
Figure 2.2-1 Aménagement de la gare haute 344
Figure 2.2-2 Gestion d'un incendie potentiel en galerie de liaison MA-VL 348
Figure 2.2-3 Gestion d'un incendie potentiel en galerie de liaison HA 350
Figure 2.2-4 Gestion d'un incendie potentiel en galerie d'accès HA 351
Figure 2.5-1 Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine 398
Figure 2.5-2 Organisation des zones de soutien logistique Exploitation et Travaux 400
Figure 2.5-3 Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine 401
Figure 2.5-4 Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine 401
Figure 2.5-5 Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine 402
Figure 2.5-6 Représentation graphique de l'interface exploitation/travaux – 403
Figure 2.5-7 Représentation graphique de l'interface exploitation/travaux - Configuration monotube (GRA-MA-VL) 403
Figure 3.1-1 Schéma conceptuel des transferts de rejets 423
Figure 1.3-1 Représentation schématique des étapes de fermeture des ouvrages souterrains (dates prévisionnelles à fin d'APS 466
Figure 2.1-1 Schémas de principe des ouvrages de fermeture inclinés, verticaux, horizontaux 470
Figure 2.1-2 Schéma de fermeture de l'alvéole MA-VL – exemple d'illustration présentant les scellements (au stade de fin d'APS) 471
Figure 2.1-3 Schéma de principe d'un alvéole HA0 obturé et de la galerie remblayée dans un quartier d'alvéole HA 471
Figure 2.2-1 Détail des rails laissés en alvéole de stockage (au stade de l'APS) 472
Figure 2.3-1 Illustration d'une double opération de fermeture d'alvéole HA0 474
Figure 2.3-2 Illustration d'un système de fermeture d'un alvéole HA0 475
Figure 2.4-1 Illustration de la localisation des scellements dans l'installation souterraine 476
Figure 2.6-1 Quelques photos des essais réalisés par l'Andra sur les scellements 478
Figure 3.1-1 Schéma de principe du mur de radioprotection mis en place à la fin du chargement 481

Tableaux

Tableau 3.2-1 Niveaux de défense en profondeur 47
Tableau 3.4-1 Objectifs de protection vis-à-vis des risques radiologiques 59
Tableau 1.4-1 Tableau des fonctions du colis de stockage MA-VL et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage 80
Tableau 1.5-1 Tableau des fonctions du colis de stockage HA et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage 90
Tableau 1.6-1 Evaluation des grandeurs caractéristiques relatives au risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants 103

Tableau 1.6-2 Evaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de l'activité du colis en cas de chute excédant sa hauteur de qualification 105
Tableau 1.6-3 Evaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en cas d'incendie 106
Tableau 1.6-4 Grandeurs caractéristiques pour les risques liés aux dégagements de gaz de radiolyse 111
Tableau 1.6-5 Puissance thermique des familles de colis les plus pénalisantes par conteneur de stockage à une date de réception donnée sur Cigéo 112
Tableau 1.6-6 Masse maximale de matières fissiles par type de colis primaire 113
Tableau 2.3-1 Spectre de référence pour le dimensionnement des installations de Cigéo pendant la phase exploitation – Composante Horizontale 132
Tableau 2.3-2 Caractéristiques du spectre de référence en surface SMPP – composante horizontale 133
Tableau 2.5-1 Données climatiques (température moyenne annuelle) des stations Météo France du secteur établies sur la période 1980-2014 138
Tableau 2.5-2 Minimum, moyenne et maximum du cumul annuel des précipitations sur la période 1980-2014 sur les stations Météo France situées à proximité du site 139
Tableau 2.7-1 Environnement aérien autour de Cigéo 145
Tableau 3.3-1 Caractéristiques principales des hottes MA-VL à ce stade 174
Tableau 3.3-2 Caractéristiques des hottes HA 175
Tableau 3.5-1 Entraxes des alvéoles HA moyennement exothermiques d'une longueur environ 80m 238
Tableau 3.5-2 Entraxe des alvéoles HA fortement exothermiques d'une longueur d'environ 100m 238
Tableau 2.1-1 Locaux de l'installation de surface contenant des termes sources radiologiques 286
Tableau 2.1-2 Termes sources radiologiques présents dans les liaisons surface-fond 287
Tableau 2.1-3 Locaux de l'installation souterraine accueillant des termes sources radiologiques 288
Tableau 2.1-4 Zonage radiologique des locaux de l'installation de surface 291
Tableau 2.1-5 Zonage radiologique des liaisons jour-fond 291
Tableau 2.1-6 Zonage radiologique des locaux de l'installation souterraine 292
Tableau 2.1-7 Localisation des substances radioactives dans les installations de Cigéo 295
Tableau 2.1-8 1er système de confinement retenu pour les colis de stockage MA-VL selon la solution de stockage et la phase de vie 298
Tableau 2.1-9 Localisation des zones à risque thermique dans les installations de Cigéo 309
Tableau 2.1-10 Délai d'atteinte d'une concentration de 3 % en H_2 pour les locaux des installations de surface 314
Tableau 2.1-11 Délais d'atteinte de la concentration en H_2 de de 3 % dans une hotte 315
Tableau 2.2-1 Liste des équipements de manutention utilisés pour la réception des emballages de transport (ET) 318
Tableau 2.2-2 Liste des équipements de manutention utilisés pour le déchargement des colis primaires (CP) et leur mise en conteneur de stockage (Cts) 318
Tableau 2.2-3 Liste des équipements de manutention utilisés pour le conditionnement des colis de stockage (CS) 319
Tableau 2.2-4 Tableau des équipements de manutention utilisés pour la zone tampon des colis de stockage et leur mise en hotte 320
Tableau 2.2-5 Liste des équipements de manutention utilisés pour l'acheminement des hottes depuis la surface jusqu'aux galeries d'accès 320
Tableau 2.2-6 Liste des équipements de manutention utilisés pour la mise en alvéole des colis de stockage MA-VL et HA 321
Tableau 2.2-7 Situation incidentelles liées au risque de manutention 329
Tableau 2.2-8 Situation accidentelles liées au risque de manutention 330
Tableau 2.2-9 Situation de dimensionnement du PUI liées au risque de manutention 331
Tableau 2.2-10 Principales situations exclues liées au risque de manutention 332

Tableau 2.2-11	Ordre de grandeur de charge calorifique des principaux équipements du procédé de manutention des hottes MA-VL et HA	337
Tableau 2.2-12	Sectorisation au feu envisagé dans les locaux de l'installation nucléaire de surface	343
Tableau 2.2-13	Sectorisation au feu envisagé dans la ZSL exploitation	345
Tableau 2.2-14	Situations accidentelles de dimensionnement liées au risque d'incendie	353
Tableau 2.2-15	Situations de dimensionnement du PUI liées au risque d'incendie	356
Tableau 2.2-16	Principales situations exclues liées au risque d'incendie	356
Tableau 2.2-17	Localisation des locaux /équipements pouvant présenter un risque d'explosion dans les différentes installations de Cigéo au stade actuel des études	357
Tableau 2.2-18	Localisation au niveau des installations de Cigéo des équipements sous pression ou des équipements pouvant induire un risque d''émission de projectiles au stade actuel des études	368
Tableau 2.3-1	Probabilités de chute d'avion par famille sur les installations de surface de Cigéo	375
Tableau 2.3-2	Probabilité enveloppe de chute par an pour l'hélicoptère pour chacune des cibles	375
Tableau 2.3-3	Distance des effets thermiques du BLEVE	378
Tableau 2.3-4	Distance des effets de surpression du BLEVE	378
Tableau 2.3-5	Distance des effets thermiques de l'UVCE	379
Tableau 2.3-6	Distance des effets de surpression de l'UVCE	379
Tableau 2.3-7	Températures extrêmes retenues pour le dimensionnement de Cigéo	387
Tableau 2.3-8	Distances d'éloignement des bâtiments à l'INB	391
Tableau 2.4-1	Matrice sur les cumuls plausibles des agressions (par effet domino inclus)	393
Tableau 2.5-1	Situation de coactivité spécifique à l'installation souterraine	395
Tableau 2.5-2	Risques spécifiques à l'interface entre ZEXP et ZT	397
Tableau 2.9-1	Enseignement retenus des accidents survenus dans des installations souterraines de stockage de déchet	415
Tableau 3.1-1	Situations incidentelles pour les installations de surface	420
Tableau 3.1-2	Situations incidentelles pour l'installation souterraine	420
Tableau 3.1-3	Situations accidentelles pour les installations nucléaires de surface	421
Tableau 3.1-4	Situations accidentelles pour l'installation souterraine	422
Tableau 3.1-5	Evaluations d'impact des scénarios de dimensionnement	429
Tableau 3.2-1	Situations de dimensionnement du PUI pour les installations nucléaires de surface	430
Tableau 3.2-2	Situations de dimensionnement du PUI pour l'installation souterraine	430
Tableau 3.2-3	Calculs d'impact des scénarios de dimensionnement du PUI	435
Tableau 3.3-1	Principales situations exclues	436
Tableau 5.3-1	Liste des EIP et exigences définies associées, établie au stade de l'APS	454
Tableau 5.3-2	Liste des EIP et exigences définies associées complémentaires retenus au titre de l'analyse de risques, établie au stade de l'APS	459

VOLUME I - CONTEXTE - OBJET - STRATEGIE DE SURETE

1

Introduction

1.1 Le besoin 20
1.2 Le projet Cigéo - un processus par étapes 21
1.3 Le périmètre et l'objet du présent document 26

1.1 Le besoin

L'objectif du centre industriel de stockage de déchets HA-MAVL Cigéo est de permettre la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs, afin de prévenir ou de limiter les charges qui seront supportés par les générations futures, conformément à l'article L542-1 du Code de l'environnement.

Les déchets radioactifs à prendre en compte pour la conception de Cigéo sont des déchets ultimes, c'est-à-dire des déchets « qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux » (Article L542-1-1 du Code de l'environnement).

La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs dispose que « après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde ».

Une partie des déchets radioactifs à prendre en compte pour la conception de Cigéo est aujourd'hui produite, le reste étant à produire dans le cadre de la poursuite des activités françaises de production électronucléaire, de recherche et de défense, y compris le démantèlement des installations.

L'article L542-1-1 du Code de l'environnement précise que « le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1. Contrairement à une installation d'entreposage, cela implique de prévoir la possibilité de fermer[1] Cigéo ».

La protection de l'homme et de l'environnement sur Cigéo repose dans un premier temps sur l'accomplissement de fonctions de sûreté en exploitation qui sont comparables à celles de toute autre installation nucléaire, les référentiels, les exigences de sûreté et les options étant adaptées à la spécificité souterraine de Cigéo.

Après sa fermeture définitive, Cigéo consiste à confiner ces déchets dans une formation géologique profonde pour s'opposer à la dissémination des radionucléides qu'ils contiennent. Ce confinement s'effectue sur de grandes échelles de temps (jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années), de manière passive, c'est-à-dire sans nécessiter de maintenance ou de surveillance, comme le rappelle le guide de sûreté relatif au stockage définitif de déchets radioactifs en formation géologique profonde[2], publié par l'ASN en 2008. Cela repose sur le choix du milieu géologique, plus particulièrement la roche hôte et sur la conception du stockage, plus particulièrement son architecture et ses composants ouvragés.

Le projet de centre industriel de stockage de déchets HA MA-VL s'inscrit conformément à l'article L542-1 du Code de l'environnement dans « la recherche et la mise en œuvre des moyens nécessaires à

[1] Lors de l'examen de la demande d'autorisation de création, la sûreté du Centre est appréciée au regard des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive. Seule une loi peut autoriser celle-ci. (Article L542-10-1 du Code de l'environnement).

[2] Le guide de sûreté publié en 2008 par l'ASN stipule que (§ 4.1, Objectifs) :·

- « La protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Elle doit être assurée envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques. »
- « Après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance ou d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée. »
- « En conséquence, le milieu géologique est choisi et l'installation de stockage est conçue de telle sorte que sa sûreté après fermeture soit assurée de façon passive afin de protéger les personnes et l'environnement des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir. »
- « A cet égard, le concept retenu pour le stockage devra permettre de maintenir l'impact radiologique au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre compte tenu de la connaissance scientifique acquise, de l'état des techniques, et des facteurs économiques et sociaux ».

la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs (…) afin de prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures ».

La sûreté passive après fermeture constitue la spécificité de Cigéo pour y répondre. La mise en œuvre des dispositions passives repose pour une grande part sur les propriétés favorables de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien (« argilite ») étudiée depuis plusieurs années au moyen notamment du Laboratoire souterrain[3] de Meuse/Haute-Marne[4].

Les recherches sur le stockage en formation géologique profonde menées depuis 1991 s'inscrivent dans l'objectif de « prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures »[5].

1.2 Le projet Cigéo - un processus par étapes

1.2.1 Des itérations de sûreté dès le début du projet

En 1991, la loi (1) sur la gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue a confié à l'Andra, Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, la mission d'évaluer la possibilité d'un stockage des déchets en formation géologique profonde, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains (axe 2 de la loi). L'Autorité de sûreté nucléaire a par ailleurs émis en 1991 une règle fondamentale de sûreté (RFS III.2.f) précisant les attentes en matière de sûreté à long terme vis-à-vis du stockage, les principes de conception, les critères de sélection de milieux géologiques propices et les modalités d'études et fixant les objectifs fondamentaux qui doivent guider les travaux sur le stockage.

Des itérations de sûreté ont été mises en œuvre dès cette date s'appuyant sur l'acquisition de connaissances phénoménologiques, le développement de méthodes appropriées à la spécificité du stockage en formation géologique profonde, la recherche et le développement de solutions technologiques.

Cette démarche itérative s'appuie ainsi sur le lien étroit entre la conception, les acquisitions de connaissance et les évaluations de sûreté comme illustré par la figure ci-après :

[3] La demande d'autorisation de création [d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs] doit concerner une couche géologique ayant fait l'objet d'études au moyen d'un laboratoire souterrain. (Article L542-10-1 du Code de l'environnement).

[4] En application de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 l'installation du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien a été autorisée par le Gouvernement en décembre 1998 à l'issue d'une recherche de site fondée sur le volontariat de collectivités territoriales (1992), d'une reconnaissance géologique (à partir de 1993) de quatre zones présélectionnées (Gard, Haute-Marne et Meuse, Vienne), puis de l'évaluation par l'ASN et la CNE de trois dossiers de demande d'autorisation d'installation et d'exploitation déposés par l'Andra en 1996. Une zone de transposition des résultats obtenus au Laboratoire a été définie en 2005. La poursuite de l'exploitation du Laboratoire jusqu'à fin 2030 a été autorisée par le décret n°2011-1910 du 20 décembre 2011.

[5] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2008, article 2.

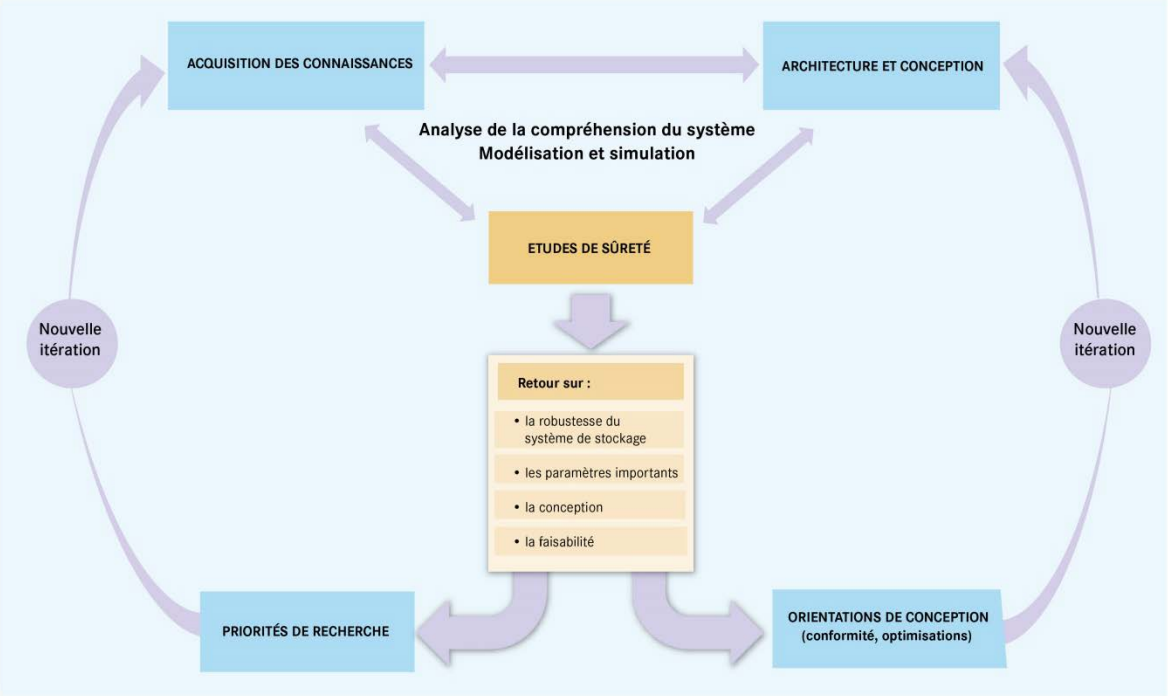


Figure 1.2-1 Illustration du processus itératif

Chaque itération se caractérise ainsi par des acquisitions de connaissances et par l'étude de concepts d'architecture en cohérence avec ces connaissances. Ces dernières permettent d'appréhender le comportement des concepts étudiés au moyen de modélisations, d'expérimentations et de démonstrateurs. Cette démarche a ainsi permis de tirer les enseignements des itérations successives pour orienter progressivement les choix vers des solutions offrant le plus de robustesse vis-à-vis des incertitudes de connaissances et d'introduire des mesures de prévention et de protection en regard des risques et incertitudes identifiés.

Chaque itération de sûreté intermédiaire associée au jalonnement du développement du projet Cigéo a fait par ailleurs l'objet d'instructions successives par l'Autorité de sûreté nucléaire et d'évaluations par les pairs à chacune de ces itérations permettant d'identifier progressivement les enjeux de sûreté en vue de son autorisation et de proposer les options de sûreté, objet du présent document intégrant aussi ce retour d'expérience.

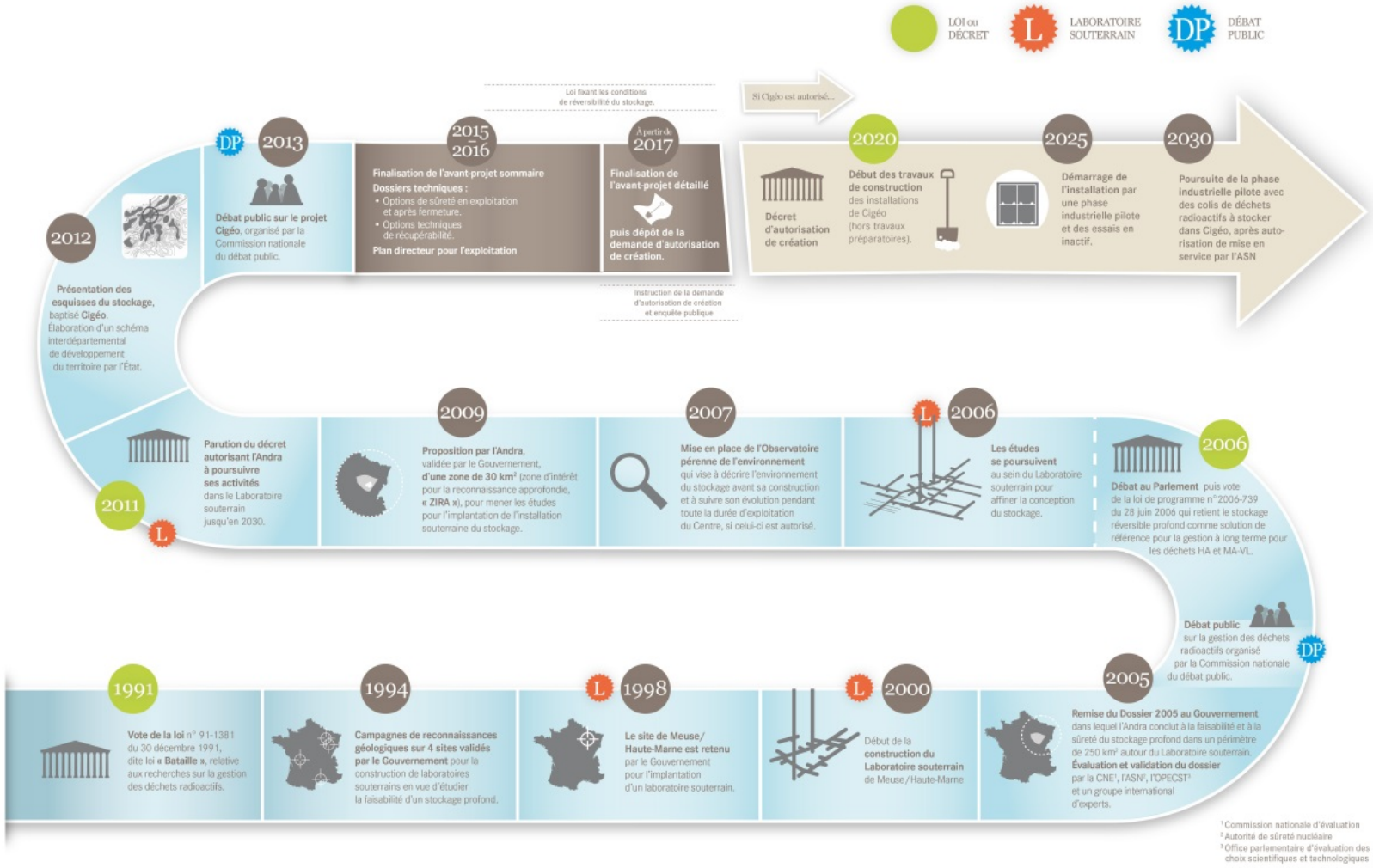


Figure 1.2-2 *Le développement du projet Cigéo un processus itératif en matières de sûreté par étapes depuis 1991 repères chronologiques*

1.2.2 Repères chronologiques

Depuis 1991, l'Andra a engagé un important programme de recherches pour l'étude du stockage en formation argileuse (argilite) âgée d'environ 155 millions d'années, le Callovo-Oxfordien, située à une profondeur de 400 à 600 m.

En 1998, le gouvernement a décidé la construction d'un Laboratoire souterrain en Meuse/Haute-Marne et la poursuite des études pour trouver un site dans une roche granitique, différent de celui étudié dans la Vienne. Les travaux de construction du Laboratoire souterrain ont débuté en 2000 sur la commune de Bure en parallèle des reconnaissances géologiques que l'Andra a continué de mener localement.

En 2005, **au terme de 15 années de recherches** réalisées dans le cadre de cette loi du 30 décembre 1991, l'Andra a produit un Dossier 2005 (2) relatif à la faisabilité de principe d'un stockage réversible des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue dans la formation d'argilite du Callovo-Oxfordien étudiée au moyen du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Au stade du Dossier 2005, le but de l'étude de faisabilité était de montrer l'existence de solutions techniques pour la création d'un stockage réversible et sûr, non de les figer définitivement ; les solutions proposées dans ce dossier ne prétendaient pas être optimisées, en particulier au plan de la sûreté d'exploitation et de la radioprotection. Le positionnement du stockage était fixé au sein de la zone de 250 km^2 reconnue autour du Laboratoire souterrain comme présentant des propriétés similaires, en s'assurant de la transposabilité des résultats de l'analyse de sûreté sur cette zone. **Le Dossier 2005 a distingué deux phases de vie du stockage et conduit deux analyses de sûreté complémentaires : l'une relative à l'exploitation, l'autre relative à l'évolution après fermeture liée à la spécificité du stockage**. Ce dossier a fait l'objet de plusieurs évaluations scientifiques et techniques : rapport global de la Commission nationale d'évaluation mise en place par la loi de 1991, avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, rapport de la revue internationale d'experts menée sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE à la demande des ministères de tutelle de l'Andra. Ces évaluations ont confirmé les résultats de l'Andra sur la faisabilité et la sûreté d'un stockage profond sur le site étudié en Meuse/Haute-Marne[6].

A la suite de l'instruction du Dossier 2005 et du débat public de début 2006, le 28 juin 2006, la loi de programme n°2006-739 sur la gestion durable des déchets radioactifs a été promulguée (3). Cette loi stipule que « après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde ». La loi du 28 juin 2006 donne à l'Andra la mission de concevoir et d'implanter le centre de stockage réversible qui accueillera ces déchets.

En 2008, dans la même logique qu'en 1991, l'ASN a mis à jour la RFS III.2f et l'a ainsi remplacée par le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Cette mise à jour tient compte notamment des travaux effectués par l'Andra et de leur instruction, ainsi que des orientations désormais fixées par la loi de programme du 28 juin 2006. Les principales modifications introduites dans le projet de RFS mise à jour sont relatives à la notion de réversibilité, au contrôle des matières nucléaires, aux objectifs de la surveillance de l'installation et à la définition des fonctions de sûreté du stockage.

En 2009, pour étudier l'implantation de l'installation souterraine, l'Andra a proposé au Gouvernement une zone souterraine de 30 km² (dénommée ZIRA : zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie), située au sein de la zone de 250 km² définie en 2005 dans laquelle les résultats du Laboratoire souterrain peuvent être transposés. **Dans une logique de démarche itérative de conception du stockage s'appuyant sur le lien étroit entre la conception, les connaissances scientifiques et la**

[6] Extrait de l'Avis de l'ASN émis en 2006 : « Le dossier 2005 argile, remis par l'Andra à ses ministres de tutelle, en juin 2005, a été instruit par l'IRSN et a fait l'objet d'un avis du groupe permanent d'experts en charge des déchets radioactifs dans la séance du 12 au 13 décembre 2005. Ces examens mettent en évidence que des résultats majeurs relatifs à la faisabilité et à la sûreté d'un stockage ont été acquis sur le site de Bure. L'ASN considère que le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable. »

sûreté, l'Andra a présenté en 2009 un dossier intermédiaire dit « Dossier 2009 » transmis à l'ASN conformément au décret n°2008-357 du 16 avril 2008 pris pour application de l'article L.542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ces dossiers ont fait l'objet d'avis respectifs publiés par l'Autorité de sûreté en 2010.

En 2010, la zone proposée par l'Andra, située à quelques kilomètres du Laboratoire souterrain, a été validée par le Gouvernement, après avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), de la Commission nationale d'évaluation (CNE) et après consultation des élus et du Comité local d'information et de suivi du Laboratoire (Clis). L'Andra a ensuite conduit une nouvelle campagne de reconnaissance géologique dont les résultats ont confirmé que la couche d'argile située dans cette zone présente les caractéristiques favorables à l'implantation d'un stockage profond. Si Cigéo est autorisé, l'installation souterraine sera implantée dans cette zone.

En 2011, l'Andra a engagé la phase de conception industrielle du projet Cigéo qui se déroule en plusieurs étapes clés dont une phase d'esquisse, une phase d'avant-projet-sommaire puis détaillée ; les résultats d'études relatifs à l'avant-projet détaillé servant de support à la future demande d'autorisation de création. Les orientations retenues dans le cadre de l'esquisse pour le projet industriel ont fait l'objet d'un dossier de maîtrise d'ouvrage support au débat public de 2013 sur le projet Cigéo.

Du 15 mai au 31 juillet 2013 et du 1er septembre au 15 décembre 2013, un débat public sur le projet Cigéo a été organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP). En tant que maître d'ouvrage du projet Cigéo, l'Andra a présenté dans ce cadre notamment l'inventaire prévisionnel des déchets à stocker, les propositions de localisation des installations de Cigéo, un ensemble de propositions de l'Andra en matière de réversibilité, les résultats des études d'esquisse.

Entre 2009 et 2014, l'Andra a émis des dossiers intermédiaires qui ont fait l'objet d'instructions sous l'égide de l'Autorité de sûreté nucléaire par son appui technique l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Dans le cadre de chaque instruction, l'Autorité de sûreté a notamment émis un avis dans lequel elle a pris position et formulé des demandes en vue du dossier d'options de sûreté ainsi que pour la demande d'autorisation de création. Tous ces éléments sont repris sur le site de l'ASN.

Le 5 mai 2014, à la suite du débat public sur le projet Cigéo dont les conclusions ont été rendues, le Conseil d'administration de l'Andra a indiqué par délibération (4) que « l'Andra remettra à l'État un ensemble de documents constitué d'une proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo, du dossier d'options de sûreté et du dossier d'options techniques de récupérabilité pour préparer l'instruction de la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo. »

Le 19 décembre 2014, l'ASN a par ailleurs formulé dans sa lettre CODEP-DRC-2014-039834 ses attentes vis-à-vis des options de sûreté de Cigéo. Il est notamment mentionné que le dossier d'options de sûreté devra *« présenter explicitement les objectifs, concepts et principes retenus afin d'assurer la sûreté de l'installation en exploitation [..]. Ces demandes sont complétées [...] par une liste détaillée des éléments nécessaires pour que l'instruction du dossier d'options de sûreté puisse être valablement menée.*

Au stade de la fin de l'avant-projet sommaire (APS), l'Andra a produit un dossier composé de l'ensemble des documents suivants :

- les pièces relatives aux options de sûreté de l'installation en exploitation et après fermeture :
  - ✓ le Dossier d'options de sûreté relatif à la phase exploitation (DOS-EXPL) qui constitue le présent document et dont l'objet et le contenu sont précisés en sections suivantes ;
  - ✓ le Dossier d'options de sûreté relatif à la phase d'après fermeture (DOS-AF) qui présente les objectifs, principes et fonctions de sûreté après fermeture, les options retenues et les performances associées, la maîtrise des incertitudes et les premières évaluations d'impact à long terme (5) ;

- la première version des spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires à Cigéo, les spécifications préliminaires des spécifications étant prévues pour la DAC (6) ;
- les pièces relatives à la mise en œuvre de la réversibilité :
  - ✓ la proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo (PDE) qui présente le déroulement de référence du projet Cigéo comprenant la phase industrielle pilote ainsi que les possibilités offertes par la réversibilité en termes de conduite du projet (7) ;
  - ✓ le document d'options techniques de récupérabilité (DORec) qui présente les principales options techniques pour permettre le retrait des colis de déchets (8) ;
  - ✓ le document relatif à l'étude l'adaptabilité de Cigéo à l'éventuel stockage des combustibles et les éléments techniques associés (9) ;
  - ✓ le document relatif à l'adaptabilité de Cigéo à la prise en charge de déchets en réserve et les éléments techniques associés (10).
- l'esquisse de la notice limitée aux capacités techniques de l'exploitant (11).

L'ensemble des pièces précitées correspond à une conception du stockage Cigéo au stade de fin d'APS, et prend en compte sa spécificité en termes de construction progressive avec une logique incrémentale et de phases de vie, notamment la phase après sa fermeture.

1.3 Le périmètre et l'objet du présent document

1.3.1 Périmètre du projet

Le projet Cigéo s'inscrit conformément à l'article L542-1 du Code de l'environnement dans « la recherche et la mise en œuvre des moyens nécessaires à la mise en sécurité définitive des déchets radioactifs (…) afin de prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures ».

Le stockage de déchets radioactifs, conformément à l'article L542-1-1 du même code, est « l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1 ». Ainsi, contrairement à une installation d'entreposage, ces objectifs impliquent la nécessité de « fermer » l'installation.

Par ailleurs, le même article indique que « le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de ces substances dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité ». Conformément à l'article L542-10-1 du code de l'environnement, les conditions de la réversibilité seront fixées par une loi après le dépôt de la DAC.

Le Centre de stockage Cigéo est une installation nucléaire de base (INB) conçue pour gérer les déchets ultimes[7] dont le niveau de radioactivité et la durée de vie ne permettent pas de les stocker de manière sûre, à long terme, en surface ou à faible profondeur.

Cigéo est constitué :

- d'une installation souterraine (puits et descenderies d'accès, galeries et alvéoles de stockage) ;
- d'installations en surface (installations situées immédiatement au-dessus de l'installation souterraine de stockage en tête des puits et installations déportées au sud des installations de stockage en tête de descenderies).

[7] Par déchets ultimes, on entend des déchets « qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux » (Article L542-1-1 du Code de l'environnement).

Par rapport aux autres installations nucléaires de base (INB) françaises, Cigéo présente les spécificités suivantes :

- des parties souterraines situées à plusieurs centaines de mètres de profondeur, de diamètre limité et de longueurs au-delà du kilomètre qui nécessitent l'adaptation de certains référentiels des INB classiques à cette spécificité (cf. chapitre 3 du présent volume) ;
- une exploitation sur une durée séculaire comprenant une phase industrielle pilote prévue au démarrage de l'exploitation du stockage et avant l'exploitation courante ainsi qu'un développement du Centre par tranches successives permettant la mise en œuvre de pistes d'optimisations d'ores et déjà identifiées et pour lesquelles des études sont encore nécessaires afin de proposer des solutions faisables d'un point de vue industriel et suffisamment démontrées d'un point de vue de la sûreté ;
- un objectif fondamental de protection de l'homme et l'environnement à long terme une fois Cigéo fermé[8], fondé sur une sûreté « passive » sans possibilité de recours à des interventions et à prendre en compte dès la conception, pendant la construction et son exploitation. Cela se traduit par une stratégie de sûreté visant la mise en œuvre des analyses de sûreté en exploitation et après fermeture en parallèle et de façon coordonnée (cf. chapitre 3 du présent volume).

1.3.2 Objet

Le présent document d'options de sûreté en exploitation [DOS-Expl] a pour objectif de présenter les fonctions assurées par Cigéo en phase d'exploitation, les principales options techniques et de sûreté envisagées au regard des différents risques d'origine interne et externe ainsi qu'une première estimation de l'impact sur l'homme et l'environnement pendant l'exploitation en fonctionnement normal ainsi qu'en situations incidentelles et accidentelles.

Pour répondre à ces objectifs, le DOS-exploitation comprend quatre volumes qui présentent pour l'essentiel :

- dans son volume I :
  - ✓ les principes, démarche et management de la sûreté appliqués à Cigéo comprenant notamment les fonctions de sûreté ainsi que les textes règlementaires retenus ;
- dans son volume II :
  - ✓ les données d'entrées relatives aux colis de déchets prises en compte pour le dimensionnement de l'installation et de son fonctionnement ;
  - ✓ les principales caractéristiques du site montrant son caractère favorable pour l'implantation des installations et constituant les bases du dimensionnement de celles-ci ;
  - ✓ les principales options techniques relatives aux structures/équipements pour que Cigéo fonctionne ;
  - ✓ les principales options retenues en matière d'exploitation comprenant notamment la gestion des colis, des facteurs organisationnels et humains et des effluents ;
- dans son volume III :
  - ✓ le descriptif synthétisé de l'acheminement des colis de leur arrivée à leur mise en place dans les alvéoles de stockage ;
  - ✓ l'inventaire des risques d'origine interne et externe en application du principe de défense en profondeur et associés aux options techniques retenues ainsi que les scénarios retenus pour le dimensionnement de l'installation ;
  - ✓ une première estimation des conséquences de l'impact sur l'homme et l'environnement pour les scénarios enveloppes retenus ;
- dans son volume IV :
  - ✓ une présentation des options et opérations envisagées en matière de fermeture de Cigéo, complétée par un inventaire préliminaire des risques associés.

[8] Il est à noter que la loi du 28 juin 2006 mentionne que seule une loi peut autoriser la fermeture définitive de Cigéo. Dans le calendrier actuel, la fermeture définitive de Cigéo est prévue vers 2150.

Compte tenu de la durée séculaire de l'installation Cigéo et de son développement par tranches successives sur cette durée, certaines solutions techniques constituant des pistes d'optimisations à ce stade sont annoncées notamment dans le volume II du présent document. Selon le degré d'avancement sur la démonstration et les résultats des études programmées en phase d'avant-projet détaillée, certaines solutions techniques pourraient être intégrées dans le dossier supportant la demande d'autorisation de création ou le cas échéant après son autorisation selon un jalonnement qui sera précisé dans la DAC.

2

Présentation générale de Cigéo

2.1 Les déchets destinés à Cigéo 30
2.2 Le centre de stockage Cigéo 32
2.3 L'implantation de Cigéo 36
2.4 Le phasage de Cigéo 38

2.1 Les déchets destinés à Cigéo

La loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs dispose qu' « après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde ». Elle confie à l'Andra la responsabilité « de concevoir, d'implanter, de réaliser et d'assurer la gestion (...) des centres de stockage de déchets radioactifs ».

Les options de conception et de sûreté, objets du présent document considèrent le stockage de déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) dont le niveau de radioactivité et la durée de vie ne permettent pas de stocker, de manière sûre à long terme, en surface ou dans le centre de stockage à faible profondeur également étudié par l'Andra.

Les déchets HA et MA-VL proviennent principalement du secteur de l'industrie électronucléaire et des activités de recherche associées, ainsi que, dans une moindre part, des activités liées à la Défense nationale.

Cigéo est dimensionné pour accueillir de l'ordre de 10 000 m^3 de déchets HA et 75 000 m^3 de déchets MA-VL. Aujourd'hui, environ 60 % des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et 30 % des déchets de haute activité (HA) sont déjà produits.

Dans l'attente d'une solution de gestion à long terme, les colis de déchets sont entreposés sur les sites de production. Pour certains d'entre eux, les déchets HA en particulier, un entreposage de plusieurs décennies est nécessaire avant leur prise en charge dans le stockage, correspondant à une première phase de décroissance de la radioactivité.

L'exploitation de Cigéo étant prévue sur plus d'un siècle, le stockage est notamment conçu par tranches successives pour être flexible afin de pouvoir s'adapter à d'éventuels changements de la politique énergétique et à ses conséquences sur la nature et les volumes de déchets qui seraient alors produits. Les études relatives à l'adaptabilité de Cigéo au stockage d'autres déchets que ceux précités, notamment les combustibles usés, font l'objet de documents spécifiques (cf. section 1 du présent chapitre).

2.1.1 Les déchets de haute activité (HA)

Les déchets HA présentent un niveau de radioactivité de plusieurs milliards à plusieurs dizaines de milliards de becquerels par gramme et dégagent de la chaleur. Certains radionucléides qu'ils contiennent ont des périodes très longues. On distingue les déchets « HA0 », modérément thermiques, des déchets dont la puissance thermique est plus importante (notés HA1 et HA2).

Ils correspondent essentiellement aux déchets vitrifiés issus du traitement des combustibles usés. Il s'agit de produits de fission et d'actinides mineurs formés par réaction nucléaire au sein du combustible lors de son utilisation en réacteur. Ils ont été séparés de l'uranium et du plutonium, matières radioactives valorisables, lors du traitement. Ils sont calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre ainsi élaboré est coulé en température dans un conteneur en acier inoxydable.

D'autres colis de déchets, en quantité très limitée, sont considérés comme des colis de haute activité. Il s'agit notamment de colis de déchets technologiques produits lors du fonctionnement des ateliers de vitrification de La Hague ou de certaines sources scellées usagées du CEA.

Figure 2.1-1 Illustration d'un colis de déchets vitrifiés HA

2.1.2 Les déchets de moyenne activité et à vie longue (MA-VL)

Les déchets MA-VL sont essentiellement constitués des éléments de structure des combustibles usés et des déchets liés au fonctionnement, à la maintenance et au démantèlement des installations nucléaires. Lorsqu'ils sont produits, ces déchets radioactifs se trouvent sous forme solide ou liquide. Pour pouvoir les manipuler, les entreposer, les transporter et les stocker, ils sont conditionnés sous forme de colis de déchets. Depuis une vingtaine d'années, cette mise en colis est systématiquement réalisée au fur et à mesure de la production des déchets. Auparavant, les déchets étaient entreposés sous forme brute en attente d'un procédé de conditionnement. Ces déchets, que l'on qualifie « d'anciens », doivent faire l'objet d'opérations de reprise et de conditionnement (RCD) pour être mis sous forme de colis. Certaines de ces opérations sont déjà en cours.

Pour constituer des colis de déchets, trois méthodes sont couramment utilisées :

- certains déchets solides sont directement placés dans un conteneur et immobilisés par un liant hydraulique qui est coulé dans ce conteneur. Ce procédé, qualifié d'enrobage, est très largement utilisé pour les déchets solides, notamment les déchets métalliques issus de l'exploitation ou du démantèlement des installations nucléaires ;
- d'autres déchets présentent une géométrie telle (gaines de combustible ou tubes par exemple) que les compacter par une presse permet d'en réduire significativement le volume. Les blocs ainsi obtenus sont alors placés dans un conteneur ;
- les déchets liquides, quant à eux, doivent être traités puis mélangés à un matériau pour les solidifier avant d'être introduits dans un conteneur. Par le passé, c'est le bitume qui était le matériau le plus largement employé pour le conditionnement de ces déchets des différents sites. Il est de plus en plus remplacé par le ciment ou par le verre, d'autres conditionnements étant également étudiés. La vitrification est notamment mise en œuvre pour conditionner les effluents produits lors du rinçage des installations avant démantèlement.

Les conteneurs employés pour le conditionnement des déchets MA-VL sont de gabarits variés ; ils peuvent être en acier non allié, en acier inoxydable, en béton armé ou fibré.

Figure 2.1-2 Illustration d'un colis de déchets MA-VL

2.2 Le centre de stockage Cigéo

La loi du 28 juin 2006 définit le stockage des déchets radioactifs comme « l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive [...] ». La directive européenne du 19 juillet 2011 définit le stockage comme « le dépôt de combustible usé ou de déchets radioactifs dans une installation sans intention de retrait ultérieur ». Elle rejoint la définition du stockage définitif donnée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), à savoir « la mise en place de déchets radioactifs dans une installation ou un emplacement sans intention de les récupérer ».

Les installations de Cigéo constituent une seule et même Installation nucléaire de base (INB), qui comprend (cf. illustration dans la figure ci-après) :

- des installations de surface réparties en deux ensembles distincts :
  - ✓ la zone « descenderie » dédiée à la réception des colis primaires HA et MA-VL et à la préparation des conteneurs de stockage, d'une surface d'environ 200 ha ;
  - ✓ la zone « puits » dédiée aux activités de support aux travaux souterrains, d'une surface d'environ 250 ha ;
- une installation souterraine composée de liaisons surface/fond (descenderies, puits), des quartiers de stockage des colis et des zones de soutien logistique (ZSL).

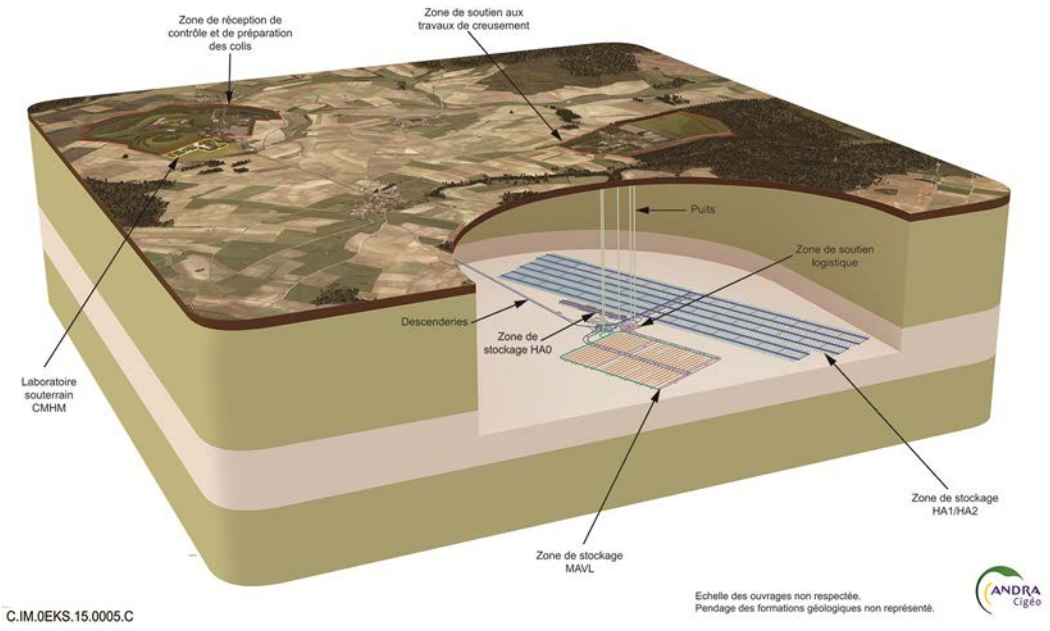


Figure 2.2-1 Schéma illustratif de l'installation Cigéo comprenant les installations de surface et souterraine

2.2.1 Les installations de surface

Les installations nucléaires de la zone descenderie regroupent l'ensemble des bâtiments de surface consacrés à l'accueil et au déchargement des emballages de colis primaires de déchets radioactifs, au conditionnement des colis primaires dans les conteneurs de stockage, aux contrôles associés et à la mise sous hotte avant transfert dans l'installation souterraine ; elles comportent également les moyens de soutien à l'exploitation de l'installation (ateliers de maintenance, magasins, parcs de matériel, vestiaires...).

La livraison des colis de déchets sur le centre de stockage est prévue dans des emballages de transport. Le centre comporte des installations d'accueil et de contrôle à réception des moyens de transport de ces emballages.

Après déchargement des emballages dans des halls de réception, les colis primaires sont extraits des emballages de transport dans un bâtiment de déchargement. Les moyens d'accueil et de déchargement des colis peuvent également être utilisés pour réexpédier des colis de déchets vers les installations des producteurs. Les colis de déchets sont ensuite transférés dans le bâtiment de conditionnement où leur mise en conteneur de stockage s'effectue en deux étapes : introduction des colis primaires dans le conteneur puis fermeture du conteneur par mise en place d'un couvercle fixé sur le corps du conteneur.

L'ensemble constitué par le colis primaire et son conteneur constitue un « colis de stockage » (CS).

Une fois constitué, le colis de stockage est placé dans une « hotte » et dirigé vers une descenderie pour être descendu dans l'installation souterraine en vue de son stockage.

Les bâtiments qui abritent ces opérations sont des ouvrages en béton armé de type monobloc semi-enterré (cf. Figure 2.2-2). Des contrôles sont réalisés tout au long des opérations.

Le développement progressif de Cigéo conduit à un déploiement en deux phases des ouvrages de déchargement, de conditionnement et de contrôles de la zone descenderie (cf. Volume II du présent document) :

- une première installation nucléaire dite « EP1 », dédiée aux colis MA-VL et aux premiers colis HA0 réceptionnés est exploitée sur le centre de 2029 à 2100 ;
- une seconde installation nucléaire dite « EP2 », dédiée aux colis HA1/HA2 et construite dans un second temps, exploitée de 2079 à 2145.

La tête de descenderie constitue un ouvrage central spécifique qui sera utilisé pendant toute l'exploitation de Cigéo.

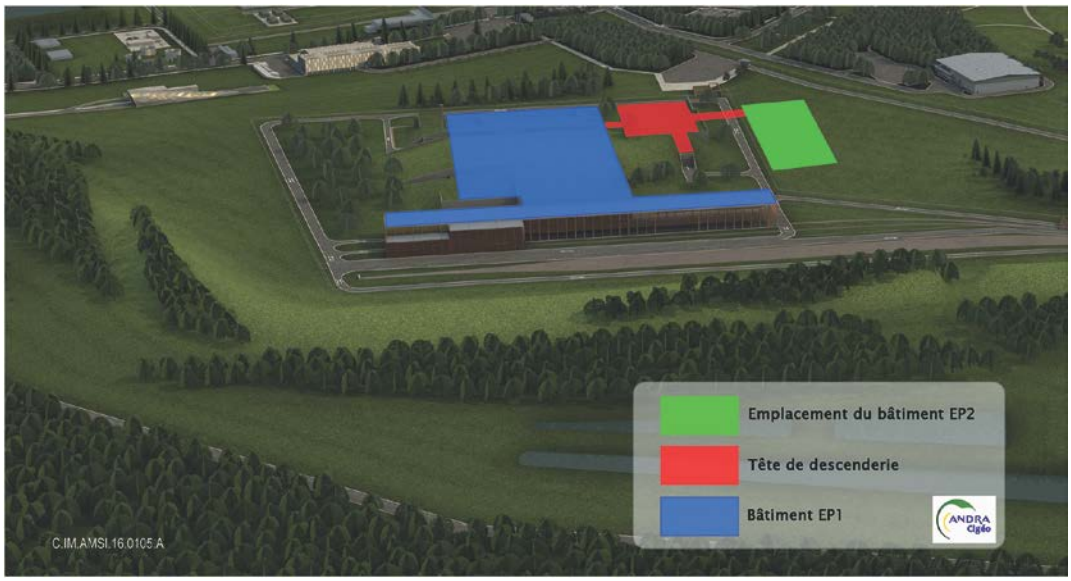


Figure 2.2-2 *Schéma des périmètres géographiques des emplacements des bâtiments de la zone descenderie*

Les installations de surface de la zone puits comprennent essentiellement les moyens et bâtiments liés, d'une part à l'exploitation nucléaire souterraine, d'autre part aux travaux de construction et d'extension des ouvrages souterrains. Les moyens et équipements liés au soutien et à la maintenance de la partie de l'installation souterraine en exploitation nucléaire sont implantés au sud de la zone puits. Outre des ouvrages abritant la machinerie nécessaire aux moyens de manutention et de transfert par un puits dédié, cette zone contient les ouvrages dédiés à l'accueil et au transfert du personnel d'exploitation vers le fond, ainsi que des unités de ventilation dédiées respectivement à l'apport d'air frais et à l'extraction d'air vicié (cf. Volume II).

Les bâtiments liés aux travaux d'extension de l'installation souterraine sont implantés au centre et au nord de la zone puits. Il s'agit des bâtiments associés aux puits reliant la surface à la partie « travaux » de l'installation souterraine pour le transfert du personnel « travaux », l'apport d'air frais, l'extraction d'air vicié, l'apport et l'évacuation de matériel et de matériaux de construction. À proximité, sont situées des installations support de ces travaux comme les centrales à béton, l'entreposage des matériels et des matériaux de travaux (notamment les voussoirs) et les ateliers de maintenance et magasins associés. Le stockage des verses est situé au nord de la zone.

Figure 2.2-3 Schéma des périmètres géographiques de la zone puits de Cigéo

2.2.2 Les liaisons surface-fond

Les descenderies

Les descenderies sont deux tunnels inclinés, parallèles, construits au tunnelier et dont la conception du revêtement est adaptée aux différentes couches géologiques traversées. Elles sont reliées en tête au bâtiment dit « tête de descenderie » et en pied à la zone de soutien logistique « Exploitation » :

- la descenderie « Colis » permet d'acheminer les colis de stockage vers l'installation souterraine via un système de transfert incliné qui permet de descendre et, le cas échéant, de remonter des colis de stockage ;
- la descenderie de service permet les opérations d'évacuation et de secours, la maintenance et, lorsque les opérations de fermeture seront autorisées, l'acheminement de matériaux pour la réalisation des ouvrages de fermeture.

Les puits

Cinq puits sont prévus pour permettre de relier les installations de surface de la zone puits à l'installation souterraine. La conception des revêtements des puits est adaptée aux différentes formations géologiques traversées.

Deux puits sont dédiés à l'exploitation en souterrain :

- le puits dit « Exploitation Personnel Ventilation Air Frais » pour le transfert du personnel des installations de surface vers la zone de soutien logistique exploitation et pour l'apport d'air frais à l'installation souterraine à partir des unités de ventilation situées en surface ;
- le puits dit « Exploitation Air Vicié » pour l'extraction d'air vicié des ouvrages souterrains dans la zone exploitation.

Trois puits sont dédiés aux travaux en souterrain :

- le puits dit « Travaux Personnel Air Frais » pour le transfert du personnel des installations de surface conventionnelles vers la zone de soutien logistique travaux, ainsi que pour l'apport d'air frais dans la zone travaux ;
- le puits dit « Travaux Ventilation air vicié » pour l'extraction d'air vicié des galeries en activité travaux ;
- le puits dit « Travaux Matériels Matériaux » pour le transfert des équipements, matériels et matériaux nécessaires aux travaux et l'acheminement vers la surface des déblais issus des excavations. Il permet également le transfert d'équipements volumineux.

Le maintien des liaisons surface-fond dans la durée et leur fermeture

Des dispositions constructives sont prises pour assurer leur maintien sur toute la durée d'exploitation de Cigéo.

Les liaisons surface-fond feront l'objet d'opérations de fermeture une fois l'autorisation de « fermer définitivement Cigéo » promulguée. Ces opérations comprenant la mise en place de scellements et de remblais font l'objet d'une première description au volume IV du présent document.

2.2.3 L'installation souterraine

L'architecture de l'installation souterraine est organisée de manière à assurer la séparation des activités d'exploitation nucléaire et des autres activités, notamment d'extension des zones de stockage.

Elle répond également aux exigences de sûreté après fermeture qui imposent notamment de séparer les déchets MA-VL, HA0 et HA1/HA2 dans des quartiers séparés.

L'installation souterraine est implantée dans la couche d'argilites du Callovo-Oxfordien et organisée pour respecter une épaisseur d'argilites saines de part et d'autre des alvéoles de stockage aussi grande que possible.

L'installation souterraine est composée des trois grands blocs fonctionnels suivants :

- la zone de soutien logistique « Travaux » (ZSL-T) située à l'aplomb des puits travaux ;
- la zone de soutien logistique « Exploitation » (ZSL-E) située à l'aplomb des puits d'exploitation ;
- la zone de stockage dans laquelle sont situés les quartiers de stockage des déchets MA-VL et les quartiers de stockage des déchets HA0 et HA1/HA2.

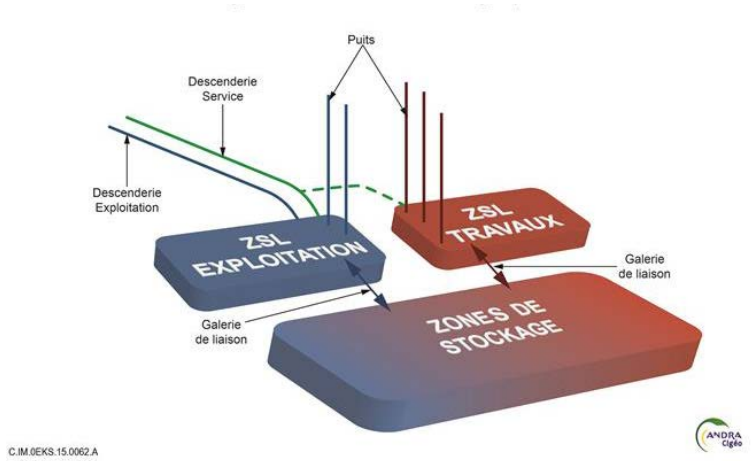


Figure 2.2-4 Illustration des différentes zones et liaisons surface-fond

Les éléments descriptifs de Cigéo (composants, équipements, opérations) et plus particulièrement les options de conception et solutions techniques envisagées sont précisés dans le chapitre 2 du Volume II du présent document.

2.3 L'implantation de Cigéo

Les installations du futur Centre industriel de stockage géologique (Cigéo) se situent dans l'Est de la France, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, où les recherches menées depuis les années 1990 ont permis d'identifier une zone du bassin de Paris géologiquement favorable à l'implantation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, puis une zone plus restreinte d'une surface de l'ordre de 250 km^2 au sein de laquelle la couche hôte présentait des propriétés proches de celles observées en Laboratoire souterrain (12).

Le choix d'implantation des installations de Cigéo (surface et souterrain) résulte d'une démarche progressive menée depuis 2006 avec une étape importante en 2009. Ainsi, l'Andra a déposé en 2009 un document relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie de l'ordre de 30 km^2, et de scénarios d'implantation en surface (13). Ce document a fait l'objet d'une instruction par l'IRSN à la demande de l'ASN.

Le 5 janvier 2010, l'ASN a rendu un avis[9] au Ministre d'Etat, Ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer et au Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche sur le document précité de l'Andra. Dans son avis, l'ASN estimait que les critères retenus par l'Andra pour choisir la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie étaient pertinents et cohérents avec le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de 2008. L'ASN a estimé que la localisation proposée par l'Andra pour la ZIRA était satisfaisante du point de vue de la sûreté et n'avait pas d'objection à la réalisation des travaux de reconnaissance prévus par l'Andra dans cette zone (14).

[9] Avis n° 2010-AV-0084 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010 sur le dossier de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde

La proposition de l'Andra s'appuyait notamment sur :

- les résultats des investigations géologiques, et en particulier celles menées en 2007-2008, qui ont permis d'acquérir une connaissance géologique homogène à l'échelle de la zone de transposition et l'analyse des critères liés à la géologie et à la sûreté à prendre en compte pour implanter l'installation souterraine ;
- l'analyse des contraintes environnementales et des contraintes liées à la sûreté à prendre en compte pour implanter les installations de surface ;
- les échanges avec les acteurs locaux qui ont permis d'identifier des critères d'aménagement du territoire et d'insertion locale à prendre en compte pour implanter le projet de centre de stockage.

Les travaux de reconnaissance menés sur la zone de transposition au cours des années 2007 et 2008 visaient en particulier à disposer d'une connaissance homogène de l'ensemble du secteur d'intérêt. Dans cette optique, 14 forages et une campagne de sismique 2D correspondant à un linéaire total de 170 kilomètres ont été réalisés et 130 kilomètres de sismique ancienne ont fait l'objet de retraitements. Les résultats ont ainsi permis de confirmer le périmètre de la zone de transposition, tel que défini dans le Dossier 2005[10], notamment de confirmer l'homogénéité du contexte sédimentaire et des propriétés de la couche ainsi que l'absence de failles mineures.

C'est sur la base de ces travaux et des modèles géologiques qui en ont été déduits que l'Andra a été en mesure de définir une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) en prenant en compte les critères suivants :

- privilégier une implantation de la ZIRA dans la zone identifiée comme plus intéressante vis-à-vis des critères liés à la géologie et à la sûreté;
- disposer d'une surface suffisante pour permettre l'implantation dans la ZIRA de l'installation souterraine ;
- être compatible avec une implantation potentielle de l'accès de la descenderie ;
- être compatible avec une implantation potentielle des puits d'accès principaux ;
- éviter une implantation sous les zones urbanisées des villages.

Lors des études 2007-2009, la possibilité de découpler une partie de l'installation de surface de l'installation souterraine au moyen d'une descenderie a aussi été examinée pour offrir une flexibilité d'implantation pour l'entrée de cet ouvrage jusqu'à environ 5 kilomètres par rapport à la zone des puits (sur la base d'une pente de 10%). Deux zones d'activité en surface, potentiellement disjointes, sont ainsi considérées : la zone " puits " nécessairement située à l'aplomb de l'installation souterraine et la zone " descenderie ".

Sur la base de l'ensemble de ces critères, une zone d'implantation de l'installation souterraine ayant une emprise d'une trentaine de kilomètres carrés est définie. La profondeur d'implantation des ouvrages au centre de la ZIRA est de 525 mètres et l'épaisseur de la couche du Callovo-Oxfordien au centre de la ZIRA est de 148 mètres. La moitié de la surface de la ZIRA est située en zone boisée ; l'autre moitié étant située en zone de prairies ou d'agriculture. La ZIRA est située sur les deux communautés de communes de la Haute-Saulx et du Val d'Ornois.

[10] Dans le cadre du Dossier 2005, l'Andra a défini les contours d'une zone dite de transposition au sein de laquelle les propriétés de confinement de la couche du Callovo-Oxfordien et les perturbations qu'engendrerait un stockage pouvaient être considérées comme équivalentes à celles déterminées dans le laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. La délimitation de cette zone reposait donc sur des critères géométriques (épaisseur et profondeur de la couche) mais également sur un ensemble d'informations d'ordre sédimentologique, stratigraphique et structural permettant de proposer cette zone, d'une superficie de l'ordre de 250 kilomètres carrés, dans laquelle la continuité et l'homogénéité des propriétés de la couche étaient assurées. Les critères permettant de délimiter la zone de transposition, retenus en 2005 et confirmés par la suite, visent principalement à s'assurer de la qualité des capacités de confinement de la formation du Callovo-Oxfordien. Ainsi, ils reposent sur : l'épaisseur de la couche, le cadre structural, la minéralogie des argilites et le comportement géomécanique de la roche.

Les Zones d'Implantation des Installations de Surface ont été identifiées par l'Andra en tenant compte des contraintes environnementales suivantes : zones inondables, zones urbanisées, zones naturelles protégées. Les contraintes suivantes liées à la sûreté ont aussi été analysées : voies de communication, environnement industriel, survol aérien...

Comme illustré en figure 2.3-1, la « zone descenderies » est implantée dans une zone interdépartementale, coté Haute-Marne sur la commune de Saudron, contiguë à la Meuse. Cette zone se situe autour du Laboratoire souterrain. La « zone puits » est implantée en partie centrale de la ZIRA sur la commune de Bure, dans la forêt de la vallée de l'Ormançon en privilégiant une implantation dans une zone boisée pour limiter l'emprise sur les terres agricoles.

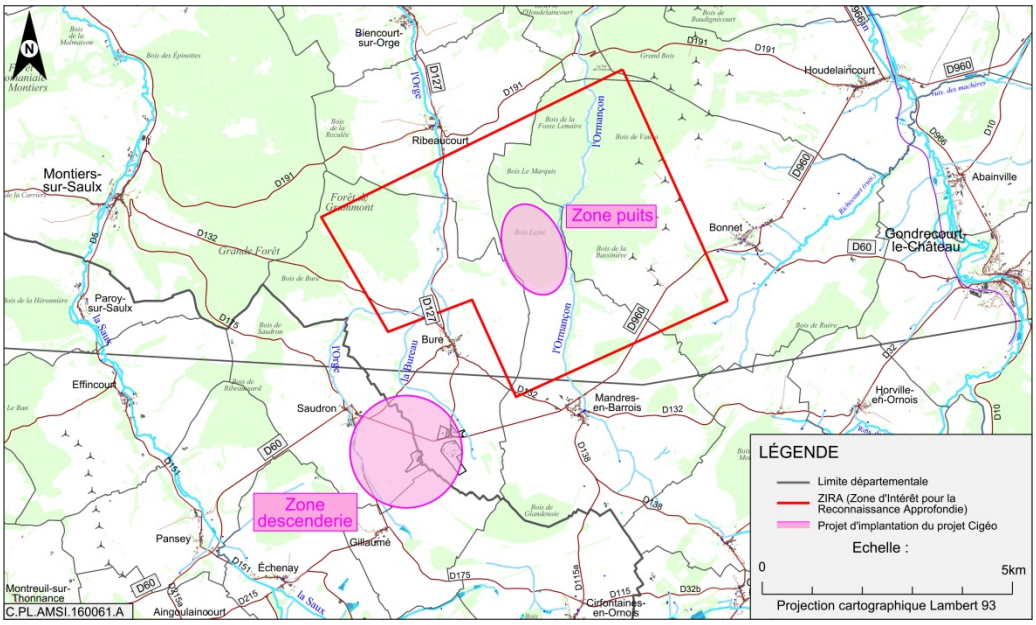


Figure 2.3-1 *Localisation de la ZIRA et des zones potentielles d'implantation des installations de surface*

2.4 Le phasage de Cigéo

2.4.1.1 Des phases temporelles successives

Le projet Cigéo se développe selon les phases temporelles successives suivantes :

- la ***conception initiale*** de l'installation (études d'esquisse, d'avant-projet sommaire, d'avant-projet détaillé, études projet et études d'exécution) (15), phase pendant laquelle les ouvrages, bâtiments et procédés de l'installation sont définis techniquement. C'est la phase dans laquelle le projet se situe actuellement. La conception de Cigéo fait l'objet d'évaluations régulières (ASN, Commission nationale d'évaluation, revues industrielles). Elle inclut le dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC). Pendant la phase de conception initiale, des premiers travaux sur le site, notamment des diagnostics (archéologie préventive, géotechnique, reconnaissance, préparation aux travaux, installations support hors site) peuvent être menés ;
- la ***construction initiale*** de Cigéo pendant laquelle une première partie, ou première « tranche[11] », de l'installation est réalisée. Elle porte principalement, sous réserve que Cigéo soit autorisé, sur la construction des bâtiments de surface liés à l'exploitation de l'installation nucléaire de surface, les liaisons surface-fond, ainsi que les ouvrages souterrains permettant de recevoir de premiers colis de déchets. Pendant la construction initiale (en fonction du planning des travaux), des études d'exécution des composants et des équipements sont menées jusqu'à leur réalisation effective ;

[11] Une tranche correspond à un ensemble de bâtiments de surface et/ou d'ouvrages souterrains construits en engageant une tranche d'investissement, c'est-à-dire une partie du coût global de possession.

- l'***exploitation*** qui se déroule pendant une centaine d'années et au cours de laquelle ont lieu simultanément des opérations de réception et de mise en stockage de colis et des travaux d'extension de l'installation souterraine, par tranches successives, afin de poursuivre la réception des colis de l'inventaire. L'exploitation démarre après l'autorisation de mise en service délivrée par l'ASN (réception de premiers colis de déchets radioactifs utilisés pour des essais actifs). L'exploitation comporte également, sous réserve d'autorisation, des travaux de fermeture partielle (obturation d'alvéoles et de zones de stockage). De plus, des travaux de construction, d'adaptation et de jouvence des bâtiments en surface sont engagés. Pendant l'exploitation de Cigéo, les études sont poursuivies pour améliorer sa conception, notamment pour l'optimisation des tranches successives ;
- sous réserve de son autorisation par une loi, la fermeture définitive de Cigéo et la déconstruction des installations de surface. Cigéo entre dans sa ***phase de surveillance.***

Les jalons prévisionnels d'autorisation et de mise en œuvre de Cigéo sont décrits plus précisément dans la proposition du PDE (7).

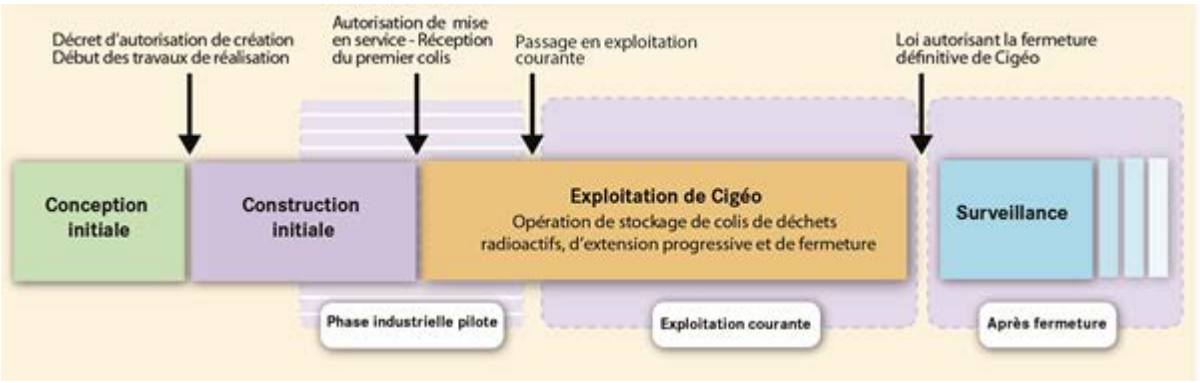


Figure 2.4-1 Schéma des principales phases temporelles de Cigéo

2.4.1.2 Une conception évolutive et un développement par tranches

Sur la durée d'exploitation séculaire de Cigéo, le développement de ses installations sera mené de façon graduelle, par phases de travaux de réalisation successives. Par convention, la première phase de travaux de réalisation est dénommée (T1[12]), et les phases ultérieures de travaux (TU) et ainsi de suite jusqu'à la réalisation complète du stockage. Jusqu'à la construction de la dernière tranche d'ouvrage souterrain de Cigéo, l'installation souterraine comportera une partie en exploitation nucléaire et une partie « travaux » dans laquelle se dérouleront les chantiers de construction, notamment de nouveaux alvéoles.

La durée d'exploitation d'ordre séculaire de Cigéo implique que les installations présentent une flexibilité et une adaptabilité leur permettant de s'adapter aux évolutions, notamment pour bénéficier du retour d'expérience apporté par les premières tranches mises en service et par les progrès scientifiques et techniques qui seront acquis à l'échelle de plusieurs décennies. Les options de sûreté décrites dans le présent document sont celles prévues à ce stade de la conception et sur lesquelles sera fondée la DAC. Au cours du temps et du perfectionnement des techniques, elles pourront être modifiées sous réserve de leur autorisation par l'ASN. Les principales évolutions techniques identifiées à ce stade par l'Andra sont le stockage direct de colis de déchets MA-VL sans mise en conteneur, l'accroissement de la longueur des alvéoles HA1/HA2 et l'augmentation du diamètre des alvéoles de stockage de colis de déchets MA-VL.

Compte-tenu du caractère particulier de Cigéo, dans sa délibération du 5 mai 2015, le Conseil d'administration de l'Andra a indiqué qu'une phase industrielle pilote sera réalisée au démarrage de l'exploitation du stockage, avant l'exploitation courante, afin de conforter en conditions réelles et en complément des essais réalisés dans le Laboratoire souterrain, les dispositions de conception retenue

[12] Dans la suite du document il est parfois mentionné indifféremment « Tranche 1 » , T1, « Tranche » suivante…

pour Cigéo. Un bilan de cette phase industrielle pilote sera établi par l'Andra et présenté au Parlement ainsi qu'aux évaluateurs. En termes de sûreté, les objectifs de la phase industrielle pilote annoncés par l'Andra dans le PDE (7) portent sur la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation et la capacité à surveiller les ouvrages de stockage.

Conformément au déroulement de référence du projet Cigéo décrit dans la proposition de PDE, les premières opérations de fermeture d'alvéoles et de galeries du quartier HA0 débutent à l'horizon 2070 et les premières opérations de fermeture d'alvéoles et de galeries du quartier MA-VL débutent après le remplissage du quartier à l'horizon 2100. La fermeture des alvéoles et des galeries HA1/HA2 est prévue à l'horizon 2145 préalablement à la fermeture définitive de Cigéo autorisée par une loi.

La phase industrielle pilote permettra ainsi en lien avec les fonctions de sûreté après fermeture à montrer la capacité à sceller les alvéoles de stockage et les galeries.

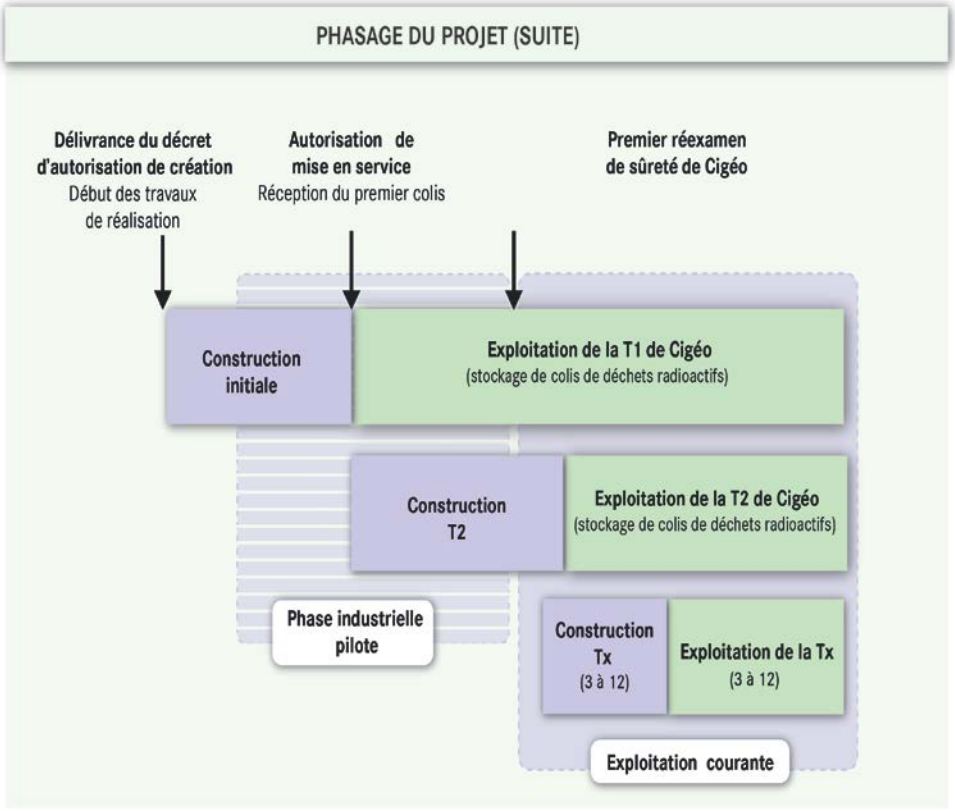


Figure 2.4-2 *Schéma de l'enchaînement des travaux de construction et de réalisations des tranches successives*

3

Stratégie de sûreté

3.1 Cadre réglementaire et référentiels 42
3.2 Principes et démarche de sûreté 45
3.3 Fonctions de sûreté 56
3.4 Objectifs de radioprotection 58
3.5 Management de la sûreté 59

3.1 Cadre réglementaire et référentiels

Au-delà de la loi de 2006, la réglementation applicable à Cigéo couvre des codes, décrets, arrêtés, textes de décisions.

Suite à la loi relative à la Transparence de la sûreté nucléaire (TSN) du 13 juin 2006 et à la publication de l'arrêté du 7 février 2012 (16), l'Autorité de sûreté nucléaire a démarré un processus de déclinaison de cet arrêté en décisions. Certaines décisions sont publiées et applicables à Cigéo entièrement ou pour partie. D'autres décisions sont en cours d'élaboration et sont listées à titre indicatif ; leur prise en compte dans le dossier de demande d'autorisation de création dépendra de leur publication et de leur domaine d'application.

Le tableau en annexe 1 présente les principaux textes pris en compte dans la conception de Cigéo.

3.1.1 Réglementation de référence

Des textes réglementaires non applicables à Cigéo qui concernent des infrastructures présentant des analogies avec les installations sont pris en référence pour la conception compte tenu de sa spécificité.

Thème incendie

Concernant la maîtrise des risques d'incendie sont notamment pris en compte :

- la réglementation relative aux tunnels routiers, notamment l'annexe 2 de la circulaire interministérielle 2000-63 du 25 août 2000, qui est un texte prescriptif indiquant un certain nombre de dispositions techniques pratiques à appliquer en tunnel ;
- l'annexe à la directive européenne 2004/54 et l'arrêté du 8 novembre 2006 fixant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels de plus de 500 mètres du réseau transeuropéen.

Règles liées aux mines

Le Règlement général des industries extractives est pris en référence et complété par la réglementation relative aux ouvrages miniers dont le décret n°88-1027 du 7 novembre 1988, en particulier pour la zone travaux de l'installation souterraine.

3.1.2 Projets de décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire applicables aux installations nucléaires de base

Le tableau présenté en annexe 1 liste les projets de décisions envisagées qui pourraient impacter Cigéo et précise, lorsque cela est possible, les parties et phases de vie concernées. Ce tableau sera actualisé au moment de la demande d'autorisation de création au regard de la publication des textes dans leur état final.

3.1.3 Guides et règles fondamentales de sûreté

Les règles fondamentales de sûreté (RFS) et les guides relatifs aux installations nucléaires de base publiés par l'Autorité de sûreté sont établis majoritairement pour les installations nucléaires de surface. Le tableau présenté en annexe 1 liste les RFS/guides retenus pour Cigéo et identifie en particulier les parties de Cigéo potentiellement concernées par celles/ceux-ci.

Le guide relatif au stockage en formation géologique profonde (17) cible principalement la phase après fermeture de Cigéo. Il mentionne notamment des recommandations relatives au choix du site qui « *devra tenir compte des propriétés mécaniques et thermiques de la roche qui conditionnent la faisabilité du stockage, c'est-à-dire la possibilité de réaliser une installation de stockage dont les effets sur le milieu géologique sont compatibles, d'une part avec les objectifs de sûreté en exploitation…* ».

De même, le guide fixe dans son chapitre relatif aux colis des recommandations sur le confinement[13] à assurer en exploitation repris dans les sections relatives aux fonctions à assurer par les colis.

3.1.4 Référentiels professionnels

Pour la conception des systèmes de ventilation nucléaire, les référentiels suivants ont été pris en compte :

- guide de ventilation des installations nucléaires (édition 07/1987) ;
- norme ISO 17873 : critères pour la conception et l'exploitation des systèmes de ventilation des installations nucléaires autres que les réacteurs nucléaires.

Pour l'évaluation du risque de chute d'avion, le rapport technique SASC/86/46 Pratique de l'évaluation du risque aérien pour une installation nucléaire ou industrielle J. Fauré, décembre 1986, (18) est utilisé en complément de la RFS I.1.a susmentionnée.

3.1.5 Référentiels Andra

Compte tenu de la spécificité de Cigéo par rapport aux autres installations nucléaires de base, l'Andra a établi un référentiel de sûreté Cigéo et un référentiel incendie propres à la conception de Cigéo rassemblant les démarches et les exigences adaptées notamment aux caractères souterrain et incrémental de Cigéo.

Référentiel de sûreté

Pour les installations de surface de Cigéo, ce référentiel s'appuie sur les référentiels réglementaires applicables aux installations nucléaires de base. Pour l'installation souterraine, compte tenu des activités qui vont s'y dérouler en parallèle (creusements, mise en équipements, exploitation nucléaire…), plusieurs référentiels réglementaires peuvent être applicables ou sont à adapter : activités nucléaires relevant d'un classement d'une partie des installations en installation nucléaire de base (INB) et application potentielle de la réglementation technique générale afférente, activités des mines et tunnels pour ce qui relève des travaux de creusement, de transfert et d'aménagement des galeries et alvéoles.

Pour constituer ce référentiel de sûreté, l'Andra s'est appuyée sur le retour d'expérience des dossiers Andra 2005 et 2009 (2) et (19) et leur instruction respective. Ce référentiel s'appuie aussi sur les évolutions de la réglementation notamment les publications par l'Autorité de sureté nucléaire (ASN) de l'arrêté INB du 7 février 2012 (16), des décisions et guides associés.

Les principaux éléments de démarche du référentiel de sûreté sont repris dans les sections qui suivent.

Référentiel incendie

De manière à intégrer la spécificité de Cigéo et plus particulièrement d'une part le caractère souterrain de Cigéo et d'autre part son développement progressif, l'Andra a élaboré le « Référentiel incendie pour la conception de Cigéo » (20) qui rassemble les exigences à retenir pour la maîtrise des risques liés à l'incendie. Ce référentiel s'appuie sur les références issues de la sûreté nucléaire et de la sécurité des ouvrages souterrains conventionnels et le retour d'expérience.

Ce référentiel impose notamment la démarche à suivre pour la conception et la fourniture des analyses de risques d'incendie. Les objectifs de sécurité incendie et les principes fondamentaux ayant guidé la conception de l'installation souterraine et des liaisons surface-fond de Cigéo, issus du référentiel incendie sont :

- la protection de la vie et de la santé des personnes présentes dans les installations ;
- la préservation de l'environnement (incluant la protection des populations avoisinantes) ;
- le maintien des fonctions de sûreté ;

[13] Le guide mentionne notamment que « *Les colis participent à la sûreté de l'installation de stockage en phase d'exploitation, ainsi qu'autant que nécessaire à la sûreté du stockage après fermeture de l'installation* »

- le maintien de l'activité industrielle et des installations.

Ce référentiel a fait l'objet d'une instruction en 2014 par l'IRSN à la demande de l'ASN qui a statué sur son caractère satisfaisant (21).

Autres référentiels/guides

L'Andra, en complément des deux référentiels précités, a établi des guides/méthodes mis en œuvre dans le cadre de la conception de Cigéo au stade de l'avant-projet, qui seront reconduits pour sa démonstration de sûreté. Ces guides et méthodes sont fondés d'une part sur les pratiques nationales et internationales (cas par exemple de la démarche biosphère), d'autre part sur le retour d'expérience.

Le tableau présenté en annexe 2 liste les référentiels/guides et méthodes établis par l'Andra.

3.1.6 Standards et pratiques internationaux (AIEA, CIPR, AEN…)

Les textes publiés par les organismes internationaux (AIEA[14], AEN[15], CIPR[16]) constituent une référence.

Les tableaux présentés en annexe 3 listent les principaux documents pris en compte à ce stade pour Cigéo.

La démarche de sûreté est cohérente avec les textes relatifs à la sûreté émis par les organismes internationaux, qui fixent des principes permettant le dialogue avec la communauté internationale :

- parmi les publications de l'AEN, un certain nombre traitent des liens entre les thèmes de recherche, la conception et la démonstration de la sûreté de l'installation. Seuls sont repris en annexe 3 les documents relatifs à la démonstration de sûreté ;
- la conformité de la conception de l'installation et de la démarche de sûreté aux principes énoncés dans le document « Radioactive waste disposal facilities safety reference levels » publié par WENRA[17] en décembre 2014 a également été vérifiée. Au stade de l'avant-projet sommaire, aucun écart notable n'a été constaté ;
- en ce qui concerne l'AIEA, l'Andra participe au projet international GEOSAF II qui a notamment pour objectif de lister les standards AIEA qui sont applicables/transposables à un stockage géologique. Les tableaux présentés en annexe 3 présentent une première liste qui sera actualisée au regard des conclusions de GEOSAF II ;
- enfin, le tableau en annexe 3 identifie les deux principales publications de la CIPR utilisées comme références par l'Andra.

L'Andra a initié et participe au projet EG-OS[18] sous l'égide de l'OCDE/AEN qui permet d'asseoir les démarches retenues et d'échanger sur les options de sûreté en exploitation.

Les références internationales et les participations de l'Andra à des exercices internationaux constituent une donnée d'entrée au développement de Cigéo permettant aussi de s'assurer que la stratégie de sûreté retenue par l'Andra est cohérente avec ces références et pratiques.

[14] Agence Internationale de l'Énergie Atomique
[15] Agence de l'Énergie Nucléaire
[16] Commission internationale de Protection Radiologique
[17] Western European Nuclear Regulators Association
[18] Pour plus information, le projet EG-OS (Expert Group of Operational Safety) est présenté sur le site de l'AEN suivant https://www.oecd-nea.org/rwm/egos/

3.2 Principes et démarche de sûreté

3.2.1 Principes

Les principaux objectifs qui doivent orienter la conception sont fournis par le guide de sûreté relatif au stockage en formation géologique profonde (ASN 2008) : « La protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Elle doit être assurée envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques. Après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peut pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée. »

Le principe retenu est la mise en œuvre dès la conception de Cigéo d'un processus et d'une démarche de sûreté qui prennent en compte la spécificité suivante des installations de stockage :

- une installation souterraine située à environ 500 m de profondeur et de géométrie réduite et des longueurs de galeries de liaisons importantes qui imposent des conditions d'exploitation, d'intervention et d'évacuation particulières ;
- une exploitation sur une durée séculaire avec un déploiement du stockage par tranches successives qui implique la prise en compte du risque lié à la co-activité de travaux souterrains et d'exploitation nucléaire ;
- une approche coordonnée entre sûreté-exploitation et sûreté après-fermeture. Cette démarche permet d'intégrer les évolutions de conception tout en garantissent la sûreté après fermeture tout au long du développement de Cigéo.

Cette démarche qui relie sûreté en exploitation et sûreté après fermeture permet ainsi de gérer les pistes d'optimisations envisagées pour Cigéo et le retour d'expérience de l'exploitation, d'intégrer toute évolution de la règlementation et des pratiques au niveau national et international tout en garantissant le principe de défense en profondeur. L'opportunité de retenir de nouvelles solutions techniques pour la conception du système de stockage sera ainsi confirmée sur la base de l'analyse de leur compatibilité avec une exploitation sûre de l'installation et du respect des exigences de sûreté après fermeture.

Ainsi, bien que la phase après fermeture de Cigéo n'intervienne qu'au-delà d'une période séculaire après sa mise en service, l'analyse de sûreté après fermeture est réalisée dès la conception sur la base d'une projection à terminaison des solutions techniques retenues à chaque étape du développement du projet. Certaines de ces solutions peuvent impliquer la mise en place d'activités importantes pour la sûreté dès la construction puis la surveillance qui sont identifiées.

Au vu des durées du cycle de vie de l'installation et de la décroissance radioactive des déchets qui impliquent la mobilisation de nombreuses disciplines (ingénierie minière et nucléaire, sûreté, sciences de la terre, des matériaux…) afin de caractériser les phénomènes susceptibles d'être rencontrés, la démarche de sûreté identifie et cherche à réduire les risques en exploitation et les incertitudes de connaissance.

Dans la démarche de sûreté telle que mise en œuvre à la conception du stockage, il est clairement distingué :

- l'identification des exigences de sûreté à prendre en compte à la conception. Cela implique :
  - ✓ l'identification des référentiels, des réglementations qui orientent les choix et les principes de conception et qui encadrent l'analyse de sûreté ;
  - ✓ l'identification des fonctions de sûreté ;
  - ✓ la compréhension du niveau de connaissance des déchets et des matériaux, du milieu géologique, du site, de leurs interactions la définition des objectifs de protection,
  - ✓ la connaissance de l'installation et son site d'implantation s'appuyant notamment sur des démonstrateurs ;

- ✓ en particulier pour la phase après fermeture, la compréhension scientifique de l'évolution thermique, hydraulique, mécanique, chimique et radiologique (THMCR) du stockage dans le temps et l'espace, ainsi que du couplage de ces différents phénomènes, s'appuyant notamment sur de multiples expérimentations en Laboratoire et in situ, reproduisant les évolutions attendues et le recours à des analogues naturels pour de très longues échelles de temps.

- l'étape d'évaluation qui doit montrer que les choix de conception satisfont les fonctions de sûreté au travers de :
  - ✓ l'analyse de sûreté en exploitation du stockage qui s'appuie sur l'analyse des risques et la mise en place le cas échéant des dispositions de prévention et de protection nécessaires pour réduire ces risques ;
  - ✓ l'analyse de sûreté après fermeture qui s'appuie sur l'analyse des incertitudes après fermeture au travers de l'analyse qualitative de sûreté qui recense et évalue, composant par composant, les incertitudes concernant l'évolution du comportement du stockage identifiées dans l'analyse phénoménologique des situations du Stockage (APSS) pour s'assurer qu'elles sont couvertes par des choix de conception ou dans des scénarios.

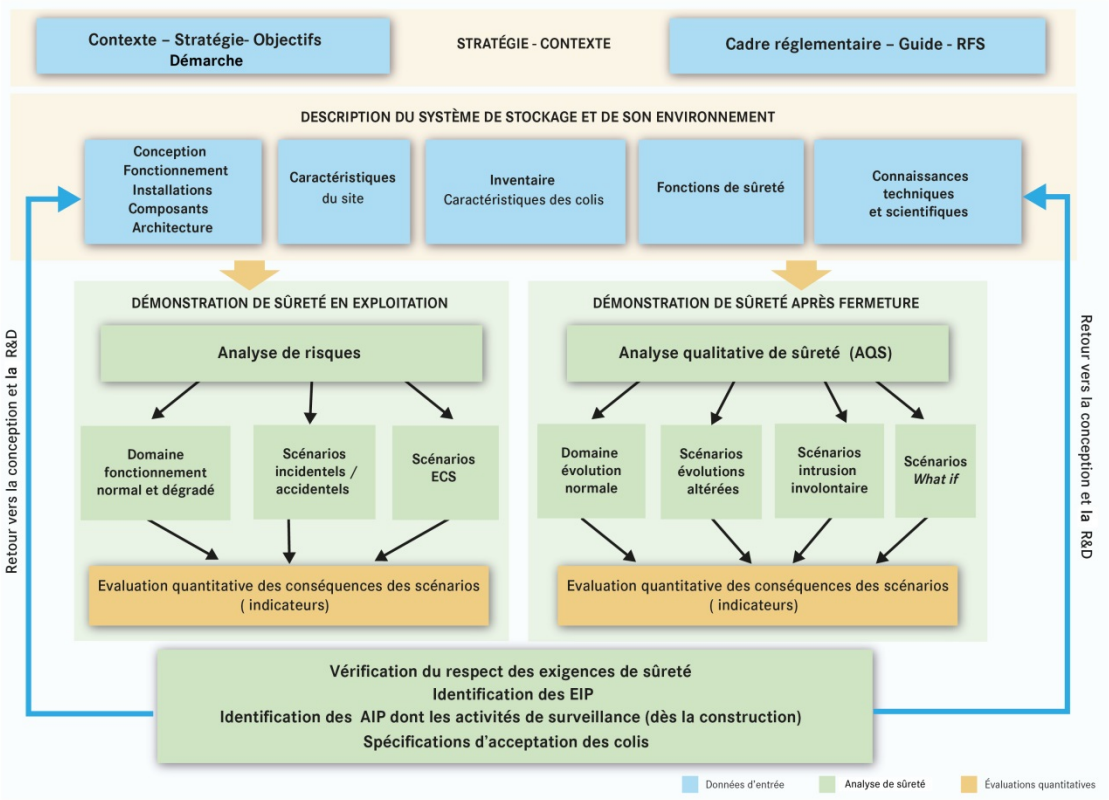


Figure 3.2-1 Schéma illustrant l'approche coordonnée entre la sûreté en exploitation et après fermeture

Le processus itératif mis en œuvre est cohérent avec le guide de sûreté ASN 2008 et permet de démontrer l'acceptabilité des choix réalisés vis-à-vis de deux obligations : la sûreté du stockage en exploitation et la sûreté à long terme sans aucune intervention, qualifiée de « sûreté passive ».

La démarche de sûreté s'intègre ainsi dans la démarche de conception en imposant la prise en compte d'exigences de sûreté à considérer pour choisir les options de conception et en réalisant une vérification de ces choix par le biais d'évaluations caractérisant le niveau de sûreté du stockage résultant de leur considération.

3.2.2 Application du principe de défense en profondeur à la sûreté en exploitation

Le concept de défense en profondeur s'applique à Cigéo comme pour toute installation nucléaire de base conformément à l'arrêté du 7 février 2012 (16). Ce concept est un principe de sûreté mis en œuvre dès la conception de Cigéo du fait des risques pour la population, les travailleurs ou l'environnement afin de lui garantir un niveau de sûreté et de sécurité conforme aux objectifs de sûreté et radioprotection fixés.

Il consiste à interposer entre la source de danger (ex : la substance radioactive ou toxique) et le public, les travailleurs ou l'environnement un nombre suffisant de dispositions techniques et organisationnelles éliminant ou limitant jusqu'à un niveau acceptable les nuisances possibles liées à cette source. Ces dispositions doivent être proportionnées à l'importance des risques ou inconvénients présentés par l'installation (cf. article 1.1 de l'arrêté du 7/02/2013 (16)).

Ce concept de défense en profondeur prend donc en compte l'éventualité de défaillances technique, organisationnelle et humaine ainsi que la mise en place de lignes de défense graduées à l'égard des dangers internes et externes à l'installation pour y faire face et en limiter les conséquences. Il s'applique selon les niveaux indiqués au Tableau 3.2.2 repris de l'arrêté INB du 7 février 2012 et de l'INSAG-10.

Tableau 3.2-1 Niveaux de défense en profondeur

Niveau	Objectifs visés (22)	Type de dispositions
1	Prévenir les anomalies d'exploitation et les défaillances humaines et techniques	Qualité de conception et de réalisation
2	Contrôler les anomalies d'exploitation et détecter les défaillances humaines et techniques	Dispositions de conception et d'exploitation : systèmes de détection et de contrôle, procédures de surveillance
3	Maintenir les accidents dans les limites fixées à la conception à l'aide des systèmes et des procédures de sauvegarde et de prévention	Systèmes de sauvegarde, procédures spécifiques
4	Maîtriser les conditions sévères par la prévention de la progression des accidents et limiter les conséquences radiologiques par la gestion de l'accident	Dispositions dans le cadre du plan d'urgence interne (PUI), matériels spécifiques et procédures ultimes afin de limiter les rejets
5	Réduire les conséquences radiologiques par une réponse d'urgence	Dispositions dans le cadre du plan de particulier d'intervention (PPI5), organisation des secours, mesures à prendre en cas de risque de contamination ainsi que conditions d'information du public et des médias

La mise en œuvre du principe de défense en profondeur s'appuie notamment sur :

- le choix d'un site adapté, tenant compte notamment des risques d'origine naturelle ou industrielle pesant sur l'installation ;
- l'identification des fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire ;
- une démarche de conception de Cigéo intégrant des marges de dimensionnement et recourant, en tant que de besoin à une redondance, une diversification et une séparation physique ou géographique adéquates des éléments importants pour la protection qui assurent des fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire, afin d'obtenir un haut niveau de fiabilité et garantir ces fonctions ;
- la qualité des activités de conception, de construction et de fonctionnement ;
- une préparation à la gestion d'éventuelles situations d'incident et d'accident.

3.2.3 Étude des situations de fonctionnement

3.2.3.1 Définition des situations de fonctionnement

Les situations de fonctionnement sont réparties conformément à l'arrêté INB du 7 février 2012 (16) selon le classement présenté dans les paragraphes ci-après.

Situations de fonctionnement normal et dégradé

Le fonctionnement normal correspond au fonctionnement de l'installation qui comprend l'ensemble des états et des opérations courants de l'installation, y compris les situations de maintenance ou d'arrêt programmées, que les matières radioactives soient présentes ou non.

Le fonctionnement en mode dégradé correspond à celui en dehors du fonctionnement normal dont l'acceptabilité pour une durée limitée vis-à-vis des intérêts (la sécurité, la santé et la salubrité publique ou la protection de la nature et de l'environnement) est démontrée.

La conception de Cigéo doit permettre la réalisation d'opérations répondant aux besoins fonctionnels attendus. Ces opérations sont réalisées dans le cadre de situations dites de fonctionnement normal pour lesquelles les exigences techniques spécifiées sont respectées. Pour garantir la réponse aux besoins fonctionnels et le respect des exigences, les études de dimensionnement sont réalisées pour définir les performances requises des composants et équipements mis en œuvre, les caractéristiques associées et les contraintes liées aux actions prévues pour les exploiter. A l'issue des études réalisées seront fixées les limites du domaine de fonctionnement de l'installation, comprenant le fonctionnement normal et le fonctionnement en mode dégradé tel que défini par l'arrêté INB du 7 février 2012. Ce domaine de fonctionnement sera repris dans les règles générales d'exploitation (RGE) qui fixent les conditions et les actions prévues pour le maintien et le retour, en cas de déviation, à un fonctionnement normal de l'installation.

Les situations de fonctionnement normal et en mode dégradé au sens de la sûreté sont donc caractérisées par des critères de performances ou encore des indicateurs relatifs à des composants, des conditions et/ou des actions qui permettent de garantir le respect des critères de sûreté.

Situations incidentelles et accidentelles[19]

Les situations incidentelles et accidentelles sont toutes les situations de fonctionnement de l'installation non prévues en fonctionnement normal et dégradé et susceptibles d'altérer la protection des intérêts (la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement). Cela implique le dépassement des critères de performances ou des indicateurs qui garantissent le respect des critères de sûreté associés à ces situations de fonctionnement normal et en mode dégradé de l'installation.

Les situations incidentelles et accidentelles dites de dimensionnement sont celles pour lesquelles la conception des installations doit :

- prévenir l'occurrence de ces situations, ce qui implique généralement un renforcement des performances attendues et donc des critères relatifs au dimensionnement des composants, aux conditions et/ou aux actions prévues pour assurer le respect des critères de sûreté du fonctionnement normal ;
- permettre un retour de l'installation dans une situation de fonctionnement normal, ou à défaut d'atteindre, puis de maintenir l'installation dans un état sûr, ce qui peut également aboutir à l'implantation de dispositions spécifiques ;
- minimiser leur impact. Des dispositions complémentaires de mitigation sont alors conçues, dimensionnées et implantées pour assurer cette fonction en vue de respecter les critères de sûreté associés au type ou à la catégorie d'accidents concernés.

Les situations incidentelles se caractérisent comme des situations dont la fréquence d'occurrence est modérée et les conséquences sur les personnes et l'environnement sont faibles. Elles sont analysées en

[19] Les conséquences potentielles ou réelles d'un accident sont plus graves que celle d'un incident

vue de dimensionner l'installation au titre du premier et second niveau du principe de défense en profondeur (prévenir l'occurrence de ces situations et permettre un retour de l'installation dans une situation de fonctionnement normal) car généralement elles ne requièrent pas la mise en œuvre de dispositions de mitigation ou de sauvegarde de conséquences graves.

Les situations accidentelles se caractérisent comme des situations dont la fréquence d'occurrence et les conséquences associées peuvent être jugées inacceptables vis-à-vis des objectifs de sûreté et de sécurité des installations en l'absence de dispositions spécifiques à leur gestion. Certaines d'entre elles peuvent également être imposées par les règles fondamentales de sûreté applicables. Elles requièrent la mise en œuvre de dispositions de mitigation spécifiques au titre du troisième niveau de la défense en profondeur.

Situations de dimensionnement du PUI (plan d'urgence interne)

Ces situations permettent de vérifier la robustesse de l'installation et de compléter éventuellement les dispositions prises dans le cadre du dimensionnement pour qu'en cas d'accidents rares mais potentiellement graves les conséquences soient limitées dans le temps et dans l'espace. Elles servent également à dimensionner les dispositions à mettre en œuvre dans le cas d'un PUI. Ces situations sont des situations accidentelles de dimensionnement auxquelles une défaillance aggravante supplémentaire indépendante de l'événement initiateur est cumulée, des situations accidentelles non retenues comme situation de dimensionnement compte tenu de leur faible vraisemblance (cumul de défaillances internes indépendantes), des situations initiées par des aléas externes (séisme et inondation) d'une intensité supérieure à ceux retenus dans le dimensionnement.

Situations exclues

Il s'agit de situations accidentelles pour lesquelles un nombre important de dispositions de prévention sont cumulées et dont la robustesse est avérée (situation extrêmement improbable avec un haut degré de confiance ou de situations physiquement impossibles).

Situations extrêmes

Il s'agit de situations prises en compte dans la conception pour dimensionner le cas échéant les dispositions du noyau dur dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (ECS). Les situations à prendre en compte sont le séisme, l'inondation, les autres phénomènes naturels et les cumuls d'agressions, la perte des alimentations électriques et la perte du refroidissement, les agressions induites par ces situations.

3.2.3.2 Identification des situations de fonctionnement

La démarche d'identification des situations de fonctionnement est présentée sur la Figure 3.2-1 ci-dessous.

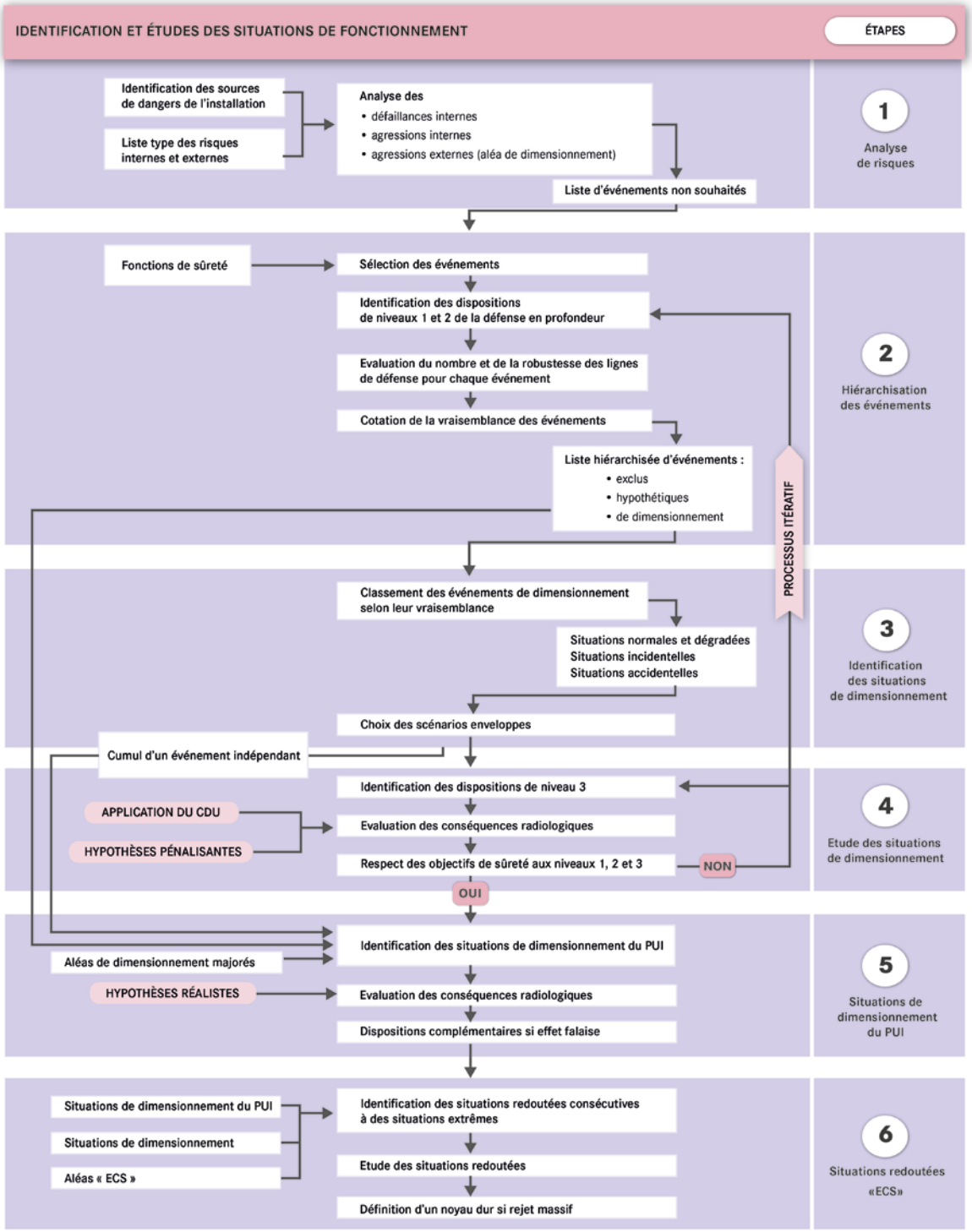


Figure 3.2-2 Logigramme présentant la démarche d'identification et d'étude des situations de fonctionnement

La démarche d'identification des situations est menée de manière déterministe.

Elle consiste à :

- Étape 1 : réaliser l'analyse de risques de l'installation. La démarche d'analyse de risques permet d'identifier, sur la base de l'analyse des défaillances internes et des agressions internes et externes susceptibles de se produire sur l'installation, la liste d'évènements non souhaités menant à une défaillance des équipements, des procédés mis en place et de leurs systèmes supports, et ce pour tous les états de l'installation. Puis, pour chaque événement, qu'il soit nucléaire, non nucléaire d'origine interne ou d'origine externe, les dispositions de maîtrise des risques sont identifiées en termes de :
  - ✓ moyens techniques et organisationnels pour prévenir les incidents dès la conception par le dimensionnement des installations et la proposition de mesures de prévention en prenant en compte les défaillances possibles des matériels et des hommes et les agressions externes ;
  - ✓ moyens de surveillance des installations et équipements pour détecter les dérives de fonctionnement éventuelles et les corriger par des systèmes automatiques ou par l'action d'opérateurs, le système restant ainsi dans son domaine normal de fonctionnement ;
  - ✓ mesures de protection à mettre en œuvre pour limiter les conséquences de la situation de fonctionnement incidentelle ou accidentelle du stockage qui résulteraient d'une défaillance des mesures de prévention et de surveillance et pour en réduire la gravité.
- Étape 2 : hiérarchiser les événements non souhaités en fonction de leur vraisemblance selon la classification suivante :
  - ✓ événements exclus sur la base du cumul de lignes de défense dont la robustesse est avérée. Ces événements ne font alors pas l'objet d'étude complémentaire ;
  - ✓ événements hypothétiques. Ils sont étudiés pour vérifier la robustesse de l'installation lorsque celle-ci est exploitée au-delà de son domaine de dimensionnement ;
  - ✓ événements de dimensionnement. Ils sont étudiés pour vérifier la suffisance des dispositions de sûreté retenues pour faire face aux risques identifiés dans l'installation.

La vraisemblance d'un évènement est fonction du nombre et de la robustesse des lignes de défenses qui doivent être perdues pour qu'il puisse se produire. Les lignes de défense sont les dispositions de maîtrise des risques associées aux niveaux 1 et 2 de la défense en profondeur. La hiérarchisation des événements peut également tenir compte d'avis d'experts ou d'éléments du retour d'expérience.

- Étape 3 : classer les événements de dimensionnement selon leur vraisemblance en situations normales, incidentelles et accidentelles, puis regrouper les événements de dimensionnement qui conduisent à des scénarios de même nature en un nombre limité de scénarios qui sont « enveloppes » pour la famille qu'ils représentent.
- Étape 4 : étudier les situations de dimensionnement pour vérifier que l'installation, au travers des dispositions retenues pour son dimensionnement, est conforme aux exigences réglementaires et aux objectifs que se fixe l'Andra. Les scénarios « enveloppes » sont analysés afin :
  - ✓ d'évaluer les conséquences sur les personnes et l'environnement résultant des situations à risque identifiées (relâchement de substances radioactives, irradiation, effets thermiques…) ;
  - ✓ de conclure sur l'acceptabilité des situations étudiées et de leurs conséquences potentielles en évaluant les marges entre ces conséquences, les objectifs et les limites réglementaires.
- Étape 5 : compléter cette analyse par une vérification de la robustesse de la démonstration de sûreté au travers de l'étude de scénarios plus complexes constituant les situations de dimensionnement du PUI.
- Étape 6 : vérifier, au travers d'évaluations complémentaires, la robustesse des installations à des situations extrêmes.

3.2.3.3 Évaluation complémentaire de sûreté (ECS)

La démarche relative aux évaluations complémentaires de sûreté est appliquée à Cigéo et consiste à évaluer les marges de sûreté des installations nucléaires par rapport à des phénomènes naturels extrêmes mettant à l'épreuve les fonctions de sûreté des installations pouvant conduire à des situations redoutées.

Le cahier des charges relatif à l'évaluation complémentaire de la sûreté des installations nucléaires au regard de l'accident de Fukushima rédigé par l'ASN (23) constitue un fil directeur pour la prise en compte des ECS dans la conception de Cigéo.

La démarche consiste à :

- identifier les situations redoutées et identifier les effets falaises pour chaque situation (ex. risques nucléaires, risques chimiques, etc…). La recherche des situations redoutées est effectuée pour toutes les phases de vie de l'installation (exploitation, surveillance, démantèlement...), y compris celles de courte durée (maintenance), pour les installations de surface et souterraine de Cigéo :
  - ✓ si nécessaire, identifier un « noyau dur » de dispositions matérielles (systèmes, structures et composants) et organisationnelles dont la disponibilité devra être assurée dans des situations extrêmes afin de :
  - ✓ prévenir l'apparition des situations redoutées ou d'en limiter les conséquences ;
  - ✓ limiter les rejets massifs dans un scénario d'accident qui n'aurait pas pu être maîtrisé ;
  - ✓ permettre d'assurer la gestion d'une crise ;
- évaluer la robustesse de ces dispositions vis-à-vis des situations extrêmes pouvant conduire à ces situations redoutées :
  - ✓ situations extrêmes à prendre en compte :
    - séisme, inondation, autres phénomènes naturels, cumuls d'agressions ;
    - perte des alimentations électriques, perte du refroidissement ;
    - agressions induites ;
  - ✓ caractérisation des niveaux d'aléas de ces situations extrêmes (niveaux d'aléas « ECS »). Ils sont définis comme des aléas nettement supérieurs à ceux retenus pour les domaines de dimensionnement ;
  - ✓ dimensionnement des systèmes, structures et composants (SSC) aux niveaux d'aléas « ECS » ;
- définir les modalités de gestion de crise sur tout le site. Il s'agit des actions et des dispositions prévues pour gérer les situations redoutées en cas de situations extrêmes sur le site. C'est également à ce niveau que sont étudiées les agressions induites par les installations environnantes qui pourraient impacter les dispositions retenues pour la gestion de crise ;
- prendre en compte les facteurs organisationnels et humains, ainsi que le recours aux prestataires. Il s'agit de préciser le rôle des différents acteurs amenés à intervenir en cas de crise, leur suivi ainsi que les moyens et procédures mis en place.

3.2.3.4 Évaluation des conséquences radiologiques

<u>Évaluation de l'impact radiologique en fonctionnement normal et dégradé</u>

L'estimation des doses reçues par la population est réalisée avec des hypothèses aussi réalistes que possible (modalités de rejets, conditions météorologiques, débit de cours d'eau…). Elle est effectuée pour un ou des groupes de référence pour trois classes d'âge (nourrisson, enfant et adulte) et en considérant les différentes voies de transfert des substances radioactives (rejets liquides et rejets gazeux).

Les voies de transfert à considérer sont :

- l'irradiation externe ;
- l'incorporation de radionucléides avec indication de leur nature et, au besoin, de leurs états physique et chimique.

Évaluation des conséquences radiologiques des incidents et accidents

Les situations incidentelles et accidentelles de dimensionnement sont étudiées avec des hypothèses considérées comme « enveloppes » en termes de conséquences (radiologiques, physiques et chimiques). Cette exigence a pour but de :

- garantir que les situations « enveloppes » retenues couvrent l'ensemble des situations de même type (même conditions, même évènement initiateur) susceptibles d'être rencontrées ;
- disposer de marges de sûreté vis-à-vis des critères à respecter pour couvrir les incertitudes liées à la phénoménologie des évènements impliqués.

L'évaluation des conséquences est conduite en appliquant le critère de défaillance unique. Elle est effectuée :

- pour les travailleurs : les doses efficaces associées aux rejets de substances radioactives sont évaluées en prenant en compte l'exposition par le panache (irradiation externe et inhalation) ;
- pour le public : idem travailleurs ;
- pour le groupe de référence : pour ce type de population, les doses efficaces associées aux rejets de substances radioactives sont évaluées en prenant en compte l'exposition par le panache (irradiation externe et inhalation), l'exposition externe due au dépôt et à l'ingestion de produits contaminés.

Évaluation des conséquences radiologiques des situations de dimensionnement du PUI

Les situations de dimensionnement du PUI sont étudiées avec des hypothèses d'études « réalistes ». Elles permettent de vérifier la robustesse de l'installation et de compléter éventuellement les dispositions prises dans le cadre du dimensionnement pour qu'en cas d'accidents rares mais graves les conséquences soient limitées dans le temps et dans l'espace. Cependant, un conservatisme peut être nécessaire pour les paramètres les plus prépondérants dans le déroulement de l'accident.

Évaluation des conséquences radiologiques des situations extrêmes

Comme pour les situations de dimensionnement du PUI, les situations extrêmes sont étudiées en prenant en compte des hypothèses d'études « réalistes » avec des aléas naturels extrêmes dépassant les niveaux considérés dans les situations précédentes, cumulés avec la perte postulée de certaines utilités.

3.2.3.5 Évaluation des conséquences non radiologiques

L'intensité des phénomènes dangereux non radiologiques est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile pour les hommes et les structures. Les valeurs de référence utilisées sont celles figurant à l'annexe II de l'arrêté du 29 septembre 2005 (24).

L'analyse de risques des locaux dans lesquels sont entreposés ou manipulés des substances dangereuses permet de définir les éventuels scénarios pouvant conduire à des phénomènes dangereux.

Des évaluations d'impact sur les personnes susceptibles d'être exposées pour les scénarios définis sont alors menées afin de s'assurer que l'intensité des phénomènes dangereux ne dépasse pas les seuils des effets irréversibles pour l'homme (Cf. annexe II de l'arrêté du 29 septembre 2005) :

- SEI pour les effets toxiques ;
- 50 mbar pour les effets de surpression ;
- 3 kW/m^2 pour les effets thermiques.

3.2.4 Établissement des éléments et activités importants pour la protection (EIP/AIP)

3.2.4.1 Définition des EIP, AIP

- ***EIP***

L'arrêté INB du 7 février 2012 fixe les règles pour la prise en compte des risques et inconvénients que présente l'INB vis-à-vis de la protection des intérêts. Les risques concernent le fonctionnement accidentel de l'installation qu'ils soient de nature radiologique ou non, les inconvénients sont eux définis pour le fonctionnement normal ou dégradé.

La maîtrise des risques et des inconvénients conduit à définir trois types d'éléments importants pour la protection (EIP) :

- les EIP liés aux accidents radiologiques identifiés sur la base des études du rapport de sûreté de l'INB ;
- les EIP liés aux risques accidents non radiologiques identifiés sur la base des études du rapport de sûreté de l'INB ainsi que des études de danger de l'installation ;
- les EIP liés aux inconvénients identifiés sur la base de l'étude d'impact ou imposés par des arrêtés et décisions de rejet.

Les EIP associés aux risques radiologiques et non radiologiques sont identifiés au sein des éléments pris en compte dans la démonstration de sûreté nucléaire :

- participant directement à la réalisation et au maintien d'une fonction de protection ou à son contrôle, y compris les éléments supports à ces derniers (c'est-à-dire les éléments permettant d'assurer leur fonctionnement, par exemple l'alimentation électrique, les fluides...). Leur identification se base sur l'étude des scénarios incidentels et accidentels qui met en évidence des dispositions techniques et/ou organisationnelles pour maîtriser les risques identifiés ;
- ne participant pas directement à une fonction de protection mais dont la défaillance conduit à la perte d'une fonction de protection. Leur identification est issue de l'analyse des défaillances qui recense l'importance d'une structure, d'un équipement ou d'un matériel comme initiateur d'incident ou d'accident. La sélection se fait sur les conséquences directes engendrées par la défaillance de l'élément.

Il convient également d'ajouter les éléments qui assurent la protection des éléments déterminés précédemment ou dont la défaillance peut les agresser ou les endommager.

Les EIP liés aux inconvénients sont identifiés, de manière proportionnée aux inconvénients, parmi les dispositions permettant :

- de respecter les exigences et les limites réglementaires. Les données utilisées pour réaliser cette identification sont présentées dans l'étude d'impact (mesures d'évitement et de réduction) ainsi que dans les textes réglementaires associés aux autorisations de rejets et de prélèvements d'eau et aux nuisances ;
- de détecter tout dépassement des limites réglementaires ;
- d'arrêter une situation anormale.

Les éléments supports aux EIP liés aux inconvénients sont également retenus.

Les exigences définies liées aux EIP sont les exigences assignées à ces éléments afin qu'ils remplissent, avec les caractéristiques attendues, la(les) fonction(s) attendue(s) vis-à-vis de la protection des intérêts. Ainsi, les exigences définies sont décrites en termes de performances et/ou de fiabilité :

- dans les conditions d'ambiance dans lesquelles l'EIP assure sa fonction (en fonctionnement normal, dégradé, incidentel et accidentel) ;
- en prenant en compte les sollicitations subies par l'EIP dans les conditions (normales, dégradées, incidentelles ou accidentelles) dans lesquelles il doit remplir sa fonction.

- ***AIP***

Parmi les activités importantes pour la protection (AIP), on distingue :

- les AIP liées aux EIP : il s'agit des dispositions d'étude, de conception, d'essais, de suivi en service, de contrôle et d'essai périodiques, et de maintenance, associées à la qualification de l'ensemble des EIP ;
- les AIP non liées à des EIP mais participant à la démonstration de la protection des intérêts. On peut citer, à titre d'exemple, les activités de surveillance de l'environnement, de traitement des écarts, de gestion de modifications de l'installation.

Les activités importantes (AIP) pendant l'exploitation vis-à-vis des éléments importants pour la sûreté après fermeture (EIP) des actions de contrôles et surveillance.

Dans le cas particulier de Cigéo, afin de respecter l'objectif fondamental de protection de l'homme et l'environnement à long terme qui s'appuie sur le rôle fondamental du Callovo-Oxfordien (5), il convient aussi d'identifier les actions de contrôle et de surveillance à mettre en œuvre dès la construction puis la phase d'exploitation de Cigéo.

Les éléments importants pour la phase après fermeture sont identifiés au stade de l'avant-projet dans le DOS-AF ainsi que les activités à mettre en œuvre. On peut citer à titre illustratif le besoin de contrôler l'intensité et l'extension des perturbations apportées par les opérations de creusement, de mise en stockage et les éventuels accidents susceptibles de modifier in fine les propriétés de transport et de rétention dans le Callovo-Oxfordien.

3.2.4.2 Qualification des EIP

L'article 2.5.1 de l'arrêté du 7 février 2012 précise que les EIP doivent faire l'objet d'une qualification permettant de garantir le respect des exigences définies (exigence assignée à un EIP afin qu'il remplisse avec les caractéristiques attendues la fonction prévue dans la démonstration de sûreté nucléaire). Cette qualification pour Cigéo sera assurée aussi longtemps que nécessaire à la démonstration de la protection des intérêts.

Ainsi, pour chaque EIP, la démarche de qualification est basée sur :

- une qualification initiale de l'EIP. Il s'agit des dispositions d'études, de construction et d'essai permettant de démontrer le respect des exigences définies ;
- une vérification de la pérennité de la qualification initiale. Il s'agit des dispositions de suivi en service, de contrôle et de maintenance suite à la mise en fonctionnement de l'élément.

Certaines activités liées à la qualification des EIP sont considérées comme des AIP. Dans le cas d'éléments passifs ne pouvant pas faire l'objet de dispositions de maintenance et de contrôle (impossibilité d'accès par exemple), la qualification initiale de l'EIP apportera, avec un degré de confiance suffisant pendant la durée nécessaire définie dans la démonstration, la garantie du respect des exigences définies.

3.2.5 Méthodes et outils pour la démonstration de sûreté

Les méthodes spécifiques sont présentées pour chaque risque (criticité, manutention…) dans les chapitres concernés du volume III du présent document. De façon générale, l'Andra applique les dispositions de l'arrêté du 7 février 2012, notamment celles de l'article 3.8 relatif aux données, méthodes et outils de calcul et de modélisation. Les maîtres d'œuvre système et sous-systèmes appliquent ces dispositions qui leur sont rendues applicables par contrat.

3.3 Fonctions de sûreté

Les cinq fonctions de sûreté ci-dessous applicables à Cigéo pendant toute la durée d'exploitation doivent être maintenues dans toutes les situations incidentelles ou accidentelles d'origine interne ou externe ou a minima rétablies dans des délais compatibles avec les objectifs de protection des personnes et de l'environnement retenus pour Cigéo :

- confiner les substances radioactives, de manière à se prémunir contre le risque de dispersion de ces substances ;
- protéger les personnes contre l'exposition aux rayonnements ionisants ;
- maîtriser la sûreté vis-à-vis du risque de criticité ;
- évacuer la puissance thermique des déchets ;
- évacuer les gaz formés par radiolyse afin de gérer les risques d'explosion.

Pendant la période d'exploitation, l'atteinte des objectifs de protection des personnes (travailleurs et public) et de l'environnement repose sur la maîtrise des risques induits par la radioactivité des déchets. Cette maîtrise des risques est obtenue par l'accomplissement des fonctions de sûreté nucléaire précitées qui s'appliquent à toutes les opérations pendant la phase exploitation. Ces fonctions de sûreté et les principes associés sont déclinés ci-après :

Confiner les substances radioactives, de manière à se prémunir contre le risque de dispersion de ces substances

Le risque de dispersion de substances radioactives dans les installations de Cigéo découle de l'éventualité d'une dissémination des substances radioactives contenues dans les colis de déchets lors des opérations de réception, de manutention, de conditionnement, de transfert et de mise en stockage de ces colis. La conception des colis, des installations et des processus d'exploitation permet de maintenir un niveau de contamination aussi faible que possible dans les locaux de l'installation et limiter les rejets de substances radioactives à l'extérieur de l'installation afin d'assurer la protection du personnel, du public et de l'environnement pendant toutes les situations de fonctionnement.

La maîtrise du risque de dispersion consiste à interposer différentes barrières de confinement entre l'environnement et les substances radioactives (conformément à l'article 3.4 de l'arrêté du 7 février 2012 (16). Les principes suivants sont retenus :

- en fonctionnement normal, la conception des colis, des installations et des procédés d'exploitation permet de maintenir un niveau de contamination aussi faible que possible dans les installations et limiter les rejets de substances radioactives à l'extérieur de l'installation ;
- en situations incidentelles ou accidentelles, la conception vise à limiter les conséquences radiologiques pour le personnel, le public et l'environnement en évitant le contact avec des substances et particules radioactives non confinées ;
- par ailleurs, et au-delà des mesures prises pour prévenir tout accident, en cas de dissémination potentielle de substances radioactives, les dispositions en termes de mitigation de ces risques consistent également à définir des dispositions permettant de confiner l'activité potentiellement relâchée au plus près de la source d'émission dans des zones conçues spécifiquement de manière à contenir ou à défaut de canaliser et filtrer les éventuels rejets radioactifs.

Le respect de ces principes est traduit par le choix d'options techniques et sûreté pour Cigéo selon les règles suivantes :

- mise en place de deux barrières de confinement indépendantes pour les situations normales de fonctionnement ;
- maintien d'au moins une barrière de confinement pour les situations incidentelles et accidentelles de fonctionnement.

Protéger les personnes contre l'exposition aux rayonnements ionisants

Au-delà du respect des objectif de radioprotection définis en section 3.4, la conception des installations de Cigéo se fait suivant la démarche d'optimisation de la radioprotection, appelée principe ALARA pour « As Low As Reasonably Achievable », selon le principe introduit par la CIPR et repris dans les articles R.4451-10 du code du travail et L.1333-1 du code de la santé publique. Cette démarche d'optimisation de la radioprotection permet, après avoir caractérisé les risques d'exposition, d'évaluer les performances des « options » de radioprotection (procédés, dispositions techniques) et de sélectionner celles à mettre en œuvre, compte tenu de l'exposition mais également d'autres facteurs comme les implications pour la sûreté et la sécurité, l'impact environnemental, etc.

Le dimensionnement et l'évaluation des mesures de protection radiologique dans les installations de Cigéo sont réalisés selon la « Méthodologie pour la conception et le dimensionnement des moyens de protection » préconisée par l'Andra. Cette méthodologie s'appuie sur le retour d'expérience des pratiques actuelles mises en œuvre pour la conception des installations nucléaires de base.

Maîtriser la sûreté vis-à-vis du risque de criticité

A la conception, les dispositions constructives (maîtrise de la géométrie et de la masse) sont privilégiées par rapport à des consignes d'exploitation afin de réduire le risque lié au facteur humain et organisationnel. Les critères retenus sont les suivants :

- keff + $3\sigma \leq 0{,}95$ en situation normale ;
- keff + $3\sigma \leq 0{,}97$ en situations incidentelles et accidentelles.

Évacuer la puissance thermique des déchets

Pour protéger les opérateurs d'un risque de brûlure pendant la période d'exploitation et de réversibilité, la température des parois chaudes accessibles doit être limitée à 50°C.

Pour protéger le matériel électronique assurant ou surveillant des fonctions de sûreté, on retient d'une manière générale que la température ambiante de l'air dans les locaux en contenant ou a minima autour des équipements électroniques ne doit pas dépasser 50°C. Cette limite pourra être révisée au cas par cas en tenant compte des équipements utilisés ou des conditions particulières de mises en œuvre (notamment dans les alvéoles HA de stockage).

Par ailleurs, l'installation souterraine est conçue de façon à ce que l'évacuation de la chaleur dégagée par les colis de déchets placés dans les alvéoles de stockage puisse s'effectuer par conduction passive dans la roche, dès la mise en stockage des déchets. En exploitation, cela concerne en particulier les critères de température liés :

- au maintien des propriétés mécaniques des bétons (température maintenue inférieure à 65°C en fonctionnement normal (permanent) et à 80°C en situation incidentelle) ;
- à la maîtrise du comportement des radionucléides dans le cas d'alvéole de stockage de déchets non ou peu exothermiques (température inférieure à 70°C en permanence) ;
- à la protection des argilites (température inférieure à 90°C).

La conception des soutènements devra tenir compte de la durée pendant laquelle les bétons de soutènement/revêtement seront soumis à ces températures pour limiter le risque de dégradation de ces bétons.

Dans certaines galeries et zones, la présence d'équipements sensibles à la température (capteurs, matériel électronique embarqué ou fixe…) nécessitera de retenir des critères vis-à-vis de la température correspondant à leur domaine d'utilisation.

Évacuer les gaz formés par radiolyse afin de gérer les risques d'explosion

La radiolyse des déchets génère des gaz. Il s'agit principalement d'hydrogène.

Lorsque des substances susceptibles de former un mélange explosif sont des gaz ou des vapeurs inflammables, leur concentration doit être maintenue à la plus faible valeur possible.

Dans le cas de l'hydrogène, la limite inférieure d'explosivité (LIE) est de 4 %. Afin d'éviter de dimensionner les équipements et/ou les installations à l'explosion, l'Andra retient pour le dimensionnement de Cigéo et son exploitation une marge par rapport à la LIE et se fixe comme objectifs :

- de maintenir en fonctionnement normal, un régime de ventilation turbulent afin d'éviter la création de zones mortes (zones potentielles d'accumulation d'hydrogène) dans les alvéoles de stockage ;
- de rester toujours inférieur à :
  - ✓ 25 % de la limite inférieure d'explosivité (LIE) dans l'ensemble des installations (1 % d'hydrogène) en fonctionnement normal ;
  - ✓ 75 % de la LIE (soit 3 % d'hydrogène) en situations incidentelles et accidentelles.

3.4 Objectifs de radioprotection

L'Andra s'appuie sur les recommandations édictées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) applicables aux stockages de déchets radioactifs. Le principe d'optimisation sous contrainte de dose, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux (ALARA), s'applique à la protection des personnels et du public vis-à-vis des rayonnements ionisants pendant l'exploitation de Cigéo. Les notions de dose, utilisées dans le cadre de la protection contre les rayonnements, sont définies dans le Code de la santé publique (R. 1333-8 et R. 1333-10) (25) (26).

Il est considéré trois types de population :

- les travailleurs classés : il s'agit des personnes exerçant une activité en zone réglementée (du point de vue de la radioprotection). Ils peuvent ainsi être à considérer à proximité immédiate d'un évènement radiologique ;
- le public/travailleurs non classés : il s'agit des personnes susceptibles d'être présentes à proximité de l'INB (public) lors d'un éventuel évènement survenant sur l'INB (ex : bâtiment d'accueil du public, promeneur à la clôture) ou travaillant sur l'INB (travailleurs non classés). Les visiteurs et les travailleurs non classés ne sont pas à considérer dans les évaluations des conséquences d'un évènement si des dispositions sont prises afin d'éviter leur présence lors des opérations les plus à risques ou, dans le cas contraire, si des mesures de protection sont mises en place en cas d'évènement ;
- le groupe de référence : il s'agit d'un groupe d'individus dont l'exposition à une source est assez uniforme et représentative de celle des individus qui, parmi la population, sont plus particulièrement exposés à la dite source (Code de la santé publique - annexe 13-7).

Les objectifs de protection pour Cigéo en situations normales et dégradées, ainsi que ceux retenus pour les situations incidentelles et accidentelles sont présentés dans le Tableau 3.4-.

Tableau 3.4-1 Objectifs de protection vis-à-vis des risques radiologiques

	Travailleur classé en zone réglementée	**Public/groupe de référence et environnement**
Situations normale et dégradée	ALARA dose < 5 mSv / an	Absence de rejets non concertés Rejets concertés suivant autorisations de rejets dose < 0,25 mSv / an
Situations incidentelles	ALARA dose < 20 mSv / an	Dose inférieure à la valeur de la réglementation (< 1mSv / an)
Situations accidentelles	limitation des doses des travailleurs prise en compte des contraintes liées à la situation post-accidentelle	Dose < 10 mSv (intégrée sur 50 ans) Absence de nécessité de mesures de protection du public
Situations de dimensionnement du PUI	Pas d'effet de falaise	
		Mesures de protection du public limitées dans le temps et l'espace

3.5 Management de la sûreté

3.5.1 L'organisation du management de sûreté dans le système de management intégré (SMI)

L'Andra a mis en place un système de management répondant aux exigences des normes ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001. Ce système de management intégré répond à l'exigence de protection des intérêts visés par l'article L.593-1 du code de l'environnement. Le système de management de l'Andra doit démontrer « son aptitude à fournir régulièrement un produit ou service conforme aux exigences des clients et aux exigences légales et réglementaires applicables, et vise à accroître la satisfaction de ses clients ».

Le système de management de l'Andra s'applique au projet Cigéo. De plus, un plan de management du projet Cigéo a été établi pour la phase d'étude d'avant-projet. Il définit les règles applicables pour l'organisation, la conduite et la gestion du projet en phases études, notamment pour ce qui concerne la gestion de la maîtrise d'œuvre système et sous-systèmes. Les principales dispositions retenues pour s'assurer que les exigences relatives à la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement sont systématiquement prises en compte dans toute décision concernant Cigéo sont décrites dans les paragraphes suivants.

L'Andra a établi la spécification de management de la maîtrise d'œuvre système, qui prescrit les exigences auxquelles les fournisseurs doivent se conformer pour les activités de conduite, d'organisation et de gestion du projet. Les analyses de sûreté et les études de conception des éléments importants pour la protection des intérêts visés par l'article L.593-1 du code de l'environnement ont été classées « activités importantes pour la protection ». La démarche d'identification des éléments importants pour la protection a fait l'objet d'un document dédié et rendu applicable à toutes les maîtrises d'œuvre (système et sous-système).

En réponse, le maître d'œuvre système a élaboré un plan de sûreté nucléaire qui définit l'organisation mise en place pour la réalisation des activités importantes pour la protection et décrit les processus relatifs au management de la sûreté. La maîtrise d'œuvre système a décliné une spécification de management aux maîtrises d'œuvre sous-système avec les exigences en termes de management de la sûreté. Chaque maîtrise d'œuvre sous-système a également établie un plan de sûreté nucléaire. Ces documents précisent notamment l'organisation retenue par le maître d'œuvre sous-système pour la réalisation des activités importantes pour la protection.

Par ailleurs, le maître d'œuvre système a, dans son plan de sûreté nucléaire, précisé les méthodes à utiliser pour réaliser les études de sûreté et rappelé, lorsque les méthodes ne sont pas imposées, l'exigence de qualification et de validation des codes de calculs. Dans ce cas, la procédure de qualification et les enregistrements correspondants sont à la disposition du projet. En réponse, les maîtres d'œuvre sous-système ont précisé les dispositions mises en œuvre pour justifier du respect de ces exigences dans leurs plans de sûreté nucléaire.

3.5.2 La maîtrise des exigences

En 2011, l'Andra a rassemblé l'ensemble des exigences applicables au projet Cigéo organisées par fonctionnalités attendues de Cigéo (stocker, sûreté, réversibilité, contrôles...). Elles se fondent sur le retour d'expérience des dossiers 2005 et 2009 et de leur évaluation, ainsi que sur les pistes d'optimisation identifiées.

Ainsi, pour le lancement des études visant à élaborer un avant-projet de Cigéo, l'Andra a consolidé sous la forme d'exigences applicables au projet :

- les exigences issues des textes réglementaires, des guides de sûreté directement applicables à Cigéo (cas du guide de sûreté ASN 2008) et de référentiels bâtis par l'Andra en adaptant les textes et pratiques non directement applicables à Cigéo (cas du référentiel incendie), des besoins et recommandations exprimés par les clients et parties prenantes du projet (Etat, producteurs de déchets, évaluateurs, acteurs locaux) ainsi que la demande sociale et politique de réversibilité ;
- les résultats des études et recherches menées depuis 1991 ; il s'est agi notamment de traduire les objectifs de sûreté sur le long terme en options de conception constituant des données d'entrée pour les études confiées aux maîtrises d'œuvre et pour les essais technologiques.

Pour la sûreté d'exploitation, les exigences sont globalement similaires à celles des installations nucléaires de base, mais prennent en considération le caractère particulier de l'installation de stockage Cigéo (longueurs des liaisons et des galeries, coexistence de travaux souterrains et d'exploitation nucléaire, durée séculaire d'exploitation, conditions d'intervention et d'évacuation particulières…).

Les exigences applicables exprimées dans un document dédié sont ensuite traduites en spécifications techniques de besoin pour la conception de Cigéo.

La vérification de la prise en compte des exigences relatives à la protection des intérêts visés par l'article L.593-1 du code de l'environnement constitue une partie du contrôle de la conception. Ce contrôle est réalisé de façon continue dans le cadre de la gestion des performances du projet, pilotée par le responsable ingénierie système. Le contrôle de la conception est également réalisé à l'occasion de réunions d'avancement du projet. Il est renforcé par les revues de projet prévues à chaque fin de phase.

Les activités importantes pour la protection réalisées par les maîtres d'œuvre sous-système font l'objet d'un contrôle technique et de vérifications par sondage par le maître d'œuvre système. Ce dernier établit un programme de contrôles techniques et de vérifications et est chargé de la réalisation de ce programme.

Par ailleurs, le maître d'œuvre système fait l'objet d'un programme de surveillance réalisé par l'Andra et les activités des maîtres d'œuvre sous-système sont surveillées par le maître d'œuvre système, avec la participation de l'Andra. L'organisation en matière de surveillance des prestataires sera présentée dans l'esquisse de la notice des capacités techniques et financières.

3.5.3 Un processus de revues internes et externes

En plus d'un processus de revue des exigences comme mentionné en section 6.2, l'Andra a mis en place un système de revues internes dédiées à l'analyse des données, modèles et choix de sûreté à retenir pour les évaluations de sûreté. Ces revues permettent de valider les justifications des choix proposés.

Institué par décret le conseil scientifique de l'Andra est chargé d'émettre des avis et recommandations sur les priorités des recherches menées par l'Andra et d'en évaluer les résultats, notamment en regard des enjeux d'acquisition ou d'utilisation des connaissances scientifiques et technologiques pour la conception et la sûreté du système de stockage. Il est composé d'experts nommés par les ministères de tutelles de l'Agence. A ce titre, le Conseil scientifique a examiné systématiquement tout ou partie des dossiers antérieurs.

En complément, l'Andra s'est attachée à soumettre certains travaux de conception et de sûreté à une évaluation indépendante dès que cela lui parait pertinent. A ce titre, depuis 2012, elle a mis en place un comité de sûreté faisant intervenir des experts externes de sûreté. De plus, le développement de Cigéo fait l'objet d'un processus de revues de conception à chaque étape clé (esquisse, avant-projet sommaire, avant-projet détaillé...) faisant aussi intervenir des experts externes.

Instaurée par la loi du 30 décembre 1991, la Commission nationale d'évaluation évalue la qualité des travaux de l'Andra et produit un rapport annuel dans lequel elle émet un avis sur ces travaux. Ces avis et recommandations constituent des données d'entrées pour affiner les priorités du programme de recherche.

Dans le cadre du processus de développement du projet Cigéo, depuis 1991, l'Andra a soumis à l'Autorité de sûreté nucléaire plusieurs dossiers intermédiaires, des avis et recommandations ont été formulés en vue de la demande d'autorisation. L'Autorité de sûreté effectue également des « visites de surveillance », notamment sur le CMHM, au cours desquelles elle porte une appréciation sur la qualité de travaux en cours en particulier dans le laboratoire souterrain.

Enfin, afin de vérifier la cohérence au regard des pratiques internationales, à la demande des ministères de tutelle de l'Andra, deux revues par les pairs ont été organisées respectivement en 2002 et 2005 par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE. A la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire, une revue est programmée en 2016 sous l'égide de l'AIEA.

3.5.4 Intégration des facteurs humains et organisationnels (FSOH)

3.5.4.1 Cadre et principes du management des FSOH de Cigéo

Les principes suivants sont retenus pour les études de FSOH :

- développer une culture d'entreprise commune ;
- faire de la sécurité une priorité ;
- fournir un travail qui fasse sens ;
- permettre à chacun de situer sa contribution dans le processus global ;
- inscrire le travail dans une perspective temporelle adéquate ;
- minimiser la pénibilité du travail ;
- valoriser le temps opérationnel.

Ces principes, corrélés entre eux et déclinés, fournissent les critères, enjeux et conséquences à considérer, lors de la plupart des choix opérés au sein du projet en matière d'organisation du travail, d'ergonomie des postes de travail, d'interfaces homme-machine, de politiques de recrutement et de formation, etc.

Outre la déclinaison systématique de ces principes, la caractérisation des choix et exigences de FSOH s'appuie sur :

- la sélection d'un noyau normatif FSOH à la fois générique et propre au secteur nucléaire ;
- l'exploitation de retours d'expériences (REX) génériques et particuliers au nucléaire.

3.5.4.2 Noyau normatif pris en compte

Une large partie des exigences FSOH trouve sa source dans les normes proprement dites et les guides à caractère normatif. Ces recueils de normes et guides d'ergonomie/FSOH couvrent les domaines d'application suivants :

- conception des machines et postes de travail : principes généraux, dimensions et postures corporelles, interface homme-machine, efforts physiques et port de charges, signaux de danger, surfaces chaudes ;
- facteurs d'ambiance et à l'environnement de travail : ambiance lumineuse, ambiance thermique, dimension des ouvertures de passage du corps, dimension des orifices d'accès ;
- centres (salles) de commandes ;
- espaces de travail en bureaux ;
- ergonomie du logiciel.

Les sources qui éditent des recommandations et des guides pratiques dans les domaines FSOH et ergonomie ainsi que les documents retenus comme applicables à Cigéo dit noyau normatif (car ne reprenant pas les documents réglementaires) sont présentés en annexe 4.

Lors de la phase d'APD, il sera vérifié la bonne prise en compte des aspects FSOH dans Cigéo.

VOLUME II PRESENTATION DES COLIS, DE L'INSTALLATION ET DE SON ENVIRONNEMENT

1

Les colis de déchets MA-VL et HA

1.1 La provenance des déchets et la nature des familles de déchets 66
1.2 Les familles de colis de déchets MA-VL 69
1.3 Les familles de colis de déchets HA 75
1.4 Les colis de stockage MA-VL 77
1.5 Les colis de stockage HA 89
1.6 Les caractéristiques des colis retenues pour la conception et les études de sûreté - Domaine de fonctionnement 97

1.1 La provenance des déchets et la nature des familles de déchets

Dès le début des recherches sur le stockage en couche géologique profonde des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, l'Andra et les producteurs de déchets ont convenu d'établir un identifiant unique[20] pour chaque famille de colis HA et MA-VL.

Par définition, une famille de colis représente un ensemble de colis présentant des caractéristiques (notamment procédé de fabrication, contenu chimique et radiologique, puissance thermique, niveau d'irradiation) similaires, au regard des utilisations qui sont faites de ces caractéristiques. Les familles utilisées dans le cadre du projet Cigéo sont ainsi plus nombreuses et plus détaillées que celles utilisées dans le cadre de l'Inventaire national, car le niveau de précision requis n'est pas le même pour ces deux exercices. Toutefois, chaque famille de colis utilisée dans le cadre du projet Cigéo appartient dans sa totalité à une même famille de l'Inventaire national.

Les principales sources de production des déchets sont les suivantes :

- les réacteurs nucléaires de production d'électricité de générations successives :
  - ✓ la première génération correspond à 9 réacteurs de la filière « Uranium Naturel-Graphite-Gaz (UNGG) » répartis sur le site du CEA de Marcoule et sur les sites EDF de Chinon, Bugey et Saint-Laurent et aujourd'hui arrêtés ;
  - ✓ la deuxième génération correspond à la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) actuellement en cours d'exploitation. Elle est constituée de 58 réacteurs en fonctionnement répartis sur 19 sites ainsi que du réacteur en démantèlement Chooz A, premier réacteur de la filière REP ;
  - ✓ la troisième génération correspond au réacteur EPR (European Pressurized water Reactor) en cours de construction sur le site de Flamanville appartenant également à la filière des réacteurs à eau pressurisée.

Il s'y ajoute des réacteurs prototypes aujourd'hui arrêtés : réacteur à eau lourde de Brennilis (EL4), réacteurs à neutrons rapides (RNR) Phénix et Superphénix.

- les usines du cycle du combustible : l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible nucléaire, ainsi que le retraitement de celui-ci à l'issue de son utilisation dans les réacteurs, s'effectuent dans différentes installations exploitées par le groupe AREVA. Le retraitement consiste à séparer les matières valorisables, uranium et plutonium, des déchets, composés d'une part des produits de fission et des actinides mineurs (américium, curium, neptunium) contenus dans les pastilles de combustible et d'autre part des éléments de structure constituant l'ossature métallique des assemblages combustibles ;
- les installations du CEA : pour conduire les recherches qu'il mène notamment en soutien au programme électronucléaire français, sur la conception de systèmes nucléaires de nouvelle génération ou encore sur la gestion des déchets radioactifs, le CEA s'appuie sur de nombreuses installations (réacteurs expérimentaux tels que le prototype de réacteur à neutrons rapides Rapsodie ou les réacteurs Orphée et Osiris, laboratoires d'études sur les combustibles ou l'aval du cycle, notamment l'installation Atalante…) situées principalement sur les sites de Cadarache, Saclay et Marcoule. Ces sites disposent aussi d'installations support (entreposages de déchets, installations de traitement de déchets et d'effluents). Certaines de ces installations sont aujourd'hui arrêtées et en cours d'assainissement-démantèlement ;
- les nouvelles installations ayant obtenu leur décret d'autorisation de création : en plus de l'EPR de Flamanville, l'inventaire de Cigéo prend en compte le réacteur expérimental Jules Horowitz (RJH), le Réacteur d'essais (RES) et l'installation ITER de Cadarache.

[20] Les identifiants des familles de colis de déchets se présentent sous la forme d'un groupe de 3 ou 4 lettres définissant le producteur des colis suivi d'un numéro à 3 ou 4 chiffres (par exemple CEA-050, EDF-080 ou ITER-010).

1.1.1 Hypothèses retenues pour l'inventaire des déchets

Pour établir un inventaire qualitatif et quantitatif pour Cigéo, le scénario industriel d'exploitation des installations nucléaires retenu dans le programme industriel de gestion des déchets (PIGD (27)) établi conjointement par l'Andra et les producteurs de déchets est le suivant :

- en ce qui concerne le parc électronucléaire, ce scénario suppose la poursuite de la production électronucléaire avec retraitement de tous les combustibles usés des REP et RNR électrogènes (Phénix, Superphénix). La durée de fonctionnement prise conventionnellement en référence pour tous les réacteurs, y compris le réacteur EPR de Flamanville, est de 50 ans. Cette durée de 50 ans est à voir comme une moyenne indicative, une durée de fonctionnement moindre de certains réacteurs pouvant en effet compenser, du point de vue des déchets produits, une durée de fonctionnement supérieure pour d'autres ;
- ce scénario ne préjuge pas des résultats du réexamen décennal de sûreté des réacteurs REP, ni des modalités liées, le cas échéant, à l'allongement de la durée de fonctionnement de ces réacteurs au-delà des 50 ans pris en référence et/ou au renouvellement éventuel du parc par un déploiement de réacteurs de troisième génération (EPR) et/ou par des réacteurs de quatrième génération. Il considère que les matières (uranium et plutonium) non valorisées dans les 58 réacteurs REP actuels et l'EPR de Flamanville pourront l'être dans des installations futures. Les déchets produits par un éventuel futur parc de réacteurs ne sont pas pris en compte.

En ce qui concerne les installations nucléaires liées aux activités de retraitement du combustible (usines AREVA), le scénario retenu considère que, par convention, elles adaptent leur durée de fonctionnement à celle du parc électronucléaire. Pour les installations de recherche (réacteurs et laboratoires CEA), actuellement en exploitation[21], leur durée de fonctionnement est supposée être de 50 ans. La durée de fonctionnement du réacteur Jules Horowitz est supposée être de 50 ans, celle de l'installation ITER de 20 ans.

1.1.2 Répartition des familles de colis de déchets MA-VL et HA

Une particularité des colis de déchets destinés à Cigéo est la coexistence de quatre niveaux d'avancement du processus de production des colis de déchets à ce stade et qui pourra perdurer au-delà de la demande d'autorisation de création :

- des familles regroupant des colis de déchets dont la production est terminée[22], pour lesquelles la définition du concept de stockage doit s'adapter ;
- des familles regroupant des colis de déchets en cours de production pour lesquelles le conditionnement des déchets est défini et une spécification de production des colis existe ;
- des familles regroupant des colis de déchets non encore produits à ce jour dont la définition du conditionnement des déchets est déjà bien avancée ;
- des familles regroupant des colis de déchets non encore produits à ce jour dont le conditionnement est encore à l'état de recherche.

Toutes les familles de colis de déchets destinées à Cigéo appartenant à ces quatre catégories sont répertoriées. La conception de Cigéo s'appuie en particulier sur la connaissance fournie par les producteurs sur les colis de déchets au regard des fonctions de sûreté à assurer dans les différentes situations de fonctionnement de Cigéo mais aussi au regard des risques et incertitudes en phase après fermeture.

L'avant-projet sommaire de Cigéo et les études de sûreté considèrent comme donnée d'entrée les inventaires en nombre de colis du PIGD à l'indice en vigueur, à savoir l'indice D. L'inventaire de

[21] Le terme »déchets d'exploitation » dans la suite du document correspond aux déchets provenant du fonctionnement

[22] Certaines familles font l'objet d'une spécification de production.

certaines familles fera l'objet d'une évolution dans une version ultérieure ; les inventaires de certains déchets spécifiques[23] sont d'ores et déjà pris en compte. Les enseignements des scénarios et les options de sûreté retenues ne seront donc pas impactés par une évolution du PIGD.

La notion d'état de production est liée à la famille de colis et non aux colis eux-mêmes. Il convient en outre de noter que :

- lorsqu'une famille regroupe des colis primaires déjà tous produits mais devant faire l'objet d'une mise en fût avant envoi à Cigéo (cas des bitumes de Marcoule, par exemple), la production de cette famille est considérée comme terminée ;
- lorsqu'une famille comprend des colis primaires devant faire l'objet d'un reconditionnement, d'autant plus si le conteneur primaire est défini par le producteur comme « à déterminer », la production de cette famille est considérée comme future.

Le nombre de familles de colis MA-VL est de 79. Les déchets MA-VL sont principalement des déchets de structure issus du traitement des combustibles usés (35 % des colis de déchets MA-VL), des déchets résultant du retraitement des effluents liquides des installations nucléaires (35 % des colis de déchets MA-VL) et les déchets technologiques activés (5 % des colis de déchets MA-VL) ou contaminés (23 % des colis de déchets MA-VL) issus du fonctionnement ou du démantèlement des installations nucléaires.

Le nombre de familles de colis HA est de 19. Les déchets HA sont principalement les déchets vitrifiés (99,5 % des colis de déchets HA).

1.1.3 Données d'entrée du projet relatives aux familles de colis

Les connaissances relatives aux colis destinés à Cigéo sont transmises par les producteurs à l'Andra qui les intègre dans son socle de connaissances.

L'avant-projet sommaire de Cigéo considère comme donnée d'entrée les familles de colis définies et quantifiées dans le programme industriel de gestion des déchets [PIGD] en vigueur, à savoir l'indice D. L'avant-projet détaillé de Cigéo sera mené sur la base du PIGD indice E.

Les options de sûreté se fondent sur l'identification de caractéristiques dimensionnantes permettant de prendre en compte l'ensemble des familles et de couvrir ainsi un domaine de fonctionnement. Ces caractéristiques font l'objet d'une présentation en dernière section du présent chapitre.

Toute mise à jour de la connaissance des colis de déchets transmise par les producteurs sera évaluée en regard notamment de son impact potentiel sur le dimensionnement des solutions techniques

En termes de nature de familles, seules les familles dont le conditionnement n'est actuellement pas connu pourraient faire l'objet d'évolution dans une version ultérieure[24]. La démarche mise en place par l'Andra pour établir les caractéristiques dimensionnantes et les spécifications d'acceptation, sera inchangée, et donc toute nouvelle famille éventuelle devra respecter les spécifications et ses caractéristiques devront être couvertes par les caractéristiques dimensionnantes. En termes de quantification (nombres de colis), les options de sûreté retenues ne sont pas impactées. .

1.1.4 Modalités prévisionnelles de livraison

Dans l'attente de leur expédition vers Cigéo, les colis de déchets sont entreposés sur les sites des producteurs. L'expédition des premiers colis de déchets s'effectuera pour la mise en service de Cigéo (sous réserve d'autorisation). Elle s'étalera ensuite sur toute la période d'exploitation de Cigéo, permettant de résorber progressivement les volumes entreposés.

Les colis de déchets HA1 et HA2 nécessitent en tout état de cause une phase d'entreposage préalable avant leur expédition. En effet leur activité et corollairement leur dégagement thermique doivent avoir

[23] Colis de déchets vitrifiés non conformes à leur spécification de production, CSD-RU…

[24] A noter que les quantitatifs de certains colis de déchets spécifiques (colis de déchets vitrifiés non conformes à leur spécification de production, CSD-RU …) sont d'ores et déjà pris en compte.

suffisamment décru pour qu'ils puissent être transportés et stockés. Ainsi, ils ne seront pas expédiés vers Cigéo avant 2075. Entre la mise en service de Cigéo et 2075, seuls des colis de déchets MA-VL et HA0 seront reçus sur le site.

La réception en parallèle de colis de déchets HA0 et MA-VL est envisagée dès la mise en service. Le rythme de réception de colis de déchets augmentera de manière très progressive.

Les producteurs définissent le planning prévisionnel d'expédition. Ces données présentées dans le PIGD en vigueur servent de données d'entrée à l'Andra pour la conception de Cigéo, notamment la gestion des flux, au stade d'avant-projet sommaire et seront mises à jour dans le cadre de l'avant-projet détaillé. Lors de la phase d'exploitation, un planning opérationnel d'expédition sera défini et tenu à jour. Les expéditions de convois donneront lieu à un accord de livraison délivré par l'Andra selon un processus qui est en cours d'élaboration (cf. volume II-chapitre 4).

Les options de sûreté retenues sont indépendantes des chroniques de livraison.

1.2 Les familles de colis de déchets MA-VL

1.2.1 Familles de colis de déchets de structure issus du retraitement des combustibles usés

- ***Colis de coques et embouts cimentés d'AREVA / La Hague (CEC) (COG-040)***

Pendant la période 1990-1995, les déchets de structure étaient cimentés dans des fûts en acier inoxydable, suivant la spécification 300 AQ 25 ; cette pratique a été remplacée à partir de 2002 par le compactage.

- ***Colis de déchets compactés CSD-C d'AREVA / La Hague (COG-070 COG-100, COG-110 COG-120, COG-450, COG-530, COG-540, COG-550)***

Depuis 2002, les déchets de structure des combustibles usés des réacteurs à eau pressurisée sont compactés et conditionnés en conteneurs standards de déchets compactés (CSD-C). Les colis CSD-C actuellement produits (COG-100 et COG-110) proviennent du compactage en ligne des déchets de structure résultant du traitement de combustibles UOX ainsi que de la reprise des déchets de structure entreposés sous eau dans des fûts et des déchets de structure entreposés en curseurs dans les piscines S1, S2 et S3 de La Hague. Un faible nombre de ces colis contient également des déchets solides métalliques d'exploitation compactés.

Dans les prochaines années, de tels colis seront aussi constitués à partir des déchets entreposés dans le silo de l'atelier HAO (Haute Activité Oxyde) (COG-070) ainsi que des déchets de structure résultant de traitement futur de combustibles UOX, URE, MOX en mélange (COG-120), de combustibles des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix (COG-450), des combustibles du CEA et de ceux du réacteur EL4 de Brennilis (COG-530 pour le CEA/Civil, COG-540 pour le CEA/DAM et COG-550 pour EL4).

- ***Colis de déchets de structure métalliques cimentés de Marcoule (CEA-1050)***

Cette famille regroupe les déchets de structure métalliques des combustibles, autres que ceux des réacteurs UNGG (combustibles Phénix, combustibles OSIRIS…), traités à l'usine UP1 (Marcoule). Ils se composent de différents matériaux : aluminium, acier inoxydable, alliage de nickel, alliage de zirconium-étain suivant le type de combustible considéré. Ces déchets seront repris en l'état, placés en fût de 380 litres, puis bloqués par une matrice cimentaire.

- ***Colis de déchets de structure magnésiens de Marcoule (CEA-1060)***

Les déchets de structure magnésiens sont constitués des gaines et des bouchons (ou queusots) des combustibles des réacteurs UNGG retraités sur le site de Marcoule. Ces déchets devraient être repris, conditionnés puis bloqués en fûts de 223 litres en acier inoxydable selon l'hypothèse actuellement retenue par le CEA. La définition du matériau qui sera retenu pour le blocage de ces déchets est en cours.

1.2.2 Familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des réacteurs nucléaires de production d'électricité

- ***Colis de déchets activés des réacteurs EDF hors déchets sodés (EDF-080, EDF-090)***

Ces familles regroupent des composants divers qui ont été exposés au flux de neutrons lors de leur séjour en réacteur. Elle comprend d'une part des déchets activés d'exploitation des réacteurs à eau pressurisée (REP) du parc actuel (EDF-080), d'autre part des déchets activés de déconstruction des réacteurs de première génération ainsi que des déchets de déconstruction non sodés du réacteur à neutrons rapides Superphénix (EDF-090).

- ***Colis d'aiguilles des barres de commande des réacteurs à neutrons rapides - RNR (EDF-250, CEA-380)***

Il s'agit des aiguilles de carbure de bore (B4C) qui proviennent des assemblages de commande des réacteurs à neutrons rapides Superphénix (EDF-250) d'une part, Phénix et Rapsodie (CEA-380) d'autre part. Ces aiguilles sont susceptibles de contenir du sodium résiduel qui n'aurait pas été éliminé lors des opérations de lavage des barres de commande.

- ***Colis de crayons sources primaires et secondaires des réacteurs à eau pressurisée et sources scellées usagées diverses d'EDF (EDF-110)***

Cette famille concerne les crayons sources primaires et secondaires des REP. Le mode de conditionnement des crayons sources n'est pas défini au stade actuel. L'option de référence est une mise en conteneur métallique de type CSD-C (ou équivalent) après découpe des crayons. Une option alternative consisterait à conditionner les crayons en l'état, conduisant à des colis de grande longueur (environ 4,5 m).

- ***Colis de déchets de l'AMI Chinon (EDF-120)***

La famille EDF-120 est constituée des déchets entreposés dans les puits de l'AMI (Atelier des Matériaux Irradiés) à Chinon. Ils proviennent principalement d'activités d'expertises. Ils se composent d'une grande diversité de déchets issus des filières REP et UNGG. Les modalités de conditionnement de ces déchets ne sont pas définies à ce jour.

- ***Colis de déchets activés de déconstruction (DAD) des réacteurs REP (EDF-100)***

Il s'agit des déchets qui seront produits lors du démantèlement des REP. Le scénario actuel retenu par EDF est une mise en conteneur métallique optimisé. L'installation qui permettra le conditionnement de ces déchets sera définie en lien avec la déconstruction des premières tranches REP.

1.2.3 Familles de colis de déchets d'exploitation (hors déchets bitumés) et de démantèlement des usines du cycle du combustible

- ***Colis de déchets technologiques compactés CSD-C d'AREVA / La Hague (COG-460 et COG-490)***

Le procédé de compactage mis en œuvre à La Hague pour le conditionnement des déchets de structure de combustibles usés sera aussi utilisé dans les années à venir pour conditionner en colis CSD-C certains déchets de fonctionnement et de démantèlement de l'usine UP2-400 (COG-460) et des usines UP2-800 et UP3 (COG-490).

- ***Colis de déchets solides de fonctionnement cimentés produits avant 1994 d'AREVA / La Hague (COG-050)***

La famille COG-050 correspond aux colis, produits entre 1990 et 1994, de déchets technologiques enrobés dans du ciment dans des conteneurs en amiante-ciment (CAC) et non susceptibles d'un stockage en surface.

- ***Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 d'AREVA / La Hague (COG-030, COG-480, COG-500, COG-510 et COG-520)***

La majorité des déchets technologiques solides de l'usine de La Hague dont la contamination ne permet pas d'envisager un stockage en surface est conditionnée en conteneurs béton fibres (CBF-C'2). Ces déchets sont constitués de matériaux métalliques ou organiques. Ils sont collectés dans des étuis ou des fûts métalliques ou dans des poubelles en polyéthylène, ces emballages étant ensuite bloqués à l'intérieur des CBF-C'2 au moyen de béton fibré (COG-030).

Les déchets de démantèlement des usines UP2-400 (COG-480), UP2-800 et UP3 (COG-500) de La Hague, de MELOX (COG-510) et du centre de fabrication de combustible de Cadarache (COG-520) seront bloqués par un liant hydraulique à l'intérieur d'un conteneur béton-fibres ou métallique.

- ***Colis de déchets contaminés en émetteurs alpha d'AREVA / La Hague (COG-400)***

Cette famille regroupe les colis de déchets solides essentiellement contaminés par du plutonium lors des opérations de fabrication de combustibles MOX (usine MELOX et centre de fabrication de combustible de Cadarache) ou de retraitement de combustibles (usines de La Hague). Il s'agit de déchets divers de natures métalliques (outillages, câbles...) ou organiques (gants, manches d'extraction...). Des colis de déchets issus des opérations préalables à la cessation définitive d'exploitation et au démantèlement d'installations de l'usine UP2-400 de La Hague sont également rattachés à cette famille. L'hypothèse de conditionnement précédemment retenue par AREVA était un compactage. Suite à la demande de l'ASN, AREVA étudie actuellement un conditionnement alternatif à ce compactage direct, il s'agit d'un procédé d'incinération / fusion / vitrification. Le colis correspondant est le colis PIVIC.

- ***Colis de déchets vitrifiés (CSD-B) - effluents de rinçage d'AREVA / La Hague (COG-470)***

Le conditionnement retenu pour certains effluents de moyenne activité, produits lors des opérations de rinçage effectuées dans le cadre de la mise à l'arrêt définitif de l'usine UP2-400 (COG-470), est une vitrification et un conditionnement dans des conteneurs identiques à ceux utilisés pour les déchets vitrifiés de haute activité.

- ***Colis de boues de la STE2 séchées et compactées d'AREVA / La Hague (COG 430)***

Les boues dites "STE2" sont des précipités fixant l'activité contenue dans les effluents secondaires de faible et moyenne activité de l'usine de La Hague. Elles proviennent essentiellement du fonctionnement de l'usine UP2-400 entre 1966 et 1997 et sont entreposées dans 7 silos numérotés 550-10 à 550-15 et 550-17 de l'ancienne Station de Traitement des Effluents (STE2). Le procédé actuellement retenu pour le conditionnement de ces boues est le séchage avant compactage des boues sous forme de pastilles qui seront ensuite conditionnées dans des fûts en acier inoxydable.

- ***Colis de fines et résines du silo HAO d'AREVA / La Hague (COG-440)***

La famille COG-440 regroupe les colis qui seront produits par le conditionnement des déchets de procédé de faible granulométrie (fines de dissolution/clarification, résines et quelques fines de cisaillage) entreposés dans le silo de l'atelier HAO (Haute Activité Oxyde). L'hypothèse de conditionnement actuellement retenue par AREVA est une cimentation des déchets dans des fûts en acier inoxydable.

- ***Colis de déchets solides d'exploitation de l'AVM en conteneur en acier inoxydable du CEA / Marcoule (CEA-1110)***

Cette famille regroupe les déchets solides de maintenance produits par l'Atelier de Vitrification de Marcoule (AVM) depuis son démarrage en 1980. Ces déchets (morceaux de pots de fusion, résidus de verre, outillage en acier) sont placés dans des conteneurs en acier inoxydable de géométrie identique à celle des conteneurs de verre de l'AVM.

- ***Colis de déchets de procédé du CEA/Marcoule (CEA-1040)***

Cette famille concerne des déchets de procédé d'origines diverses, liés au fonctionnement de l'usine UP1 et aux opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de l'usine : systèmes de filtration des eaux de piscines (résines échangeuses d'ions, zéolithes...), graphite pulvérulent provenant des combustibles des réacteurs de la filière Uranium Naturel-Graphite-Gaz (UNGG) et dépôts de fond de cuves issus du démantèlement d'UP1. Le conditionnement retenu à ce stade par le CEA est un enrobage des déchets dans une matrice cimentaire et la mise en fûts EIP. Ces colis seront produits d'ici à 2030.

1.2.4 Familles de colis de déchets au fonctionnement (hors déchets bitumés) et de démantèlement des installations de recherche du CEA

- ***Colis de boues ou concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique (CEA-070, CEA-100, CEA-140, CEA-150, CEA-280, CEA-310, CEA-320, CEA-1140)***

Concernant les colis déjà produits, ils résultent du conditionnement des boues de filtration ou de concentrats d'évaporation issus des stations de traitement des effluents des installations de Cadarache et de Fontenay-aux-Roses (CEA-070, CEA-100, CEA-140, CEA-150 et CEA-280) ou de Valduc (CEA-320). Les boues ont été traitées chimiquement, mélangées à du ciment, puis conditionnées en fûts métalliques en acier non allié. Les concentrats ont été enrobés dans une matrice à base de ciment et conditionnés en fûts métalliques. Certains de ces colis ont été placés dans des coques en béton ou des conteneurs en acier, de façon définitive ou non. Concernant les colis à produire, ils concernent les boues de co-précipitation issues du traitement des effluents du site de Marcoule, actuellement bitumées, qui seront dans l'avenir cimentées et conditionnées en fûts en acier inoxydable (CEA-1140).

- ***Colis de déchets bloqués dans un liant hydraulique (CEA-120, CEA-290, CEA-440, CEA-480, CEA-1090)***

Cette famille regroupe les colis de déchets solides au fonctionnement, de maintenance, d'assainissement ou de démantèlement du CEA, moyennement irradiants. Ces déchets sont conditionnés en fûts métalliques et proviennent des différents centres du CEA (Fontenay aux Roses, Saclay, Cadarache, Valduc, Marcoule…) ; ils sont essentiellement constitués de matières métalliques, cellulosiques ou plastiques, de caoutchouc, de plâtres, de peintures et de verreries.

- ***Colis de déchets du cœur du réacteur Phénix du CEA/Marcoule (CEA-360 et CEA-370)***

Les déchets du cœur du réacteur Phénix correspondent aux assemblages en acier entourant le cœur du réacteur, à une partie des protections neutroniques latérales, aux éléments qui supportent le cœur (sommier et faux-sommier) ainsi qu'aux capsules de cobalt insuffisamment irradiées pour être utilisées en tant que sources. Ces objets, qui sont irradiants, sont actuellement encore en place dans le cœur du réacteur Phénix. Ces déchets seront produits entre 2017 et 2025, mis en conteneurs d'entreposage DIADEM (sans blocage) puis entreposés dans la future installation DIADEM. Le conditionnement des déchets contenus dans les conteneurs DIADEM en vue de leur stockage reste à définir.

- ***Colis vitrifiés d'effluents de rinçage de l'AVM du CEA/Marcoule (CEA-1120)***

Les effluents produits lors des opérations d'assainissement de l'usine UP1 ainsi que certains effluents provenant d'autres sites du CEA (Valduc, Fontenay-aux-Roses, Cadarache) sont vitrifiés puis conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable de type AVM, constituant ainsi des déchets vitrifiés de faible thermicité, qui permet de les rattacher à la catégorie MA-VL. La production de ces déchets a débuté en 2009 et s'est achevée en 2012.

- ***Colis de déchets essentiellement métalliques divers à conditionner ou à reconditionner (CEA-430, CEA-1151, CEA-1152, CEA-1200)***

Les familles CEA regroupent des déchets irradiants qui ont été, sont ou seront produits par le fonctionnement, l'assainissement et le démantèlement de certaines installations du CEA. Il est prévu de placer la plupart d'entre eux en conteneurs d'entreposage DIADEM et de les entreposer dans la future installation DIADEM. Le conditionnement des déchets contenus dans les conteneurs DIADEM en vue de leur stockage reste à définir. Pour d'autres, le conditionnement reste à définir.

- ***Colis de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet (CEA-231, CEA-232)***

L'usine CEA du Bouchet (Essonne), qui a traité entre 1958 et 1970 du minerai importé, l'uranothorianite, pour en extraire de l'uranium et du thorium, a produit des résidus radioactifs : les sulfates de plomb radifères issus de la décontamination des pieds de colonne d'extraction du minerai. Ces résidus ont été conditionnés sur place en fûts métalliques puis ont subi des reconditionnements successifs.

- ***Colis de déchets métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (CEA-050, CEA-060, CEA-090, CEA-270, CEA-330, CEA-1100)***

Cette famille regroupe les colis de déchets solides de fonctionnement, de maintenance ou de démantèlement du CEA, fortement contaminés en alpha, conditionnés en conteneurs en acier non allié. Ces déchets sont constitués essentiellement de matières métalliques et plastiques. Les déchets primaires proviennent du centre de Cadarache et d'autres centres du CEA. Ils peuvent être compactés ou non puis bloqués par un matériau cimentaire dans des conteneurs.

- ***Cois de déchets bloqués dans une matrice ciment-bitume de Cadarache (CEA-080, CEA-110, CEA-300)***

Cette famille regroupe les colis de déchets solides de fonctionnement, de maintenance ou de démantèlement du CEA, faiblement irradiants, conditionnés en conteneurs en acier non allié et bloqués par un matériau à base de ciment et de bitume. Cette production est terminée depuis 1990.

- ***Colis d'effluents radioactifs vitrifiés issus du recyclage du Pu du CEA/Valduc (CEA-340)***

Le traitement de produits recyclables contenant du plutonium produit des effluents contenant de l'américium, du plutonium et de l'uranium. Ces effluents sont actuellement entreposés sur le site de Valduc. L'hypothèse retenue pour leur conditionnement est une vitrification dans une installation à construire sur le site de Valduc puis un conditionnement dans un conteneur standard du type de ceux utilisés sur le site de La Hague. Les déchets vitrifiés ainsi produits seront de faible thermicité, ce qui permet de les rattacher à la catégorie MA-VL.

- ***Colis de sources scellées usagées (CEA-450, CEA-1510)***

Ces familles regroupent des sources scellées usagées diverses (sources neutroniques, à l'uranium naturel, au radium, au plutonium, à l'américium) du CEA (qui a repris beaucoup de sources usagées, en tant que fournisseur). Certaines d'entre elles sont déjà conditionnées dans des conteneurs en béton ou métalliques.

- ***Colis de déchets alpha du CEA/Marcoule en fûts de 200 litres (CEA-1180)***

Il s'agit de déchets technologiques solides produits par l'installation UP1 et contaminés en émetteurs alpha purs. Les déchets étaient vinylés sous double enveloppe, conditionnés dans des fûts de 100 ou 118 litres puis compactés sous la forme de galettes. Ces galettes sont conditionnées dans des fûts en acier noir ou acier inoxydable de 200 litres et elles sont alors bloquées par du gravier et immobilisées par un coulis de mortier.

- ***Colis de déchets irradiants à reconditionner du CEA (CEA-400, CEA-410, CEA-420 et CEA-460)***

Ces familles regroupent les déchets irradiants qui sont ou seront produits par le fonctionnement, l'assainissement et le démantèlement de certaines installations du CEA. Les déchets des familles CEA-400, CEA-410 et CEA-420 seront placés en conteneurs d'entreposage DIADEM et entreposés dans la future installation DIADEM. Le conditionnement des déchets contenus dans les conteneurs DIADEM en vue de leur stockage reste à définir. Les déchets de la famille CEA-460 seront conditionnés en colis de 870 litres.

1.2.5 Familles de colis de déchets bitumés

- ***Colis d'enrobés bitumineux d'AREVA / La Hague (COG-020, COG-420)***

La famille COG 020 correspond aux boues traitées et conditionnées par enrobage dans du bitume, dans la station de traitement des effluents n°3 (STE3) de La Hague. La famille COG 420 correspond au bitumage d'une fraction des boues issues du traitement des effluents sur STE2 et entreposées dans le silo 550-14 de La Hague.

- ***Colis d'enrobés bitumineux de Marcoule produits avant janvier 1995 du CEA/Marcoule (CEA-1020, CEA-1021)***

Ces familles regroupent l'ensemble des colis de boues bitumées produits à la STEL de Marcoule entre 1966 et la mise en place du « suivi qualité produit » en 1995. Ces colis sont conditionnés dans des fûts en acier non allié. Un certain nombre de colis a déjà fait l'objet d'opérations de reprise consistant à les placer en fûts EIP : ces colis sont entreposés à l'EIP.

- ***Colis d'enrobés bitumineux de Marcoule produits depuis janvier 1995 du CEA/Marcoule (CEA-1000, CEA-1010)***

Ces familles regroupent l'ensemble des colis de boues bitumées produits depuis la mise en place du suivi qualité produit en 1995. Une partie de ces colis est conditionnée dans des fûts en acier non allié (CEA-1010), l'autre (depuis 1996) dans des fûts en acier inoxydable (CEA-1000).

1.2.6 Familles de colis de déchets de fonctionnement, de maintenance et de démantèlement des nouvelles installations

- ***Colis de déchets du réacteur ITER (ITER-010)***

Les déchets d'ITER seront produits par le remplacement de composants lors du fonctionnement et par leur retrait après mise à l'arrêt définitif. Ces déchets se caractérisent par leur contenu en tritium et en produits d'activation et par la nature de certains des déchets.

- ***Colis de déchets collectés par l'Andra (AND-000)***

Ils comprennent des objets au radium à usage médical (ORUM) (AND-050), constitués d'aiguilles et de tubes métalliques de très petites dimensions, contenant chacun quelques milligrammes de radium, des sources de détecteurs ioniques, des sources de paratonnerres, à l'américium ou au radium, des sources scellées usagées collectées par l'Andra, notamment dans le cadre de sa mission de service public et quelques fûts de 200 l de silice contaminées au carbone 14 provenant de la société Isotopchim. L'Andra envisage un conditionnement en fût de 870 l.

1.2.7 Récapitulatif des familles de colis de déchets MA-VL

Les tableaux présentés en annexe 1 synthétisent la variabilité des familles de colis de déchets MA-VL retenues pour Cigéo, leur état de production et leur quantité.

Nota : Dans la dernière colonne est précisé l'état de production :

- [T] pour les familles de colis de déchets dont la production est terminée ;
- [EC] pour les familles de colis de déchets en cours de production ;
- [F] pour les familles de colis de déchets pour lesquelles la production n'a pas encore démarré et dont la définition du conditionnement des déchets est déjà bien avancée ;
- [AD] pour les familles de colis de déchets pour lesquelles la production n'a pas encore démarré et dont le conditionnement est encore à l'état de recherche.

1.3 Les familles de colis de déchets HA

1.3.1 Familles de colis de déchets vitrifiés

- ***Colis de déchets vitrifiés CSD-V d'AREVA/La Hague (COG-140, COG-200, COG-800, COG-810, COG-820, COG-830, COG-880, COG-890 et COG-900)***

Ces colis sont des conteneurs standards de déchets vitrifiés en acier inoxydable (CSD-V) dans lesquels sont conditionnées les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs, calcinées et incorporées dans une matrice de verre, dans les ateliers de vitrification R7 et T7 de La Hague. Les solutions de produits de fission sont issues du retraitement de combustibles UOX (COG-140 et COG-800 pour les combustibles à taux de combustion plus élevés), du retraitement des combustibles usés du CEA et de ceux du réacteur EL4 de Brennilis (COG-880 pour le CEA/Civil, COG-890 pour le CEA/DAM et COG-900 pour EL4), du retraitement des combustibles usés MOX en mélange avec des combustibles usés UOX et URE (COG-200) et du retraitement des combustibles usés des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix en mélange avec des combustibles UOX (COG-830).

Des colis de déchets vitrifiés sont également produits lors de la vidange du four de vitrification (COG-810) et à partir de calcinats issus des campagnes de nettoyage du calcinateur (COG-820).

- ***Colis de solutions molybdiques de produits de fission vitrifiés de La Hague (COG-150)***

Ces colis résultent de la vitrification des solutions molybdiques de produits de fission selon un procédé analogue à celui utilisé aujourd'hui pour la production des colis de déchets vitrifiés, mais utilisant une technologie dite du « creuset froid », associée à une nouvelle formulation de verre. Ces solutions, entreposées sur le site de La Hague, sont issues du retraitement des combustibles usés dits « UMo » (constitués d'alliage d'uranium et de molybdène) utilisés dans les réacteurs uranium-naturel-graphite-gaz (UNGG), maintenant arrêtés.

- ***Colis de déchets vitrifiés de l'Atelier de Vitrification de Marcoule (CEA-1070 et CEA-1080)***

Ces colis proviennent des campagnes de vitrification réalisées dans l'Atelier de Vitrification de Marcoule (AVM) qui ont débuté en 1978. La production sous spécification d'assurance qualité a démarré en mars 1995 et correspond à la famille CEA-1070. La production antérieure à 1995 correspond à la famille CEA-1080.

- ***Colis de déchets vitrifiés PIVER du CEA/Marcoule (CEA-200 et CEA-1190)***

Le développement et la mise au point du procédé de vitrification des déchets ont été réalisés par le CEA dans plusieurs installations de l'atelier pilote de Marcoule (APM), dès le début des années 1960. Ces études ont débouché sur la construction d'un premier pilote industriel de vitrification de solutions de dissolution de combustibles usés (PIVER).

Les solutions de produits de fission vitrifiées dans cette installation provenaient d'une part du retraitement de combustibles usés de type Sicral (Si Cr Al : alliage uranium, silicium, chrome, aluminium), utilisés dans les réacteurs de la filière UNGG (Uranium Naturel-Graphite-Gaz) et d'autre part, du retraitement de combustibles à base d'UO2 irradiés dans le réacteur Phénix à neutrons rapides. Ces colis (CEA-200) ont été produits entre 1969 et 1973 pour les colis de déchets vitrifiés Sicral (94 % du total) et entre 1979 et 1980 pour les colis de déchets vitrifiés Phénix.

Parallèlement, les études ont donné lieu à la fabrication d'échantillons de déchets vitrifiés, conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable de différentes géométries, qui sont aujourd'hui entreposés dans le bâtiment 213 de l'APM (CEA-1190).

- ***Colis de déchets vitrifiés d'Atalante du CEA/Marcoule (CEA-350)***

Les recherches menées dans Atalante sur des combustibles UOX et MOX génèrent des effluents radioactifs, qui doivent être vitrifiés dans une chaîne blindée d'Atalante. Le procédé de conditionnement envisagé par le CEA comprend la vitrification des déchets dans des pots métalliques, le regroupement et le blocage des pots à l'intérieur d'un panier avec de la frite de verre, puis une mise en conteneur en acier inoxydable de type AVM. La production de ces colis devrait commencer à l'horizon 2030.

1.3.2 Autres familles de colis de déchets HA (sources scellées usagées, déchets technologiques…)

- ***Colis de déchets technologiques issus des ateliers de vitrification d'AREVA/La Hague (COG-850)***

Dans les premières années de fonctionnement de l'atelier de vitrification R7 de La Hague, des déchets technologiques de fonctionnement de cet atelier ont été conditionnés dans des conteneurs standards en acier inoxydable de géométrie extérieure identique à celle des colis de déchets vitrifiés de La Hague. Ce même conditionnement est envisagé pour des paniers contenant des déchets technologiques tels que des morceaux de verre et des découpes d'équipements des ateliers R7 et T7.

- ***Colis de capsules de titanate de strontium d'AREVA/La Hague (COG-870)***

L'atelier Elan IIB, situé à La Hague, était un pilote pour la fabrication de sources scellées de césium 137 et de strontium 90. Le strontium arrivait conditionné dans l'atelier Elan IIB dans des étuis métalliques (capsules) et subissait des opérations de fractionnement, compactage et conditionnement sous une double enveloppe métallique. Cet atelier, dont l'exploitant nucléaire était le CEA, a été mis en service en 1970. La production a été arrêtée à partir de 1973. Quinze capsules de titanate de strontium sont actuellement entreposées à La Hague. Le procédé actuellement envisagé pour le conditionnement de ces capsules consiste à les bloquer dans un conteneur standard en acier inoxydable. Le choix de la matrice de blocage est à l'étude.

- ***Colis de déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en conteneurs standard d'AREVA/La Hague (COG-860)***

L'atelier Elan IIB, situé à La Hague, était un pilote pour la fabrication de sources scellées de césium 137 et de strontium 90. Le césium était transporté depuis le CEA/Marcoule dans des colonnes d'élution sur un échangeur minéral puis élué, concentré et calciné. La poudre d'oxyde de césium était ensuite frittée et conditionnée sous une double enveloppe métallique. Quatre colonnes d'élution sont actuellement entreposées à La Hague. Le procédé de conditionnement de l'échangeur minéral de ces colonnes d'élution n'est pas arrêté. A ce stade, un conditionnement en conteneur standard en acier inoxydable est retenu.

- ***Colis de sources scellées usagées (césium 137, strontium 90, plutonium 238) du CEA (CEA-1500)***

Il s'agit de sources de forte activité au césium et au strontium, dont certaines proviennent de générateurs isotopiques ainsi que d'un lot de sources de stimulateurs cardiaques (Pu 238). Ces sources seront conditionnées dans un colis de géométrie extérieure identique au colis de verre AVM.

1.3.3 Récapitulatif des familles de colis de déchets HA

Le tableau présenté en annexe 2 synthétise l'ensemble des familles de colis de déchets HA retenues pour Cigéo et leur quantité respective.

Nota : De même que pour les colis MA-VL, dans la dernière colonne est précisé l'état de production :

- [T] pour les familles de colis de déchets dont la production est terminée ;
- [EC] pour les familles de colis de déchets en cours de production ;
- [F] pour les familles de colis de déchets pour lesquelles la production n'a pas encore démarré et dont la définition du conditionnement des déchets est déjà bien avancée ;
- [AD] pour les familles de colis de déchets pour lesquelles la production n'a pas encore démarré et dont le conditionnement est encore à l'état de recherche.

1.4 Les colis de stockage MA-VL

Lorsque le colis primaire est complété par un conteneur de stockage, l'ensemble colis primaire et conteneur de stockage constitue alors le colis de stockage transféré en installation souterraine pour y être stocké. Le colis de stockage MA-VL est alors constitué :

- d'un conteneur comprenant les deux éléments préfabriqués suivants :
  - ✓ corps de conteneur doté de cloisons internes qui ménagent des réservations ajustées à la forme des colis primaires ;
  - ✓ couvercle de fermeture.
- d'un ou plusieurs colis primaire(s) (optionnel, cas des colis primaires sans emprunte de manutention) et éventuellement d'une ou de rehausse(s) optionnelle(s).

La possibilité de stocker certains colis primaires MA-VL à Cigéo sans ajout d'un conteneur de stockage est envisagée. Dans ce cas, le colis primaire est considéré en l'état comme un colis de stockage.

Trois solutions de colis de stockage sont envisagées pour le stockage des colis de déchets MA-VL à Cigéo :

- Solution n°1 pour la majorité des familles de colis de déchets :

Le colis primaire destiné à Cigéo est placé dans un conteneur de stockage dit « de référence » à son arrivée à Cigéo ou avant son expédition par le producteur.

- Solution n°2 pour quelques familles de colis de déchets :

Le colis primaire destiné à Cigéo est placé dans un conteneur de stockage dit « renforcé vis-à-vis du confinement » qui assure les mêmes fonctions que le conteneur « de référence » (cf. solution n°1) ainsi qu'une fonction supplémentaire vis-à-vis du confinement pour pallier l'incertitude du maintien du confinement du colis primaire une fois stocké en alvéole pour toute la durée d'exploitation réversible. Ce conteneur de stockage assure alors les performances de confinement en cas de dégradation prématurée du colis primaire dans l'alvéole. Le clavage du couvercle du colis de stockage est actuellement retenu en tant que solution technique de base pour ce conteneur dit « renforcé ». Cela concerne en particulier quelques familles déjà produites.

- Solution n°3 pour certaines familles dites « éligibles au stockage direct » :

Le colis primaire destiné à Cigéo n'est pas mis en conteneur de stockage et est stocké directement dans l'alvéole : le colis primaire devra satisfaire aux fonctions attribuées à un colis primaire qui serait mis en conteneur de stockage « de référence » ; ses caractéristiques radiologiques, mécaniques et physico-chimiques devront être compatibles avec le dimensionnement de l'installation (classe de confinement retenue dans l'alvéole MA-VL notamment) sans contribution d'un quelconque conteneur de stockage. Les familles concernées sont les familles de type C1PG, CSD-C, CBFC'2. A cette liste s'ajoutent les familles de colis pour lesquelles le conditionnement est à l'état de recherche.

Pour les familles dites « éligibles au stockage direct », les études de conception au niveau APD seront réalisées en considérant d'une part la solution n°1 et la solution n°3. Au moment de la DAC, au regard des éléments de démonstration apportés, le rapport de sûreté précisera la solution retenue.

Concernant la solution n°2, des essais et simulations sont envisagés pour vérifier la pertinence du clavage au stade de l'APD, au regard des résultats obtenus, il pourra être envisagé in fine de ne plus retenir cette solution.

1.4.1 Modèles de colis de stockage MA-VL (colis primaire (s) dans un conteneur de stockage)

Compte tenu du très grand nombre et de la diversité des familles de colis de déchets qui seront accueillies à Cigéo, le choix de minimiser les catégories de colis de stockage permet de rendre les opérations de manutention des colis aussi simples que possible et facilite la possibilité d'automatisation du processus de mise en stockage. L'ensemble des familles de colis de déchets MA-VL sont ainsi regroupées dans un nombre limité de conteneurs.

La figure ci-après synthétise les conteneurs de stockage et les familles de colis de déchets associées sur la base de leur géométrie et de leur masse. Pour les familles de colis de déchets dont le conditionnement n'est pas défini à ce stade, leur géométrie et leur masse devront respecter le plan spécificateur du conteneur auquel elles seront destinées et la masse associée.

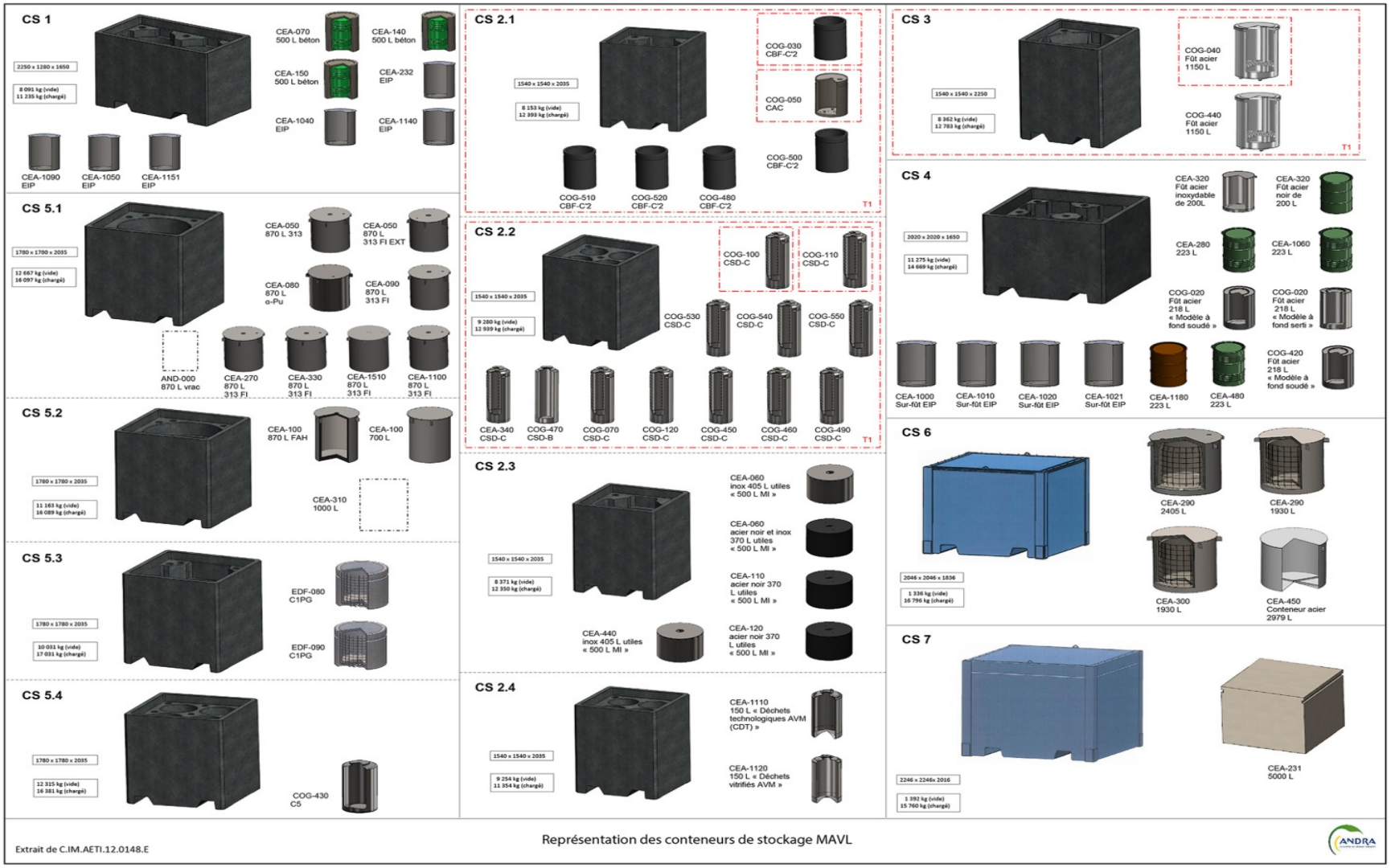


Figure 1.4-1 Modèles de colis de stockage MA-VL à ce stade

1.4.2 Fonctions du colis de stockage MA-VL

Les fonctions du colis de stockage sont synthétisées dans le tableau ci-après en distinguant ce qui relève du colis primaire de ce qui relève du conteneur de stockage.

Tableau 1.4-1 Tableau des fonctions du colis de stockage MA-VL et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage

	Solutions n°1 et n°2 de colis de stockage constitués de colis primaire(s) et d'un conteneur de stockage.		**Solution n°3 : colis primaire directement stocké sans mise en conteneur**	**Critère pour le CP associé à la fonction**
	Fonctions du colis primaire (CP)	**Fonctions du conteneur de stockage (CtS)**	**Fonctions (combinant celles du CP et celles du CtS)**	
Exploitation - Situation normale	Permettre la manutention lors des opérations en surface impliquant le colis primaire	Permettre la manutention des colis de stockage lors des opérations de mise en stockage et lors d'éventuelles opérations de retrait	Permettre la manutention des colis lors des opérations en surface et de mise en stockage et lors d'éventuelles opérations de retrait	Géométrie et masse
	Limiter la contamination surfacique à un niveau compatible avec le dimensionnement de l'installation		Limiter la contamination surfacique à un niveau compatible avec le dimensionnement de l'installation	Niveaux de contamination en alpha et béta-gamma
	Assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation (1ère barrière de confinement)	Solution n°1 : sans objet Solution n°2 : Assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'alvéole MA-VL sur la durée de l'exploitation	Assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation sur toute la durée de l'exploitation	Caractéristiques physico-chimiques Présence de pulvérulents
	Assurer la maîtrise du risque de criticité par la limitation de la masse de matière fissile par colis et par	Assurer la maîtrise du risque de criticité par la limitation de la masse de matière fissile par colis et par	Assurer la maîtrise du risque de -criticité par la limitation de la masse de matière fissile par colis et par	Masse de matière fissile Géométrie du colis

	Solutions n°1 et n°2 de colis de stockage constitués de colis primaire(s) et d'un conteneur de stockage.		**Solution n°3 : colis primaire directement stocké sans mise en conteneur**	**Critère pour le CP associé à la fonction**
	Fonctions du colis primaire (CP)	**Fonctions du conteneur de stockage (CtS)**	**Fonctions (combinant celles du CP et celles du CtS)**	
	la géométrie du colis	la géométrie du conteneur de stockage	la géométrie du colis	
	Limiter la production de gaz de radiolyse (H_2) à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Permettre l'évacuation des gaz émis par le colis primaire pour éviter les risques d'explosion interne au colis	Limiter la production de gaz de radiolyse à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Taux de dégazage d'H_2
	Limiter la puissance thermique à un niveau compatible avec la conception de l'installation et du conteneur de stockage		Limiter la puissance thermique à un niveau compatible avec la conception de l'installation	Puissance thermique
	Limiter le débit de dose à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation		Limiter le débit de dose à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Débit de dose gamma et neutron
	Permettre l'identification du colis primaire	Permettre l'identification des colis de stockage	Permettre l'identification des colis de stockage	Nature de l'étiquetage
		Permettre le gerbage des colis de stockage dans l'alvéole	Permettre le gerbage des colis dans l'alvéole	Tenue au gerbage (solution n°3)
Exploitation - Situations incidentelles et accidentelles d'incendie et de chute et de collision	Limiter la dispersion des particules et aérosols à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation	Protéger le colis primaire des sollicitations thermiques et mécaniques Atténuer la dispersion des particules et aérosols le cas échéant	Limiter la dispersion des particules et aérosols à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation	Niveau de résistance à l'incendie, la chute et la collision

	Solutions n°1 et n°2 de colis de stockage constitués de colis primaire(s) et d'un conteneur de stockage.		**Solution n°3 : colis primaire directement stocké sans mise en conteneur**	**Critère pour le CP associé à la fonction**
	Fonctions du colis primaire (CP)	**Fonctions du conteneur de stockage (CtS)**	**Fonctions (combinant celles du CP et celles du CtS)**	
	Préserver la fonction de maîtrise du risque de criticité par la masse	Assurer la maîtrise du risque de criticité par la limitation des déformations du conteneur de stockage	Préserver la fonction de maîtrise du risque de criticité par la masse	Masse de matière fissile
		Préserver la fonction de manutention	Préserver la fonction de manutention	Niveau de résistance à l'incendie, la chute et la collision (solution n°3)

1.4.3 Options de conception du conteneur de stockage MA-VL

Les conteneurs de stockage retenus sont de forme parallélépipédique en béton pour la majorité des familles (cas des conteneurs de stockage CS1 à CS5) et pour quelques familles de colis de déchets des conteneurs en acier (cas des conteneurs de stockage CS6 et CS7).

Pour les conteneurs en béton, la solution technique retenue par l'Andra est l'utilisation d'éléments préfabriqués en béton armé principalement constitués d'un corps et d'un couvercle. Pour la majorité des colis primaires, le couvercle est vissé. Pour certains colis primaires, la solution envisagée est la mise en place d'un liant de clavage au niveau du couvercle.

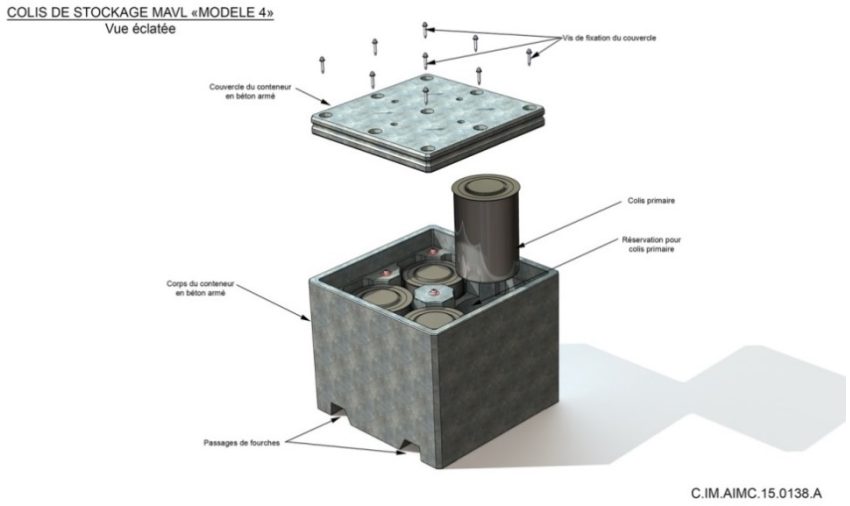


Figure 1.4-2 Conteneur de stockage MA-VL de type CS4 à couvercle vissé

Vis-à-vis de la manutention, le conteneur préfabriqué comprend des passages de fourches en vue de sa manutention. Les dimensions des passages de fourches sont communes à tous les modèles de conteneurs pour favoriser la standardisation des équipements de manutention et ainsi l'automatisation. Ce mode de conditionnement préfabriqué permet de limiter la production d'effluents d'exploitation de Cigéo. La masse maximale des colis de stockage est de 17 tonnes.

Concernant l'identification des colis de stockage, la solution technique de marquage envisagée est le marquage avec de la peinture, sur les 4 faces. Par ailleurs, tous les colis primaires MA-VL reçus sur Cigéo sont identifiés pour assurer la traçabilité (maîtrise des données par colis et maîtrise de la localisation des colis dans l'installation). Les marquages impliquant un perçage du béton sont exclus.

Le confinement est assuré par le colis primaire. Un liant de clavage pourra, le cas échéant, être injecté dans l'interstice résiduel entre le corps du conteneur et le couvercle pour éviter la dispersion des substances radioactives pour certaines familles de colis déjà produites pour lesquelles la garantie du maintien du confinement sur la durée d'exploitation n'est pas assurée.

Le conteneur de stockage favorise l'évacuation des gaz de radiolyse des colis primaires préférentiellement par le jeu existant entre le couvercle et le corps du conteneur. Les simulations et essais menés sur les solutions étudiées montrent que la mise en place d'un liant de clavage ou d'un couvercle coulé n'empêche pas cette fonction d'évacuation car la formulation du liant ou du béton permet également la diffusion du gaz. A l'échelle de l'alvéole, les passages de fourches favorisent la circulation d'air ventilé et donc l'extraction des gaz de radiolyse.

La tenue au gerbage n'est pas dimensionnante vis-à-vis de la classe de béton à retenir ou de l'épaisseur du conteneur. La maîtrise de la localisation des descentes de charge d'un conteneur sur l'autre a été spécifiquement étudiée et les zones de contact entre deux conteneurs sont bien identifiées. Dans le même objectif, une épaisseur de retrait du couvercle par rapport au plan de pose du haut du corps du conteneur (de l'ordre de 15 mm) est retenue. La figure ci-après montre les zones de contact spécifiques.

Figure 1.4-3 Illustration des pieds des conteneurs lors du coulage et sur un prototype échelle 1

Lors des opérations de manutention des colis en fonctionnement normal, la formulation retenue pour le conteneur permet de répondre aux sollicitations nécessaires à leur manipulation (transfert, dépose, retrait).

Vis-à-vis de la chute, le dimensionnement des conteneurs de stockage MA-VL en béton a été réalisé au moyen des référentiels normatifs en vigueur (Eurocode 2 – EN 1992-1-1). A l'aide de simulations numériques et d'essais réalisés sur des prototypes échelle 1 (cf. Figure 1.4-4 et Figure 1.4-5Figure 1.2-1), les dimensions minimales suivantes ont été établies :

- épaisseur du couvercle : 160 mm ;
- distance minimale d'implantation des systèmes de fermeture par rapport au bord du couvercle : 110 mm ;
- retrait du couvercle par rapport à la face supérieure du corps du conteneur : 15 mm ;
- épaisseur des voiles latéraux : 160 mm ;
- épaisseur du fond (hors empreinte de manutention) : 160 mm.

Les inserts intégrés au couvercle et au corps du conteneur, spécialement conçus pour constituer un système d'anti-cisaillement en cas de chute, ont montré leur efficacité lors d'essais à échelle 1. La hauteur de chute maximale pour le dimensionnement mécanique de l'ensemble des modèles de conteneur de stockage est prise forfaitairement à 2,3 m sans retournement (chute à plat sur fond, chute sur arête et sur coin).

Figure 1.4-4 Illustration d'essai de chute d'un conteneur CS4

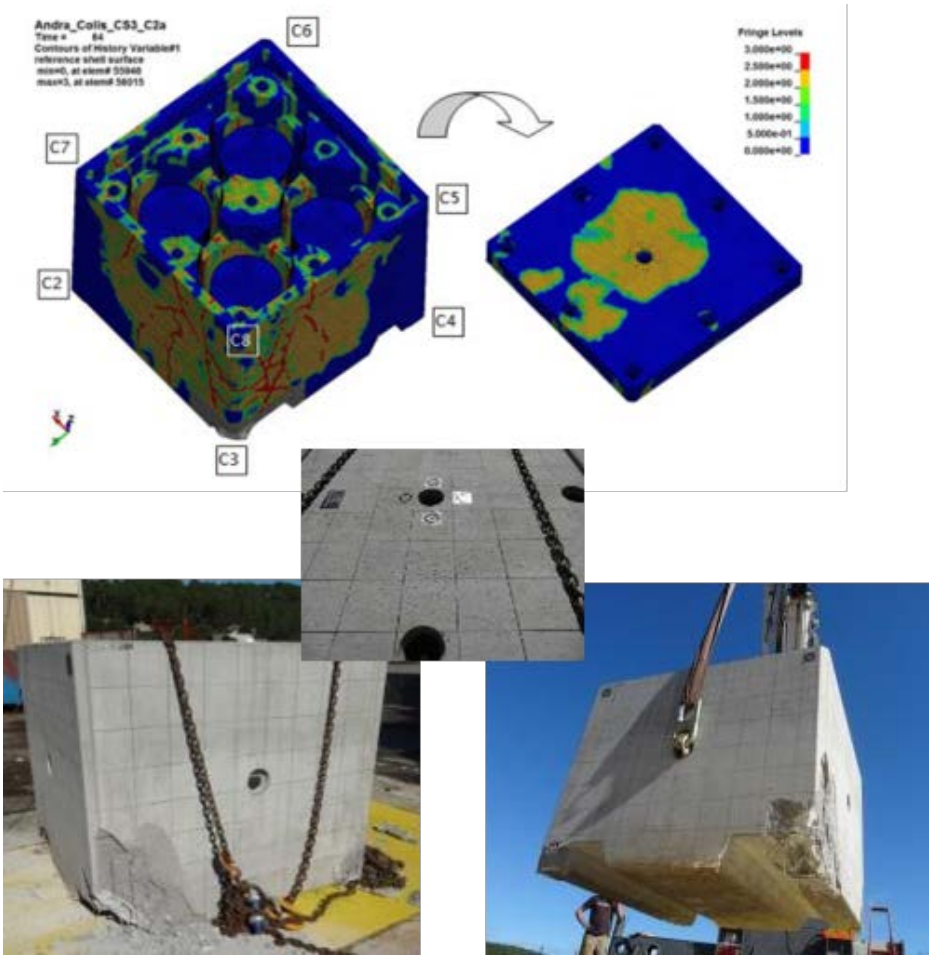


Figure 1.4-5 *Illustration d'un conteneur CS4 avant chute et après chute de 2.3 m sur coin (résultats de simulations numériques et résultats sur prototypes échelle 1)*

Vis-à-vis de l'incendie, la formulation du béton a été retenue de telle sorte que la manutention des colis de stockage reste assurée après un éventuel incendie. A ce stade, le feu de référence pris en compte dans le dimensionnement des conteneurs de stockage en béton est un feu ISO 834 pendant 1 heure. Pour les conteneurs dédiés aux colis de déchets bitumineux, la formulation et l'épaisseur des parois de béton (20 cm à ce stade) permettent d'assurer une protection thermique (respect du critère de température à la surface du colis primaire en cas d'incendie). Pour ces conteneurs, des fibres de polypropylène sont ajoutées à la formulation pour améliorer la résistance du béton au phénomène d'éclatement sous l'effet de la chaleur. Des essais ont permis de vérifier ce principe (28) et (29).

Conteneur CS4 - Conteneur fermé et clavé / avant essai incendie

Conteneur CS4 – après essai (feu ISO 834 pendant 1h)

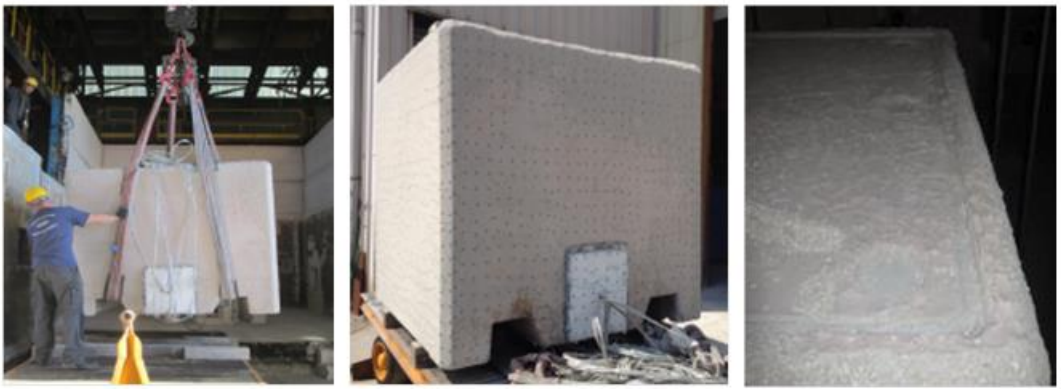


Figure 1.4-6 *Conteneur de type CS-4 instrumenté, fermé et clavé, pour essai feu ISO 834 1h, Illustration de l'état d'un prototype échelle 1 avant et après essai.*

Vis-à-vis de la durabilité des colis une fois stockés en alvéole, la durabilité des conteneurs de stockage implique que le béton soit résistant à toute forme d'agression chimique interne (provenant des déchets) et externe (provenant de l'environnement). Cette résistance est obtenue au moyen d'un matériau performant, aussi bien en termes de choix de matières premières que de formulation au sens des quantités de matières utilisées, et d'une mise en œuvre soignée du béton autour des armatures. Ainsi, pour la réalisation des conteneurs MA-VL en béton, les diverses études menées par l'Andra ont abouti à la définition de formulations de béton situées dans la gamme des bétons hautes performances (BHP). Les matières premières sont sélectionnées spécifiquement, si possible à proximité du futur emplacement de Cigéo, sur la base de recommandations de la profession et du retour d'expérience

acquis par l'Andra sur le comportement des matériaux cimentaires dans les conditions d'environnement attendues sur Cigéo.

Le choix s'est, par exemple, porté sur un ciment composé (contenant des cendres volantes et du laitier), résistant aux sulfates (PM-ES) et sur des granulats non réactifs à l'alcali-réaction. La composition des bétons vise également à améliorer la résistance dans le temps ; une teneur en ciment élevée et une teneur en eau réduite permettent de limiter les vides internes au matériau et donc sa fragilité.

A ce stade des études, une épaisseur d'enrobage[25] nominale de 40 mm a été définie pour se prémunir de la corrosion des armatures. La qualité du matériau permet également de ralentir la pénétration des agents agressifs. Les classes d'environnement prises en compte sont la XA2 au regard des risques liés aux attaques chimiques et la XC1 au regard des risques liés à la carbonatation.

1.4.4 Fabrication des conteneurs de stockage MA-VL

Des essais ont été réalisés pour mettre au point les formulations (Figure 1.4-7 et Figure 1.4-8) et comprenant le développement de prototypes permettant de vérifier la faisabilité d'un point du vue industriel de la solution technique retenue.

Figure 1.4-7 Caractérisation de l'étalement de la formule de référence sans fibre de polypropylène

[25] Au sens de l'Eurocode, l'épaisseur d'enrobage nominale est la somme de l'épaisseur d'enrobage minimale définie en fonction de la durabilité recherchée et d'une marge liée aux tolérances d'exécution.

Figure 1.4-8 Illustration des étapes de fabrication de prototypes CS3, CS2 et CS4

Après fabrication d'un conteneur en béton armé, un temps de maturation sera observé avant sa sortie d'usine (plusieurs mois) de manière à ce que les réactions d'hydratation du ciment soient finalisées et que le béton ait atteint une résistance mécanique suffisante.

Des contrôles sont prévus en usine avant livraison. Le contrôle qualité en usine comportera :

- des contrôles de la qualité des matières premières utilisées ;
- des mesures de la résistance mécanique et du retrait sur éprouvettes ;
- des contrôles de la géométrie et de la masse ;
- des vérifications de la qualité du parement et des critères d'acceptation en termes de bullage et de défauts de surface ;
- des vérifications visuelles de l'absence d'éclat ou d'épaufrure.

En plus des contrôles faits sur les colis primaires, des opérations de contrôles lors de la mise en conteneur puis du colis de stockage sont aussi mis en place dans l'installation.

1.5 Les colis de stockage HA

Le colis de stockage HA est constitué des composants suivants :

- un ou plusieurs colis primaires ;
- un corps de conteneur en acier forgé non allié constitué d'une virole avec un fond soudé ;
- un couvercle ;
- 4 patins en céramique inerte massive évitant un contact direct acier/acier entre le colis de stockage et le chemisage des alvéoles de stockage. Ces patins facilitent le glissement du colis de stockage lors de sa mise en place et lors de son retrait éventuel (cf. (8) ;
- 4 systèmes de fixation des patins.

Le dimensionnement du conteneur permet de satisfaire les fonctions à assurer pour la mise en place (présente section) et le retrait des colis (cf. DOREC) ainsi que pour le confinement après fermeture (cf. DOS-AF).

1.5.1 Modèles de colis de stockage HA

Comme pour les familles de colis de déchets MA-VL, les modèles de colis de stockage sont établis en fonction des familles de colis de déchets et plus particulièrement de la géométrie des colis primaires. Les colis primaires de déchets vitrifiés HA sont des conteneurs cylindriques relativement homogènes en termes de géométrie et d'activité radiologique. Les conteneurs de stockage sont cylindriques.

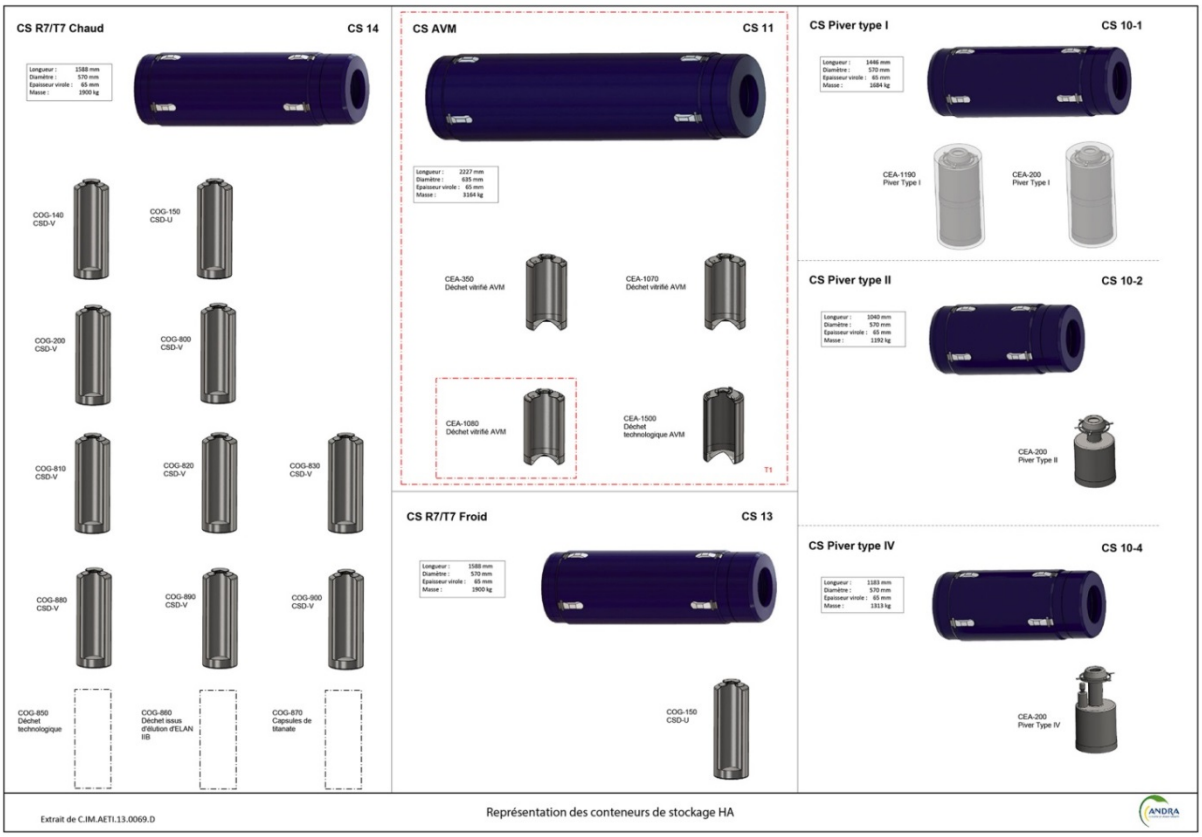


Figure 1.5-1 Modèles de colis de stockage HA à ce stade

Dans le cas général, le conteneur de stockage est dimensionné pour accueillir un ou deux colis primaires. Pour certains colis primaires de longueur réduite, la possibilité d'introduire trois colis est également envisagée.

1.5.2 Fonctions du colis de stockage HA

Les fonctions du colis de stockage HA sont synthétisées dans le tableau ci-après en distinguant ce qui relève du colis primaire de ce qui relève du conteneur de stockage.

Tableau 1.5-1 Tableau des fonctions du colis de stockage HA et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage

	Fonctions du colis primaire	**Fonctions du conteneur de stockage**	**Critère pour le CP associé à la fonction**
Exploitation en situation normale	Permettre la manutention lors des opérations en surface impliquant le colis primaire	Permettre la manutention des colis de stockage lors des opérations de mise en stockage et lors d'éventuelles opérations de retrait	Géométrie et masse
	Limiter la contamination surfacique à un niveau compatible avec le dimensionnement de l'installation		Niveau de contamination en alpha et béta-gamma
	Assurer le confinement des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation (1ère barrière de confinement)	Assurer le confinement des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation (2ème barrière de confinement)	Caractéristiques physico-chimiques
	Assurer la maîtrise du risque de criticité par la masse de matière fissile et la géométrie	Assurer la maîtrise du risque de criticité par la masse de matière fissile et la géométrie[26]	Masse de matière fissile Géométrie
	Limiter la puissance thermique à un niveau compatible avec la conception de l'installation et du conteneur de stockage		Puissance thermique
	Limiter le débit de dose à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Limiter le débit de dose à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Débit de dose
	Assurer l'étanchéité aux	Assurer l'étanchéité aux gaz	Niveau d'étanchéité

[26] Dans le cas où un conteneur de stockage HA contient plusieurs colis primaires HA

	Fonctions du colis primaire	Fonctions du conteneur de stockage	Critère pour le CP associé à la fonction
	gaz		
		Protéger le verre d'une augmentation de température pendant la constitution du colis de stockage (opération de soudure et détensionnement)	SO
		Protéger le colis primaire des sollicitations dans l'alvéole HA	SO
	Permettre l'identification du colis primaire	Permettre l'identification du colis de stockage	Nature de l'étiquetage
Exploitation en Situations incidentelles et accidentelles d'incendie et de choc (chute, collision)	Limiter la dispersion des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation	Limiter la dispersion des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation en cas de perte de la 1ère barrière de confinement (colis primaire)	Niveau de résistance à l'incendie et au choc (chute, collision)
		Préserver la fonction de manutention	SO
	Préserver la fonction maîtrise du risque de criticité par la masse	Préserver la fonction de maîtrise du risque de criticité par la limitation de la déformation du conteneur de stockage	Masse de matière fissile

1.5.3 Options de conception du conteneur de stockage HA

Le corps du conteneur est constitué d'une virole cylindrique en acier, non allié d'épaisseur utile comprise entre 65 et 53 mm[27], d'un fond soudé d'une épaisseur adaptée à l'épaisseur de la virole et d'un couvercle réalisés dans la même nuance d'acier forgé, pour répondre notamment à des exigences de sûreté après fermeture cf. (5).

La conception du conteneur de stockage met en œuvre des matériaux dont l'évolution, est prédictible sur une période correspondant à la phase thermique. Le choix du matériau et le dimensionnement du conteneur prend pour hypothèse que la corrosion généralisée est le phénomène prépondérant en termes de corrosion. Afin de résister aux sollicitations chimiques, l'Andra retient en solution de référence un acier forgé à haute ductilité tel que P285NH et recherche une propreté inclusionnaire (notamment une limitation de la teneur en phosphore et en oxygène et une structure métallurgique

[27] Ces épaisseurs pourraient encore faire l'objet d'optimisations d'ici la DAC.

favorable). La réduction du taux d'impuretés et d'inclusions limite la corrosion anodique. La structure « ferrite-perlite » fine et homogène est peu fragile et peu sensible à la corrosion localisée et à la corrosion sous contrainte[28].

A titre d'exemple, la Figure 1.5-2 illustre un colis de stockage pour colis primaires de déchets vitrifiés produits par l'Atelier de Vitrification de Marcoule (AVM).

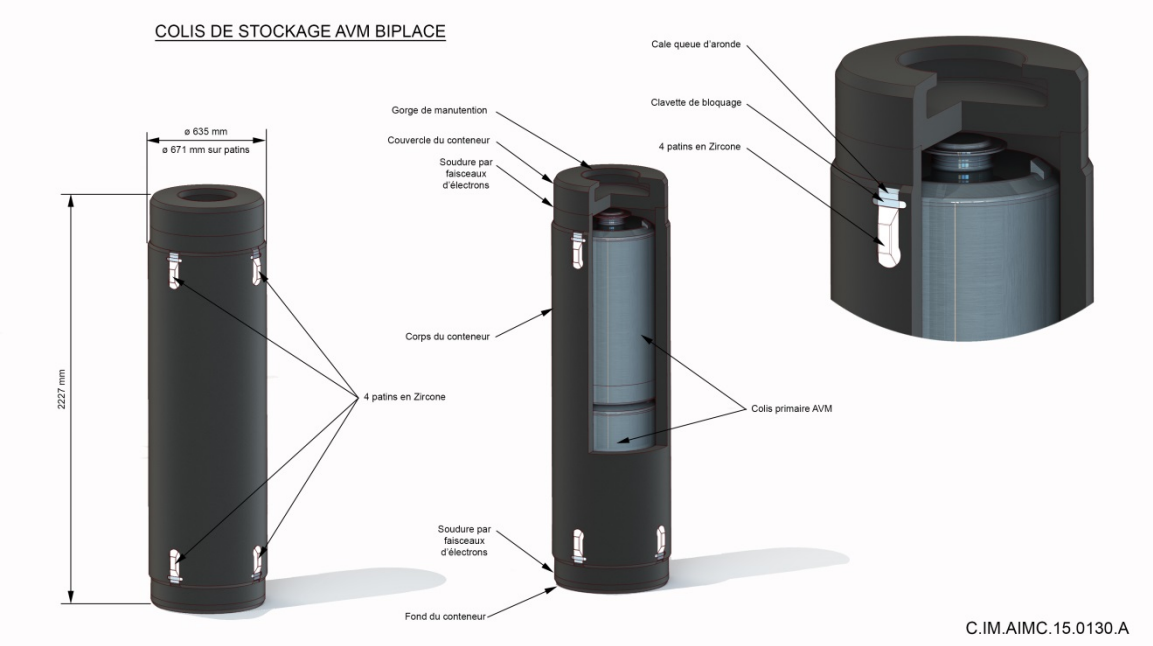


Figure 1.5-2 Illustration d'un colis de stockage de déchets vitrifiés de type AVM biplace

La réponse aux autres sollicitations (thermique, mécanique…) en exploitation ainsi qu'aux situations accidentelles (chute/incendie) sont largement couvertes par la robustesse confiée au conteneur du fait de son épaisseur. Elles ne sont pas susceptibles de l'altérer notablement pendant la période d'exploitation.

Une gorge de préhension usinée dans le couvercle du conteneur de stockage permet la manutention (Cf. Figure 1.5-3, la mise en place et le retrait éventuel du colis de stockage sur une durée à minima séculaire (8).

[28] Sur la période d'exploitation de Cigéo, il est considéré que les phénomènes de corrosion n'entraînent pas de corrosion sur une épaisseur supérieure à quelques millimètres.

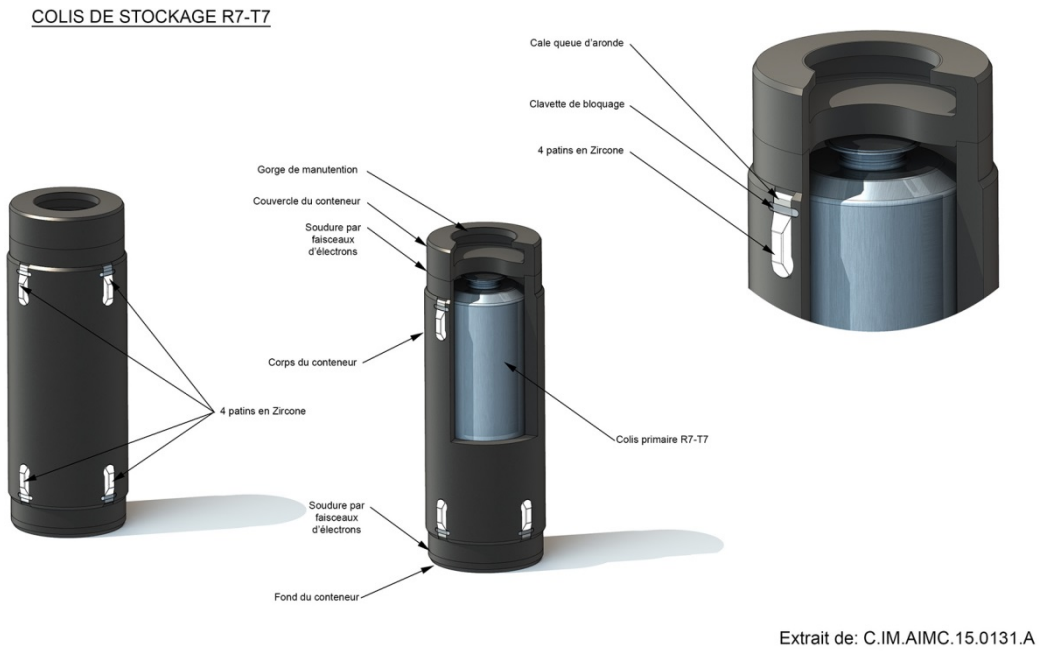


Figure 1.5-3 *Illustration pour le colis de stockage R7-T7 du détail de la gorge de préhension du colis de stockage sur la figure en haut à droite*

Figure 1.5-4 *Exemple de marquage par gravure sur un patin en céramique*

Le matériau de patin est retenu pour son caractère inerte évitant ainsi le « collage par corrosion » du colis de stockage sur le chemisage. La rugosité (de l'ordre de 0,8 µm) et le coefficient de frottement (compris entre 0,2 et 0,6) des patins en zircone facilitent la mise en place et le retrait du colis de stockage. Les patins sont bloqués dans une rainure en forme de queue d'aronde et maintenus par une clavette soudée à une cale en forme de queue d'aronde. Chaque rainure en queue d'aronde est usinée dans la virole du conteneur.

La clavette et la cale sont en acier de nuance identique à celle du conteneur de stockage. La clavette assure le blocage en translation du patin. Le soudage de la cale sur la clavette fixe l'ensemble au colis de stockage et assure ainsi le maintien du patin lors des opérations de manutention du colis de stockage.

La fonction de marquage est portée par le patin en céramique (Cf. Figure 1.5-4) par nature non sensible à la corrosion (à l'inverse des autres composants en acier du conteneur de stockage). La solution par gravure du patin est prise comme solution technique de référence. Elle pourrait toutefois être accompagnée d'un marquage peinture plus facilement visualisable en automatique pour les opérations de conditionnement en surface. Par ailleurs, tous les colis primaires HA reçus sur Cigéo sont identifiés pour assurer la traçabilité (maîtrise des données par colis et maîtrise de la localisation des colis dans l'installation).

Pendant l'exploitation, les colis de stockage HA doivent être en mesure de résister aux sollicitations statiques et dynamiques. Cette exigence concerne la résistance de la gorge de manutention et la tenue mécanique des patins dans leur logement :

- l'épaisseur résiduelle de la gorge de manutention doit être suffisante pour reprendre les efforts de soulèvement ou de traction du colis de stockage ;
- l'épaisseur résiduelle d'encastrement des patins en céramique dans la gorge en queue d'aronde doit être suffisante pour les maintenir en place.

Cette gorge est dimensionnée pour toutes les sollicitations rencontrées pendant la période d'exploitation du colis de stockage, depuis le conditionnement des colis jusqu'à leur retrait éventuel. Les colis de stockage sont manutentionnés en position verticale ou horizontale, grâce à cette gorge de préhension située dans la partie supérieure du couvercle.

La résistance de l'enveloppe et de la gorge de préhension du conteneur de stockage a été vérifiée. Les analyses ont notamment porté sur les contraintes mécaniques calculées pour les différentes sollicitations suivant les prescriptions du Code de Construction des Appareils à Pression (CODAP) et les règles préconisées par la Fédération Européenne de la Manutention (FEM). L'utilisation de ce code et de ces règles qualifiées et reconnues améliore le niveau de confiance du dimensionnement.

La surface supérieure du couvercle est convexe pour limiter la surface de contact entre chaque colis de stockage dans l'alvéole. Cette disposition limite le risque de collage entre deux colis de stockage.

L'acier non allié à bas carbone a été choisi pour le caractère prédictible de sa cinétique de corrosion (pour répondre plus particulièrement à l'exigence après fermeture). Cette prédiction est rendue possible par le caractère codifié et normalisé des techniques d'élaboration et de contrôle du conteneur de stockage. Ces normes définissent les caractéristiques mécaniques, dimensionnelles et métallurgiques du conteneur de stockage. Elles garantissent que les moyens et méthodes utilisés pour la réalisation d'un conteneur de stockage sont reproductibles.

Vis-à-vis de la résistance à la chute, des essais de chutes de 5 m sur cible indéformable et de 1 m sur poinçon effectués sur maquette représentative d'un colis AVM biplace ont montré que l'étanchéité à l'hélium était préservée après chaque chute (Figure 1.5-5).

Figure 1.5-5 Essais de chute et d'étanchéité à l'hélium

Les essais de corrosion en cours dans des milieux représentatifs de la vie du stockage visent à montrer que :

- la corrosion généralisée est le facteur prépondérant de corrosion ;
- la vitesse de corrosion moyenne est de l'ordre de 10 microns/an ;
- l'acier retenu n'est pas soumis à des phénomènes de corrosion sous contrainte ou localisée ;
- l'absence d'effet d'un rayonnement inférieur à 20 Gy/h sur la corrosion des aciers.

Les premières évaluations du comportement post-flambement du chemisage montrent que le corps de conteneur de stockage reste dans son domaine élastique (l'acier P285NH a été considéré) pendant une centaine à quelques centaines d'années après mise en contact avec le chemisage (évaluée à 500 ans).

1.5.4 Fabrication des colis de stockage HA

Le procédé de fabrication retenu s'appuie sur des procédures d'approvisionnement, de dimensionnement et de construction codifiées, normalisées et contrôlables offrant la meilleure technique disponible. En effet, l'acier non allié à bas carbone a été choisi pour le caractère prédictible de sa cinétique de corrosion. Cette prédiction est fiabilisée par le caractère codifié et normalisé des techniques d'élaboration et de contrôle du conteneur. Ces normes définissent les caractéristiques mécaniques, dimensionnelles et métallurgiques du conteneur. Elles garantissent que les propriétés des composants du colis sont reproductibles et constantes. Par ailleurs, le forgeage des composants du conteneur est suivi d'un traitement thermique de normalisation qui réduit les contraintes résiduelles et affine la structure.

Le procédé de soudage du fond et du couvercle sur la virole du conteneur est le soudage sous vide par faisceau d'électrons. Il évite l'apport d'hydrogène dans le métal fondu de la zone soudée et évite les phénomènes de fragilisation par l'hydrogène. Les soudures en pleine pénétration sont réalisées circulairement. L'intensité de la contrainte résiduelle dans le conteneur (corps et couvercle) est limitée à un niveau aussi faible que possible par un traitement de détensionnement après chaque soudage. Des essais réalisés par l'Andra montrent qu'il est possible de réduire les contraintes résiduelles de traction à environ 1/3 de la limite d'élasticité du métal de base. Après traitement de détensionnement, les duretés en tout point des joints soudés (ZAT, MF) n'excédant pas la limite de 250 HV préconisée (NACE) pour améliorer sa résistance à la fragilisation par l'hydrogène. La propreté inclusionnaire de l'acier, notamment les teneurs réduites en soufre et en phosphore, favorise la bonne qualité des soudures.

Des essais ont été réalisés pour vérifier la faisabilité de la solution technique proposée (cf. figure ci-après).

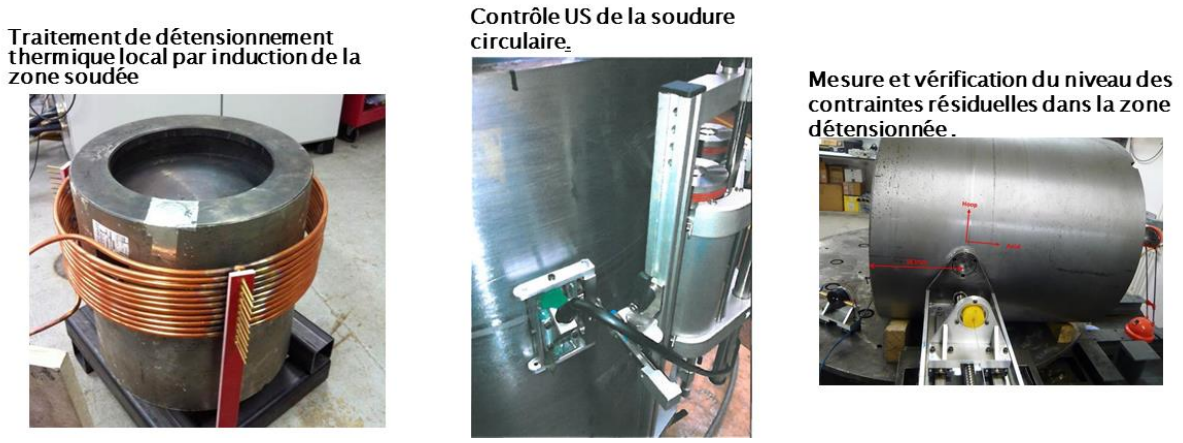


Figure 1.5-6 Illustration d'essais réalisés sur conteneurs HA

Le soudage du fond sur la virole est effectué en usine. Le soudage du couvercle sur la virole est effectué dans Cigéo (après chargement des colis primaires HA).

Des contrôles sont prévus en usine ainsi que sur Cigéo pour réduire le risque de défaut de fabrication et détecter un éventuel défaut.

Avant soudage, les contrôles suivants sont réalisés en usine sur chaque pièce pour s'assurer de sa conformité :

- examen visuel de chaque pièce forgée ;
- contrôle dimensionnel après usinage final ;
- contrôle par ultrasons à 100 % du volume.

Après soudage, en usine et sur Cigéo, les contrôles suivants sont effectués :

- par ultrasons pour la détection d'éventuels défauts de type manque de fusion, fissures et cavités internes ;
- par ondes rampantes ou par courants de Foucault pour la détection d'éventuels défauts de surface.

Des contrôles sont également réalisés sur les patins en céramique afin de s'assurer de leur conformité matière, géométrie, caractéristiques mécaniques).

1.6 Les caractéristiques des colis retenues pour la conception et les études de sûreté - Domaine de fonctionnement

Le conditionnement des déchets est réalisé par le producteur. Le produit fini constitue le « colis primaire ».

Les connaissances sur les colis primaires de déchets, fournies par les producteurs, constituent des données d'entrées essentielles des études de dimensionnement et de sûreté du projet Cigéo. Elles recouvrent les informations décrivant l'origine des déchets conditionnés ou non, les procédés de conditionnement, les caractéristiques et propriétés physico-chimiques des colis, ainsi que leur évolution et leur comportement dans le stockage en exploitation et après-fermeture.

L'Andra dispose d'un référentiel, stabilisé et partagé au sein de l'Agence, de connaissances sur les déchets et les colis primaires de déchets, déjà produits ou à produire.

Une particularité des colis de déchets destinés à Cigéo est la coexistence de quatre niveaux d'avancement du processus de production des colis de déchets à ce stade et qui pourra perdurer au-delà de la demande d'autorisation de création :

- des familles regroupant des colis de déchets dont la production est terminée[29], pour lesquelles la définition du concept de stockage doit s'adapter;
- des familles regroupant des colis de déchets en cours de production pour lesquelles le conditionnement des déchets est défini et une spécification de production des colis existe ;
- des familles regroupant des colis de déchets non encore produits à ce jour dont la définition du conditionnement des déchets est déjà bien avancée ;
- des familles regroupant des colis de déchets non encore produits à ce jour dont la définition du conditionnement est encore à l'état de recherche.

Toutes les familles de colis de déchets destinées à Cigéo appartenant à ces catégories sont répertoriées.

La conception de Cigéo s'appuie sur la connaissance des colis primaires au regard des fonctions de sûreté à assurer dans les différentes situations de fonctionnement de Cigéo mais aussi au regard des risques et incertitudes en phase après fermeture.

Le principe retenu est un dimensionnement de Cigéo fondé sur les caractéristiques connues de l'Andra des familles de colis de déchets produites, en cours de production et de pour lesquelles dont le conditionnement est connu à ce jour.

Les spécifications d'acceptation des colis sont établies en cohérence avec ce dimensionnement.

Le conditionnement des déchets dont la définition est encore à l'état de recherche à ce jour, devra être défini de manière à ce que les colis satisfassent les futures spécifications d'acceptation à Cigéo. Celles-ci seront établies dans le cadre de la demande d'autorisation de création.

Les caractéristiques dimensionnantes permettent de définir le domaine de fonctionnement de l'installation.

[29] Pour certains selon une spécification de production.

1.6.1 La démarche

Les connaissances sur les colis primaires constituent des données d'entrée essentielles de la conception et de la démonstration de sûreté de Cigéo. L'utilisation de ces connaissances s'inscrit dans une démarche itérative, représentée schématiquement sur la figure ci-après.

L'Andra, à partir de l'ensemble de connaissances dont elle dispose, établit un socle de connaissances dont l'utilisation est fonction de la « finalité » : études de conception (dimensionnement structures/composants/équipements), évaluation de performances ou évaluation de sûreté en exploitation ou après fermeture.

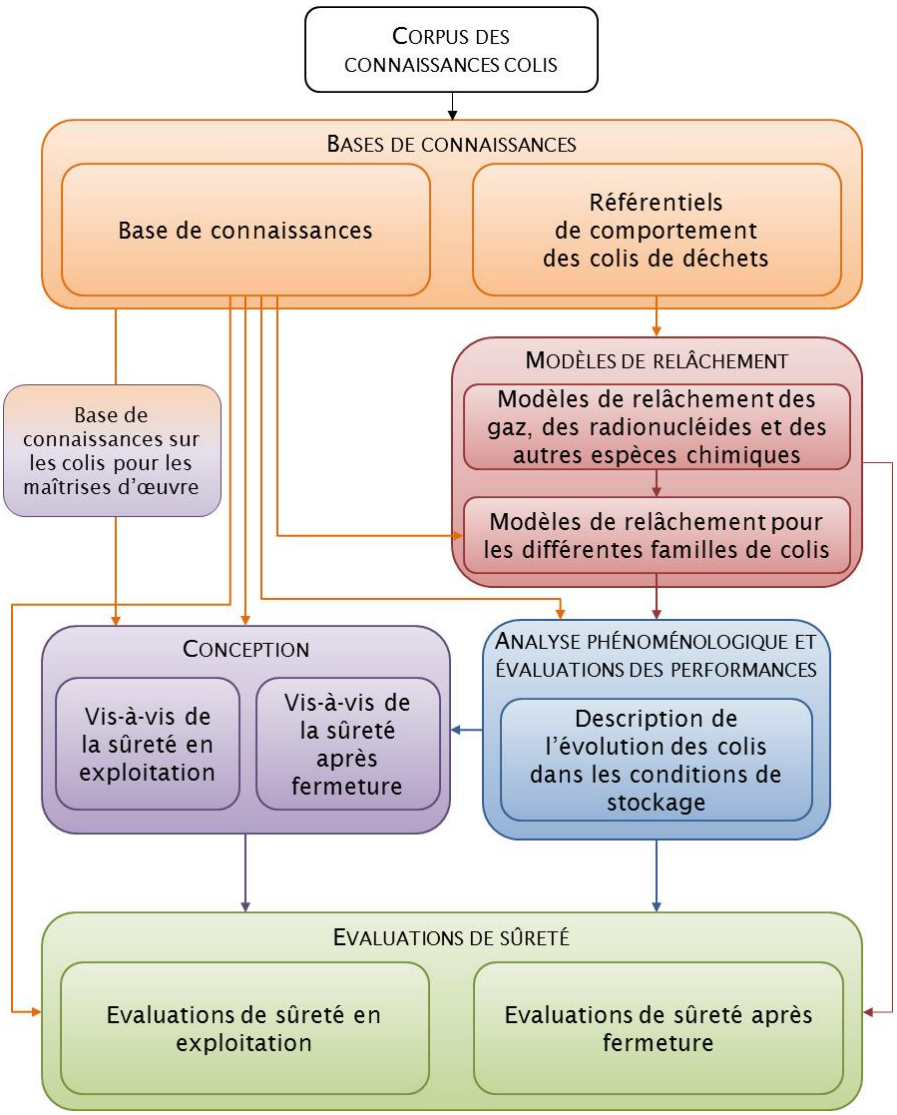


Figure 1.6-1 Processus d'utilisation des connaissances des colis primaires pour Cigéo

Pour la conception de Cigéo et la démonstration de sûreté, les données d'entrée sur les connaissances des colis primaires utilisées sont donc extraites directement du socle de connaissances:

- en prenant les données « brutes » (cas pour le dimensionnement des conteneurs de stockage) ;
- en sélectionnant en tant que de besoin les caractéristiques dimensionnantes (vis-à-vis des risques) ;
- le cas échéant en appliquant des marges pour tenir compte des incertitudes (exemple d'application dans le volume II du DOS-AF relatif à l'inventaire radiologique).

Ces connaissances correspondent à une grande variété de déchets d'origines et de caractéristiques diverses.

Ainsi, il est nécessaire d'identifier, les familles de colis et plus particulièrement les caractéristiques à considérer pour le dimensionnement des installations et l'évaluation de sûreté associée permettant de couvrir cette variabilité.

Au-delà des différents risques qui conduisent chacun à une sélection, le découpage et la répartition du champ d'analyse des familles de colis diffèrent suivant le lieu ou composant considéré ou le procédé utilisé. Ainsi, pour les installations de surface qui assurent notamment le conditionnement des colis primaires en colis de stockage, la sélection est établie à la fois sur les colis primaires et sur les colis de stockage. Pour les composants nécessaires au transfert dans l'installation souterraine et à la mise en alvéole de stockage des colis, la sélection est réalisée sur les colis de stockage et le cas échéant sur les colis primaires qui feraient l'objet d'une mise en alvéole de stockage sans ajout d'un conteneur de stockage.

Par ailleurs, certaines logiques de regroupement peuvent apparaître en fonction de choix de conception retenus : par exemple regroupement de plusieurs familles de colis au sein d'un même modèle de hotte de transfert, regroupement de certaines familles au sein d'une zone tampon, d'un alvéole. Il n'y a donc pas une sélection unique et absolue pour un même risque et une même catégorie de familles de colis (MA-VL/HA) mais plusieurs suivant la finalité, à savoir le dimensionnement des infrastructures de surface ou souterraine et de leurs équipements associés.

1.6.2 Les données d'entrées : la connaissance des colis

1.6.2.1 Le socle de connaissances

L'Andra dispose d'un référentiel stabilisé et partagé au sein de l'Agence, de connaissances sur les déchets et les colis primaires de déchets, déjà produits ou à produire sur lequel sont bâtis les différents exercices (études, choix de filière, inventaires) tout en garantissant leur cohérence. Ce référentiel, appelé "socle de connaissances" permet de :

- regrouper, valider et maîtriser les informations recueillies au travers de différentes activités de l'Agence ;
- mettre ces informations à la disposition des différents utilisateurs ;
- tout en garantissant la traçabilité des connaissances et de leurs évolutions.

Le "socle de connaissances" se matérialise par une base de connaissances dénommée "OSCAR" (Organisation du Socle de Connaissances des Colis de l'Andra et du Référentiel).

1.6.2.2 Inventaires radiologiques

L'activité est déclarée par radionucléide[30] et pour chaque famille (a minima exprimée en Bq/colis).

L'inventaire radiologique est déclaré pour 144 radionucléides comprenant des produits de fission, des produits d'activation et des actinides. Les différents radionucléides se caractérisent par leur période radioactive. Ils se répartissent ainsi en :

- 44 radionucléides (31 %) à vie courte avec une période radioactive inférieure à 6 ans ;
- 16 radionucléides (11 %) à vie moyenne avec une période radioactive comprise entre 7 et 31 ans ;
- 84 radionucléides (58 %) à vie longue avec une période radioactive supérieure ou égale à 31 ans.

Le dimensionnement des composants de l'installation et l'évaluation des risques sont menés sur deux types d'inventaire radiologique : l'inventaire radiologique moyen et l'inventaire radiologique maximal. Ces informations sont nécessaires pour s'assurer du caractère suffisamment enveloppe des valeurs

[30] Les seuils de déclaration applicables à Cigéo suivent la règle suivante :
· Pour les radionucléides de période inférieure à 6 ans : 10 Bq/g ;
· Pour les radionucléides de période supérieure ou égale à 6 ans et inférieure à 31 ans : 1 Bq/g ;
· Pour les radionucléides de période supérieure ou égale à 31 ans : 0,1 Bq/g.

retenues pour dimensionner les composants de l'installation (protections radiologiques et systèmes de ventilation notamment).

En fonction des familles, des valeurs sont données, soit sous forme d'activités maximales pour chaque radionucléide présent, soit sous forme de facteurs de variabilité (ratio entre l'activité maximale et l'activité moyenne). L'inventaire radiologique maximal est calculé à partir de ces valeurs en les faisant décroitre pour les utiliser à la date de mise en service du stockage donc une date au plus tôt pour les MA-VL et HA0 puis pour les HA1/HA2 (c'est-à-dire au-delà de 2075 pour les familles HA1/HA2). Cette hypothèse enveloppe permet de s'affranchir de la chronique de livraison pour le dimensionnement et permet d'apporter des marges pour le futur.

Dans le cadre de l'établissement du rapport de sûreté en support de la demande d'autorisation de création, ces marges seront évaluées notamment pour les familles de colis contenant une majorité de radionucléides à vie courte (cas du ^{60}Co dont la période radioactive est de 5 ans) pour lesquels la décroissance radioactive peut être significative et non prise en compte à ce stade dans le dimensionnement des protections.

Pour les familles dont les activités maximales ne sont pas connues, l'inventaire radiologique maximal retenu pour le dimensionnement et les évaluations est l'inventaire radiologique moyen sans considérer de décroissance dans le temps.

Les périodes radioactives des différents radionucléides sont issues de la bibliothèque internationale de données nucléaires JEFF.

1.6.2.3 Inventaire en radionucléides gazeux

Les radionucléides gazeux considérés pour les évaluations d'impact des rejets gazeux potentiels sont ^{3}H, ^{14}C et ^{85}Kr. Leurs inventaires sont fondés sur la déclaration faite par les producteurs et disponible dans le socle de connaissances.

Sur la base des fractions de relâchement associées à ces radionucléides gazeux, des ordres de grandeur de dégazage des colis sont retenus pour évaluer l'impact sur le public.

1.6.2.4 Inventaire en autres gaz

Certains colis de déchets MA-VL émettent des gaz qui ont pour origine le phénomène de radiolyse (effet des rayonnements ionisants émis par les substances radioactives sur les produits hydrogénés présents dans les colis (matières organiques, eau de la matrice de conditionnement).

Ces gaz de radiolyse sont majoritairement l'hydrogène dont l'inventaire est présenté au 1.6.3.5 vis-à-vis de l'évacuation des gaz de radiolyse issus des colis et du risque potentiel d'explosion associé.

1.6.2.5 Inventaire en toxiques chimiques

La liste des toxiques chimiques retenus est : le plomb (Pb), le bore (B), le nickel (Ni), le chrome (Cr (dont Cr VI)), l'arsenic (As), antimoine (Sb), le sélénium (Se), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le béryllium (Be), radical CN, l'uranium (U) et l'amiante. Leur quantité est exprimée en g/colis pour chaque élément chimique.

La présence ou non de toxiques chimiques dans les colis primaires de déchets est aussi déclarée systématiquement par le producteur.

L'inventaire en toxiques chimiques n'impacte pas le dimensionnement de Cigéo. Il sera utilisé dans le cadre de la DAC pour évaluer les impacts potentiels et vérifier que les objectifs de protection vis-à-vis de la toxicité chimique (cf. volume I) sont satisfaits.

1.6.3 Les caractéristiques dimensionnantes

1.6.3.1 Caractéristiques géométriques dimensionnantes pour les composants/équipements

Les caractéristiques des colis primaires dimensionnantes pour les conteneurs de stockage sont la masse et la géométrie.

En effet, ces données « brutes » permettent la définition des différents modèles de conteneurs, avec la recherche d'une standardisation permettant de réduire le nombre de modèles différents. Une fois les conteneurs de stockage définis, chaque plan spécificateur (cotes internes et externes) établi par modèle de conteneur de stockage devient une exigence spécifiée qui sera reprise dans les spécifications d'acceptation des colis primaires.

Le tableau en annexe présente pour chacune des familles les masses notamment retenues en lien avec le conteneur de stockage auquel elles sont destinées dans la solution n°1 dite « de référence ».

1.6.3.2 Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis du co-stockage physico-chimique

Afin d'optimiser la conception de Cigéo et plus particulièrement la répartition des colis MA-VL dans les alvéoles de stockages et, par voie de conséquence, le nombre d'alvéoles de stockage MA-VL, les familles de colis ont été regroupées en 7 catégories physico-chimiques en considérant que l'ensemble des colis d'une même catégorie, quelle que soit leur famille d'appartenance, était co-stockable d'un point de vue physico-chimique.

Les 7 catégories retenues sont les suivantes :

- MA-VL1 : colis de déchets contenant une quantité significative de sels hors colis de boues bitumées.
- MA-VL2 : colis de boues bitumées ;
- MA-VL3 : colis contenant des déchets (ou autre constituant du colis hors matrice) composés de matières organiques ;
- MA-VL4 : colis de déchets non ou faiblement exothermiques cimentés ne contenant ni matière organique[31] ni sels ;
- MA-VL5[32] : colis de déchets non ou faiblement exothermiques non cimentés[33] ne contenant ni matière organique[34] ni sels, notamment les déchets de structure issus du traitement des combustibles ;
- MA-VL6 : colis de déchets vitrifiés, non ou faiblement exothermiques, éventuellement après une phase préalable d'entreposage de décroissance qui permet de les déclasser de la catégorie HA0 ;
- MA-VL7 : colis de déchets sodés[35] .

Le tableau en annexe donne la répartition des familles de colis primaires par catégorie.

1.6.3.3 Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis du risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants

Le dimensionnement des protections radiologiques concerne notamment les épaisseurs des murs, portes et hublots des installations de surface, des façades d'accostage et portes de radioprotection de l'installation souterraine et des hottes de transfert des colis.

Le dimensionnement des protections est fait en utilisant l'inventaire radiologique maximal des familles de colis, ce qui permet de couvrir tous les colis primaires des familles considérées pour la conception de Cigéo.

Il sera vérifié dans le cadre des études à venir relatives à la démonstration de sûreté et au dimensionnement détaillé de Cigéo que pour chacune des familles le dimensionnement des protections radiologiques apporte des marges permettant de satisfaire le principe d'optimisation de la radioprotection (ALARA) tel que défini dans le volume I du présent document.

A ce stade, les familles de colis pour lesquelles les caractéristiques à considérer pour le dimensionnement des protections radiologiques vis-à-vis de l'exposition externe aux photons et aux neutrons sont :

---

[31] A l'exception des étiquettes sur étuis intermédiaires, colle ou peinture.
[32] La possibilité de co-stocker les MA-VL4 et MA-VL5 est en cours d'étude et sera confirmée dans le cadre de la DAC.
[33] Les matrices à base de géopolymères entrent dans cette catégorie.
[34] A l'exception des étiquettes sur étuis intermédiaires, colle ou peinture.
[35] Sodium métallique interdit au stade actuel des spécifications préliminaires.

- pour les locaux des installations nucléaires de surface dans lesquelles les colis primaires de déchets font l'objet d'opérations :
  - ✓ pour MA-VL, les familles COG-100, COG-110, CEA-120, CEA-060, EDF-080 et ITER-010 ;
  - ✓ pour HA0, la famille CEA-1080 ;
  - ✓ pour HA1/2, les familles COG-800 et COG-200 ;
- pour les locaux/équipements « accueillant » les conteneurs de stockage (CtS) :
  - ✓ CtS1 : CEA-140 ;
  - ✓ CtS2 : COG-100, COG-110, CEA-060, CEA-120 ;
  - ✓ CtS3 : COG-440 et COG-040 ;
  - ✓ CtS4 : CEA-280, COG-020, CEA-1020, CEA-1021 ;
  - ✓ CtS5 : EDF-080, EDF-090, ITER-010, CEA-080 ;
  - ✓ CtS6 : CEA-450 ;
  - ✓ CtS7: CEA-231 ;
  - ✓ CtS HA0 : CEA-1080 ;
  - ✓ CtS HA 1/2 : COG-800 et COG-200.
- pour le dimensionnement des hottes MA-VL, les grandeurs caractéristiques prises en compte pour le dimensionnement au risque d'exposition externe sont les grandeurs maximales des familles de colis qu'elles transportent :
  - ✓ hotte de type n°1 avec les colis de stockage CS2 et CS3 ;
  - ✓ hotte de type n°2 avec les colis de stockage CS1, CS4, CS6 et CS7 ;
  - ✓ hotte de type n°3 avec les colis de stockage CS5 ;
- pour le dimensionnement des hottes HA, les grandeurs caractéristiques prises en compte pour le dimensionnement au risque d'exposition externe sont les grandeurs maximales des familles de colis qu'elles transportent.

Nota sur le dimensionnement du conteneur HA : l'épaisseur du conteneur HA résulte d'exigences de sûreté après fermeture (cf. volume II du DOS-AF). Aussi le dimensionnement des équipements et des hottes résultera d'une part de l'activité de la famille HA considérée et d'autre part de l'atténuation apportée par le conteneur de stockage HA (cf. section 1.5).

Tableau 1.6-1 Evaluation des grandeurs caractéristiques relatives au risque d'exposition externe aux rayonnements ionisants

Risque d'exposition externe			
Catégorie de CS	**Zone dimensionnée**	**Activité (Bq/colis)**	**Grandeurs caractéristiques (Débit d'équivalent de dose ambiant à 1 m d'un colis)**
MA-VL et HA0	Bâtiment EP1	MA-VL : 1,90E+15 HA0 : 5,71E+15	MA-VL : En CP : 19 Sv/h (p) ; 50 µSv/h (n) En CS : 310 mSv/h (p) ; 5 µSv/h (n) HA0 : En CP : 31 Sv/h (p) ; 2 mSv/h (n) En CS : 1,3 Sv/h (p) ; 1 mSv/h (n)
HA 1/2	Bâtiment EP2	2,02E+16 8,11E+15	En CP : 43,3 Sv/h (p) ; 6 mSv/h (n) En CS : 5,5 Sv/h (p) ; 7 mSv/h (n)
CS 1	Bâtiment EP1 Hotte n°2 Quartier MA-VL	2,59E+12	En CP : 1,26 mSv/h (p) ; 0,1 µSv/h (n) En CS : 0,06 mSv/h (p) ; 0,02 µSv/h (n)
CS 2	Bâtiment EP1 Hotte n°1 Quartier MA-VL	9,43E+14	En CP : 5 Sv/h (p) ; 50 µSv/h (n) En CS : 245 mSv/h (p) ; 5 µSv/h (n)
CS 3	Bâtiment EP1 Hotte n°1 Quartier MA-VL	6,3E+13	En CP : 54 mSv/h (p) ; 0,8 µSv/h (n) En CS : 3 mSv/h (p) ; 0,1 µSv/h (n)
CS 4	Bâtiment EP1 Hotte n°2 Quartier MA-VL	1,63E+14 1,43E+13 5,09E+13	En CP : 420 mSv/h (p) ; 2 µSv/h (n) En CS : 25 mSv/h (p) ; 0,5 µSv/h (n)
CS 5	Bâtiment EP1 Hotte n°3 Quartier MA-VL	4,33E+15 1,90E+15 5,26E+13	En CP : 19 Sv/h (p) ; 1 µSv/h (n) En CS : 310 mSv/h (p) ; 0,04 µSv/h (n)
CS 6	Bâtiment EP1 Hotte n°2 Quartier MA-VL	6,01E+11	En CP : 0,35 mSv/h (p) ; <0,001 µSv/h (n) En CS : 0,02 mSv/h (p) ; <0,001 µSv/h (n)
CS 7	Bâtiment EP1 Hotte n°2 Quartier MA-VL	1,18E+12	En CP : 0,2 µSv/h (p) ; <0,01 µSv/h (n) En CS : 0,1 µSv/h (p) ; <0,01 µSv/h (n)
HA0	Bâtiment EP1 Hotte HA0 Quartier HA0	5,71E+15 9,24E+14	En CP : 31 Sv/h (p) ; 2 mSv/h (n) En CS : 1,3 Sv/h (p) ; 1 mSv/h (n)
HA 1/2	Bâtiment EP1 Hotte HA 1/2 Quartier HA 1/2	2,02E+16 8,11E+15	En CP : 127 Sv/h (p) ; 10 mSv/h (n) En CS : 5,5 Sv/h (p) ; 7 mSv/h (n)

1.6.3.4 Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis du risque de dispersion de substances radioactives

L'identification des classes de ventilation (des locaux des installations de surface, des galeries et alvéoles de l'installation souterraine) et la performance de confinement attribuée à la hotte MA-VL sont réalisées en considérant les familles de colis retenues sur la base des critères ci-après, en utilisant l'inventaire radiologique maximal.

La sélection de familles de colis vis-à-vis du risque de dispersion de substances radioactives est réalisée pour les deux situations accidentelles suivantes (cf. volume III du présent document) :

- la chute ou la collision entraînant la remise en suspension d'une partie du contenu d'un colis primaire ou colis de stockage ;
- l'incendie sollicitant un colis primaire ou un colis de stockage et entraînant la remise en suspension de la contamination surfacique labile présente sur le conteneur primaire ou le conteneur de stockage.

Le critère de sélection des familles de colis vis-à-vis de ce risque est la plus forte contamination dans l'air (nombre de LDCA) en considérant les informations suivantes :

- la tenue à la chute des colis primaires et la hauteur associée permettant de s'affranchir du risque de remise en suspension de substances radioactives ;
- le comportement au feu du colis primaire et la sensibilité du déchet et de son conditionnement à une élévation de température est supposé suffisant pour ne pas mobiliser le terme source contenu dans le colis.

Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis d'une situation de chute

Les familles de colis les plus dimensionnantes vis-à-vis du risque de dissémination associé à la mise en suspension de l'activité du colis primaire et de stockage en situation de chute sont présentées dans le Tableau 1.6-.

Tableau 1.6-2 Evaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de l'activité du colis en cas de chute excédant sa hauteur de qualification

Mobilisation de l'activité du colis en cas de chute, choc ou collision excédant sa hauteur de qualification				
Hauteur de qualification à la chute	**Catégorie de CS**	**Familles de colis enveloppes en situations accidentelles (chute, choc, collision)**	**Grandeurs caractéristiques (Contamination atmosphérique engendrée par la mise en suspension de l'activité d'un CP/CS, exprimée en Nb LDCA.m^3)**	**Matrice de blocage ou d'enrobage**
Sans	CS 5.1	CEA-1510	9,76E+08 / 9,76E+06	Mortier
	CS 6	CEA-300, CEA-290	1,51E+06 / 1,51E+04	Mortier
1,2 m	CS 1	CEA-140	7,42E+07 / 1,48E+06	Mortier
	CS 2	COG-030, COG-050	4,88E+07 / 4,88E+05	Mortier
	CS 4	CEA-1010, CEA-1000	3,23E+05 / 1,29E+04	Bitume
		CEA-1020 et 1021	9,11E+05 / 3,64E+04	Bitume
	CS 5	CEA-050, CEA-090	2,19E+08 / 2,19E+06	Mortier
	CS 7	CEA-231	4,32E+07 / 8,64E+05	Non défini
1,3 m	CS 5.3	EDF-080	1,62E+08 / 1,62E+06	Mortier
1,8 m	CS 4	CEA-280	1,03E+09 / 4,12E+07	Mortier
2,5 m	CS 6	CEA-450	5,46E+05 / 5,46E+03	Mortier
4,5 m	CS 4	COG-020	6,42E+05 / 2,57E+04	Bitume
6 m	CS 3	COG-440	6,11E+06 / 6,11E+04	Mortier
	CS 2.3	CEA-110	4,46E+07 / 8,92E+05	Mortier
7,3 m	CS 5	COG-430	1,86E+07 / 7,44E+05	Non défini
7,5 à 8 m	CS 2	CEA-060	7,69E+08 / 1,54E+07	Mortier
9 m	CS 2	COG-120, COG-110	1,61E+08 / 6,44E+06	Non défini

Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis d'une situation d'incendie

Les familles de colis les plus pénalisantes vis-à-vis du risque de dissémination associé à la mise en suspension de la contamination labile éventuellement présente sur les surfaces externes du colis primaire et de stockage en situation d'incendie sont présentées dans le Tableau 1.6-.

Tableau 1.6-3 Evaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en cas d'incendie

Mobilisation de la contamination surfacique labile du colis en cas d'incendie				
Catégorie de CS	Familles de colis enveloppes en situations normales	Surface maximale externe des colis CP/CS (cm²)	Contamination surfacique maximale (Nb LDCA.m^3.cm^{-2})	Grandeurs caractéristiques (Nb LDCA.m^3)
CS 1	CEA-140	1,58E+04 / 1,74E+05	6,77E-03	1,07E+02 / 1,18E+03
CS 2	CEA-110, CEA-060	6,28E+04 / 1,73E+05	8,06E-03	5,06E+02 / 1,39E+03
CS 3	COG-440	7,59E+04 / 1,86E+05	3,21E-03	2,44E+02 / 5,97E+02
CS 4	CEA-280	3,00E+04 / 2,15E+05	7,56E-03	2,27E+02 / 1,62E+03
CS 5	CEA-1510, CEA-1100	8,80E+04 / 2,08E+05	8,33E-03	7,33E+02 / 1,73E+03
CS 6	CEA-450	1,17E+05 / 2,34E+05	7,68E-03	8,61E+02 / 1,72E+03
CS 7	CEA-231	2,10E+05 / 2,82E+05	2,72E-03	5,69E+02 / 7,64E+02
HA	CEA-1190	9,31E+03 / 5,15E+04	7,79E-03	7,25E+01 / 4,01E+02

Concernant la mobilisation de l'activité radiologique contenue dans le colis de stockage en situation d'incendie, il est considéré que la protection apportée par le conteneur couplée aux dispositions limitant l'intensité et la durée du feu en situation d'incendie, ne permettent pas d'atteindre un niveau de température suffisant pour produire un relâchement des substances radioactives, à l'exception des gaz (tritium, carbone, argon, krypton). Les colis les plus sensibles à une élévation de température sont les colis d'enrobés bitumineux qui ont fait l'objet d'un programme spécifique entre 2012 et 2015. Les principaux enseignements de ce programme sont présentés ci-après.

Spécificité des colis d'enrobés bitumineux

Le programme d'études ANDRA/AREVA/CEA/EDF a permis :

- de compléter les connaissances sur le comportement des enrobés bitumineux lors d'une élévation de température ;
- d'évaluer le niveau de protection thermique apporté par le conteneur de stockage vis-à-vis de la sollicitation en température du colis primaire ;
- de démontrer le bon comportement mécanique du conteneur de stockage au cours de l'incendie et post-incendie.

La synthèse de ce programme et les principaux résultats des essais sont présentés dans la note de synthèse sur les résultats du programme d'étude conjointe sur les boues bitumées (30).

- ***Les connaissances sur le comportement des enrobés bitumineux***

Les enseignements tirés des essais aux différentes échelles ont permis d'approfondir la connaissance du comportement des enrobés bitumineux lors de leur élévation en température. Les essais de microcalorimétrie ont permis de connaitre les températures de déclenchement des réactions chimiques, l'énergie dégagée et les vitesses de restitution de cette énergie.

Les essais de moyenne échelle ont permis de comprendre le mode de diffusion de la chaleur au sein de l'enrobé en précisant les valeurs de diffusivité des enrobés. Ils ont également permis de comprendre les phénomènes de changement de comportement liés à la variation de la viscosité en fonction de la température. Associés à des expériences de thermogravimétrie, ils ont permis d'identifier les températures d'apparition des phénomènes de pyrolyse.

Ainsi, les éléments importants en termes de sûreté pour un colis d'enrobé pris à température ambiante et chauffé par l'extérieur ont pu être fixés :

- la présence d'air en quantité suffisante est nécessaire pour que la combustion de l'enrobé puisse se poursuivre ;
- les tests de montée en température ont montré que les phénomènes d'auto-inflammation nécessitent une température supérieure à 300°C car aucune inflammation ne s'est produite lors des différents essais qui ont été menés jusqu'à cette température. Un essai particulier a montré que 400°C en paroi déclenche le phénomène dans un environnement apportant suffisamment d'oxygène ;
- des concentrations de quelques % en gaz CxHy ont été mesurées au-delà de 230°C. Cette température est la limite inférieure de point éclair pour le bitume de grade 70/100 utilisé pour les enrobés. La limite de 230°C est retenue pour considérer l'ignition des enrobés en présence d'une source d'ignition à leur surface ;
- les essais ont permis d'observer que des températures inférieures à 200°C au niveau de l'enrobé démontre l'absence de formation de gaz de pyrolyse.

Du point de vue de la sûreté, on considère que si les conditions d'auto-inflammation ou de point éclair sont atteintes en un point, elles peuvent conduire à la combustion complète de l'enrobé si l'air est présent en quantité suffisante. Un maintien à une température supérieure à 200°C ne conduit pas à la perte totale de l'enrobé dans le temps mais seulement à l'émission des composés gazeux (pyrolysables ou non) à cette température. Ce phénomène est local et s'arrête si la température baisse. Dans le cas d'un échauffement extérieur, la pyrolyse se traduit par l'émission de composés gazeux uniquement sur les surfaces libres. La dispersion intervient uniquement avec les composés volatils à la température considérée.

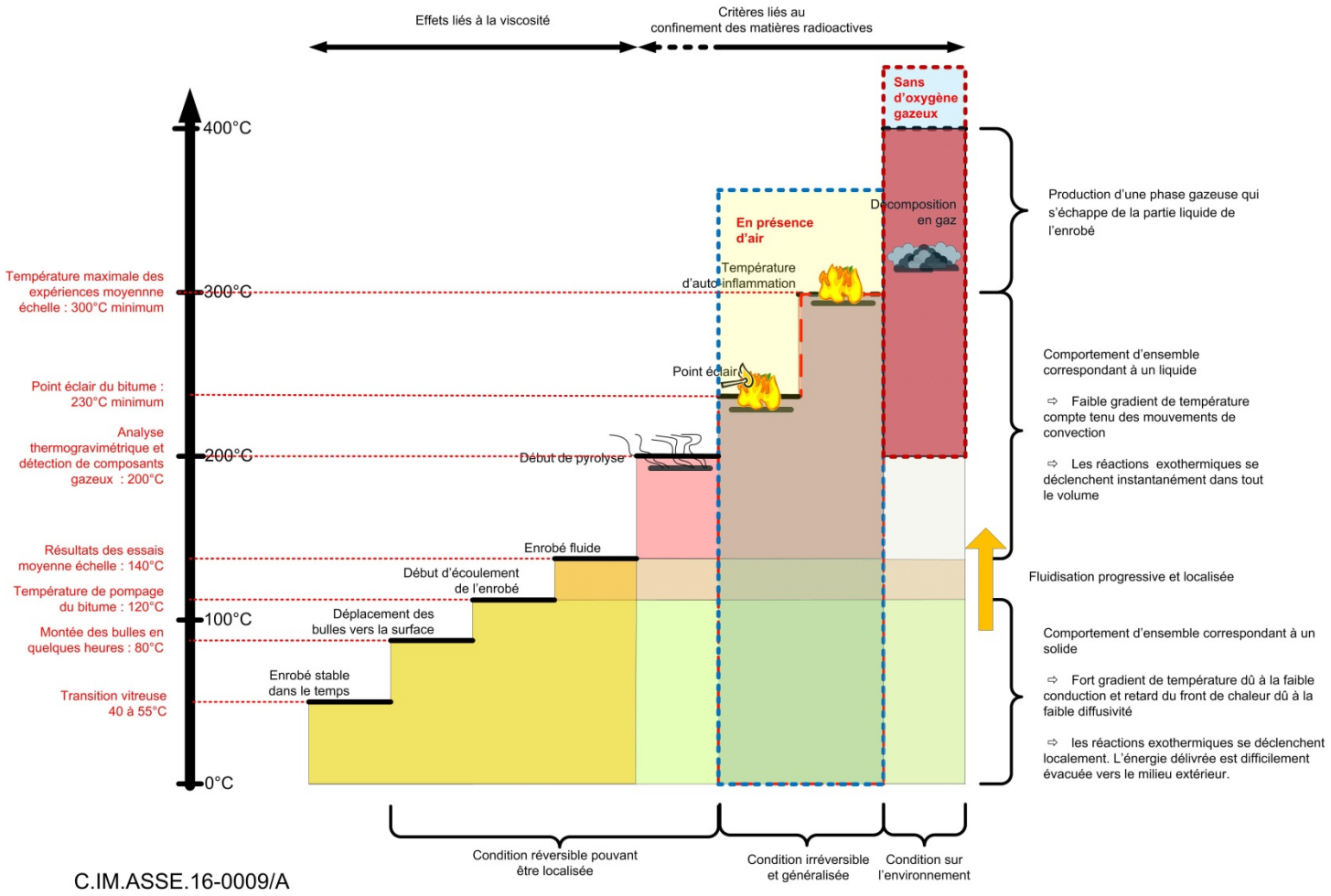


Figure 1.6-2 Critère de sûreté associé à un colis de boues bitumées

- ***Le comportement des conteneurs***

Un programme d'essai a été mis en œuvre dans le but de solliciter un colis de stockage constitué d'un conteneur béton à l'échelle 1 contenant quatre fûts d'enrobés bitumineux dans des conditions représentatives des conditions enveloppes d'un incendie dans l'installation Cigéo. Ce programme a permis :

- d'évaluer les conséquences d'un incendie sur la tenue mécanique du colis et notamment de montrer sa récupérabilité ;
- de caractériser la diffusion de la chaleur au sein du colis.

Deux types d'essais associés à des conditions de feux différentes ont été réalisés :

- une configuration reproduisant les effets thermiques sur les faces du colis de la courbe normalisée ISO 834 1 heure utilisée pour la tenue au feu des structures et matériel ;
- une configuration à partir d'un incendie enveloppe impliquant un colis de stockage dans la situation la plus pénalisante des conditions d'exploitation de Cigéo.

Les essais ont été réalisés sur un conteneur de stockage à l'échelle 1, représentatif de par ses caractéristiques mécaniques, du concept de conteneur de stockage retenu au stade de l'esquisse pour l'installation Cigéo, avec une épaisseur de béton de 10 à 12 cm et 20 cm.

Les résultats des essais confirment que le colis de stockage soumis à un environnement thermique maximisé est toujours manipulable permettant ainsi sa récupérabilité. En effet, les colis soumis aux essais ont pu être manutentionnés au pont et transportés avec un chariot à fourches sans présenter de défaillance interne ou de dégâts supplémentaires à ceux liés à l'essai.

Concernant la protection thermique des fûts d'enrobés bitumineux, les conteneurs de stockage limitent la montée en température sur les surfaces de l'enrobé bitumineux. Lors des différents essais, les températures maximales atteintes sur les parois externes des fûts d'enrobés bitumineux au sein du colis de stockage n'ont pas dépassé la valeur de 125°C.

L'observation des fûts d'enrobés bitumineux après essai et ouverture du conteneur de stockage confirme que les températures atteintes sur les parois des fûts et dans les enrobés bitumineux ne sont pas élevées.

Un nouvel essai feu (ISO 834 1h) a été réalisé en juin 2015 sur un prototype de colis CS4. Les conditions de l'essai étaient similaires à celles des essais réalisés dans le cadre du programme bitume. La figure suivante présente le colis de stockage soumis à l'essai : à gauche, colis en cours d'installation dans le four ; au centre, vue d'un angle du colis et ambiance thermique dans le four en cours d'essai ; à droite, colis après essai et refroidissement.

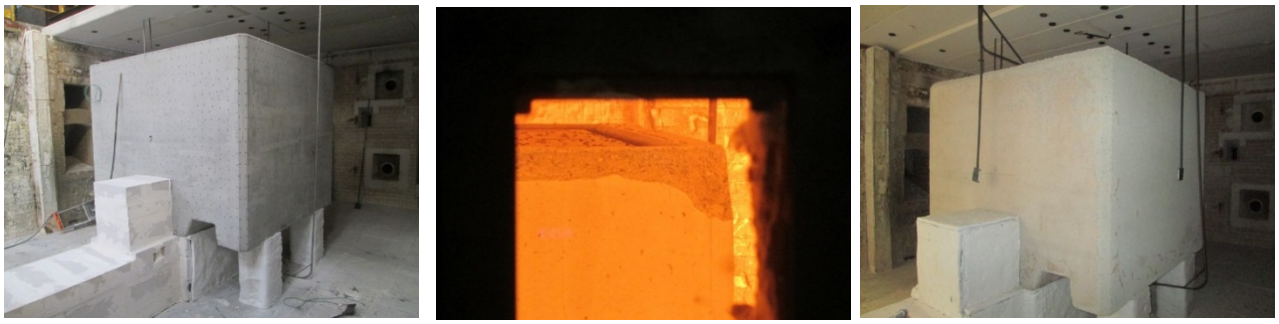


Figure 1.6-3 *Essai feu réalisé sur un colis CS4 intégrant 4 fûts d'enrobés bitumineux dans un laboratoire agréé en résistance au feu (Effectifs France)*

La température en surface des fûts d'enrobés bitumineux n'a pas dépassé la valeur de 100°C à l'exception de la partie haute des fûts qui ne contient que de l'air et où la température est restée inférieure à 110°C.

Ces essais ont aussi permis d'évaluer l'écaillage du béton par comparaison de deux formulations (avec et sans fibres de polypropylène).

Les principaux enseignements concernent le choix d'une formulation de béton contenant des fibres de polypropylène pour réduire de façon efficace l'écaillage du béton et améliorer le comportement au feu du conteneur de stockage.

- ***L'évolution du critère***

Le critère de 100°C retenu pour les études précédentes et associé à la perte de la fonction de confinement est modifié à la lumière des résultats du programme.

Les différentes températures illustrées dans la figure précédente (cf. note commune ANDRA/AREVA/CEA/EDF) permettent de définir les critères de sûreté en fonction des risques propres à chaque installation associés.

Une température de 200°C en présence d'air et d'une source d'ignition proche de la surface du fût permet de disposer d'une marge d'au moins 30°C vis-à-vis de la perte de la matrice de confinement de l'enrobé par combustion.

Une valeur de température de 180°C en peau de fût permet de disposer d'une marge de 20°C vis-à-vis de la formation de produit de pyrolyse et de maintenir la fonction de confinement quelle que soit la durée de sollicitation,

Entre les deux, les temps de montée en température de l'enrobé étant très importants, la perte de confinement sera très progressive.

1.6.3.5 Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis de l'évacuation des gaz de radiolyse issus des colis

Le critère de choix retenu pour sélectionner les caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis du risque d'explosion est le débit d'hydrogène par colis primaire déclaré. Cela concerne les familles de déchets MA-VL, les familles de déchets HA étant peu concernées et placées dans des conteneurs étanches aux gaz. Les valeurs retenues peuvent impacter le dimensionnement de la ventilation des locaux/alvéole, les délais maximaux admissibles pour rétablir la ventilation ou intervenir sur les moyens de transfert des colis en leur présence en cas de blocage. L'ensemble de ces éléments donne des argumentations sur la pertinence de retenir le scénario d'explosion dans le dimensionnement de l'installation ou de l'exclure.

La ventilation permet l'évacuation des gaz de radiolyse en provenance des colis primaires. L'évaluation du risque en cas de perte de ventilation nécessite d'identifier les familles de colis qui présentent le plus fort dégagement de gaz de radiolyse, assimilé à du dihydrogène. Au regard des données disponibles sur le dégazage des colis primaires, il est retenu d'analyser et d'évaluer les risques avec une valeur moyenne et de mener une étude de sensibilité avec une valeur enveloppe, les deux valeurs sont prises pour l'ensemble d'une famille, exprimées en l/colis/an. Il est aussi considéré le cas d'un nombre limité de colis dans une famille pouvant dépasser le domaine de valeurs retenu pour le dimensionnement et d'évaluer la conséquence en termes de conception voire d'exploitation.

Concernant les colis MA-VL et sur la base des valeurs maximales du socle de connaissances :

- la valeur de 40 l/an et par colis de stockage est retenue ;
- la possibilité de prendre en compte au cas par cas des colis en nombre limité dont le taux de dégazage est supérieur à 40 l/an et par colis de stockage, tout en respectant une valeur moyenne dans l'alvéole de 40 l/an et par colis de stockage, est retenue ;
- une étude de sensibilité avec un taux de dégazage de 100 l/an et par colis de stockage est réalisée. Cette valeur permet d'évaluer la robustesse de la conception et de la démonstration de sûreté.

Cette fourchette permet ainsi de couvrir les lots potentiels de colis primaires en nombre limité pour lesquels malgré les meilleures techniques disponibles d'un point de vue économique mises en œuvre par un producteur, le taux de dégazage peut être supérieur à 100 l/an et par colis de stockage. En effet, lors de l'exploitation, la répartition des colis mis en stockage resterait toujours inférieure au domaine pris pour le dimensionnement de la ventilation dans l'alvéole. Une attention particulière sur le transfert de ces colis est nécessaire en lien avec la démonstration de sûreté.

Le tableau suivant présente les familles de colis présentant les plus forts dégagements en gaz de radiolyse.

Tableau 1.6-4 Grandeurs caractéristiques pour les risques liés aux dégagements de gaz de radiolyse

Colis représentatifs	Valeur de dégagement (L/CP/an)	Nombre de CP/CS
CEA-1100	15,8 (en 2010)	1
CEA-050 et 090	10,5	1
CEA-330	33,3	1
CEA-1000 et 1010	2,2	4
CEA-120	15	2
CEA-110	13,6	2
CEA-060	7,1	2
CEA-480	3,9 (9,5 au max)	4
COG-030 et 050	31 (à la date de production)	1
COG-040	28 (en 1995)	1
COG-440	120[36]	1
COG-460	11	4
EDF-080 et EDF-090	87[37]	1

1.6.3.6 Caractéristiques dimensionnantes vis-à-vis du risque lié à la puissance thermique des colis primaires

Les puissances thermiques constituent une donnée d'entrée importante pour vérifier que le dimensionnement des murs/soutènements, les arrangements des colis dans les alvéoles ainsi que les distances entre alvéoles permettent de respecter les critères cités au § 2.1.4 du Vol III, parmi lesquels, des températures maximales de :

- 90°C au niveau de l'argilite ;
- 65°C au niveau des composants cimentaires.

Pour les colis MA-VL, à partir des données du socle de connaissances, plusieurs familles de colis primaires sont sélectionnées pour couvrir tous les colis de stockage et leur agencement en alvéole, en retenant les familles de colis ayant la plus forte puissance thermique moyenne à une date donnée. Selon les cas, afin de respecter les critères thermiques précités, une limitation de la puissance thermique des colis à réception sur Cigéo peut s'imposer.

Pour les colis MA-VL ayant une décroissance thermique rapide, dans une configuration de stockage de 4 colis primaires par colis de stockage et de 6 colis de stockage par section d'alvéole, le critère de 15 W par colis primaire ou 60 W par colis de stockage est visé à ce stade. Des valeurs inférieures pourraient se révéler nécessaires pour des colis à décroissance thermique lente (présence d'^{108m}Ag, de ^{241}Pu) selon leur agencement dans le colis de stockage et dans la section d'alvéole.

[36] Valeur moyenne, quelques colis pouvant être de l'ordre de 300 L/an.
[37] Quantité potentiellement produite la première année au sein d'un colis C1PG fermé sans prise en compte de la période d'entreposage qu'observeront les colis C1PG sur l'installation ICEDA.

Le Tableau 1.6- présente les valeurs des puissances thermiques moyennes des familles de colis les plus pénalisantes par conteneur de stockage, à une date de réception au moment de la mise en service de Cigéo pour les MA-VL (afin de ne pas dépendre des chroniques), puis mise en stockage pour les HA1/HA2 et HAO.

Pour certains colis, un entreposage de décroissance chez le producteur sera nécessaire afin de respecter les critères précités à réception. Les familles concernées sont identifiées en gras dans le Tableau 1.6-.

Pour les colis HA, les valeurs utilisées pour le dimensionnement des installations de surface sont portées au Tableau 1.6-. Le dimensionnement des quartiers HA, établi en regard des critères thermiques cités au § 2.1.4 du Vol III et de pression interstitielle, repose sur une puissance thermique moyenne linéique par alvéole, permettant de tenir compte d'une certaine variabilité, avec une puissance maximale de 300 W/CP pour HA0 et 500 W/CS pour HA1 et HA2.

Tableau 1.6-5 Puissance thermique des familles de colis les plus pénalisantes par conteneur de stockage à une date de réception donnée sur Cigéo[38]

Modèle de CS MA-VL ou type de HA	Inventaire radiologique « moyen »	
	Famille la plus pénalisante	Puissance par CP / par CS (W)
1	CEA-070	0,07 / 0,15 (2 CP)
2,1	COG-030	0,42 (1 CP)
2,2	**COG-110**	**24 / 96 (4 CP)**
2,3	CEA-110	0,46 / 0,92 (2 CP)
2,4	CEA-1120	8,07 / 32,28 (4 CP)
3	COG-440	5,44 (1 CP)
4	CEA-280	0,646 / 2,59 (4 CP)
5,1	CEA-1510	4,70 (1 CP)
5,2	CEA-100	0,01 (1 CP)
5,3	**EDF-080**	**50 (1 CP)**
5,4	COG-400	6,15 / 24,6 (1 CP)
5 non défini	ITER-010	25,2 (1 CP)
6	CEA-450	1,17 (1 CP)
7	CEA-230	0,03 (1 CP)
HA0	CEA-1080	276 / 552 (2 CP)
HA1&2	**COG-200 / COG 800**	**763 / 580 (1 CP)**

1.6.3.7 Dimensionnement des installations vis-à-vis du risque de criticité

Le nombre de conteneurs de stockage par zone tampon ou alvéole et leur agencement sont à identifier pour la conception des installations vis-à-vis du risque de criticité.

Les familles de colis qui dimensionnent les installations vis-à-vis de ce risque ont fait l'objet d'une sélection réalisée sur la base des matières fissiles présentes au sein de ces derniers, et des informations suivantes :

- nature physico-chimique et composition du milieu fissile ;
- masse de matière fissile ;

[38] Fixée à ce stade à 2075 pour les HA1 et HA2.

- dimensions géométriques des colis ;
- natures du modérateur et de la matrice d'enrobage des déchets ;

A partir de ces informations, l'Andra retient pour l'analyse de risque criticité un milieu fissile de référence.

Les masses maximales de matière fissile pour les différents types de colis primaires identifiées sur la base du socle de connaissance au stade de l'APS sont indiquées dans le Tableau 1.6- suivant.

Tableau 1.6-6 Masse maximale de matières fissiles par type de colis primaire

Type de déchets	Conteneur primaire	Masse par CP (g)	Précisions
MA-VL	Fût 218L	122	Masse maximale admissible pour un entreposage sur 4 niveaux sur le site producteur
	Fût 223L	80	Masse de MF admissible
	500L béton	80	Masse de MF admissible
	500L MI	200	Masse admissible : 235U + Pu total < 200 g
	870L	200	Masse admissible : masse (235U+ 2 x 239Pu) < 200 g
	CAC	87,5	Masse maximale de Pu
	CBF-C'2	70	Masse maximale de Pu
	CSD-C	117,5	Masse maximale mesurée en ^{239}Pu
	EIP	283	Masse maximale tous isotopes fissiles (12% de Pu)
HA	Etui inox 175L	176	Masse maximale de Pu
	150L AVM	110	Masse maximale de Pu
	CSD-V	110	Masse maximale de Pu admissible

2

Le site d'implantation

2.1 Présentation générale 116
2.2 Géographie et topographie 119
2.3 Géologie et sismologie 121
2.4 Hydrologie et hydrogéologie 133
2.5 Météorologie et climat 137
2.6 Ressources naturelles et denrées alimentaires 142
2.7 Autres activités aux alentours du site 143

2.1 Présentation générale

Les différentes échelles du site

Différents termes sont utilisés pour faire référence à l'échelle du domaine d'étude ou aux extensions géographiques.

Le bassin de Paris est l'ensemble sédimentaire s'étendant d'Est en Ouest de la Lorraine à la Normandie et, du Sud au Nord, du Poitou au Nord de la France.

Le secteur de Meuse/Haute-Marne correspondant à une zone de 40 km d'Est en Ouest et de 60 km du Nord au Sud approximativement centrée sur le Laboratoire souterrain. Le secteur est limité à l'Est, au Sud et à l'Ouest par le fossé de Gondrecourt et les failles de la Marne.

La zone de transposition (ZT) est définie comme la superficie sur laquelle les propriétés du Callovo-Oxfordien et la géologie des formations encaissantes sont similaires à celles déterminées sur le site du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne. Elle représente une extension de l'ordre de 250 km².

Pour étudier l'implantation de l'installation souterraine, l'Andra a proposé en 2009 au Gouvernement une Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (ZIRA) de 25 km² environ située au sein de la zone de transposition. Sur le plan technique, les critères pris en compte sont liés à la sûreté et à la géologie (épaisseur de la couche, profondeur, orientations des contraintes du milieu…). Des critères liés à l'aménagement du territoire et à l'insertion locale ont également été pris en compte (compatibilité avec une implantation de la descenderie dans la zone limitrophe Meuse/Haute-Marne et avec une implantation potentielle des puits d'accès dans une zone boisée, éviter une implantation sous les zones urbanisées des villages...).

Les Zones d'Implantation des Installations de Surface (ZIIS) ont été identifiées par l'Andra en tenant compte des contraintes liées aux zones inondables, aux zones urbanisées, aux zones naturelles protégées, aux zones de survol aérien… Elles se composent ;

De la « zone descenderies » d'accès au stockage, d'une surface d'environ 200 hectares, dans une zone interdépartementale, côté Haute-Marne, contiguë à la Meuse.

De la « zone puits » d'une surface d'environ 110 hectares (hors verses).

2.1.1 Des travaux scientifiques depuis plusieurs années réalisés pour caractériser le site

Ils ont permis d'accroitre les connaissances de l'environnement géologique et les propriétés de la roche argileuse. L'acquisition des connaissances sur le milieu géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne s'est organisée autour de plusieurs démarches complémentaires :

- plus d'une quarantaine de **forages profonds** de plusieurs centaines de mètres ont confirmé l'homogénéité de la formation-hôte et l'absence de faille (Figure 2.1-1). Les carottes qui en ont été extraites ont permis de préciser la géométrie des couches composant le sous-sol. Elles ont également permis d'approfondir les connaissances sur le comportement géomécanique des argilites et d'élaborer des modèles de comportement pour établir des prévisions d'endommagement de la roche selon le type de construction de l'installation souterraine ;
- différentes **campagnes sismiques** 2D (1994-1996) et 3D en 2000 (4 km²) et 2008-2010 (37 km²) sur le site (Figure 2.1-2) ont permis de préciser la disposition des couches et de les caractériser (épaisseur, profondeur, pendage,…). Elles ont successivement permis d'obtenir une image en volume du site avec une résolution plus fine et confirmé que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien est régulière avec une épaisseur supérieure à 130 m et une géométrie conforme à l'histoire des dépôts qui se sont succédés au Callovo-Oxfordien. Ces campagnes permettent aussi

de montrer qu'aucune faille à jeu vertical, n'est présente ni dans la couche du Callovo-Oxfordien, ni dans les horizons sus-jacents des calcaires de l'Oxfordien ;

- des **études de terrains** pour observer les formations à l'affleurement (tant à l'échelle du Laboratoire de Meuse/Haute-Marne que du secteur), appréhender les grands traits de l'environnement géologique, prélever des échantillons et intégrer les données dans des modèles (Figure 2.1-3);
- des **analyses au Laboratoire souterrain** du Centre de Meuse/Haute-Marne pour tester les méthodes et les outils et conforter le modèle géologique par l'apport de données sédimentologiques et microstructurales. Durant tout le creusement des puits à partir d'août 2000, les relevés continus de toutes les formations traversées ont permis d'établir une carte géologique détaillée de la paroi sur toute la hauteur des deux puits, d'évaluer la variabilité lithologique des couches à l'échelle décamétrique, d'observer leur nature selon les directions, de caractériser leur fracturation et micro-fracturation naturelles et d'en évaluer l'incidence sur les circulations de fluides. Les observations réalisées depuis le début du creusement des puits confirment les données sédimentaires et tectoniques déjà acquises par les forages et fournissent des données structurales quantifiées précises qui confortent le modèle géologique ;
- **l'Observatoire Pérenne de l'Environnement** (OPE) mis en place depuis 2007 pour décrire précisément l'environnement de Cigéo et de suivre son évolution sur le long terme. L'OPE a mis en œuvre un programme d'observation pluridisciplinaire (eau, air, flore, faune et homme) sur une période d'au moins 100 ans. Il a pour objectif (i) d'établir sur 10 ans un état des lieux de l'environnement du stockage, aussi bien physique et chimique, que biologique et radiologique, (ii) de conserver la mémoire de cet environnement, (iii) de préparer un plan de surveillance environnemental du futur centre de stockage, (iv) de comprendre les interactions entre les différents milieux environnementaux et suivre leur évolution afin d'évaluer précisément l'impact du stockage et (v) de définir l'origine de toute perturbation observée.

Ces travaux visent à acquérir une compréhension fine de l'environnement et du milieu géologique du site de Meuse/Haute-Marne pour (i) s'assurer que cet ensemble et plus particulièrement la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, présente les propriétés attendues et ii) évaluer son comportement à long terme.

Une connaissance du site fondée sur des années d'observation et de reconnaissances.

Les observations, mesures et analyses de l'état actuel du site et des propriétés de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien ont permis d'élaborer une représentation du site permettant d'une part de vérifier son caractère favorable et d'autre part de fournir les données nécessaires à la conception.

Figure 2.1-1 *Forage EST442, objectif Dogger. Forage au marteau fond de trou en circulation inversée (photo : Eric Poirot, Andra)*

Figure 2.1-2 *Campagne de sismique réflexion autour du Laboratoire de l'Andra (photo : Véronique Paul, Graphix)*

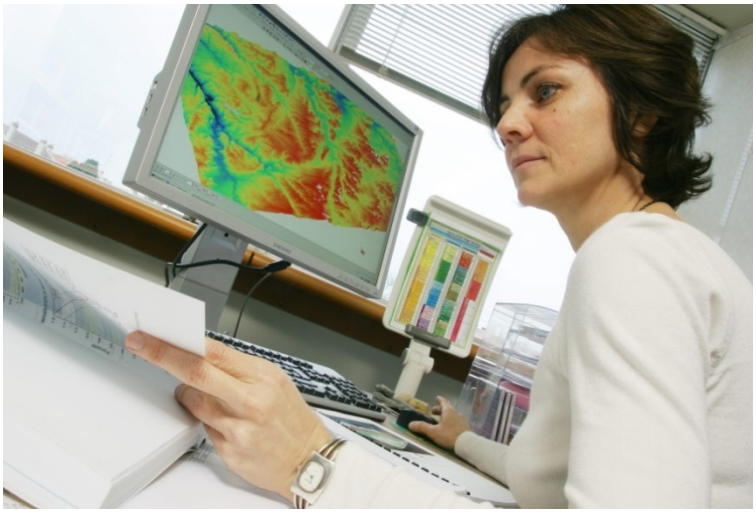


Figure 2.1-3 Intégration des données dans les modèles géologiques (photo : Patrice Maurein)

2.2 Géographie et topographie

La partie Est du bassin de Paris où se situe le secteur de Meuse/Haute-Marne est caractérisée par un paysage de cuestas où se succèdent des lignes de côtes, plus ou moins marquées selon les formations géologiques affleurantes et la topographie. Dans ce cadre général, le secteur de Meuse/Haute-Marne est un plateau vallonné, drainé par les vallées du bassin de la Seine et par les affluents de la Meuse.

Le secteur dans lequel s'insèrent la ZIRA et les ZIIS est la portion du revers du plateau des calcaires du Barrois (formation géologique datant du Jurassique supérieur) dont l'altitude varie de 300 à 400 m NGF, située entre la Saulx à l'Ouest et l'Ornain à l'Est, cours d'eau coulant du Sud vers le Nord. La surface du plateau est structurée par les vallées de la Saulx et de son affluent l'Orge, ainsi que par la vallée plus étroite de l'Ormançon, affluent de l'Ornain qui s'écoulent globalement vers le Nord.

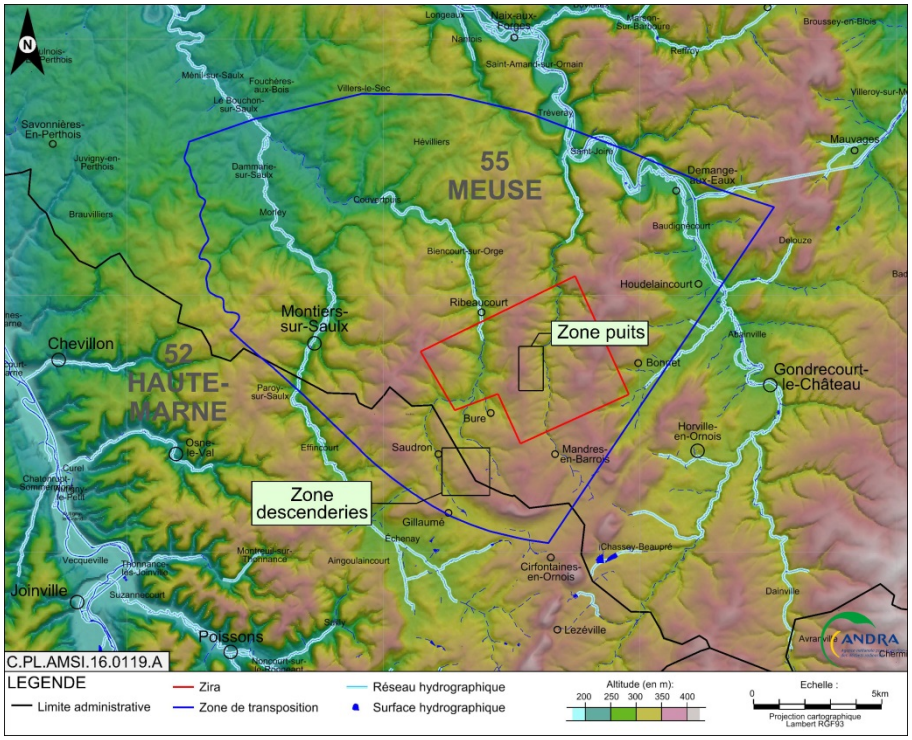


Figure 2.2-1 Carte topographique du secteur

Sur la zone « puits », localisée au sein de la ZIRA, le relief est caractérisé par des dénivelés de 60 à 80 mètres entre les points hauts du paysage et le fond de la vallée de l'Ormançon. Cette zone de versant est marquée par des buttes et des vallons qui collectent et conduisent les ruissellements jusqu'à l'Ormançon. Les altitudes y passent de 360 à 340 mètres. Sur la zone « descenderies », localisée sur le front de côte des calcaires du Barrois longé et recoupé par la vallée de l'Orge, le relief est marqué par le fond de vallée de l'Orge, situé à 320 m d'altitude et le front de côte, confondu avec le versant de la vallée de l'Orge, qui présente une pente assez régulière et des ravins peu marqués.

En surface, on distingue entre la zone « descenderie » et Mandres-en-Barrois qui suit la D60 et la D960, un tronçon Est-Ouest marqué par des vallons secs et par la vallée de la ferme du Cité. Les dénivelés sont de l'ordre de 20 mètres, les altitudes variant de 365 à 345 mètres. Entre la zone « puits » et Mandres-en-Barrois (chemin dit « ancienne voie romaine »), se distingue un tronçon Nord-Sud, marqué par une faible topographie et des dénivelés de faible amplitude.

Topographie du site

A l'échelle de l'exploitation de Cigéo, en dehors des travaux liés à la construction des ouvrages et aux aménagements de surface qui entraîneront localement une légère modification de la topographie[39], il n'est pas prévu de changements et d'évolution de la topographie car les phénomènes géodynamiques externes déterminés par l'érosion ou les mouvements tectoniques affectant l'environnement de surface sont négligeables à cette échelle de temps.

Par conséquent, les données retenues pour le dimensionnement des installations de surface correspondent à la géographie et la topographie actuelles décrites ci-avant.

[39] Le profil des terrains est réalisé afin d'assurer une bonne stabilité des terrains découverts et une intégration des installations cohérente avec le cadre paysager

2.3 Géologie et sismologie

2.3.1 Contexte géologique et tectonique

Le site de Meuse/Haute-Marne appartient à la bordure orientale du bassin de Paris. La structure générale de cette zone se présente comme une succession de couches sédimentaires (dont les plus anciennes sont situées sur les bordures et au fond de la cuvette et les plus récentes au centre) à dominantes argileuse et calcaire déposées entre 250 millions et 135 millions d'années avant l'ère actuelle. Cette alternance explique le relief de côte qui caractérise la topographie régionale.

Cette série sédimentaire, épaisse, présente un pendage régulier de 1 à 1,5 degrés vers le Nord-Ouest, en direction du centre du Bassin de Paris, complétée par une ondulation de faible amplitude orientée Est-Nord-Est/Ouest-Sud-Ouest.

Sur le secteur de Meuse/Haute-Marne, la série sédimentaire est constituée, de bas en haut et d'Est en Ouest aux affleurements par (Figure 2.3-1) :

- la formation calcaire du Dogger reposant sur les marnes et argiles liasiques ;
- la formation argileuse du Callovo-Oxfordien ;
- la formation calcaire de l'Oxfordien moyen à supérieur ;
- le Kimméridgien marneux ;
- à l'affleurement au niveau sur le secteur, les calcaires du Tithonien (dits calcaires du Barrois) ;
- quelques placages de Crétacé argilo-sableux, de faible épaisseur, couronnant les points les plus élevés de la topographie.

Situé dans ce contexte intra-plaque, à l'écart des régions tectoniquement actives, le bassin de Paris a été peu affecté par la tectonique au cours des derniers 65 millions d'années. C'est une zone remarquable de la plaque Ouest européenne, où la lithosphère présente une épaisseur uniforme, stable et qui se distingue par son caractère pratiquement asismique.

L'activité tectonique de la région du site de Meuse/Haute-Marne est très faible (activité sismique restreinte, faibles déplacements de la croûte, orientation pérenne des contraintes) et le bâti géologique est stable, comme l'atteste l'absence d'indices quaternaires d'activité tectonique sur les failles encadrant le secteur d'étude.

Deux grandes familles de failles encadrent du secteur de Meuse/Haute-Marne (Figure 2.3-1):

- les failles des fossés de Joinville au Sud-Ouest du secteur et de Gondrecourt au Sud-Est, ne s'enracinant pas dans le socle. Elles découpent d'étroits fossés rectilignes dans la couverture sédimentaire jurassique et s'amortissent en profondeur dans les formations de base de la couverture sédimentaire (sel du Trias et argilites du Permien) ;
- les failles de socle de la Marne.

A l'Ouest du secteur, ce système de failles régional est subdivisé en failles de petites dimensions et forme une zone dite de fracturation diffuse avant de disparaitre vers le Sud-Est, au-delà du fossé de Gondrecourt.

Située à l'intérieur du bloc déterminé par ces failles, la ZIRA apparait comme un domaine exempt de faille détectable dans la formation du Callovo-Oxfordien et ses encaissants démontré aussi bien par les travaux de cartographie de surface que par les campagnes de sismique réflexion sur la ZIRA (seuil de détection de 2 m avec les techniques de traitement de la sismique 3D).

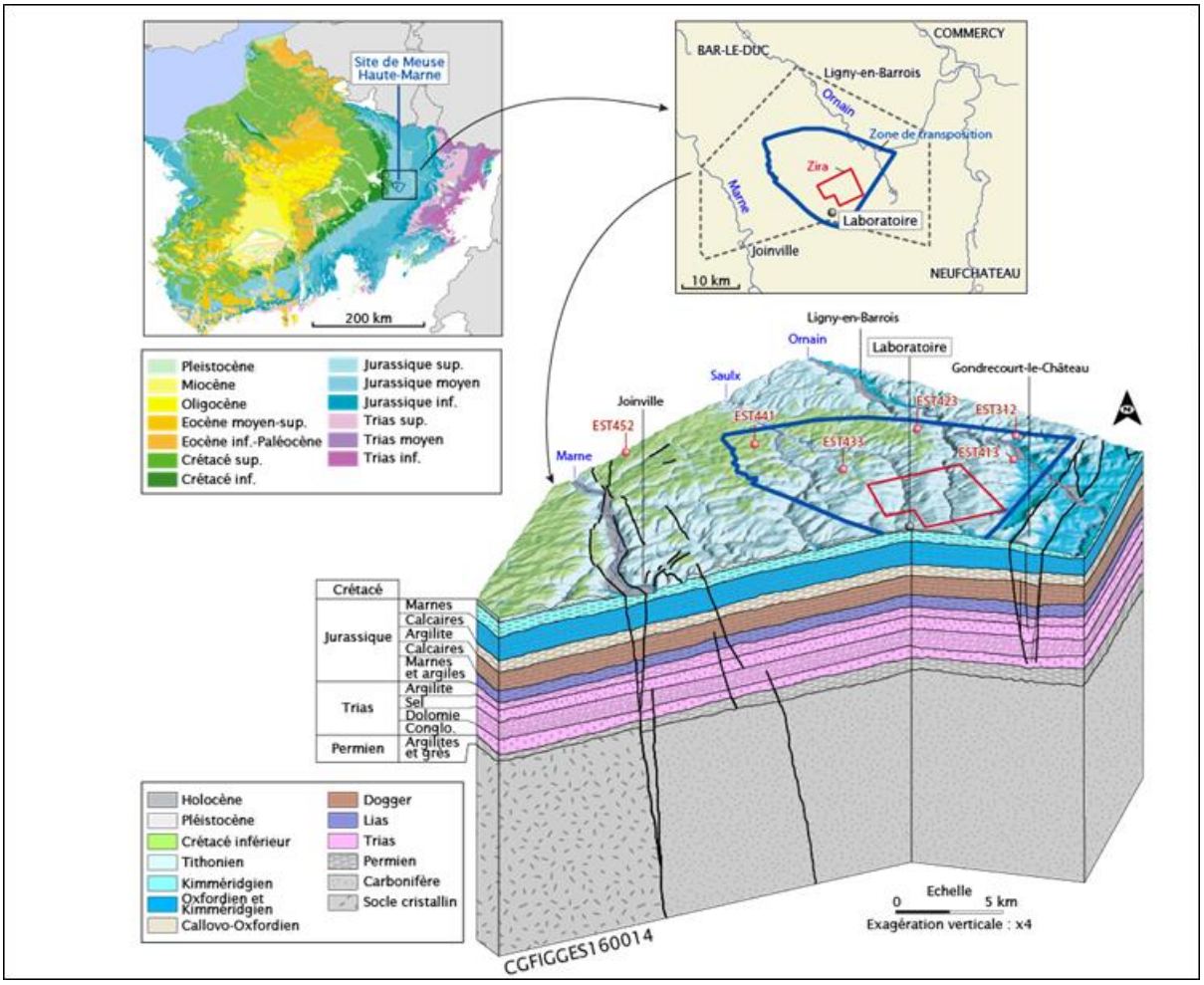


Figure 2.3-1 *Bloc diagramme géologique 3D du site de Meuse/Haute Marne et description de la succession des formations géologiques*

Le contexte géologique

Le site de Meuse/Haute-Marne appartient à la bordure orientale du bassin de Paris. Celui-ci a une forme de cuvette structurée par une succession de couches sédimentaires à dominante argileuse et calcaire de plus de 2 000 m d'épaisseur sur le secteur. Les formations présentent un pendage régulier de 1 à 1,5° degrés vers le Nord-Ouest, en direction du centre du bassin de Paris.

Formation	Age (Ma)	Epaisseur moyenne sur la ZIRA	Caractéristiques
Calcaires du barrois	Tithonien 140 Ma	39 m	Aquifère de surface
Marnes du Kimméridgien	Kimméridgien 145 Ma	108 m	Imperméable
Calcaires de l'Oxfordien	Oxfordien supérieur à moyen 150 Ma	275 m	Peu perméable
Argilites du Callovo-Oxfordien	Oxfordien inférieur-Callovien supérieur à moyen 155 Ma	153 m	Formation hôte
Dogger calcaire	Callovien inférieur-Dogger 165 Ma	226 m	Peu perméable

2.3.2 Les formations à l'affleurement

Les calcaires du Barrois (formation du Jurassique supérieur) se trouvent à l'affleurement sur la plus grande partie du secteur du site de Meuse/Haute-Marne. Leur épaisseur, variable en fonction du pendage et de la topographie, augmente vers le Nord-Nord-Ouest (Figure 2.3-2). La formation, constituée de cinq niveaux lithologiques carbonatés distincts, lorsqu'elle est complète peut avoir une épaisseur totale maximale de l'ordre de 150 m.

Ces unités présentent une très faible variabilité spatiale de composition et d'épaisseur. La série décrite à l'échelle du secteur est applicable à la fois pour la description et l'épaisseur des unités à l'échelle de la ZIRA, à l'exception de la partie sommitale (derniers mètres).

Du fait de la très faible profondeur de la formation à l'aplomb du site, l'état des contraintes dans cette formation est proche du poids des terres et surtout influencé par la topographie.

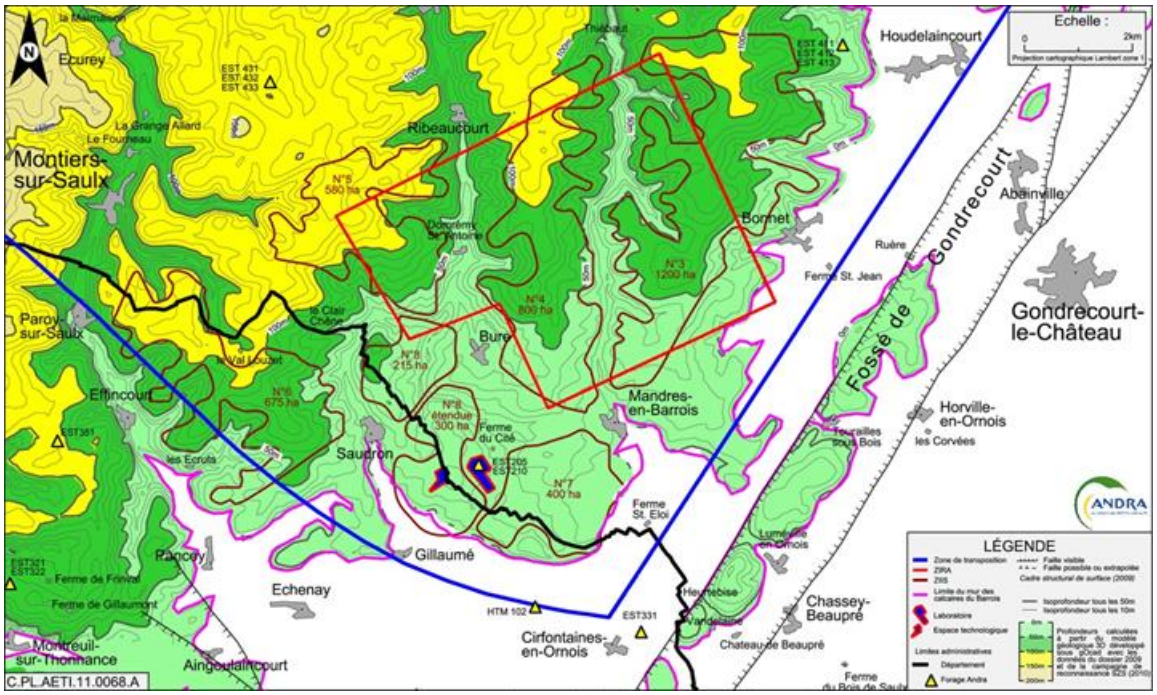


Figure 2.3-2 *Carte de l'épaisseur des calcaires du Barrois et des formations plus récentes (sur la ZIRA, cette épaisseur correspond à l'épaisseur des calcaires du Barrois)*

Les forages courts effectués sur la ZIRA et dans les environs ont permis de relever la présence de fractures mineures millimétriques à centimétriques associées à des marques d'altération, liées aux actions climatiques (débitage de la roche par mécanismes de gélivation et fracturation par le gel), jusqu'à des profondeurs de 15-20 m sous la surface ainsi qu'à des phénomènes de karstification diffuse.

2.3.3 Les formations géologiques traversées par les ouvrages de liaisons surface-fond

Les descenderies traverseront plus de 450 m de formations géologiques de nature et lithologie contrastées (Figure 2.3-3).

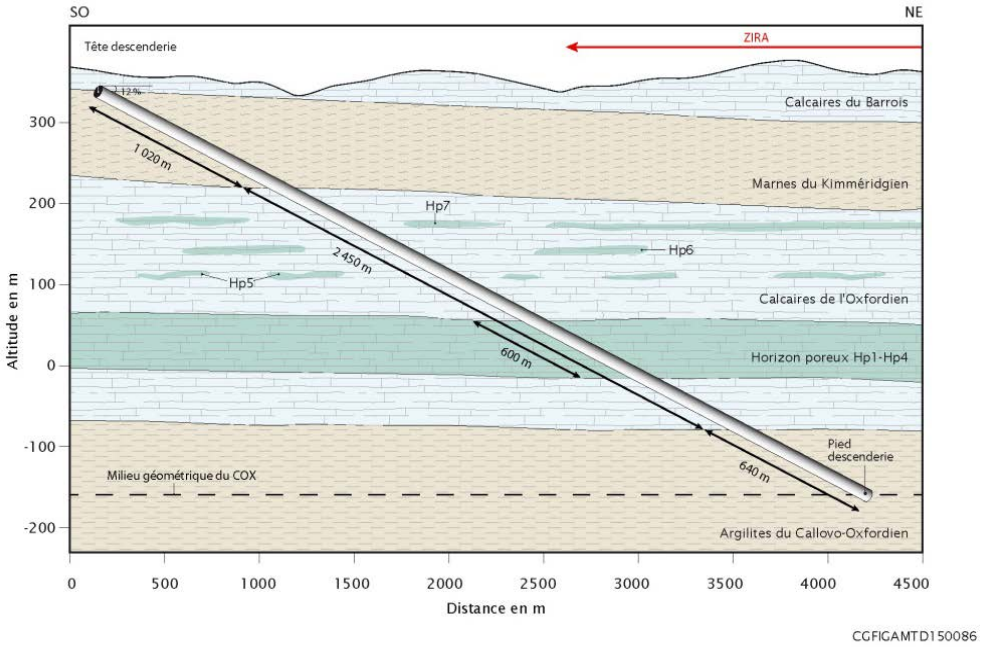


Figure 2.3-3 *Profil géologique le long des descenderies et estimation des linéaires par formation traversée (réalisation sous le modeleur 3D Godard, échelle verticale x4)*

Le Kimméridgien marneux

Les marnes du Kimméridgien sont à l'affleurement sur la bordure Est de la zone de transposition et au Sud-Est de la ZIRA. Cette formation se caractérise par la superposition très régulière de trois niveaux argilo-marneux de quelques dizaines de mètres d'épaisseur chacun, séparés par deux bancs de « calcaires blancs » de 10 à 15 mètres de puissance. Quelques niveaux calcaires d'épaisseur métrique sont intercalés au sein des argiles et des marnes. A l'échelle de la ZIRA et de son voisinage (zone « descenderie »), l'épaisseur totale des marnes kimméridgiennes est de 110 m environ.

Dans cette formation, les mesures de convergence réalisées dans le puit principal du Laboratoire souterrain montrent une anisotropie des contraintes horizontales et une direction de la contrainte principale orientée selon une direction N155°E, identique à celle mesurée dans les formations plus profondes et cohérente avec celles mises en évidence à l'échelle du bassin.

L'Oxfordien carbonaté

L'épaisseur de l'Oxfordien carbonaté augmente faiblement d'Est en Ouest sur la zone de transposition (de 275 à 335 m). Au niveau de la ZIRA, cette formation a une épaisseur moyenne de 280 mètres.

Les calcaires de l'Oxfordien se caractérisent par des variations de faciès importantes tant verticalement que latéralement. La transition entre le Callovo-Oxfordien et la plateforme carbonatée est progressive et s'exprime par des faciès argilo-marneux sur une vingtaine de mètres (faciès C3a) aux caractéristiques très proches du sommet de la formation du Callovo-Oxfordien.

De l'extension et de la continuité des différents faciès découlent la distribution et l'extension de niveaux ou horizons poreux (HP), aquifères, identifiés comme ayant les perméabilités les plus élevées dans cette formation (supérieures à 10^{-8} m/s).

D'après les différentes données directes et indirectes collectées, les caractéristiques des calcaires de l'Oxfordien au niveau de la ZIRA apparaissent globalement équivalentes à celles déterminées au Laboratoire souterrain de Bure :

- les 20 premiers mètres des calcaires de l'Oxfordien sont constitués de calcaires argileux aux caractéristiques très proches de celles de l'unité silto-carbonatée du Callovo-Oxfordien précédente. Vient au-dessus une vingtaine de mètres de calcaires récifaux de faible perméabilité (10^{-11} m/s à 10^{-12} m/s) ;
- l'unité sus-jacente, d'une centaine de mètres d'épaisseur, regroupe des faciès fins poreux et perméables (10^{-8} m/s à 10^{-7} m/s) et des calcaires cimentés très peu poreux et de faible perméabilité. A l'aplomb du laboratoire, ces faciès s'organisent en quatre niveaux poreux discontinus (HP1 à HP4) qui atteignent une épaisseur cumulée de près de 80 m. La faible connectivité de ces niveaux expliquerait leur faible productivité ;
- les 100 m suivants montrent une succession de bancs d'une série marneuse intercalés entre des niveaux de calcaires oolithiques. Au sommet de chacun de ces niveaux calcaires correspond un niveau plus poreux et perméable (HP5 à HP7) d'épaisseurs comprises entre 5 et 10 m et de perméabilité moyenne autour de 10^{-7} m/s. Au niveau du laboratoire, les perturbations provoquées par le drainage des puits montrent que les ensembles HP1 à HP4, HP5 et HP6 à 7 sont hydrauliquement indépendants. Dans la partie Est et Nord-Est, la série marneuse grise créée une séparation nette entre les niveaux aquifères inférieurs (HP1 à HP4) et supérieurs (HP5 à HP7). La continuité de la série grise entre l'Est et le Laboratoire étant assurée, les transferts possibles entre les horizons poreux inférieurs et supérieurs et entre chaque horizon HP5 à HP7 devraient être limités sur la ZIRA. Dans la partie Sud-Ouest de la zone de transposition, l'épaisseur négligeable ou l'absence de ce semi-perméable fait que l'ensemble des formations des calcaires de l'Oxfordien, y compris les horizons poreux, ne forme qu'une seule nappe avec globalement un seul champ d'écoulement ;
- les derniers 30 m sont constitués de calcaires peu poreux et de faibles perméabilités.

Dans tous les niveaux poreux aquifères de l'Oxfordien, les transferts convectifs (horizontaux) et diffusifs sont représentés.

2.3.4 La formation hôte de Cigéo : Le Callovo-Oxfordien

2.3.4.1 La géométrie de la formation à l'échelle de la ZIRA : caractéristiques et variabilité

La formation argileuse du Callovo-Oxfordien, datée du Jurassique, s'est déposée il y a environ 160 millions d'années sur une durée de 5 millions d'années environ, dans un milieu marin ouvert et calme, sous une profondeur d'eau de l'ordre de la centaine de mètres. Elle forme une couche à dominante argileuse encadrée par les formations calcaires du Dogger et de l'Oxfordien.

Ses limites ont été reconnues précisément grâce aux nombreux forages et lignes sismiques répartis de manière homogène sur tout le secteur d'étude.

- sur la zone de transposition, son épaisseur augmente de 130 m à 162 m du Sud-Ouest vers le Nord-Est selon la principale direction des apports de sédiments ;
- sur la ZIRA, elle est comprise entre 142 m à 162 m du Sud-Ouest vers le Nord-Est, conformément à la principale direction des apports de sédiments (Figure 2.3 4).

Le sommet de la couche est situé entre 340 et 532 m de profondeur (Figure 2.3-5), le milieu entre 420 et 604 m (Figure 2.3-4) et la base entre 501 et 675 m. Au droit de la zone puits, l'épaisseur de la couche est de 151 m et son sommet est rencontré à une profondeur de 443 m.

La couche d'argilites est faiblement inclinée vers le Nord-Ouest (1° en moyenne) conformément à l'ensemble de la pile sédimentaire dans ce secteur du Bassin parisien. L'incertitude sur la géométrie est très dépendante de la proximité des points de calage et du nombre de ces points. Actuellement, les profondeurs de la couche sur la ZIRA sont estimées à 10 m près, les épaisseurs autour de 6 m.

Au niveau des descenderies, en prenant une pente de 12 %, une longueur de 3500 m environ sépare la tête des descenderies du toit du Callovo-Oxfordien et 640 m supplémentaires pour atteindre le bas des descenderies.

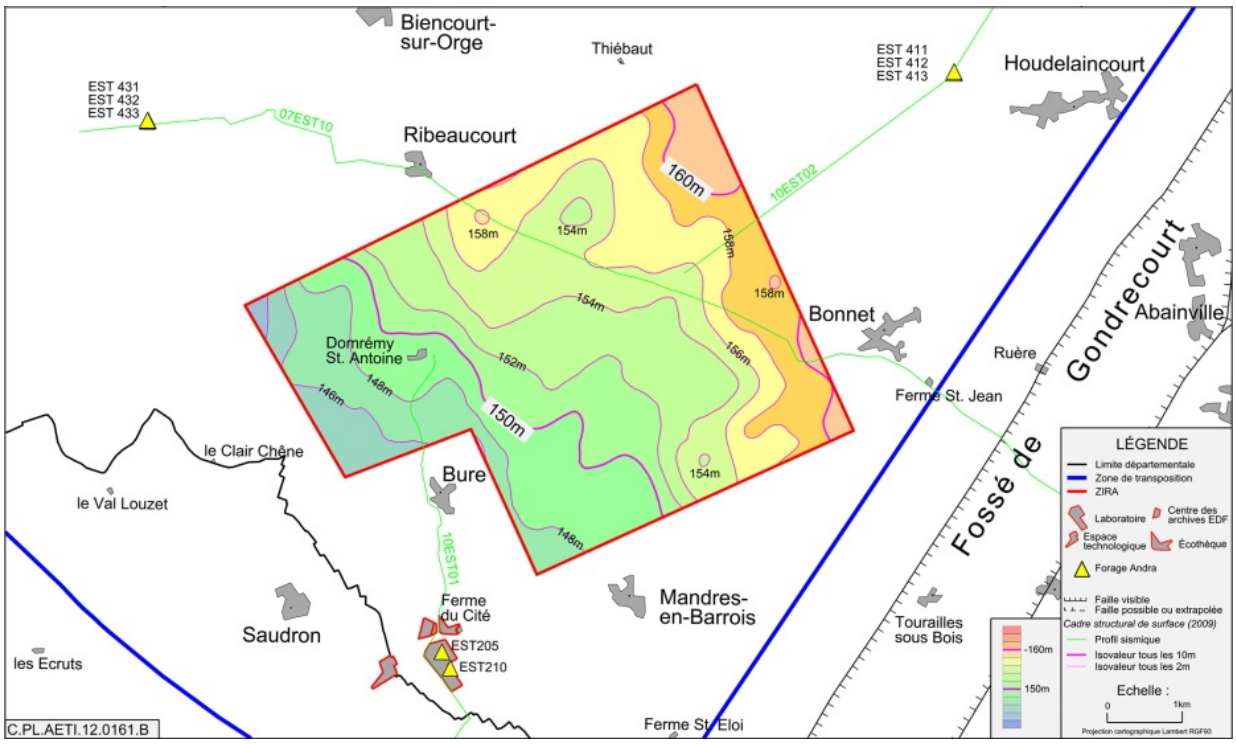


Figure 2.3-4 *Epaisseur des argilites du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (distance en mètres entre la base et le toit de la formation)*

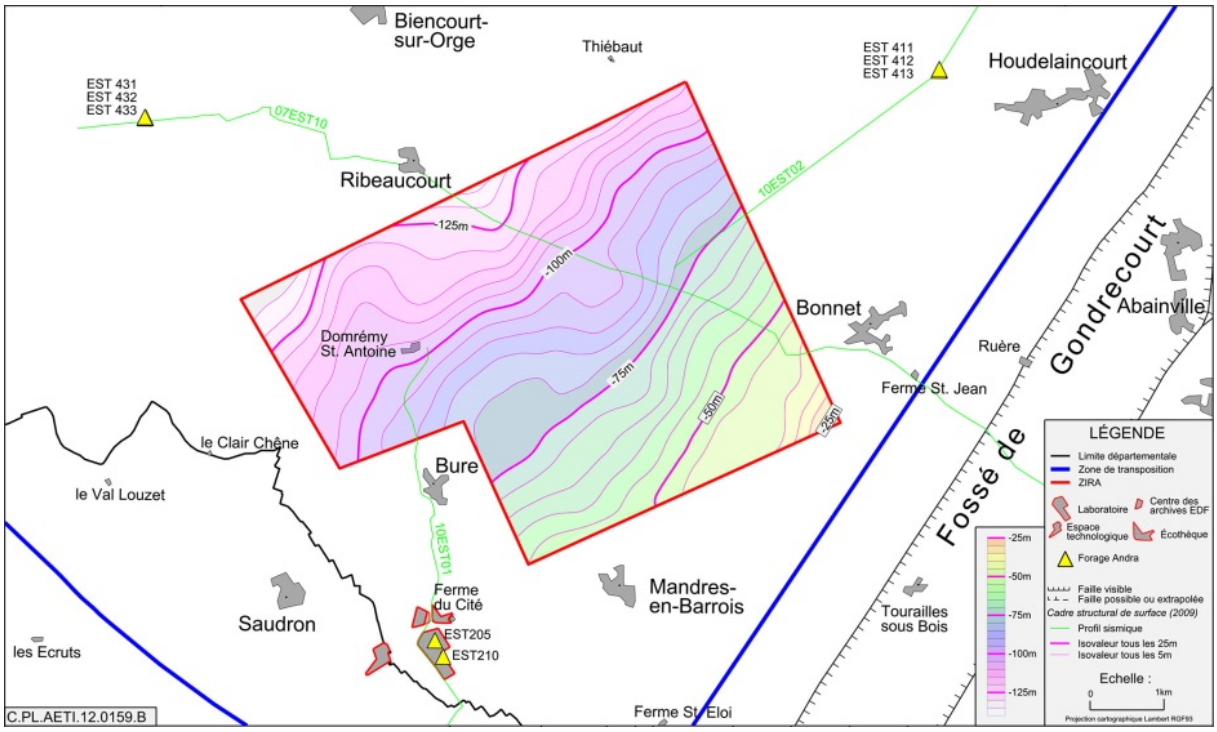


Figure 2.3-5 *Altitude du sommet du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (complété par rapport au niveau de la mer, mNGF)*

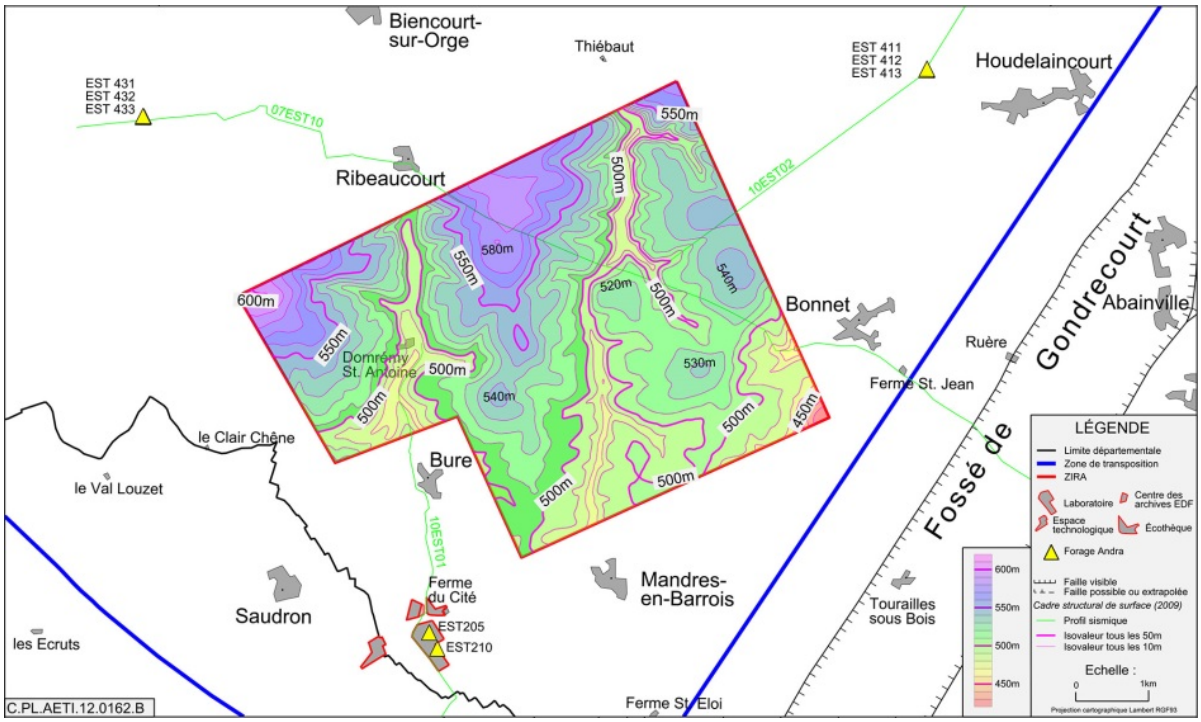


Figure 2.3-6 Profondeur du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA

2.3.4.2 Les propriétés de la formation

La formation est constituée de trois phases minéralogiques principale: une phase argileuse dominante (en moyenne 40 à 45 %, pouvant atteindre 60 % au milieu de la couche) une phase carbonatée (calcite essentiellement, avec quelques pourcents de dolomie) et une phase quartzeuse (de granulométrie fine : silts).

Verticalement, les analyses montrent toujours les mêmes faibles variations de la composition minéralogique de la roche : ceci atteste que les sédiments se sont déposés au même moment, dans un même type d'environnement et avec la même intensité. Les faibles variations de proportions des phases minéralogiques principales s'organisent en 3 séquences sédimentaires continues associées aux fluctuations du niveau marin durant toute la période (cycle transgressif/régressif représentés dans la colonne de droite de la Figure 2.3-7.

Ces variations minéralogiques progressives couplées à l'enfouissement des dépôts sont les principales causes des variations pétrophysiques de la couche. Les phénomènes diagénétiques discrets et d'extension régionale n'ont pas été en mesure de modifier localement et de manière significative les propriétés des argilites.

Trois grandes unités géologiques sont identifiées et sont décrites de la base vers le sommet de la formation (Figure 2.3-7)) :

- l'unité argileuse (UA) est la plus épaisse (100 m à 120 m environ), la plus homogène et la plus riche en minéraux argileux (plus de 40 % en moyenne). Elle peut être scindée en 3 sous-unités (UA1, UA2 et UA3) aux variations ténues et progressives. La sous-unité UA2 correspond au niveau stratigraphique où la teneur en argile est la plus élevée et dans laquelle les différentes expérimentations du Laboratoire souterrain ont lieu ;
- l'unité de transition (UT) constitue le terme de passage entre les roches principalement argileuses de l'UA et les roches de l'unité silto-carbonatée (USC) aux teneurs en carbonates les plus élevées (de 40 à 90 %) ;

- l'unité silto-carbonatée (USC), de 20 à 30 m d'épaisseur, montre une importante variabilité pétrophysique verticale liée aux alternances lithologiques (marnes et siltites carbonatées). Elle représente des niveaux dont la composition minéralogique est plus contrastée et hétérogène.

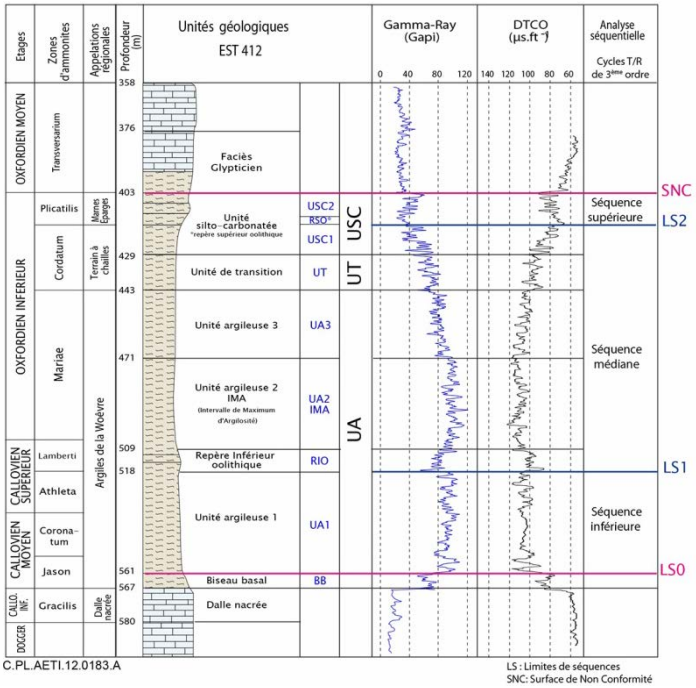


Figure 2.3-7 *Principales unités géologiques : unité argileuse (UA), unité de transition (UT) et unité silto-carbonatée (USC). Limites géologiques du Callovo-Oxfordien : LS0 (base du COX) et SNC (sommet du COX)*

Latéralement, la couche Callovo-oxfordienne présente globalement la même organisation sur une zone de plus de 350 km^2 selon les résultats des forages réalisés dans un rayon de 15 km autour du Laboratoire souterrain. La constance de ces séquences témoigne du contexte tectonique et sédimentaire calme de la période de dépôt. Ce contexte permet de prédire, sur le secteur, l'absence de hiatus de sédimentation d'une ampleur susceptible de perturber la continuité de la couche et l'absence de lentilles sableuses (turbidites) au sein de la couche, étant donné l'éloignement des sources d'apport, notamment en période de haut niveau marin.

Les propriétés macroscopiques de transfert de masse (eau, gaz, solutés), de chaleur et les propriétés mécaniques du Callovo-Oxfordien découlent de la structuration de la porosité et de la répartition des minéraux dans les argilites. Le Callovo-Oxfordien a une perméabilité très faible (de l'ordre de quelques 10^{-14} m/s et une anisotropie très faible). Cette très faible perméabilité s'explique par la nature argileuse, la finesse et le très petit diamètre de port (0,05 microns en moyenne) ce qui limite à l'extrême, les circulations d'eau à travers la couche et s'oppose au transport de solutés par convection. L'analyse de la répartition de certains éléments chimiques et de leurs isotopes dans les différents minéraux de la roche confirme que le transport des éléments chimiques se fait très lentement (plusieurs centaines de milliers d'années pour traverser la couche), ce qui est vérifié par des essais de diffusion sur échantillons et in situ.

Les capacités de confinement du Callovo-Oxfordien dépendent de sa composition minéralogique : les minéraux argileux les plus abondants de type « interstratifié illite-smectite » ont la particularité d'être constitués d'empilements de feuillets entre lesquels les éléments en solution dans l'eau peuvent se fixer en grande quantité. Cette capacité de fixation se traduit par un retard supplémentaire à la migration des éléments dans le Callovo-Oxfordien.

Les propriétés mécaniques de la couche hôte sont liées à la composition minéralogique de la roche et à ses propriétés pétrophysiques (porosité, vitesses) qui lui confèrent une résistance relativement élevée pour une roche argileuse. Les essais et mesures géo-mécaniques ont montré que les argilites sont raides, se déforment peu et de manière très lente, ce qui permet d'envisager un creusement par des méthodes minières classiques.

Sur la ZIRA, la représentation de la variabilité des propriétés de la formation (teneur en argile, porosité, masse volumique, conductivité thermique…) a pu être modélisée à partir du traitement de la sismique 3D et de l'ensemble des mesures en forage. Les valeurs obtenues ont été comparées à celles mesurées sur les échantillons. Cette comparaison permet de s'assurer de :

- la validité du découpage vertical en unités géologiques retenu que l'on retrouve parfaitement à l'échelle de la ZIRA ;
- la faible variabilité latérale des propriétés des argilites à l'échelle de la ZIRA, les valeurs moyennes obtenues étant très proches de celles déterminées sur les échantillons, en forage par diagraphies ou in situ dans le Laboratoire souterrain.

La formation hôte : le Callovo-Oxfordien

Elle montre une structure simple qui se présente sous la forme d'un empilement de grands ensembles lithologiques contrastés (alternativement carbonatés et argileux), bien identifiables, de géométries planes, montrant peu de variations d'épaisseur, et continus à l'échelle de la zone de transposition et du secteur. Elle s'inscrit parfaitement dans la géométrie générale des dépôts à l'échelle du bassin de Paris.

Au sein de ces grands ensembles, le Callovo-Oxfordien est une couche à dominante argileuse d'une épaisseur variant de 130 m à 160 m et située entre 500 et 630 m de profondeur. Sur la ZIRA, le Callovo-Oxfordien présente des caractéristiques mécaniques adaptées à la construction du stockage. Son épaisseur permet l'implantation de l'installation souterraine en répondant aux critères de sûreté après fermeture (cf. DOS-AF). Le respect de l'épaisseur de garde nécessaire pour satisfaire les exigences de sûreté après fermeture est intégré dans la conception de Cigéo (impact sur la longueur des ouvrages notamment).

Verticalement, la couche s'organise en séquences sédimentaires, dont les limites sont soulignées par de minces dépôts carbonatés, corrélables sur de grandes distances. La partie centrale du Callovo-Oxfordien correspond à la zone la plus argileuse (jusqu'à 60 % de minéraux argileux). Le sommet de la couche est caractérisé par un enrichissement en carbonates. Sur la zone de transposition et au-delà, elle montre peu de variations latérales de lithologie.

Cette formation est encadrée par deux ensembles carbonatés massifs (Dogger et calcaire de l'Oxfordien), non affleurant sur la zone de transposition. Les couches à l'affleurement sur la zone de transposition (Kimméridgien marneux dans les vallées et calcaires du Barrois sur les plateaux), déterminent par leur structure plane, leur pendage régulier et leurs différences de lithologie, un relief de côte caractéristique, les zones de plateaux étant entaillées par des vallées profondes.

Les caractéristiques pétrophysiques des formations ont été acquises très tôt dans l'histoire géologique, soit dès leur dépôt ou juste postérieurement, soit lors de phases diagénétiques dont les plus récentes sont contemporaines de l'histoire tertiaire. Les propriétés texturales du Callovo-Oxfordien ont été acquises lors de l'histoire précoce de la formation. Celles-ci conditionnent des caractéristiques homogènes sur l'ensemble de la formation.

2.3.5 Activité sismique

Le site de Meuse/Haute-Marne appartient à un domaine géologique stable, caractérisé par une activité sismique extrêmement faible, comme le prouvent les enregistrements de sismicité instrumentale (écoute sismique depuis 1961 à l'échelle de la France, ciblée sur le secteur de Meuse/Haute-Marne depuis 2001) et les chroniques historiques (séismes ayant été ressentis ou ayant occasionné des dégâts au cours des derniers 1 000 ans).

Sur le secteur de Meuse/Haute-Marne, comme dans toute la région située au Nord-Ouest de ce secteur, il n'existe aucun épicentre de séisme historique et la sismicité instrumentale est nulle (Tableau 2.3-1). Une activité sismique de très faible niveau, non ressentie mais enregistrée par les sismographes, se développe à plus de 30 km du site, en direction de l'Est et du Sud-Est, en s'éloignant du domaine quasi asismique que constitue le centre du bassin de Paris. La région la plus proche qui présente une activité sismique ressentie à l'échelle des temps historiques se situe à plus de 75 km du site, sur la bordure Ouest du massif des Vosges, et plus loin encore dans les fossés du Rhin.

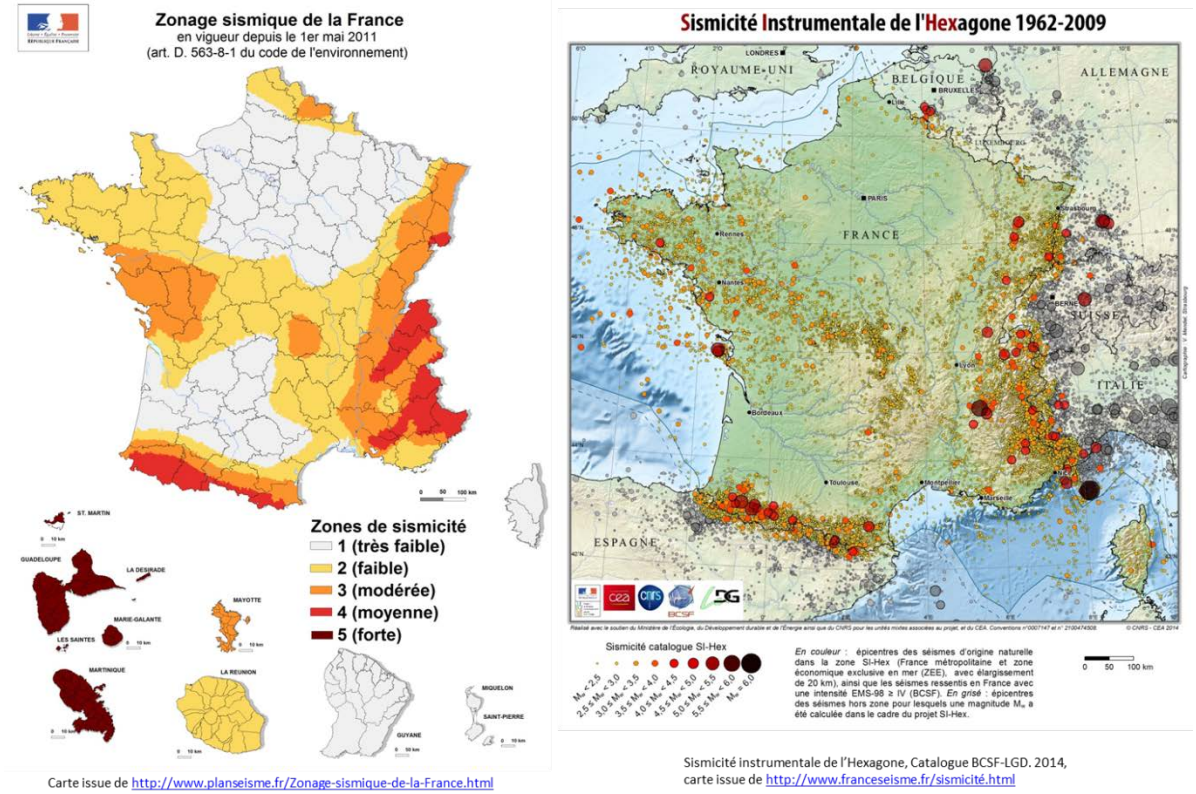


Figure 2.3-8 *Zonage sismique en France (gauche) et cartographie des séismes enregistrés entre 1962 et 2009 (droite)*

2.3.5.1 Aléa sismique retenu pour le dimensionnement des installations

<u>En surface</u>

Sur le site, les mouvements sismiques possibles sont issus de séismes dont les épicentres sont lointains.

Sur la carte du zonage sismique de la France (Figure 2.3-8) établie en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes, le secteur de Meuse/Haute-Marne se situe dans une zone de sismicité 1, où l'aléa sismique est qualifié de « très faible ».

Pour les bâtiments conventionnels à risque normal et de catégorie d'importance de I à IV (c'est-à-dire pour lesquels les conséquences d'un séisme sont limitées à la structure même du bâtiment et à ses occupants), le mouvement à partir duquel les règles de construction en vigueur doivent être appliquées en conformité avec l'Eurocode 8, est représenté par un spectre de réponse élastique (défini par l'arrêté du 22 octobre 2010 ; NOR: DEVP1015475A) dont l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de type rocheux, comme les calcaires du Barrois dégagés de la zone altérée superficielle, est :

- de 0,032×g pour les bâtiments de catégorie d'importance I (ex-classe A : bâtiments dans lesquels est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée) ;

- de 0,04×g pour les bâtiments d'importance II (ex classe B au sens de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005, comme les bureaux et ateliers accueillant au maximum 300 personnes simultanément soit l'équivalent de 3600 m² SHON, et de hauteur inférieure à 28 m).

Pour les bâtiments nucléaires de surface, l'estimation de l'aléa sismique prévu par la RFS n°2001-01 du 30 mai 2006 « Détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base » est fondée sur une approche déterministe à partir de la sismicité connue, établie à partir des séismes maximaux historiquement vraisemblables (SMHV) desquels sont déduits les séismes majorés de sécurité (SMS), par majoration de 0,5 des magnitudes.

Pour répondre à un objectif d'aléa associé à des séismes ayant une période de retour minimale de 10 000 ans, conformément à l'approche probabiliste préconisée par l'IRSN, le spectre pris en compte à ce jour pour le dimensionnement de l'installation nucléaire de surface de Cigéo, est la médiane du spectre obtenu par approche probabiliste en considérant une période de retour de 10 000 ans pour les séismes. La composante horizontale de ce spectre de référence est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 2.3-1 *Spectre de référence pour le dimensionnement des installations de Cigéo pendant la phase exploitation – Composante Horizontale*

Fréquence (Hz)	0,50	1,00	1,11	1,25	1,43	1,67	2,00	2,50	3,33	5,00	10,00	34,00
Accélération (g)	0,05	0,07	0,08	0,08	0,10	0,11	0,13	0,17	0,24	0,32	0,30	0,13

Le spectre de la composante verticale est obtenu en multipliant les accélérations du spectre de la composante horizontale par un coefficient 2/3 (Figure 2.3-9).

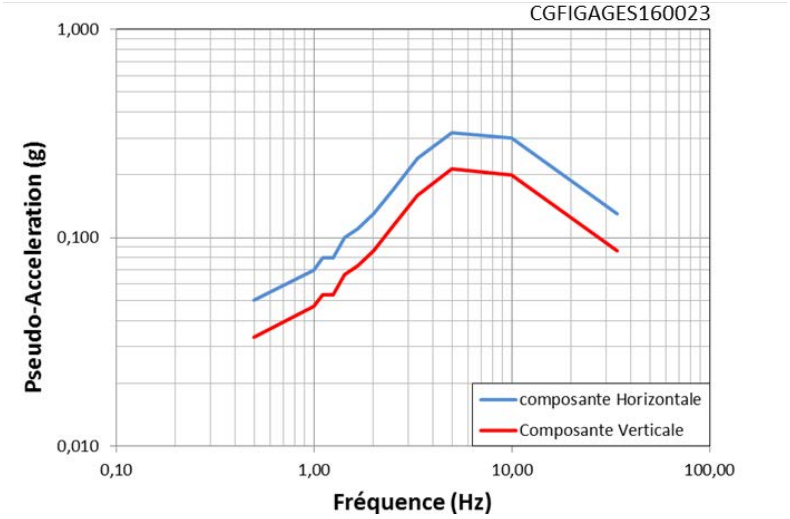


Figure 2.3-9 *Spectre retenu pour le dimensionnement des installations de Cigéo pendant la phase exploitation - composantes horizontale et verticale des mouvements sismiques.*

En profondeur

A ce jour, en absence de données suffisantes sur le mode d'évolution des mouvements en fonction de la profondeur dans le contexte géologique précis sur la ZIRA, les mêmes mouvements qu'en surface sont considérés de manière conservative pour le dimensionnement des soutènements/équipements nécessaires au fonctionnement en exploitation de l'installation souterraine et des liaisons surface-fond.

Pour le dimensionnement du génie civil de l'installation souterraine nécessaire à la phase après fermeture et mis en place dès la construction ou pendant l'exploitation, le spectre SMPP ayant une période de retour de 100 000 ans est utilisé (Tableau 2.3-).

Tableau 2.3-2 Caractéristiques du spectre de référence en surface SMPP – composante horizontale

Fréquence (Hz)	0,1	0,3	1	5	9	34
Accélération (g)	0,002	0,015	0,110	0,535	0,535	0,220

Activité sismique

A l'échelle de l'exploitation de Cigéo, il n'est pas prévu de changements et d'évolution de la topographie car les phénomènes géodynamiques externes déterminés par l'érosion ou les mouvements tectoniques affectant l'environnement de surface sont négligeables à cette échelle de temps.

Par conséquent, les données retenues pour le dimensionnement des installations de surface correspondent à la géographie et la topographie actuelles décrites ci-avant.

2.4 Hydrologie et hydrogéologie

2.4.1 Le réseau hydrologique de surface

Le secteur de la ZIRA et des ZIIS est traversé par deux cours d'eau faisant partie du bassin versant de la Marne :

- l'Orge à l'Ouest longeant la zone descenderie côté Ouest et à environ 2 km à l'Ouest de la zone puits. L'Orge est un affluent de la Saulx et possède lui-même un petit affluent de rive droite appelé la Bureau ;
- l'Ormançon longeant la zone puits à l'Est et à environ 3,2 km de à l'Est de la zone descenderies est un affluent de l'Ornain.

Ces cours d'eau prennent leur source au Sud du secteur dans les formations du Kimméridgien marneux. Leur écoulement n'est pas pérenne : leurs lits s'assèchent par endroit en période peu pluvieuse et en période estivale.

Il existe quelques sources sur le secteur : en tête de bassin de l'Orge et de l'Ormançon sur les marnes du Kimméridgien et sur les calcaires du Barrois. Les débits des sources des vallées de la Bureau et de l'Orge varient de quelques litres par seconde à plusieurs dizaines de litres par secondes, voire plus de 100 l/s en période de crue alors que les débits des sources de la vallée de l'Ornain ont des débits qui évoluent généralement de quelques l/s à quelques dizaines de l/s, en dehors des assecs estivaux.

Le réseau hydrographique fait apparaitre deux retenues d'eau liées à la gestion de l'eau en amont de la région parisienne :

- le réservoir de la Marne (4800 ha, 349 millions de m^3) à 35 km environ ;
- le réservoir de l'Aube (2320 ha, 170 millions de m^3) à 60 km environ.

2.4.2 Structure et fonctionnement des unités hydrogéologiques sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien

Le système hydrogéologique au droit du site de Meuse/Haute Marne et plus particulièrement au droit de la ZIRA est une structure multi-couches constituée (Figure 2.4-1) :

- des aquifères des calcaires du Barrois, des calcaire de l'Oxfordien, du Dogger et du Trias inférieur et supérieur. A l'échelle du secteur de Meuse/Haute-Marne, ce système aquifère comporte des failles hydrauliquement actives comme celles de la Marne et de Poisson qui sont orientées parallèlement aux contraintes tectoniques majeures et des failles moins drainantes jouant le rôle plutôt de barrières hydrauliques comme les failles de Gondrecourt Nord et les failles de Joinville dont l'orientation NE-SO est perpendiculaire à la direction des contraintes tectoniques majeures. Une fracturation diffuse hydrauliquement relativement active se trouve au Sud-Ouest de la ZIRA ou de la zone de transposition (Figure 2.4-1) ;
- des semi-perméables du Kimméridgien marneux, des argilites du Callovo-Oxfordien, des argiles du Lias et des argiles et évaporites du Trias moyen.

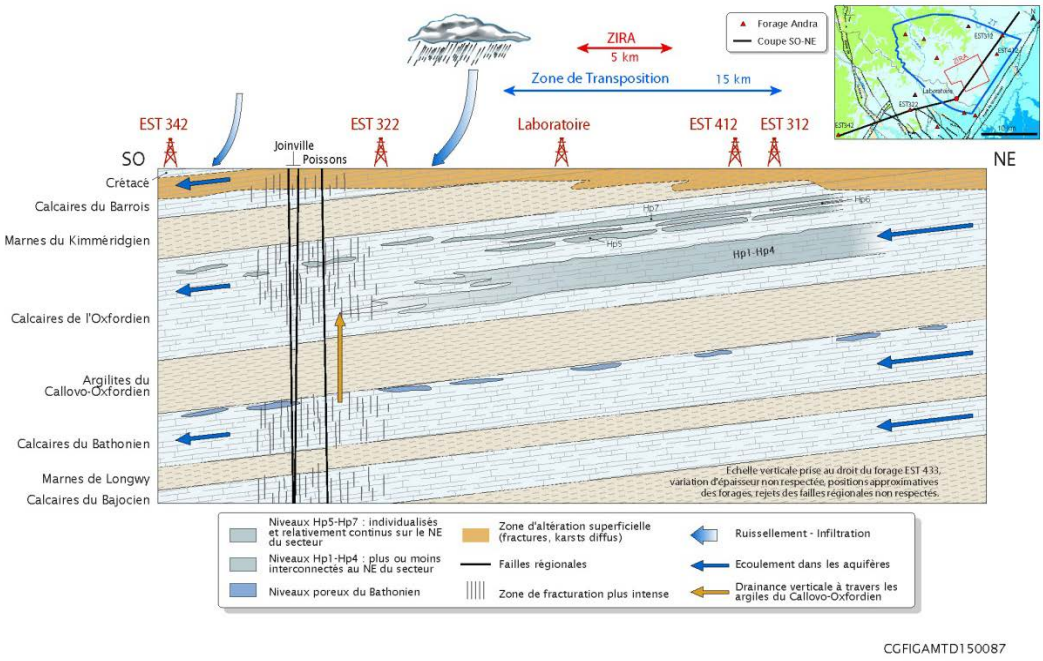


Figure 2.4-1 Représentation des niveaux aquifères et leurs écoulements dans les différentes formations géologiques du secteur de Meuse/Haute-Marne

2.4.2.1 Le système aquifère superficiel des calcaires du Barrois

Les calcaires du Barrois constituent un système aquifère karstique multicouche caractérisé par trois formations aquifères (calcaires sub-lithographiques, calcaires de Dommartin et calcaires cariés) séparées par des formations semi-perméables (Pierre Châline et Oolithe de Bure). Les écoulements sont organisés dans chacune des trois formations aquifères par la fracturation et un réseau de conduits karstiques en direction nord nord-ouest. Des conduits karstiques verticaux mettent en relation, localement, ces aquifères.

Au droit de la ZIRA, seuls les aquifères des calcaires sub-lithographiques et des calcaires de Dommartin inférieurs et moyens sont présents. Les calcaires de Dommartin supérieurs et les calcaires cariés sont présents seulement sur les points hauts du secteur et constituent une zone désaturée. L'aquifère des calcaires sub-lithographiques devient captif sous la Pierre Châline et les forages de la vallée de l'Ormançon et de l'Orge sont artésiens en hautes eaux.

Dans les zones plus carbonatées, la perméabilité peut être importante voire élevée lorsque les calcaires sont fracturés et karstifiés. Trois réseaux connectés de conduits karstiques sont développés à la faveur de fractures dans les calcaires sub-lithographiques, les calcaires du Dommartin et les calcaires cariés. Les tests de pompage réalisés dans les forages sur le site du Laboratoire indiquent une perméabilité moyenne de l'ordre de 10^{-6} m/s représentative des calcaires sub-lithographiques, seule formation recoupée par ces forages, voire quelques 10^{-4} m/s comme le suggère la banque du sous-sol du BRGM sur la base des résultats des tests de pompage de 4 forages dans les calcaires les plus karstifiés.

L'écoulement général des deux aquifères du Barrois sur la ZIRA (calcaires sub-lithographiques et des calcaires de Dommartin inférieurs) est dirigé vers le Nord sur le site (Nord-Ouest au Nord de la ZT). Cette direction est dictée par la topographie et les cours d'eau en surface. Les vitesses d'écoulement sont de l'ordre de 10 km/an. La piézométrie simulée à l'actuel indique un gradient hydraulique de l'ordre de 0.2 % sur les plateaux alors qu'au droit des vallées il peut atteindre 1 %.

Les principaux exutoires naturels des calcaires du Barrois sont les sources situées dans la vallée de la Saulx et de l'Ornain.

2.4.2.2 Le système aquitar du Kimméridgien marneux

Cette formation est à dominante marneuse (« Marnes à Exogyres ») et désigne l'ensemble sus-jacent aux calcaires de l'Oxfordien. L'épaississement de la formation est faible sur la majeure partie de la Zone de Transposition (épaisseur variant en moyenne entre 100 et 110 m) à l'exception de la partie NO de la ZT où l'épaisseur augmente plus rapidement (120 m sur EST441 et EST452).

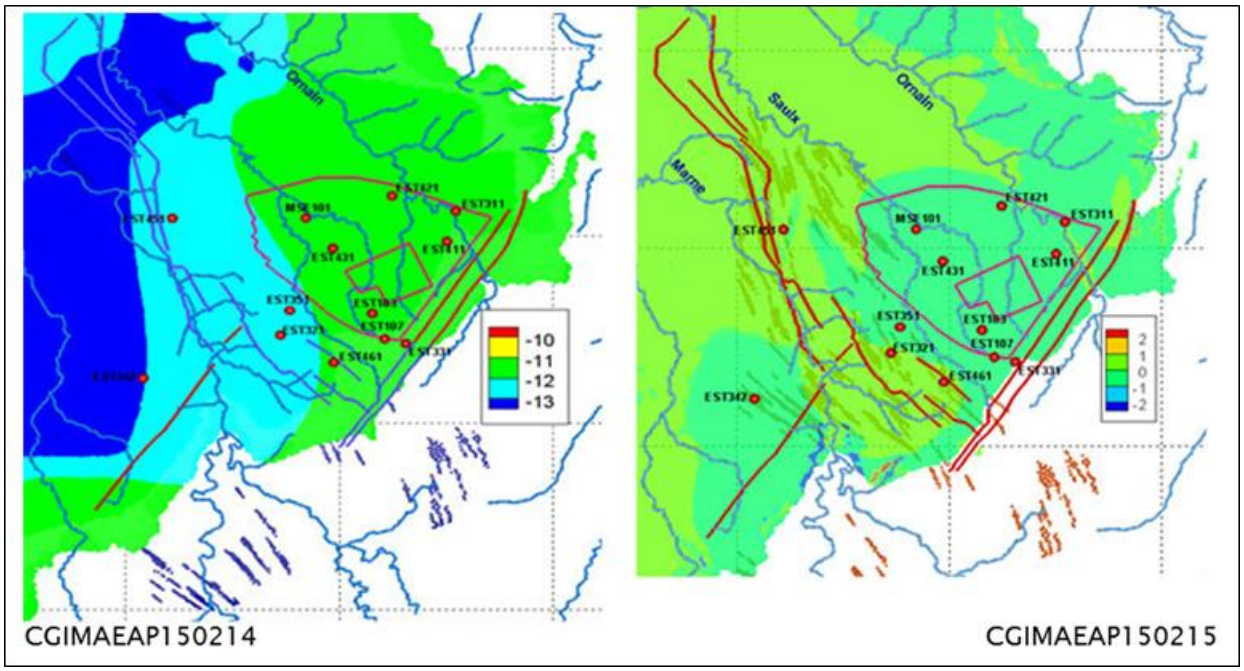


Figure 2.4-2 *Distributions de la perméabilité en m/s du Kimméridgien marneux (à gauche) et des flux spécifiques en m^3/m^2.an échangés avec les calcaires du Barrois (à droite)*

Avec des perméabilités variant entre 10^{-11} m/s à 10^{-12} m/s au droit de la zone de transposition, le kimméridgien marneux est un semi-perméable avec un gradient vertical descendant induit par l'aquifère des calcaires du Barrois et celui des calcaires de l'Oxfordien de l'ordre de 0,34 m/m. A l'aplomb de la ZIRA, le flux spécifique descendant est inférieur à 1 m^3/m^2 an.

2.4.2.3 Structure et comportement hydrogéologique calcaires de l'Oxfordien

Les formations de l'Oxfordien moyen et supérieur sont constituées : (i) de calcaires qui intègrent des variations lithologiques traduites par l'occurrence d'horizons poreux (Hp) et (ii) d'une série grise argilo-marneuse.

Les horizons poreux sont caractérisés par des porosités et des perméabilités variant respectivement entre 13 % et 25 %, et entre 10^{-9} m/s et 10^{-7} m/s.

Verticalement, dans la partie nord-est du secteur, les 4 premiers niveaux (Hp1-Hp4) constituent la nappe dite de l'Oxfordien moyen, alors que les trois derniers niveaux (Hp5 et Hp6, Hp7) constituent la nappe dite de l'Oxfordien supérieur. Au niveau de la zone de transposition, dans la partie Nord-Est, la nappe de l'Oxfordien moyen est séparée de la nappe de l'Oxfordien supérieur par le semi-perméable que constituent les marnes de la série grise (Figure 2.4-3).

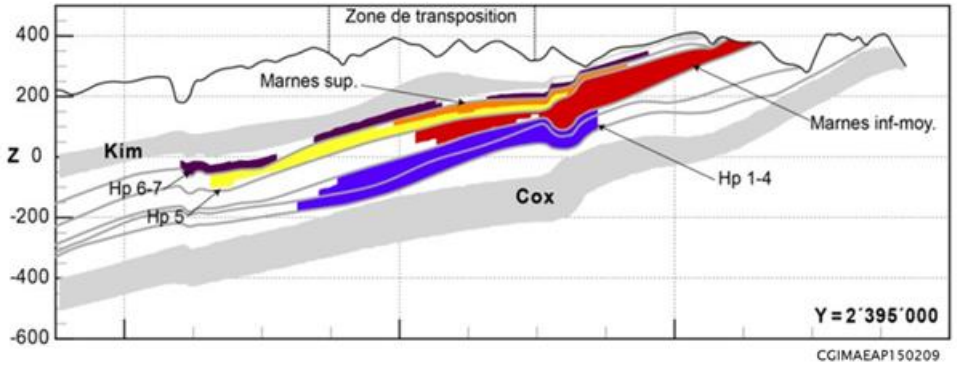


Figure 2.4-3 *Structure verticale du système aquifère des calcaires de l'Oxfordien. Les couleurs correspondent aux différents niveaux poreux (violet, jaune, marron). La présence des marnes est représentée en orange et rouge*

Dans la partie Sud-Ouest de la zone de transposition, l'épaisseur négligeable ou l'absence de ce semi-perméable fait que l'ensemble des formations des calcaires de l'Oxfordien y compris les horizons poreux ne forment qu'une seule nappe avec globalement un seul champ d'écoulement.

Les transmissivités des horizons poreux sont faibles, de l'ordre :

- de 10^{-7} m^2/s pour Hp1à Hp4, de 10^{-8} m^2/s pour Hp5, et de 10^{-8} m^2/s à 10^{-7} m^2/s pour Hp6 et Hp7 dans la zone où ils sont bien séparés par la série grise ;
- de 10^{-8} m^2/s à 10^{-7} m^2/s là où les Hp ne constituent qu'une seule nappe aquifère.

La recharge en eau de l'Oxfordien se fait principalement par les affleurements à l'Est et au Sud-Est du secteur. Les circulations d'eau sur le secteur se font préférentiellement vers le centre du bassin suivant une direction Nord-Ouest.

Les vitesses de pore de l'ordre de 1 km par 100 000 ans sont confirmées par l'analyse d'éléments chimiques radioactifs dans les eaux (^{14}C, ^{36}Cl), à partir de la connaissance de leur teneur dans les eaux de pluie et de leur décroissance radioactive, pour un gradient de charge hydraulique horizontal globalement homogène et constant de l'ordre de 0,04 m/m.

L'alimentation de la zone de failles N150°E se fait directement par infiltration dans les réseaux karstiques qui se sont développés sur la partie de ces failles recoupant l'Oxfordien à l'affleurement. La piézométrie et la salinité y sont différentes de celles du reste du secteur d'étude en fonction des connexions existant dans le réseau de failles. Les écoulements y ont une direction globalement SE-NO

Au droit de la ZIRA, du fait de sa faible perméabilité, de l'ordre de 10^{-12} m/s et de son extension limitée à la partie Nord-Est de la zone de transposition, la série grise structure l'aquifère de l'Oxfordien en deux nappes ayant chacune son champ d'écoulement propre :

- la nappe de l'Oxfordien supérieur présente des charges variant de 305 m à 280 m. Les écoulements sont orientés en directions du nord, du nord-ouest avec un gradient hydraulique moyen de 4 % ;
- la nappe de l'Oxfordien moyen présente des charges variant de 295 m à 270 m soit un gradient horizontal de 0,6 %. Les écoulements sont orientés vers le Nord-Ouest avec un même gradient de charge hydraulique moyen de l'ordre de 4 %.

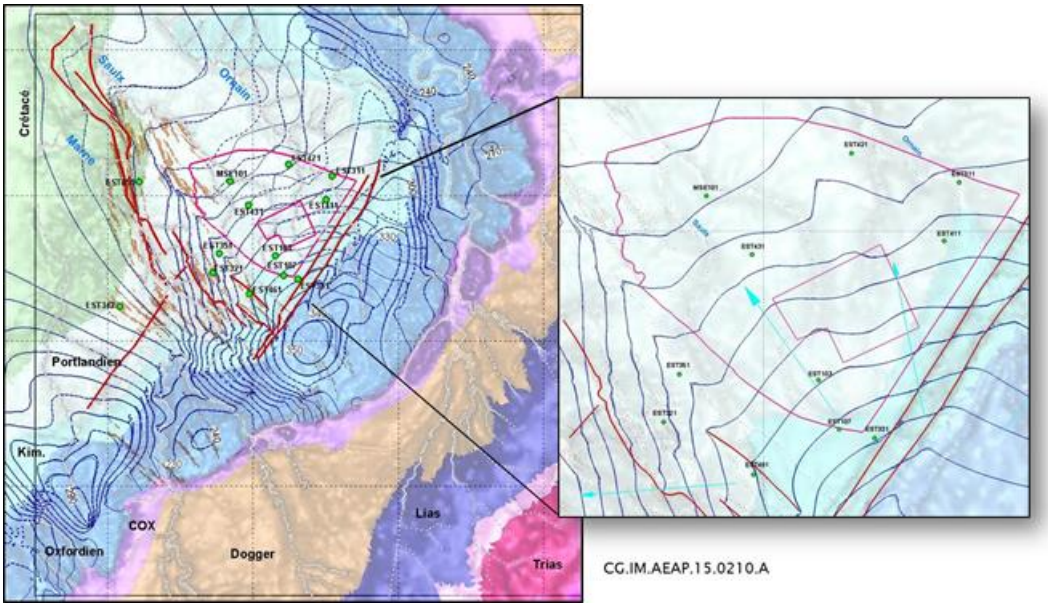


Figure 2.4-4 *Piézométries simulées des deux nappes des calcaires de l'Oxfordien (nappe de l'Oxfordien supérieur à gauche) Piézométries latérales des calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur*

2.5 Météorologie et climat

L'Europe de l'Ouest bénéficie d'un climat tempéré bénéficiant de sa situation géographique située dans les moyennes latitudes et à l'influence marine. Ses caractéristiques climatiques sont modulées par des effets régionaux et locaux étroitement liés aux propriétés de la surface (nature, altitude) et les relations avec les régions voisines (éloignement des côtes, proximité et versants des massifs montagneux, etc.).

La région Nord-Est de la France est caractérisée par un climat de type continental avec une transition vers un climat de type océanique à l'Ouest et une incursion dans un climat de montagne dans le massif vosgien.

La Meuse/Haute-Marne connait donc un climat de transition entre l'influence continentale et l'influence océanique marquée par sa topographie caractérisée par une alternance de plateaux (dont l'altitude atteint 400 m) et de côtes (par exemple plateau du Barrois et côte des Bars).

Les données climatiques présentées ci-après s'appuient sur des relevés réalisés sur 35 années de référence issues de données météorologiques acquises sur des réseaux de stations d'observations et intégrés dans une base de données traçant l'historique des données météorologiques validées :

- quatre stations de référence climatique du réseau Météo France se trouvent à proximité de la zone (moins de 90 km). Ces stations réalisent de nombreuses mesures automatisées et manuelles et disposent de chroniques suffisamment longues pour établir des statistiques climatiques ;

- des stations secondaires, disposant également de chroniques longues (sur la période 1980-2014). Elles permettent de compléter ces statistiques et de rendre compte des effets locaux. En effet alors que les variations de certains paramètres sont dominées par des facteurs de grande échelle, pour d'autres (le vent, les précipitations, le brouillard,…), ces influences de grande échelle sont modulées par des facteurs locaux (topographie, type de surface…).

2.5.1.1 Les conditions de température et d'humidité relative de l'air

Les conditions climatiques de l'air en surface sont caractérisées par :

- une hygrométrie de l'ordre de 80 % en moyenne annuelle ;
- une température en moyenne annuelle de l'ordre de 11°C. Sur les 35 années de référence, les températures moyennes annuelles ont peu varié (Tableau 2.5-) entre 1980 et 2014, l'augmentation de température moyenne est de l'ordre de quelques dixièmes de degrés Celsius.

Tableau 2.5-1 Données climatiques (température moyenne annuelle) des stations Météo France du secteur établies sur la période 1980-2014

Température en moyenne annuelle (°C)				
	Erneville-aux-bois	Cirfontaines	Epinal	Saint-Dizier
Moyenne	9,5	10,2	9,9	11.2
Ecart-type	0,7	0,7	0,7	0.7
Minimum	8,0	8,8	8,60	9.5
maximum	10,9	11,4	11,1	12.5

Les cycles saisonniers sont caractérisés par des températures plus élevées en juillet et août et plus basses en janvier et février. Le cycle annuel présente une amplitude de 17 °C environ. Des températures minimales moyennes négatives sont observées à Erneville et Cirfontaines en janvier et février.

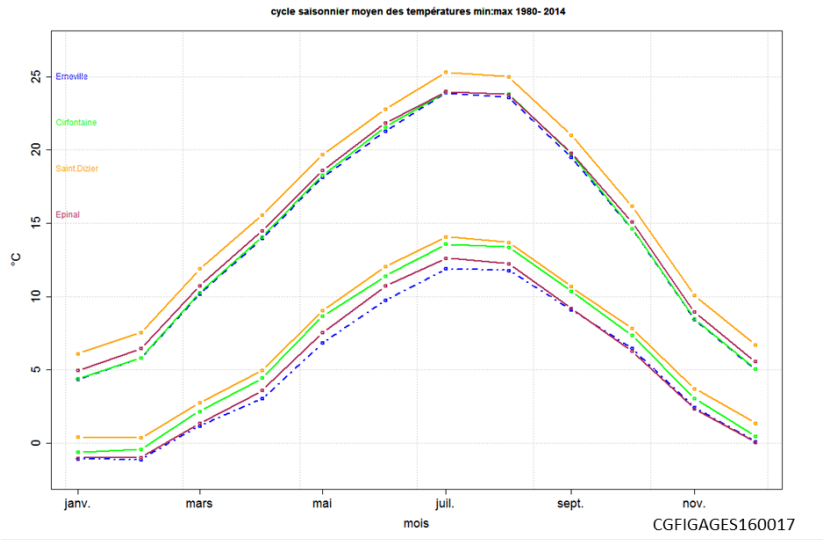


Figure 2.5-1 Cycles annuels moyen des températures maximales et minimales établis sur la période 1980-2014 pour les stations d'Erneville aux Bois, Cirfontaines, Epinal et Saint Dizier

Les températures extrêmes (atteintes à Saint-Dizier et Epinal) sont :

- 39°C en Juillet 1983 et 40°C en août 2003 ; ce pic a été pendant plus de huit heures consécutives au-dessus de 35°C, ce qui constitue selon Météo France une « période de canicule [qui] dépasse de très loin tout ce qui a été connu depuis 1873 par son intensité et sa longueur tant au niveau des températures maximales que moyennes ». La température de 40°C est retenue comme température maximale courte durée (24 h). Pour prendre en compte une éventuelle évolution climatique d'origine anthropique sur la durée d'exploitation et pour couvrir les incertitudes sur le paroxysme de température instantané, cette température maximale est augmentée conventionnellement de 5°C et la température maximale instantanée élaborée à partir de valeurs centennales sur 6 h est prise de manière majorante égale à 45°C ;
- jusqu'à -20,5°C en janvier 1985 et -22,5°C en févier 1956 à Saint-Dizier. La température de -20°C est retenue comme température minimale courte durée (24 h). Pour prendre en compte une éventuelle évolution climatique d'origine anthropique sur la durée d'exploitation et pour couvrir les incertitudes sur le pic instantané de froid, cette température maximale est diminuée conventionnellement de 5°C et la température minimale instantanée élaborée à partir de valeurs centennales sur 6h est prise de manière enveloppe égale à -25°C.

2.5.2 Précipitations (pluie et neige)

Les caractéristiques pluviométriques sont les suivantes :

- le cumul annuel des précipitations est en moyenne de l'ordre de 900 mm (1073 mm pour les stations proches de la zone, 837 mm à Saint-Dizier et 947 mm à Epinal, 916mm à Cirfontaines);
- les précipitations extrêmes ont été atteintes :
  - ✓ en 2003, année de sécheresse et de canicule, 633 mm de précipitations sur l'ensemble des onze stations du secteur ;
  - ✓ en 2001, 1536 mm cumulé à Grand et une moyenne de 1374 mm sur l'ensemble des stations proche de la zone.
- l'automne et l'hiver sont les saisons humides, les deux mois les plus pluvieux étant décembre et janvier avec des précipitations entre 100 et 135 mm mensuel ;
- le printemps est la saison la plus sèche, les deux mois les plus secs étant avril et juin avec des précipitations entre 60 et 90 mm mensuel ;

Les données retenues pour le dimensionnement sont issues de la station météorologique de Cirfontaines, située au plus proche des installations nucléaires de surface (Tableau 2.5- en rouge).

Tableau 2.5-2 Minimum, moyenne et maximum du cumul annuel des précipitations sur la période 1980-2014 sur les stations Météo France situées à proximité du site

	Précipitations (mm)				
	Erneville	Cirfontaines	Gondrecourt	Epinal	Saint-Dizier
Minimum	691	633	712	645	562
Moyenne	1050	916	1033	947	837
Maximum	1378	1175	1294	1207	1094

Durant l'hiver, des précipitations neigeuses se produisent régulièrement. Ces précipitations neigeuses représentent entre 8 et 10 % de la pluviométrie annuelle sur un nombre moyen de jours de l'ordre de 25 à 30 jours par an. Les épisodes neigeux se produisent entre novembre et avril avec une moyenne de 7,5 jours par mois en février.

La charge de neige retenue pour le dimensionnement est de 35 daN/m² en situation normale et 60 daN/m² en situation extrême.

2.5.2.1 Orages et foudres

Les phénomènes orageux se produisent essentiellement entre mai et septembre avec en moyenne 3 à 5 jours d'orages durant cette saison, ce qui est globalement faible au regard de la moyenne française (11,54 jours). Le nombre de jours d'orages par an dans un rayon de 5 km autour de la commune de Bure est en moyenne de 11 jours (période 1999-2008) avec en moyenne 1,44 impacts de foudre par an et par km².

Le dimensionnement des installations à la foudre s'appuie sur :

- les normes de protection générale contre la foudre (NF EN 62305) ;
- les normes de protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre (NFC 17-100 et NFC 17-102) ;
- les règles de conception et de réalisation électrique (NFC 15-100) ;
- le Guide UTE C 15-443 pour le choix et l'installation de parafoudre.

2.5.2.2 Vents

Sur le secteur, le régime de vent varie globalement de très faible à modéré (près de 70 % des occurrences). La vitesse moyenne des vents est de l'ordre de 10 km/h. Ils s'organisent autour de deux régimes de dominants :

- un régime de vent de Sud-Ouest (entre 180° et 260°E) représentant environ 30 % des occurrences et associé à des vents bien établis (15 km/h en moyenne) ;
- un régime d'Est (entre 60 et 120°E) moins marqué représentant environ 20 % des cas et associé à des vents plus faibles : une moyenne de 10 km/h avec très peu de vent au-dessus de 20 km/h.

Les vents forts, supérieurs à 40 km/h, représentent moins de 1 %.

La rafale maximale de vent enregistrée à St Dizier depuis le 1er janvier 1981 a atteint près de 160 km/h le 26/12/1999 atteignant le niveau EF1 sur l'échelle de Fujita. Ce même jour a également établi le record à la station d'Epinal et de Nancy avec des rafales maximales respectives de 133 km/h et de 144 km/h.

Sont retenues pour le dimensionnement les données suivantes :

- la rose des vents correspondant à celle de la station de Saint-Dizier (Figure 2.5-2), pondérée en regard des effets de la topographie locale (effets de plateau et de vallée) ;
- un niveau de rafale correspondant à une tornade de niveau EF2 (rafales comprises entre 50 et 60 m/s).

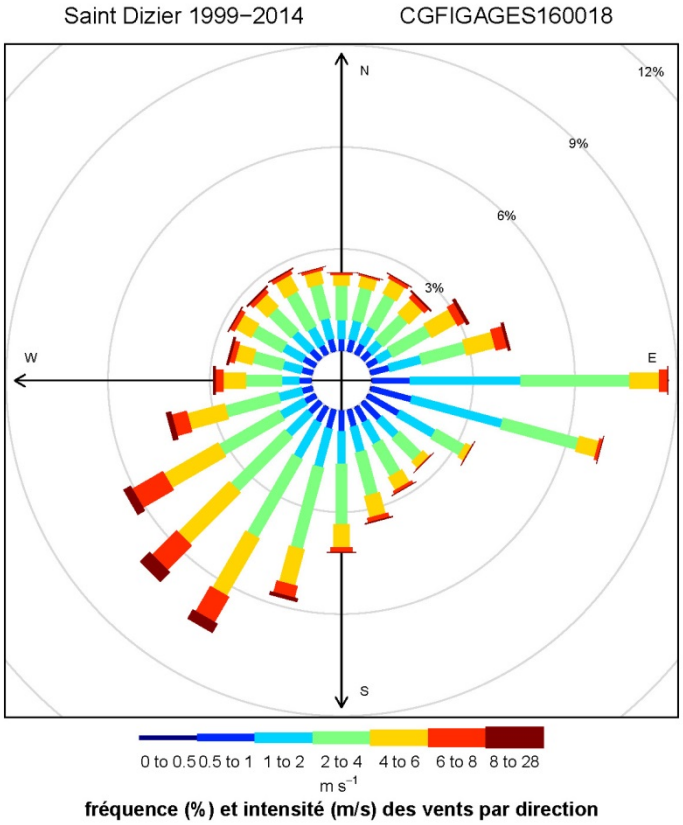


Figure 2.5-2 Rose des vents de Saint-Dizier établie sur la période 1999-2014

2.5.3 Autres phénomènes

2.5.4 Glissements de terrains et éboulements

Aucune zone d'aléa de type mouvement de terrain ni de cavités souterraines n'est identifiée dans l'environnement des zones d'implantation des installations de surface.

Les verses sont entreposées en surface avec des talus qui seront conçus et dimensionnés pour éviter les glissements de terrains.

2.5.4.1 Crues et inondations

Les installations de surface sont situées en dehors des zones à risque d'inondation ou de crues, et aucun Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) n'est recensé dans l'environnement des zones d'implantation des installations de surface.

La modification des transferts d'eau météoriques vers le sous-sol liées à la présence des installations de surface en tant que telle (imperméabilisation au niveau des verses, modification des chemins et quantités d'eau de ruissellement,...) est prise en compte dans la conception des installations, notamment en cas d'aléa de type « pluies diluviennes ».

Météorologie et climat

Le secteur de Meuse/Haute-Marne connait un climat de transition entre l'influence continentale et l'influence océanique marqué par sa topographie caractérisée par une alternance de plateaux (dont l'altitude atteint 400 m) et de côtes (par exemple plateau du Barrois et côte des Bars).

Les conditions climatiques de l'air en surface sont caractérisées par une hygrométrie de l'ordre de 80% en moyenne annuelle, une température en moyenne annuelle de l'ordre de 11 °C et un cycle climatique annuel d'une amplitude de 17 °C environ caractérisés par des températures plus élevées en juillet et aout et plus basses en janvier et février. Le cumul annuel des précipitations est en moyenne de l'ordre de 900 mm.

Les données suivantes sont retenues pour le dimensionnement :

- des températures extrêmes de +45°C et -25°C incluant une marge conventionnelle de 5°C pour tenir compte d'une évolution éventuelle du climat ;
- une pluviométrie annuelle correspondant aux mesures de la station de Cirfontaines [600 – 1200 mm] ;
- un nombre de jours d'orages par an dans un rayon de 5 km autour Bure estimé à 11 (période 1999-2008) avec en moyenne 1,44 impacts de foudre par an et par km² ;
- une charge de neige de 35 daN/m² en situation normale et 60 daN/m² en situation extrême ;
- la rose des vents de la station de Saint-Dizier pondérée en regard des effets de la topographie locale (effets de plateau et de vallée) ;
- un niveau de rafale correspondant à une tornade de niveau EF2 (rafales comprises entre 50 et 60 m/s).

2.6 Ressources naturelles et denrées alimentaires

2.6.1 Les ressources minérales et en hydrocarbures

Sur l'ensemble de la zone de transposition, donc incluant la ZIRA, et de manière générale sur le secteur :

- aucune carrière active n'exploite à l'heure actuelle les calcaires du Barrois sur l'ensemble de la zone (BRGM, 2015) pour des besoins locaux en pierre de construction, en granulat ou autres usages d'empierrage, selon la banque du sous-sol (BSS) du BRGM. Il n'y a pas de ressource avérée ou exploitée dans le passé en matériaux alluvionnaires (sables, graviers, etc.), en raison de l'absence de plaine alluviale conséquente ;
- aucune ressource minière n'est exploitée sur l'ensemble de la couverture sédimentaire car elle ne renferme aucune substance minérale économiquement exploitable ;
- aucune ressource potentielle en charbon exploitable n'apparait au regard des données géologiques. Cette ressource se développe à environ 40 km plus à l'Est du secteur dans les terrains du Westphalien qui n'existent pas à l'aplomb du secteur ;
- les conditions géologiques ne sont pas favorables à la présence potentielle d'hydrocarbures conventionnels. La campagne de sismique réflexion 3D menée par l'Andra en 2010 sur l'emprise de la zone d'implantation et de recherche approfondie montre l'absence de toute structure susceptible de constituer un réservoir à hydrocarbure (Andra, 2012). Les gisements d'hydrocarbures les plus proches sont ceux de Forcelles (pétrole) en Meurthe et Moselle à environ 54 km à l'ESE et celui des Trois-Fontaines (gaz) près de St Dizier à 39 km au Nord-Ouest. Ces deux gisements, qui ne sont plus exploités, sont des gisements structuraux localisés dans les couches du Trias moyen à supérieur (Andra, 2012 ; Delmas et al. 2002).
- la probabilité de ressources potentielles en hydrocarbures non-conventionnels est quasi inexistante. A l'aplomb de la zone d'implantation et de recherche approfondie, la roche mère du Westphalien n'existe pas ; sa limite occidentale est située à plus de 10 km au Nord et Nord-Est de

la zone d'implantation et de recherche approfondie. La roche mère du Stéphanien, présente sous la zone d'implantation et de recherche approfondie est très pauvre en roches-mères potentielles, en charbon et schistes à matière organique.

2.6.2 Les ressources géothermiques

Les données acquises par l'Andra sur le secteur, plus particulièrement avec le forage EST433 foré jusqu'à environ 2000 m de profondeur dont un objectif scientifique était d'évaluer les caractéristiques géothermiques locales, ont montré que ces dernières (gradient géothermal et caractéristiques hydrodynamiques de l'Aquifère supérieur des grès du Buntsandstein du Trias) étaient communes et ne présentaient pas de caractère exceptionnel par rapport à ce que l'on peut trouver ailleurs dans le bassin de Paris. Ainsi, le gradient géothermal est d'environ 3°C/100 m ce qui est dans la moyenne nationale et l'eau de l'aquifère des grès du Buntsandstein (environ entre 1860 et 1890 m de profondeur) a une température de 66°C avec une très forte salinité de 180 g/l.

2.6.3 Les ressources en eaux

Aujourd'hui sur le secteur d'étude, seuls les calcaires du Barrois correspondant à la formation aquifère de surface affleurant sur le secteur de la ZIRA constituent une ressource en eau exploitable. Ils forment un aquifère karstique caractérisé par des circulations rapides reflétant des réactions rapides d'infiltration des eaux de précipitation et des parcours souterrains probablement également rapides. Cette capacité d'écoulement rapide diminue fortement la capacité d'emmagasinement en eau de cet aquifère. Les ressources en eau exploitées provenant des calcaires du Barrois sont essentiellement localisées le long des cours d'eau de l'Orge, de la Saulx et de l'Ornain.

Les aquifères captifs et profonds de l'Oxfordien et du Dogger, de par la salinité de leur eau et les faibles débits qui les caractérisent, ne sont pas exploités sur le secteur.

2.7 Autres activités aux alentours du site

2.7.1 Activités industrielles

La région est très faiblement industrialisée.

Les installations ICPE classées présentes dans un rayon de 50 kms autour du site sont :

- SODETAL SAS (fabrication de produits métalliques) : ICPE classée AS (autorisation avec servitudes) et dont le rayon de PPI n'inclut pas le site du projet Cigéo. Cette ICPE se trouve à Tronville-en-Barrois (Meuse), à 25 kilomètres du site ;
- RHOVYL (fabrication de fibres artificielles ou synthétiques): ICPE classée Seuil Bas située à Tronville en Barrois (Meuse), à 25 km au nord du site ;
- FERRO France (fabrication d'émaux pour métaux, verres et céramiques) : ICPE classée Seuil Bas située à Saint-Dizier (Haute-Marne), à 30 km au nord-ouest du site ;
- STOROPACK France (fabrication de produits en caoutchouc et en plastique) : ICPE classée Seuil Bas située à Nully (Haute-Marne), à 40 km au sud-ouest du site ;
- HUNSTMAN SURFACES SCIENCES FRANCE (fabrication de savons, détergents et produits d'entretien) ICPE classée AS (autorisation avec servitudes) située à Han-sur-Meuse (Meuse), à environ 40 km au nord-du site ;
- la plateforme Syndièse[40] est située au Nord-Ouest de Saudron à environ 2 km de la zone descenderie et 4,5 km de la zone puits. Il s'agit d'une ICPE soumise à déclaration pour la production de biocarburant.

Deux parcs éoliens sont présents à environ 5 km du site, respectivement situés au Nord-Est de la zone et au Sud-Ouest.

[40] Le choix du site d'implantation du projet Syndièse a été réalisé en connaissance du site d'implantation potentiel du projet Cigéo.

2.7.2 Voies de communication terrestres

Cela comprend les voies de communications routières, ferrées, fluviales et les réseaux (lignes électriques et conduites de gaz).

2.7.2.1 Les réseaux

Les principaux réseaux identifiés aux alentours du site d'implantation sont :

- la canalisation de gaz ou d'hydrocarbures enterrée. Pour alimenter le site, huit chaudières raccordées au gaz naturel seront installées, réparties sur les deux zones (descenderie et puits). Plusieurs possibilités de raccordement au réseau de gaz naturel existant sont à l'étude, via :
  - ✓ l'Antenne de Joinville à l'Ouest,
  - ✓ l'Artère de l'Est au Nord,
  - ✓ le Réseau national des Marches du Nord-Est à l'Est,
  - ✓ la canalisation DN200 de Trois-Fontaines ;
- les lignes électriques : une ligne à très haute-tension passant à environ 300 m au nord de la zone descenderies et 2 km au sud de la zone puits. Elle alimentera un poste RTE à partir duquel deux artères enterrées desserviront les deux sites de surface.

2.7.2.2 Les voies de communications

Cigéo est situé à l'écart des grands axes de circulation tels que les autoroutes, routes nationales à fort trafic et axes de transport de matières dangereuses (TMD).

Les routes situées à proximité des installations sont les suivantes :

- la route départementale D960 (reliant notamment les communes de Saudron et de Mandres-en-Barois d') : cette route traverse aujourd'hui la zone descenderie. Une déviation au Nord de la Zone Descenderie est prévue dans le cadre du projet Cigéo, d'une distance minimale de l'ordre de 650 m ;
- la route départementale D175, à l'ouest de la zone Descenderie (reliant les communes de Saudron et de Gillaumé) à environ 500 m.

A ce jour, le trafic routier relatif à ces deux axes de circulation est plutôt faible. Il conviendra cependant de le réévaluer ultérieurement pour prendre en compte l'impact potentiel de la présence des installations du projet.

Les voies ferrées existantes les plus proches sont les suivantes :

- la voie reliant Saint-Dizier à Chaumont et passant par Joinville, à plus de 20 km à l'Ouest de la zone Descenderie ;
- la voie reliant Bar-le-Duc à Commercy, à près de 20 km au Nord de la zone Descenderie ;

La ligne de fret (voie unique, non électrifiée) reliant la gare de Nançois/Tronville à Gondrecourt-le-Château le long de la vallée de l'Ornain à un peu plus de 10 km au Nord-Est de la zone descenderie.

Une nouvelle ligne ferroviaire sera créée dans le cadre du projet Cigéo, entre la ligne existante à Gondrecourt-le-château et la zone descenderie, afin notamment d'acheminer les colis de déchets des producteurs vers les installations. Cette ligne sera également utilisée par Cigéo pour acheminer d'autres matériels ou matériaux (chantiers de construction) et limiter le trafic routier. Le terminal ferroviaire borde l'installation nucléaire de surface de la zone descenderie, au Sud de celle-ci.

Concernant le réseau fluvial, deux canaux navigables d'orientation Nord-Sud sont situés dans un rayon de 20 km : à l'est, le canal de la Marne au Rhin et à l'ouest, le Canal entre Champagne et Bourgogne.

2.7.3 Voies de communication aériennes

Les aérodromes implantés actuellement dans un rayon de 30 kms autour de la zone sont :

- Joinville-Mussey, situé à environ 15 km au Sud-Ouest ;
- Saint-Dizier, situé à environ 20 km à l'Ouest ;
- Bar le Duc, situé à environ 25 km au Nord ;
- Neufchâteau, situé à environ 30 km à l'Est.

Par ailleurs, il y a un héliport sur la zone descenderie en dehors du périmètre INB. La plateforme d'atterrissage est destinée principalement à l'accueil d'hélicoptères du SAMU et en cas de crise, des autorités administratives compétentes (gendarmerie, armée, préfet, etc.). Elle est dimensionnée pour accueillir un seul hélicoptère.

Concernant l'aviation commerciale, les aérodromes les plus proches sont ceux d'Epinal (50 km) et de Nancy-Essey (55 km).

Une carte aéronautique de l'environnement de Cigéo est présentée en annexe.

Tableau 2.7-1 Environnement aérien autour de Cigéo

Aérodrome	Type d'aviation	Trafic (en mouvements)
Joinville	générale	Pas d'information disponible, par conservatisme, une valeur de 5000 mouvements a été retenue
Saint Dizier	militaire	14124 mouvements dont 1767 pour l'aviation civile en 2007
	générale	
Bar le duc	générale	Pas d'information disponible[41]
Neufchâteau	générale	Pas d'information disponible[41]

Il existe un couloir aérien au-dessus de la zone dénommé « UL161 ». Il s'agit d'un itinéraire situé dans l'espace supérieur de navigation et peu fréquenté à statut conditionnel car il interfère avec des activités militaires qui en ont la priorité.

Il existe aussi un itinéraire TACAN (TACtical Air Navigation) « R11 » au-dessus du niveau FL195 utilisable uniquement par les avions militaires.

Selon la figure ci-après, plusieurs zones réglementées sont identifiées :

- zone R27 : zone réglementée protégeant la circulation des avions militaires autour de l'aérodrome de St-Dizier, et la circulation militaire en altitude ;
- zone R98B : zone réglementée protégeant la circulation des avions militaires autour des aérodromes de Nancy-Ochey et protégeant les départs / arrivées des avions de ligne à destination / en provenance de l'Ouest de/vers Metz-Nancy-Lorraine et Nancy-Essey ;
- zone R45N5 : zone réglementée utilisée pour effectuer des entrainements à très basse altitude grande vitesse

[41] Pour déterminer les probabilités de chute d'avions sur Cigéo, en application de la méthodologie retenue, seules les données de trafic pour les aérodromes situés dans un rayon inférieure à 20 km autour du site sont nécessaires. Ainsi, pour les aérodromes situés à plus de 20 km, aucune valeur de trafic n'est postulée.

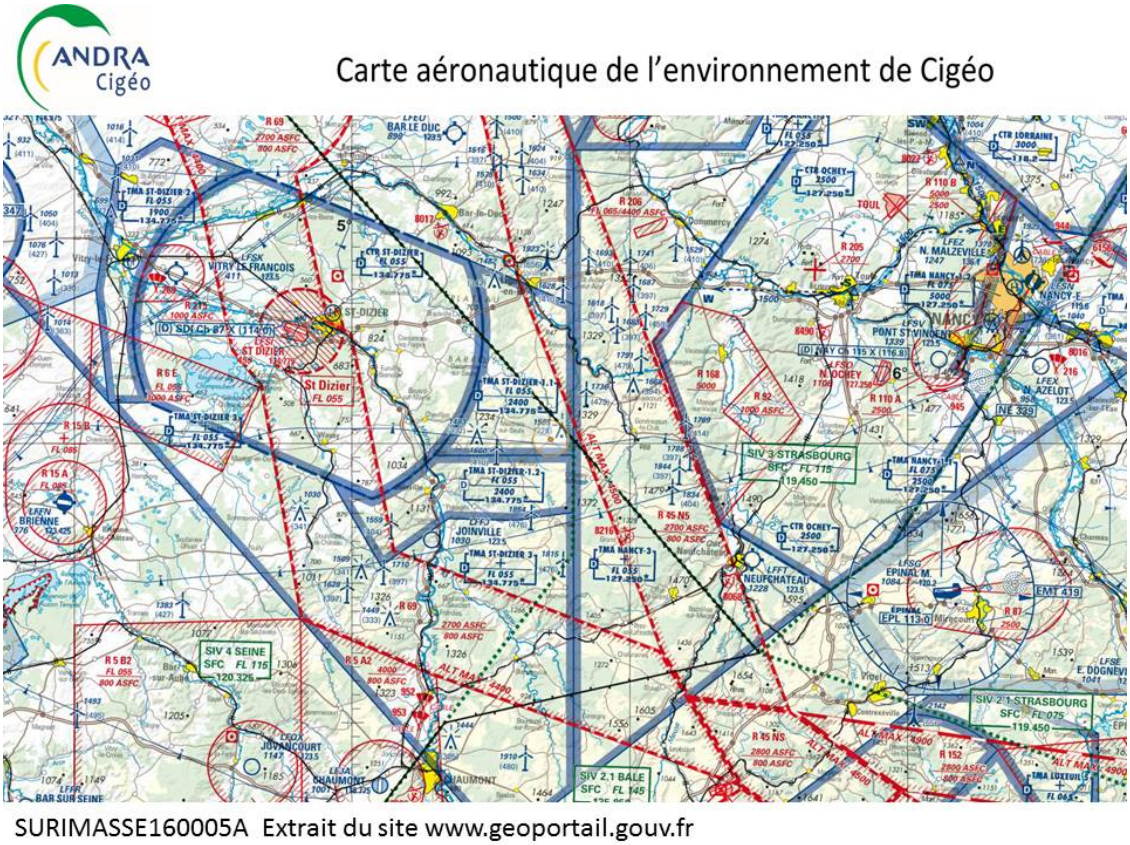


Figure 2.7-1 Carte aéronautique de l'environnement de Cigéo

Toute la zone se trouve :

- sous la zone TSA 20 A qui est dédiée à l'entrainement de combat au-dessus du niveau FL195 ;
- sous la zone réglementée R21 dédiée à l'entrainement de combat entre les niveaux FL115 et FL195.

3

Les installations et équipements

3.1 Installations nucléaires de surface de la zone descenderie 148
3.2 Fonctions et présentation des installations nucléaires de surface 149
3.3 La description générale du procédé en surface 152
3.4 L'installation souterraine 191
3.5 La description de l'installation souterraine et des procédés de transfert des colis 193
3.6 Les systèmes auxiliaires au niveau de l'installation Cigéo 252
3.7 Gestion des effluents liquides et des déchets du centre 266

3.1 Installations nucléaires de surface de la zone descenderie

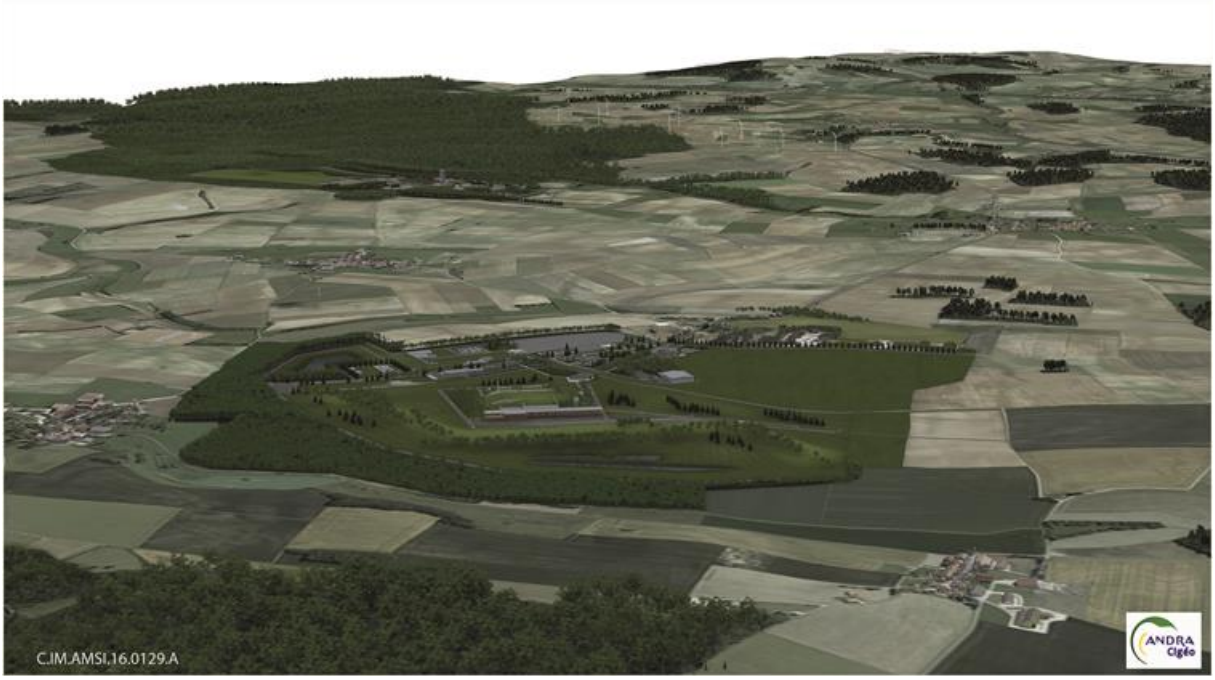


Figure 3.1-1 Périmètre géométrique « zone descenderie »

La « zone descenderie » comprend deux installations nucléaires de surface EP1 et EP2.

La conception d'EP1 retient une solution de bâtiments semi-enterrés, merlonnés sur leurs parties émergentes, plus adaptée à la gestion des interfaces avec le process nucléaire, en amont avec l'arrivée des emballages et en aval avec la descente en stockage par descenderie semi-enterrée avec un impact paysager plus favorable à une installation en surface.

L'installation EP2 n'est pas traitée ci-après dans la description du process principal des installations nucléaires de surface.

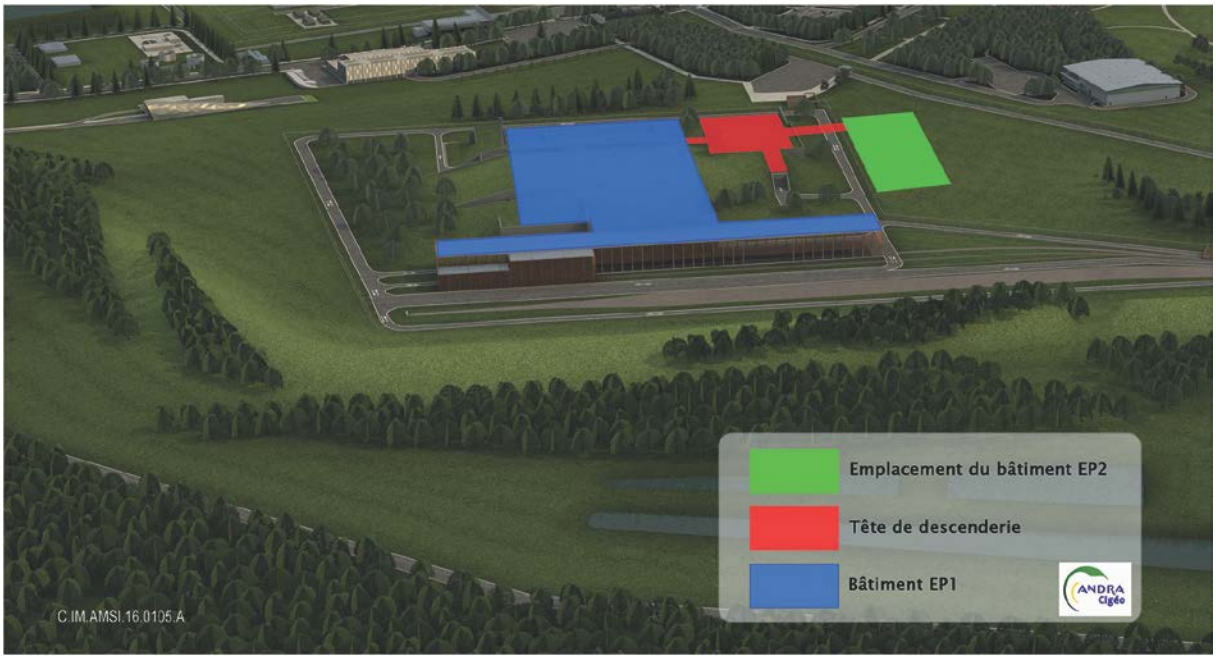


Figure 3.1-2 Installations nucléaires sur la « zone descenderie »

L'installation EP2 prévue d'être mise en service à la suite de l'EP1 à l'horizon 2070 n'est pas décrite spécifiquement dans ce document.

Elle est similaire à EP1 en termes de fonctionnalités et de risques.

Sa construction se fera dans le cadre d'un chantier clos et indépendant connecté sur la partie Est du plan ci-dessous ; la coactivité sera donc limitée.

3.2 Fonctions et présentation des installations nucléaires de surface

Les bâtiments de la zone « descenderie » assurent les fonctions suivantes :

- réceptionner les colis de déchets en emballage de transport ;
- décharger les colis primaires de déchets (CP) ;
- constituer les colis de stockage (CS) pour les colis de déchets mis dans des conteneurs de stockage (cf. solutions n°1 et n°2 présentées dans la section relative aux colis[42]) ;
- transférer les colis de stockage vers la mise en hotte ;
- assurer la mise en hotte des colis de stockage ;
- effectuer des contrôles ;
- gérer les déchets et les effluents induits ;
- prendre en charge les colis de stockage dans le cadre de la « récupérabilité » (cf. scénario d'exploitation de retrait présenté dans le DORec).

[42] Pour rappel, dans le cas de la solution n°3 relative au stockage des colis arrivant sur Cigéo directement en alvéole sans passer par la mise en conteneur, le colis de déchets constitue de fait le colis de stockage

Nota : La possibilité de ne pas mettre en conteneur de stockage certains colis primaires MA-VL et de les stocker directement dans les alvéoles de stockage fait l'objet d'adaptations qui seront précisées d'ici la demande d'autorisation de création.

Les bâtiments en surface dans la zone descenderie comprennent :

- **Un bâtiment principal constitué de :**
  - ✓ halls de déchargement d'emballages de transport verticaux (ET-V) ou horizontaux (ET-H) ;
  - ✓ locaux de préparation et de déchargement des emballages de transports verticaux ;
  - ✓ locaux de conditionnement des colis primaires en colis de stockage et transfert des colis ;
  - ✓ zones tampons des conteneurs et des colis de stockage ;
  - ✓ locaux utilités/servitudes permettant d'assurer le fonctionnement du procédé et de ses installations de support ;
  - ✓ locaux de mise en hotte des colis de stockage et parc à hottes.
- **Un bâtiment tête de descenderie colis constitué de :**
  - ✓ galeries de raccordement au bâtiment principal ;
  - ✓ gare haute du transfert incliné ;
  - ✓ fosse de maintenance du transfert incliné ;
  - ✓ locaux machinerie ;
  - ✓ locaux utilités/servitudes permettant d'assurer le fonctionnement de ce bâtiment.
- **D'un bâtiment de contrôles par prélèvement, de gestion des écarts et de gestion des effluents déchets constitué de :**
  - ✓ cellules de contrôles ;
  - ✓ locaux de remise en conformité des colis en écart ;
  - ✓ locaux de traitement des déchets et des effluents radioactifs ;
  - ✓ locaux utilités/servitudes permettant d'assurer le fonctionnement de ce bâtiment.

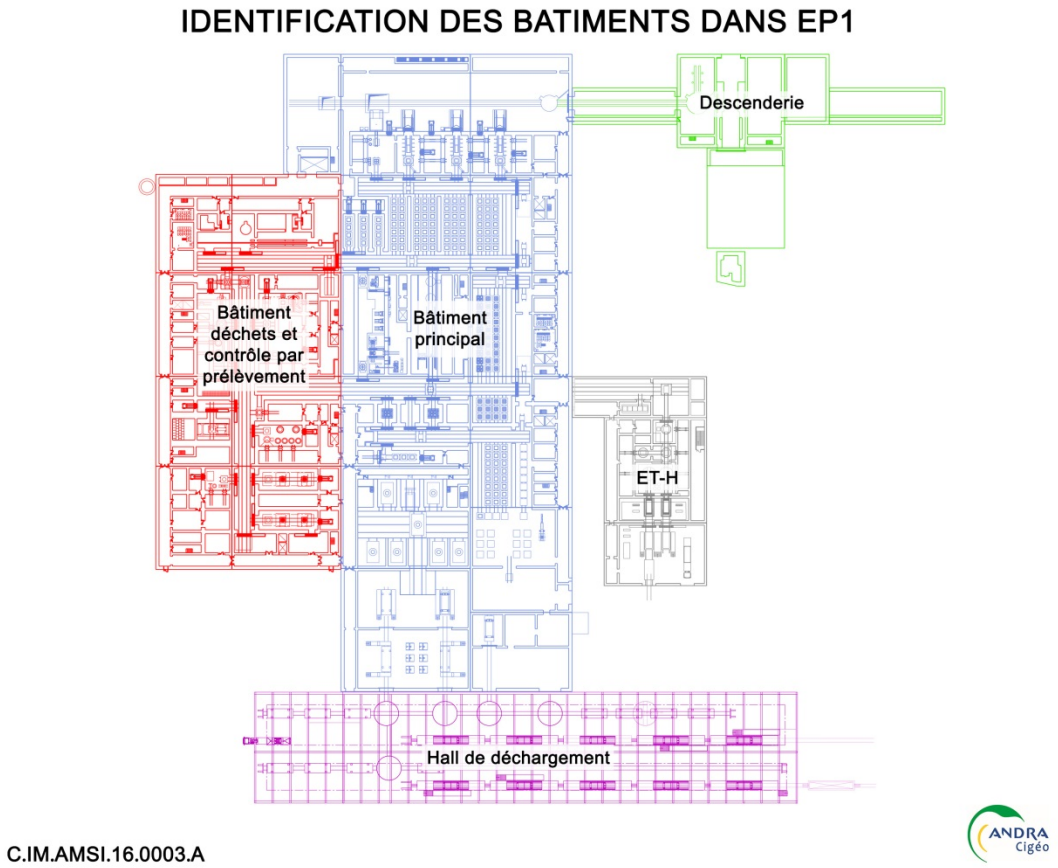


Figure 3.2-1 Décomposition des bâtiments d'EP1

Le déploiement de l'EP1 suit une logique de déploiement graduel, adaptée aux besoins fonctionnels et capacitaires liés à la chronique de livraison, et ceci au plus près des dates auxquelles ils interviennent.

EP1 présente ainsi une adaptabilité aux variations du programme industriel de gestion des colis « PIGD » (chronique de réception, flux de réception, date de fermeture partielle) sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction de nouveaux bâtiments. Cette installation permet notamment d'augmenter le cas échéant la cadence d'utilisation des équipements (par exemple passage d'une exploitation en 2 x 8 à une exploitation en 3 x 8 (24h/24) ou 5 x 8 (24h/24, 7j/7)).

Au démarrage de Cigéo (une fois autorisé à recevoir des colis), l'installation comprend des lignes de procédé de conditionnement des colis HA0 et MA-VL avec une ligne HA et une ligne MA-VL. La ligne de conditionnement HA sera reconfigurée en ligne MA-VL après le stockage des HA0 (horizon 2040).

3.3 La description générale du procédé en surface

3.3.1 Organisation par filières

L'installation Cigéo est découpée en blocs fonctionnels homogènes en termes de fonctions et cohérents en termes de sûreté au sein d'un même bloc.

Le process est ainsi décomposé en « filières/unités » assurant les fonctions suivantes

- filière F1 – « Déchargement des convois » ;
- filière F2 – « Introduction des colis primaires en conteneurs » ;
- filière F3 – « Conditionnement des colis de stockage et déconditionnement » ;
- filière F4 – « Mise en hotte des colis de stockage » ;
- filière F5 – « Contrôles par prélèvements» ;
- filière F6 – « Gestion des déchets induits nucléaires et conventionnels » ;
- filière F7 – « Support aux processus ».

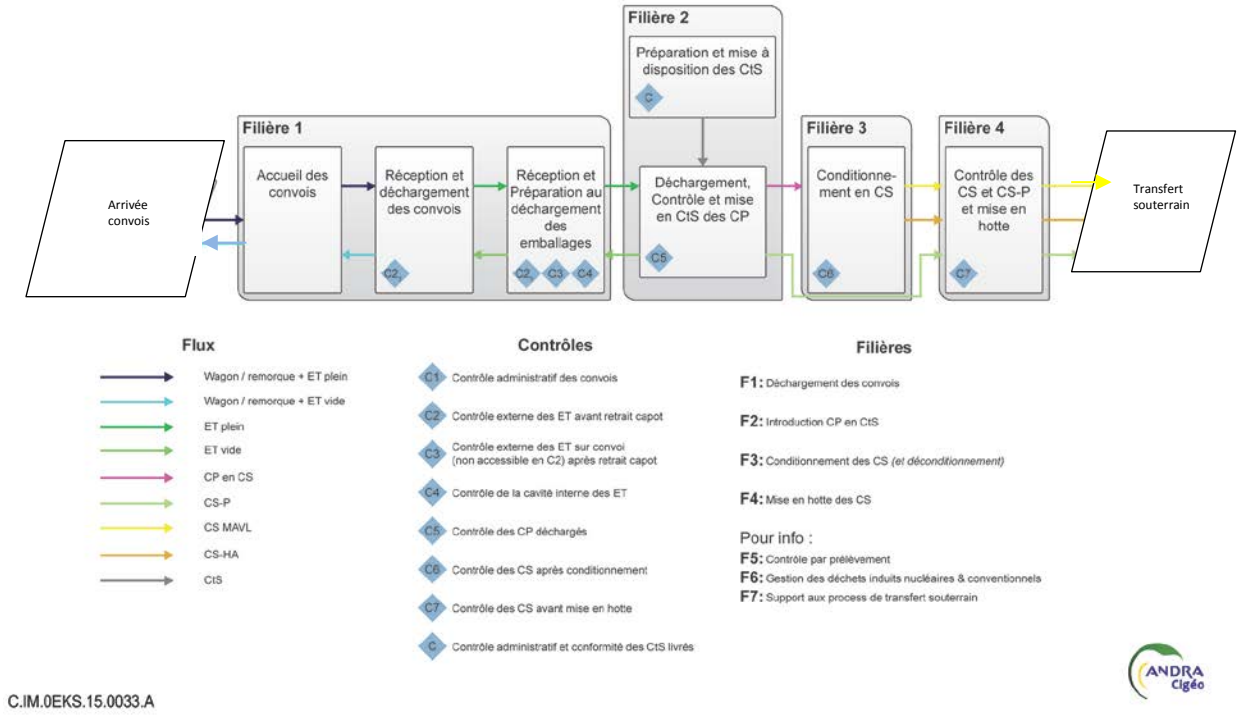


Figure 3.3-1 Schéma récapitulatif des fonctions principales nécessaires à la mise en stockage des colis

L'ensemble des filières précitées sont disposées de sorte à minimiser les temps de manutention/transfert des colis et limiter, tant que faire se peut, les risques de chute d'un emballage de transport ou d'un colis de déchet. Ainsi ces filières sont réparties dans les différents bâtiments de la manière suivante :

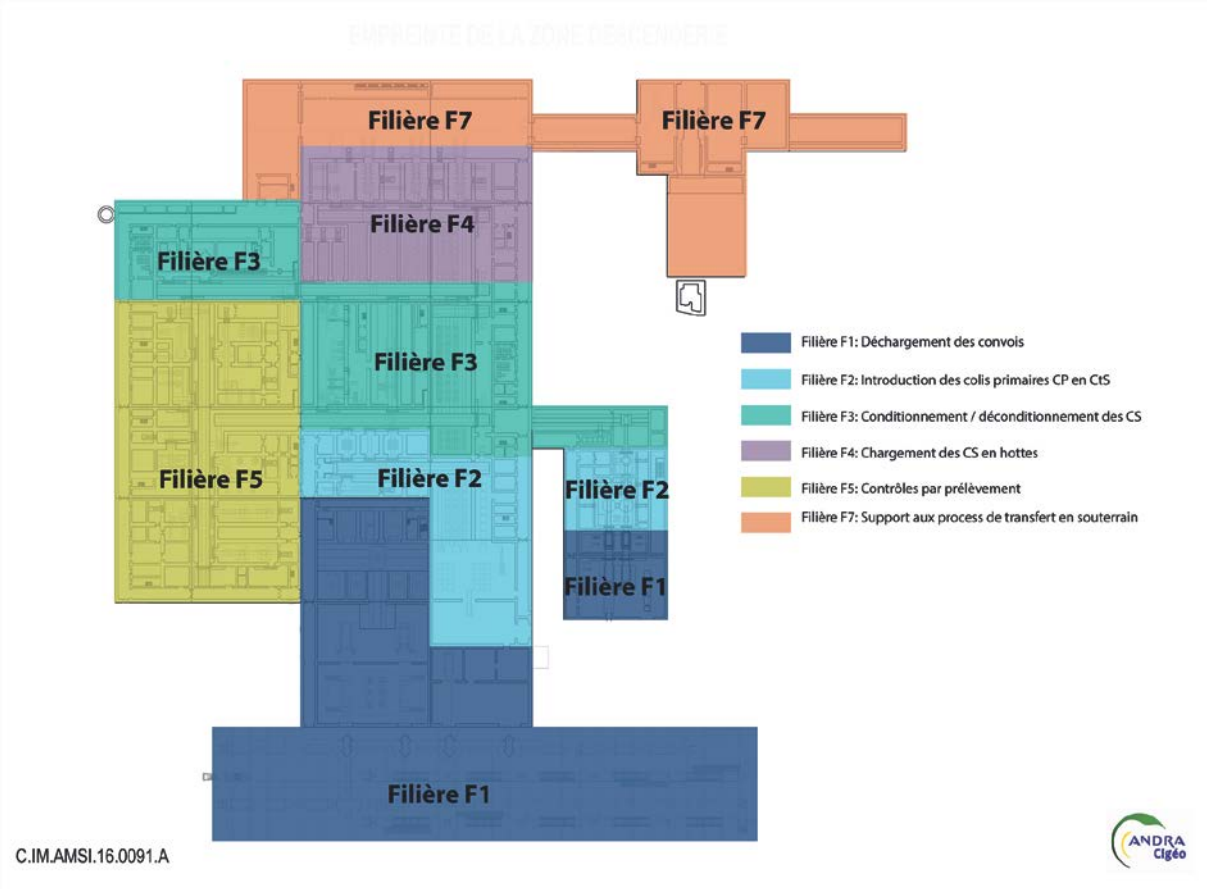


Figure 3.3-2 Répartition des filières dans EP1

3.3.2 Filière F1 : Déchargement des convois (emballages de transport et colis primaires)

Les emballages de transport arrivent sur Cigéo soit par convois routiers, soit par convois ferroviaires en provenance des différents sites des producteurs.

3.3.2.1 Les convois routiers

Les convois routiers pénètrent, après autorisation, dans le périmètre de l'INB pour y être garés. Si tous les contrôles s'avèrent conformes, le convoi pénètre jusqu'à une zone de parking couvert.

Les convois routiers d'emballages de type déchargement horizontal « ET-H » sont directement déchargés dans le bâtiment de déchargement dit.

3.3.2.2 Les convois ferroviaires

Après avoir passé le poste de garde de la clôture INB, le convoi ferroviaire est garé sur le terminal ferroviaire (TF). Le contrôle administratif est effectué sur le terminal ferroviaire. Le demi-convoi est ensuite positionné sous le hall de déchargement des convois en vue de son déchargement. Les wagons peuvent être acheminés sous le hall de déchargement par demi-convoi via une voie spécifique.

Les convois de conteneurs de stockage passent également un poste de garde, et sont acheminés, wagon par wagon, dans le hall de déchargement des conteneurs de stockage.

L'opération de déchargement des emballages de transport depuis le wagon s'effectue via un pont-portique qui assure la dépose de l'emballage sur un châssis configurable.

En cas de contamination détectée sur l'emballage lors du contrôle, une opération de décontamination est réalisée sur le wagon ou en cellule de traitement des emballages en écart.

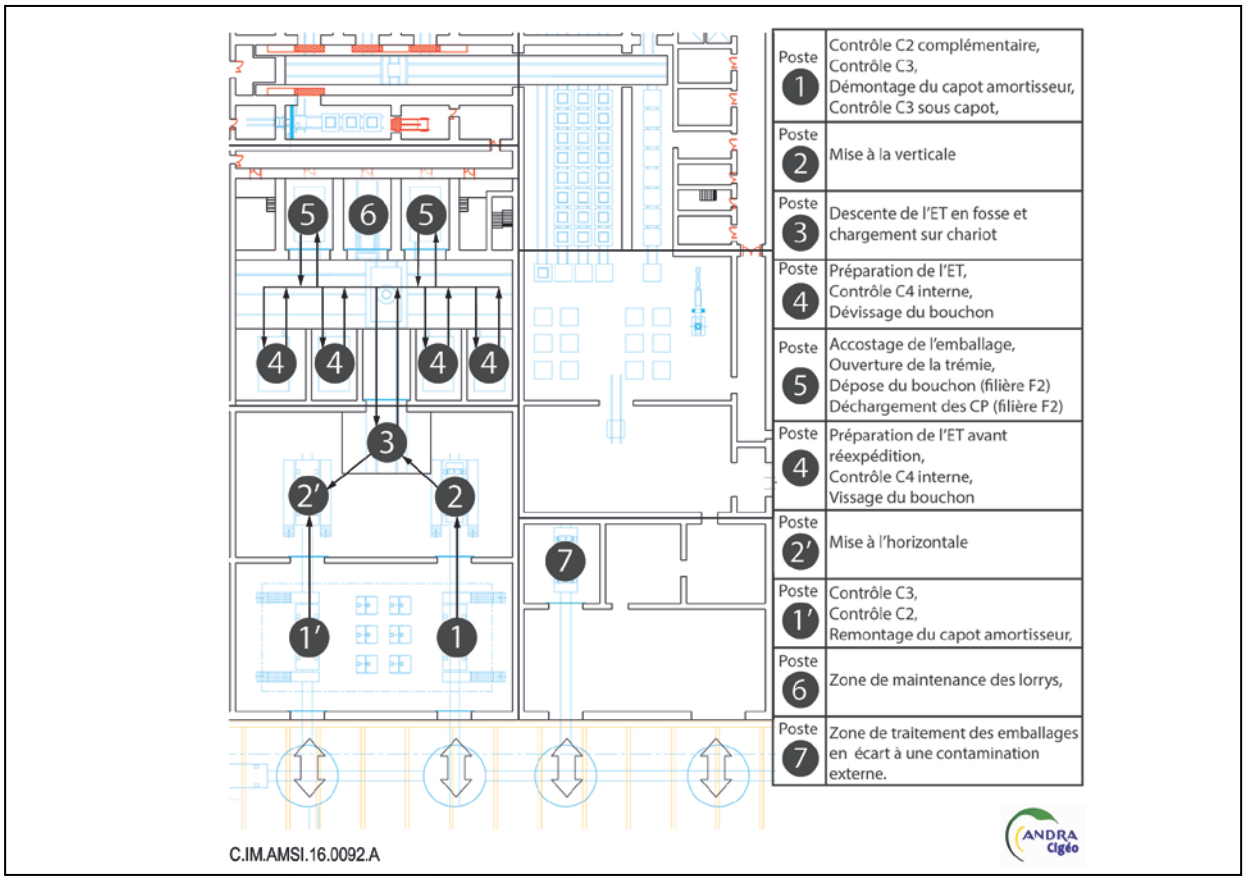


Figure 3.3-3 *Préparation et déchargement des ET-HV au niveau +0,00m et -4,50 m (Illustration fin APS)*

Les emballages de type vertical sont positionnés dans le hall de déchargement afin d'y effectuer les opérations principales suivantes identifiées sur la Figure 3.3-4 :

La première opération effectuée dans le bâtiment de déchargement consiste à retirer le capot de protection de l'emballage à l'aide du pont roulant équipant le local. Un redressement de l'emballage à la verticale est réalisé afin de le disposer sur un chariot de transfert situé dans une fosse via un châssis d'adaptation (cf. figure ci-après).

Une zone de dépose est prévue pour l'entreposage des capots de protection et des palonniers de manutention.

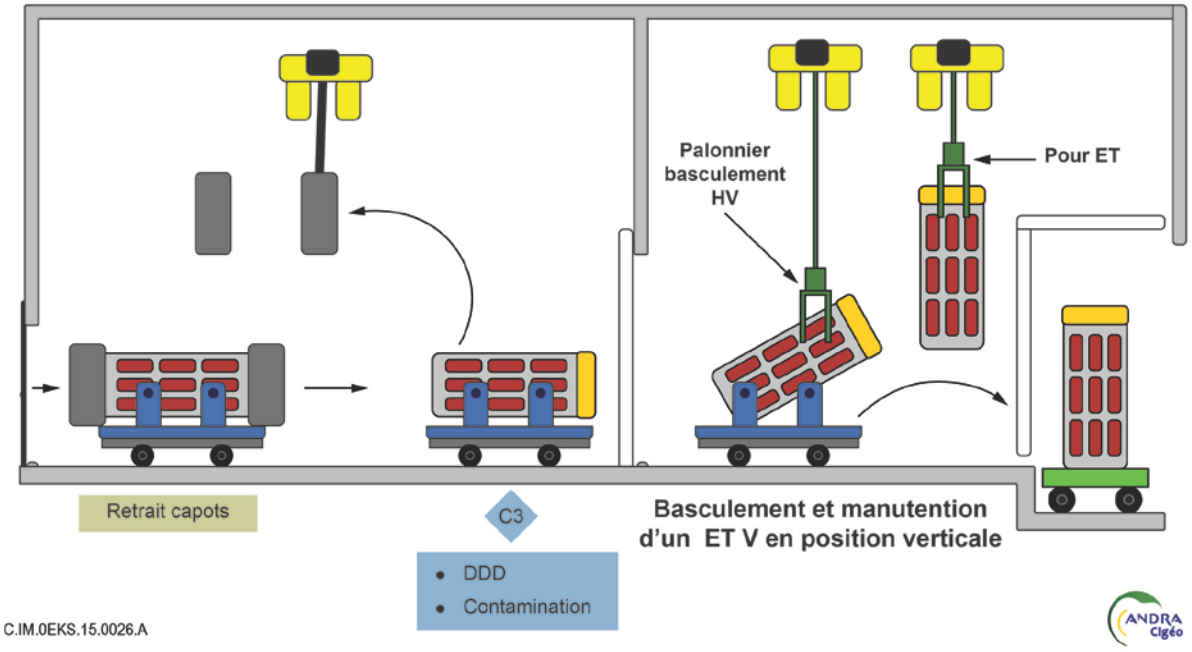


Figure 3.3-4 Schéma de principe de réception et de basculement des ET à la verticale

Une fois mis sur le chariot de transfert, l'emballage[43] est acheminé dans un des quatre locaux de préparation où sont réalisées les opérations de retrait des couvercles mécaniques de l'emballage et de la mise en place de la bride d'accostage.

Le principe d'accostage retenu est la mise en place d'une pièce d'adaptation propre à chaque emballage en interface avec le dispositif d'accostage commun. Le positionnement des emballages de transport est réalisé par les systèmes de manutention de l'installation.

Une fois l'accostage réalisé, le couvercle de l'emballage est retiré. Les colis sont alors déchargés à l'aide d'un pont roulant de cellule et disposés dans un rack d'entreposage tampon et le cas échéant mis en attente de disponibilité des opérations en aval.

Les opérations effectuées dans la cellule de préparation avant et après déchargement et dans la cellule de déchargement des emballages de type V s'effectuent au niveau +6m de l'installation (cf. Figure 3.3-4).

- **Emballages de type H**

Les emballages de type H sont positionnés dans le bâtiment de déchargement afin d'y effectuer les opérations suivantes (Figure 3.3-5):

[43] Des contrôles de contamination sont prévus sur les emballages de transport de type vertical ou horizontal. En cas d'écart observé, les emballages sont transférés vers le local de traitement situé à proximité du hall de chargement/déchargement des convois pour y être décontaminés. Après décontamination, l'emballage est acheminé dans la zone tampon des emballages pleins pour être réinséré dans la chaine de déchargement classique.

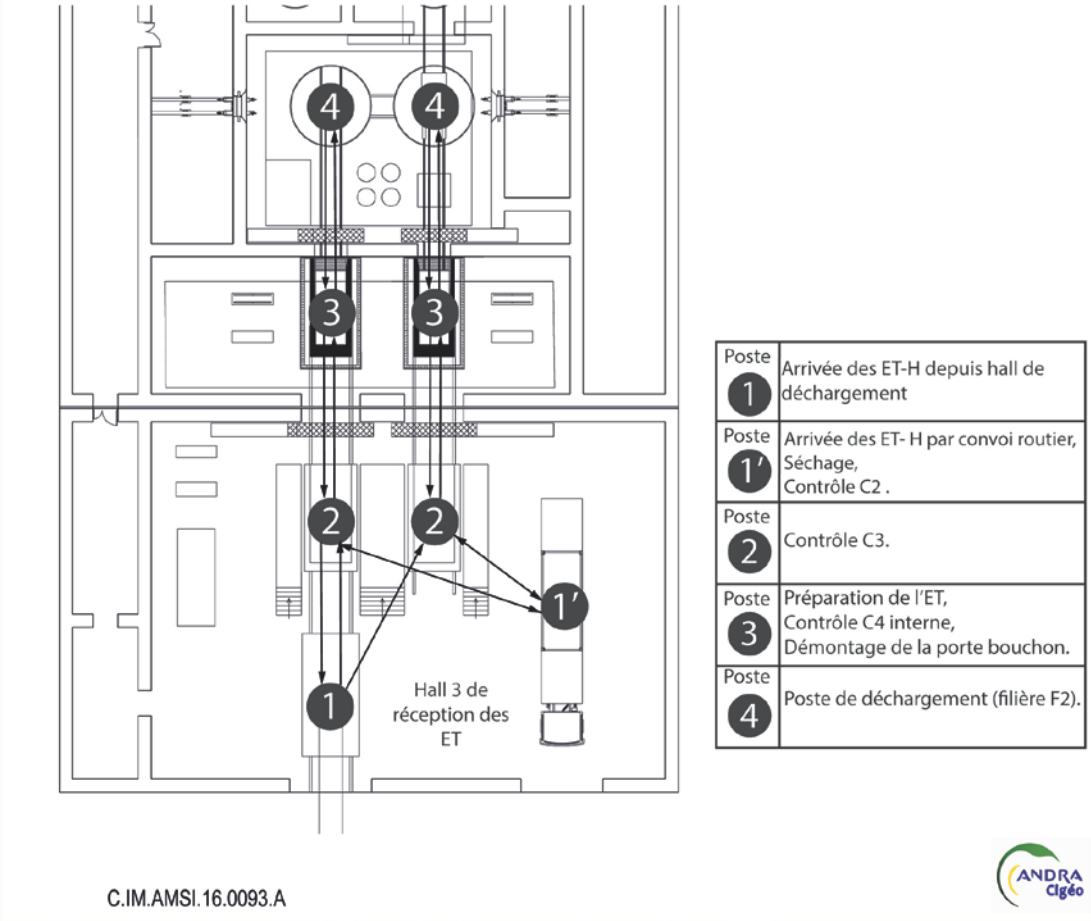


Figure 3.3-5 Préparation et déchargement des ET-H au niveau +0,00m (illustration fin APS)

L'emballage subit dans un premier temps un contrôle (poste 1). S'il est conforme, l'emballage est préparé pour son déchargement. Il s'agit dans un premier temps de lui retirer son capot de protection[44] (poste 2). Le nez de l'emballage est ensuite placé, grâce au chariot de transfert, dans une casemate afin de procéder au retrait de la porte (poste 3). Cette casemate est dimensionnée pour protéger le personnel exploitant des rayonnements.

Des zones de dépose sont prévues dans le hall de réception pour l'entreposage des différents organes démontés des emballages ainsi que pour les divers palonniers de manutention.

Dans le cas de l'emballage RD39, le déchargement se fait via un plancher à rouleau escamotable au contact de l'ouverture du système à poussoir automatisé de l'emballage.

Un chariot de transfert vient déposer les colis primaires dans une zone tampon sur des palettes Cigéo.

3.3.3 Filière F2 : Introduction des colis dans des conteneurs de stockage

3.3.3.1 Déchargement, contrôle et chargement des colis primaires

a) Emballages de type V

Les colis primaires sont extraits des emballages de type V au niveau +6m.

[44] Dans le cas d'un emballage de type ISO 20', il s'agit uniquement de l'ouverture de la porte.

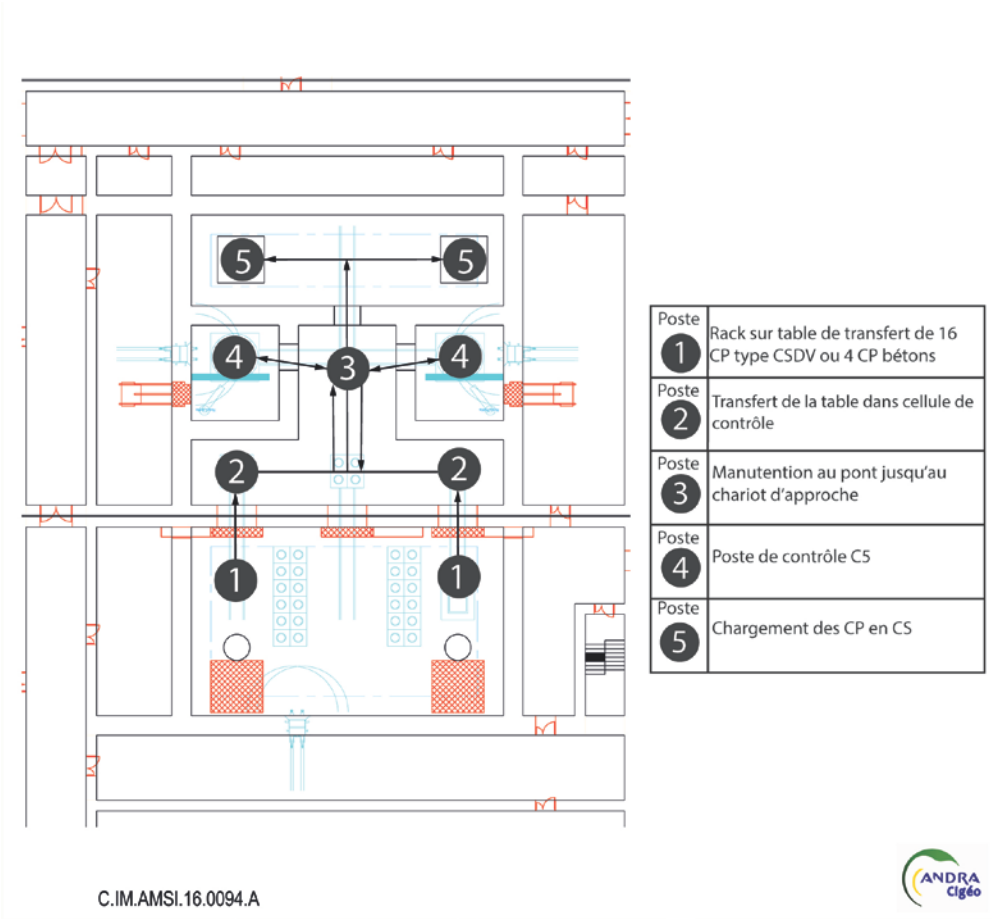


Figure 3.3-6 *Cellule de déchargement, contrôle et chargement des CP en CS, issus des ET-V (Illustration fin APS)*

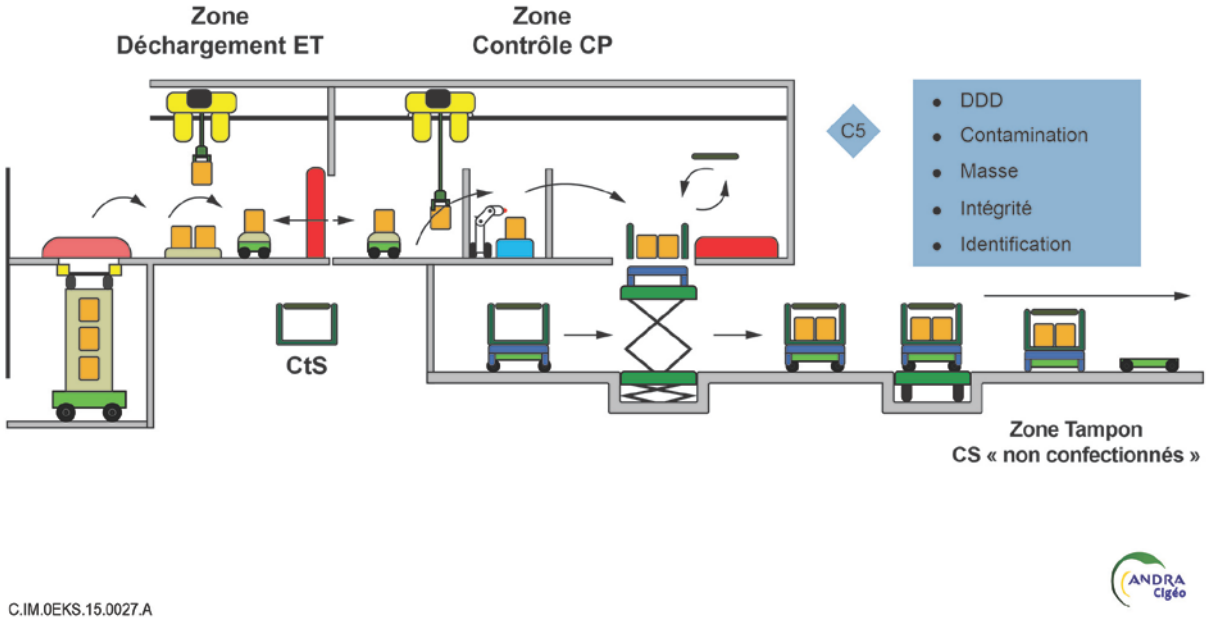


Figure 3.3-7 Schéma de principe de déchargement d'un emballage ET-V (fin APS)

Les cellules de réception des colis provenant d'emballage de type V (ET-V) permettent de réceptionner les colis à l'étage +6,00m, où sont réalisées les opérations suivantes :

- accostage des emballages ;
- ouverture et fermeture des emballages ;
- déchargement des colis primaires des emballages ;
- entreposage des colis primaires sur table de transfert ;
- transfert des colis primaires jusque dans les cellules de contrôles de premier niveau ;
- contrôle des colis primaires ;
- décontamination au poste de contrôle des colis (à sec ou sous eau) ;
- chargement des colis primaires en conteneur de stockage au travers des trémies ;
- pose et dépose des couvercles des conteneurs de stockage MA-VL via une potence.

Le déchargement des colis primaires depuis l'emballage de transport est réalisé par l'intermédiaire de grappins spécifiques répondant aux contraintes volumiques de préhension des emballages. Les colis sont ainsi déchargés depuis l'emballage sur une table de transfert (poste 1), le nombre de colis déchargés étant adapté à leur volume (capacité d'accueil entre 4 ou 16 colis à ce stade). La table de transfert des colis vers les cellules de contrôle et de chargement est conçue pour limiter la hauteur de manutention. Des systèmes de garde-corps et de butée sont mis en place pour éviter le basculement des colis.

Les cellules de contrôles («C5») des colis primaires provenant d'emballage de type V permettent de réaliser les contrôles à réception :

- **visuels** de l'aspect extérieur du colis de déchets. Les contrôles visuels intègrent également un contrôle du numéro d'identification du colis ;
- **dimensionnels** qui intègrent aussi un contrôle de pesée pour s'assurer de la masse réelle du colis de déchets et évaluer le taux de vide après contrôles complémentaires ;
- **de non contamination** réalisé par frottis ;
- **de mesure de débit de dose** qui visent à réaliser une cartographie de mesures de débit de dose au contact et à 1 mètre.

Selon le niveau de contamination détecté, son traitement est réalisé par un robot (traitement à sec) ou par aspersion d'eau à haute pression dans la cellule de décontamination (poste 6).

Si le colis primaire est jugé conforme, ce dernier est chargé dans son conteneur de stockage via un grappin de préhension adapté à la géométrie des colis.

Le conteneur de stockage est acheminé jusqu'à la cellule de conditionnement via un ensemble chariot/transbordeur. Un système de table élévatrice permet de présenter le conteneur de stockage dans la cellule de chargement implantée au niveau +6m.

Une fois les colis mis en place dans leur conteneur de stockage, la palette est mise à disposition au niveau +6m pour être envoyée vers la Filière F3 « Conditionnement/déconditionnement des colis de stockage».

Lors la phase de chargement des colis en conteneur de stockage, le conteneur de stockage est positionné a mis hauteur par rapport au niveau du sol afin de limiter la hauteur de chute.

b) Emballages de type H

Les colis primaires et les conteneurs de stockage sont extraits des emballages de type H au niveau +0m.

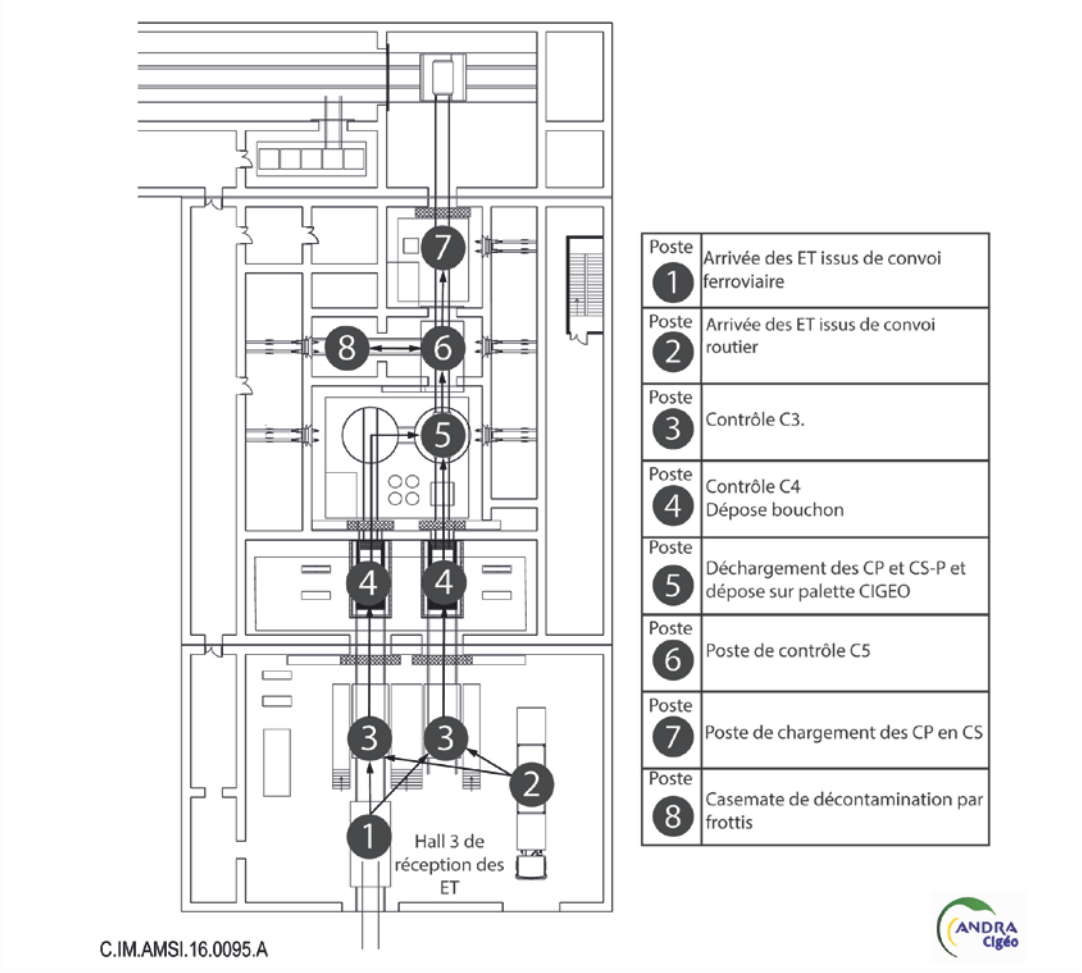


Figure 3.3-8 *Cellule de déchargement, contrôle et chargement des CP en CS (Illustration fin APS)*

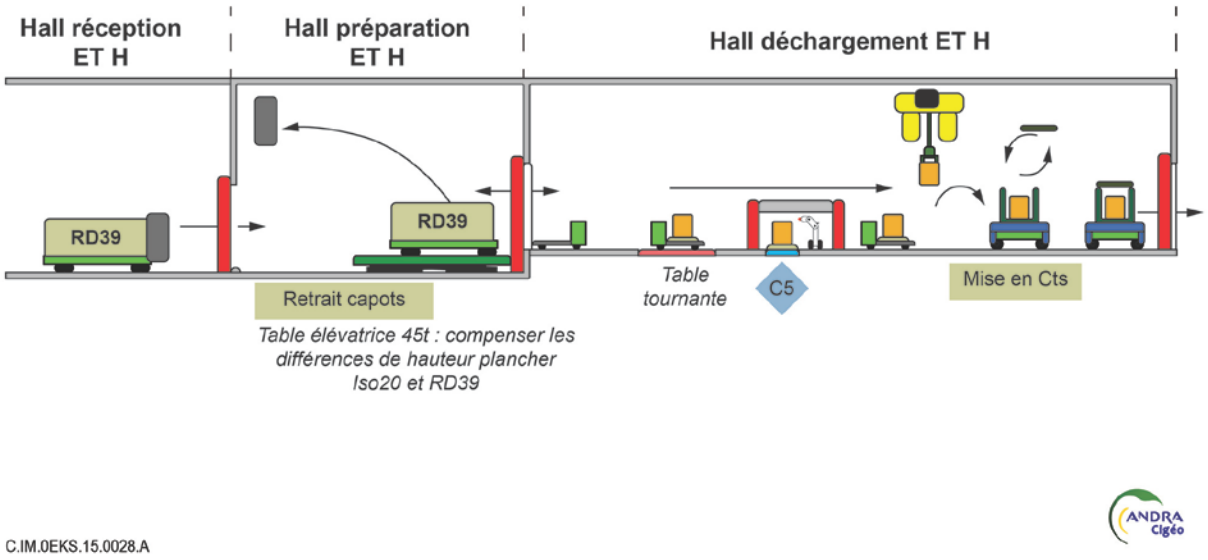


Figure 3.3-9 Schéma de principe de déchargement d'un ET-H

Les cellules de réception des colis provenant d'emballage de type H (ET-H) permettent de réaliser les opérations de transfert des colis primaires depuis les zones de déchargement jusque dans la cellule de contrôle « C5 » commune aux emballages de type V.

A noter que le bâtiment ET-H, à la différence du bâtiment ET-V, ne possède pas de cellule de décontamination à eau haute pression. La cellule de décontamination est équipée d'un robot permettant de procéder à des opérations de fixation de la contamination ou traitement de la contamination par frottis.

c) Approvisionnement des conteneurs de stockage

Les conteneurs de stockage sont approvisionnés par camion ou par train. Un sas est disposé en surface afin de procéder au déchargement et au contrôle de conformité des conteneurs. Les conteneurs de stockage jugés conformes sont transférés vers les zones tampon. Les conteneurs jugés non conformes sont renvoyés vers les sites fabricants.

Le conteneur de stockage est ensuite pris en charge, par un chariot de transfert, situé au-dessus d'un transbordeur desservant l'une des trémies de chargement, où passe par la cellule de contrôle des palettes afin de desservir le bâtiment des ET-H.

Le synoptique des opérations relatives aux conteneurs de stockage (CtS) est le suivant :

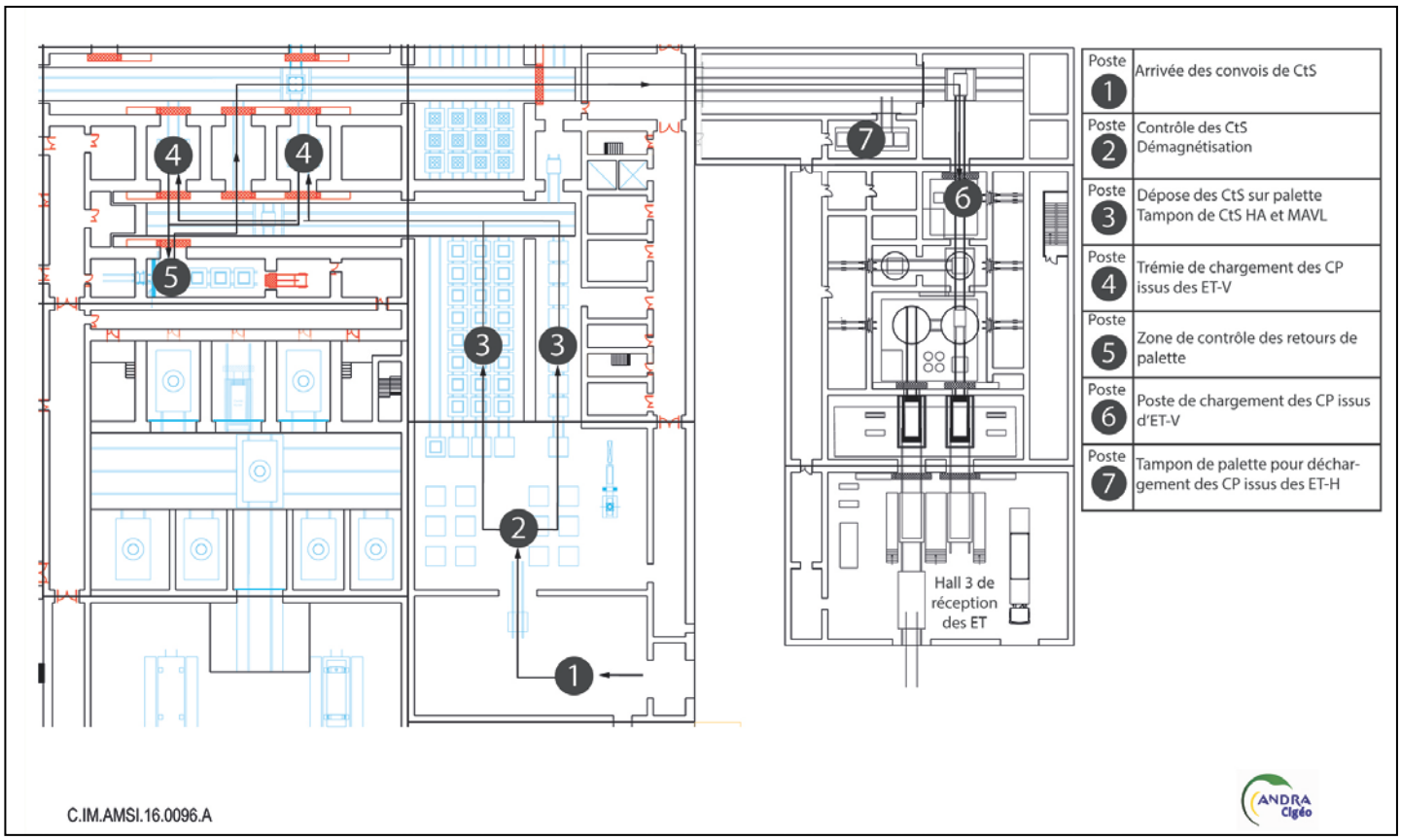


Figure 3.3-10 Synoptique d'approvisionnement des conteneurs de stockage (CtS) (illustrations fin APS)

3.3.4 Filière F3 : Conditionnement/Déconditionnement des colis de stockage

3.3.4.1 Conditionnement des colis de stockage MA-VL (hors stockage de colis primaire MA-VL directement en alvéole)

Une fois les colis primaires MA-VL introduits dans les conteneurs de stockage (en rouge sur le schéma ci-après), ceux-ci sont :

- soit positionnés dans une zone de tampon pour colis conformes (en bleu sur le schéma ci-après) ;
- soit positionnés dans une zone tampon de colis en écart et en attente de décision (en jaune sur le schéma ci-après) ;
- soit envoyés en cellule de conditionnement (en vert sur le schéma ci-après).

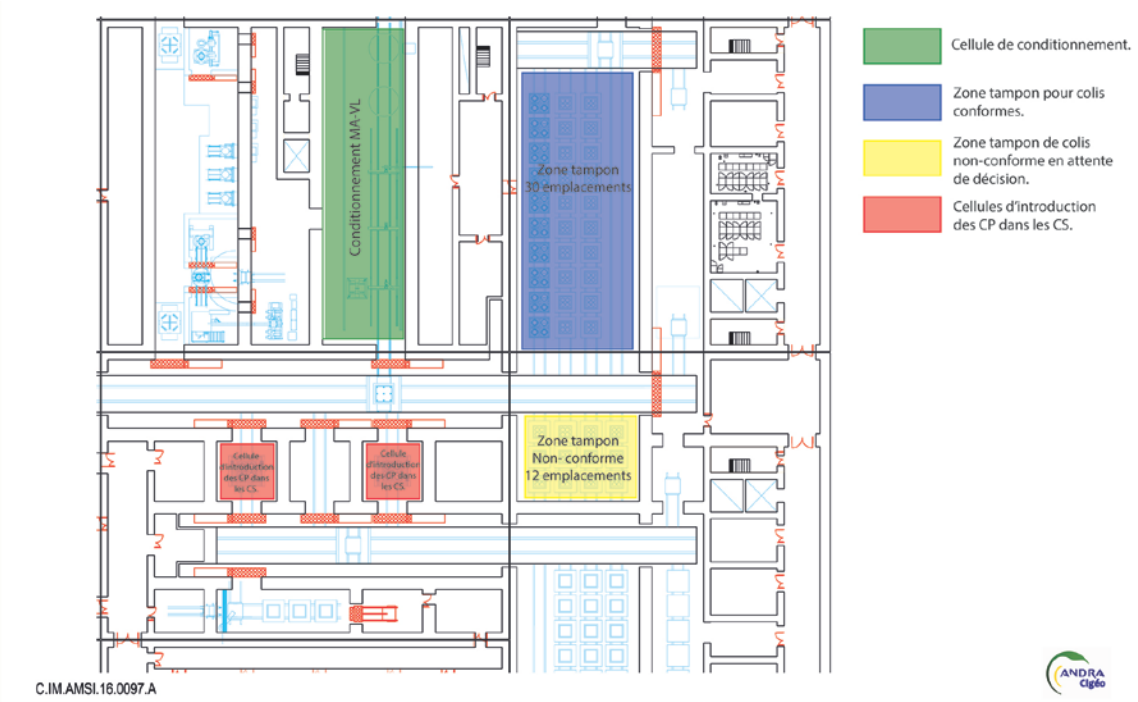


Figure 3.3-11 Localisation du conditionnement MA-VL (illustration fin APS)

L'introduction de l'ensemble palette + colis primaire en conteneur de stockage est réalisée via un ensemble chariot / transbordeur:

- le transfert des colis de stockage de poste à poste dans la cellule de conditionnement MA-VL se fait via un principe de chariot remplissant les mêmes fonctions de transfert et de levage de la palette + colis primaire ;
- la cellule de conditionnement permet de réaliser d'éventuelles opérations de clavage des couvercles des conteneurs de stockage MA-VL (cf. section colis). Ces opérations réalisées en cellule étant susceptibles de générer des dépôts potentiellement contaminés (poussière lors du clavage) ; le principe retenu est de faire évoluer les chariots des chemins de roulement séparés pour éviter toute dissémination de ces dépôts dans l'installation.

La cinématique de conditionnement pour l'opération d'une retenue est la suivante :

- réception d'une palette de colis de déchets en conteneur de stockage par chariot de transfert :
- dépose du couvercle ;
- injection du liant granulométrique ;
- repose du couvercle ;
- transfert du colis de stockage au poste 2 ;

- mise en place de vis de serrage ;
- serrage mécanique du couvercle ;
- transfert du colis de stockage au poste 3 ;
- clavage éventuel du couvercle ;
- transfert du colis de stockage aux postes 4 ou 5 ;
- contrôle C6 du colis de stockage ;
- évacuation du colis de stockage.

Les postes de contrôles sur les colis de stockage MA-VL sont les suivants :

- **contrôles visuels des colis de stockage** afin de détecter d'éventuels défauts de colis. Les contrôles visuels intègrent également un contrôle du numéro d'identification du colis ;
- **contrôles dimensionnels des colis de stockage**. Les contrôles dimensionnels intègrent une pesée pour vérifier la masse réelle du colis de stockage et indirectement vérifier le taux de vide.

L'ensemble des transferts internes à la cellule de conditionnement se font via un chariot dédié.

3.3.4.2 Conditionnement des colis de stockage HA

Une fois les colis primaires HA introduits dans les conteneurs de stockage HA (en rouge sur le schéma ci-dessous), ceux-ci sont :

- soit positionnés dans une zone de tampon de colis primaire en conteneur de stockage (en bleu sur
- le schéma ci-dessous) ;
- soit positionnés dans une zone tampon de colis en colis de stockage en écart, en attente de décision (en jaune sur le schéma ci-dessous) ;
- envoyés en cellule de conditionnement (en vert sur le schéma ci-dessous).

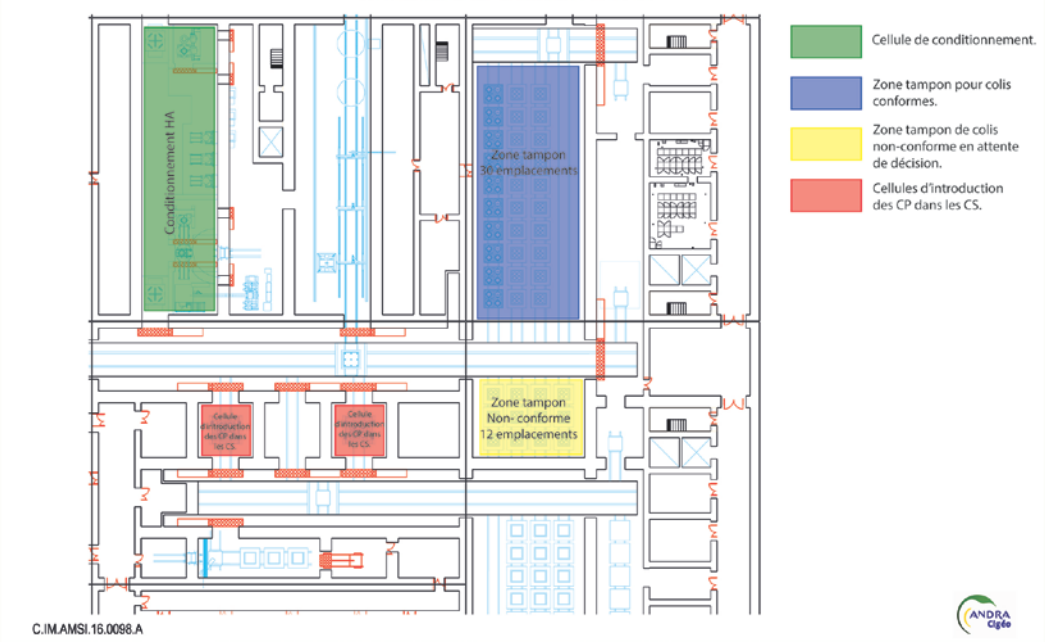


Figure 3.3-12 Localisation du conditionnement HA (illustration fin APS)

Les conteneurs de stockage HA non fermés et les couvercles arrivent à l'entrée de la cellule de conditionnement sur des palettes de transport. Les palettes sont manutentionnées à l'aide des chariots.

Cette cellule permet de réaliser des opérations de dépose couvercle sur corps de conteneur, soudage du couvercle par faisceau d'électron, détentionnement thermique, usinage du cordon de soudure et contrôle par ultrasons de la soudure.

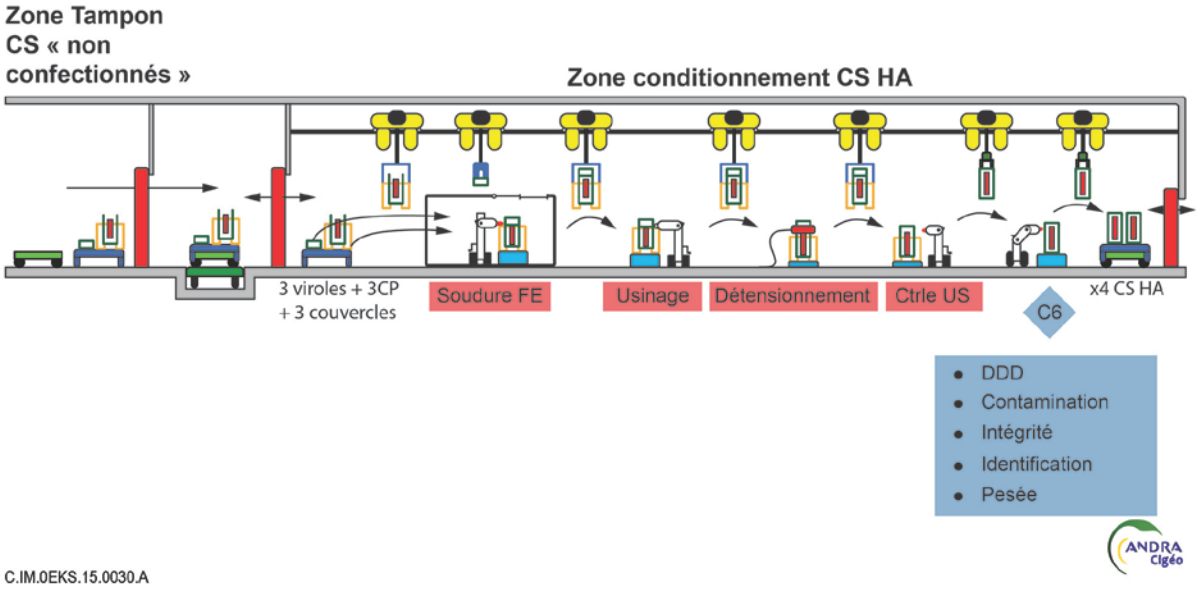


Figure 3.3-13 Schéma de principe de conditionnement HA (illustration fin APS)

La cinématique retenue est la suivante :

- réception d'une palette de colis primaire en conteneur de stockage par chariot de transfert ;
- pose du couvercle au poste de pose ;
- transfert du conteneur de stockage HA avec couvercle non soudé au poste de soudure ;
- soudure du couvercle sur corps de conteneur ;
- transfert du colis de stockage soudé au poste de détentionnement ;
- détentionnement du colis de stockage HA ;
- transfert du colis de stockage HA au poste d'usinage/ rabotage ;
- usinage / rabotage du cordon de soudure ;
- brossage de la zone soudée ;
- transfert du colis de stockage HA au poste de contrôle.

Le poste de contrôle permet de réaliser :

- **des contrôles des soudures réalisés par ultrasons** qui visent à vérifier l'obtention d'une soudure « pleine épaisseur de virole » sans défaut entre le couvercle et le corps du conteneur de stockage ;
- **des contrôles visuels des colis de stockage** qui intègrent un contrôle du numéro d'identification du colis ;
- **des contrôles dimensionnels des colis de stockage** qui intègrent aussi un contrôle de pesée pour s'assurer de la masse réelle du colis de stockage.

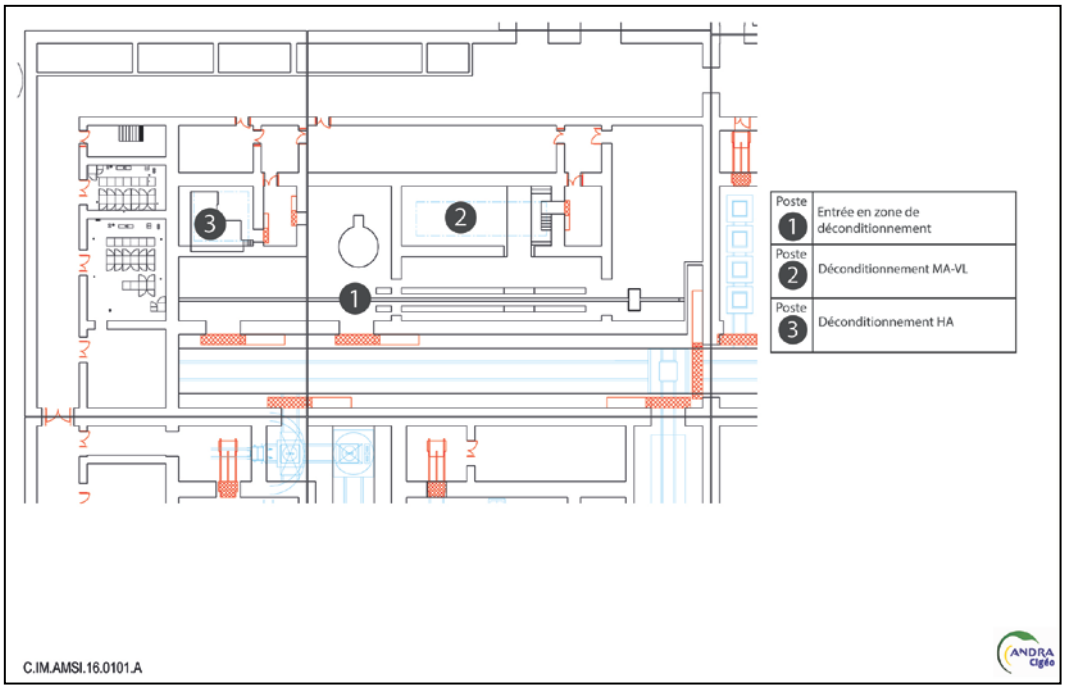


Figure 3.3-15 Cellule de déconditionnement (illustration fin APS)

3.3.4.3 Cellule de chargement des colis primaires en conteneur de stockage

Cette cellule (cf. en bleu sur la figure en annexe) permet de reconditionner des colis primaires, hors du flux nominal notamment issus des cellules de déconditionnement.

Dans cette cellule sont effectués les contrôles suivants :

- contrôles visuels afin de rechercher les défauts tels que des fissurations, des éclats, des perforations, des zones corrodées ;
- contrôles dimensionnels. Les contrôles dimensionnels intègrent un contrôle de pesée pour s'assurer de la masse réelle du colis de déchets et réaliser un contrôle du taux de vide ;
- contrôles de non contamination réalisés par frottis contrôlés en zone dans une boîte à gants ;
- contrôles de mesure de débit de dose qui visent à réaliser une cartographie de mesures de de débit de dose au contact et à 1 mètre.

3.3.5 Filière F4: Mise en hotte des colis de stockage

Une fois le contrôle effectué sur les colis de stockage HA et MA-VL, si le colis est considéré conforme, il est positionné en zone tampon (en bleu sur le schéma ci-dessous), en attente de transfert vers l'installation souterraine.

Nota : Les colis MA-VL ayant été clavés sont entreposés en attente de murissement du liant de clavage.

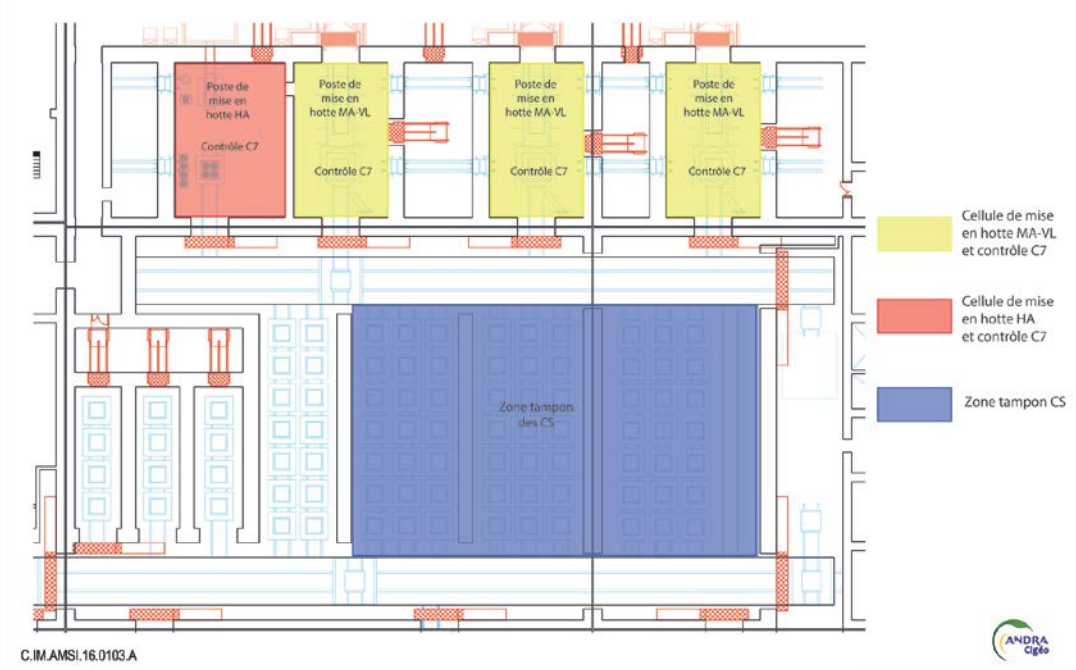


Figure 3.3-17 Zone tampon des CS HA et MA-VL et cellules de mise en hottes (illustrations fin APS)

Le colis de stockage est acheminé via un ensemble chariot secondaire/transbordeur dans une cellule où est effectué un contrôle « C7 ». Après contrôle, le colis de stockage est mis sur une table de chargement à disposition du système de mise en hotte préalablement accosté au mur de la dite cellule. Dans le cas des colis HA, la mise en hotte nécessite la mise à l'horizontale du colis, qui se fait via un basculeur (en rouge sur le schéma ci-dessus).

L'approvisionnement des colis de stockage se fait par un système chariot/transbordeur utilisé dans le reste de l'installation.

Nota : Une zone de remise en conformité des colis de stockage MA-VL est prévue dans la cellule de contrôle C7 (en vert sur le schéma ci-dessus) de sorte à accueillir les colis jugés en écart[45]. Ceux-ci sont alors décontaminés puis mis en hotte (en jaune sur le schéma en annexe 16).

3.3.5.1 Chargement des colis de stockage HA dans les hottes

Les colis de stockage HA arrivent dans la cellule de chargement des hottes par palette en position verticale :

- une zone tampon est prévue en amont du contrôle de ces colis ;
- le transfert du colis vers le poste basculeur se fait colis par colis ;
- un pont roulant couvre l'ensemble de la cellule.

Le basculeur de colis de stockage HA de référence est composé :

- d'un châssis ancré au sol et au mur de la cellule ;
- d'un berceau assurant l'accueil du colis de stockage HA et son basculement ;
- d'un panier mobile permettant de translater le colis de stockage HA sur le berceau, d'adapter la taille du panier aux diamètres des divers colis de stockage (Ø580MAXI ou Ø645MAXI)[46] et d'accoster le colis au niveau de l'orifice de la cloison

[45] Cette cellule est aussi prévue dans le cas des opérations de récupérabilité
[46] Diamètres 580MAXI ou 645MAXI

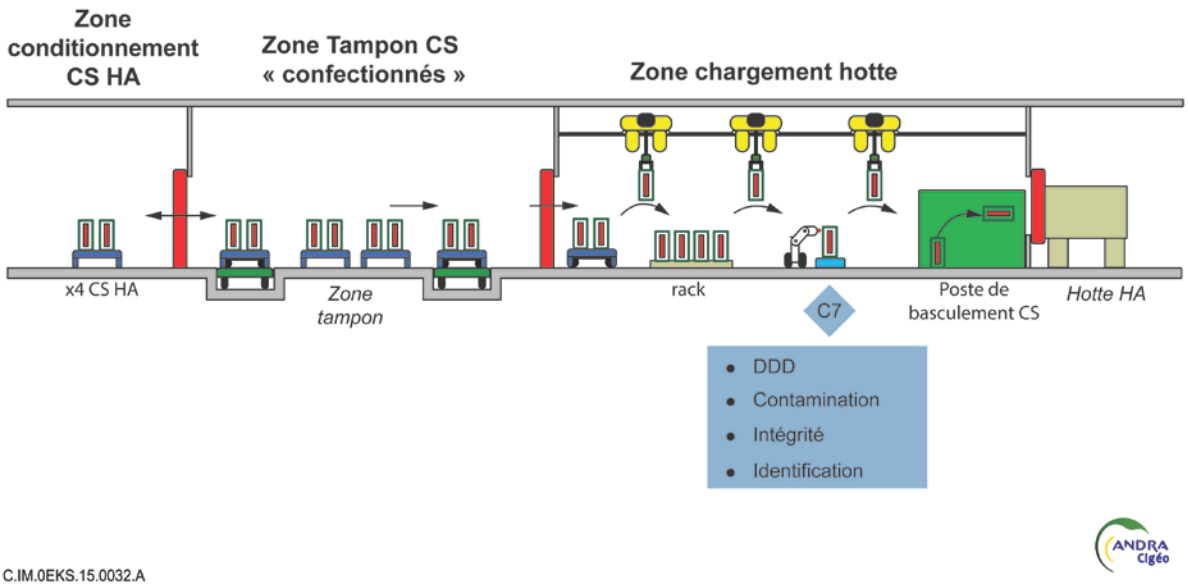


Figure 3.3-18 *Schéma de principe de mise en hotte des colis de stockage HA (illustrations fin APS)*

Le châssis supporte la liaison pivot avec le berceau. Celle-ci est positionnée de manière à ce que le colis de stockage HA à l'horizontale soit à l'altitude (axe) de l'orifice de transfert vers la hotte.

Le basculement est assuré par un vérin à vis trapézoïdale couplé à une motorisation électrique embarquée. Le mouvement est ainsi rendu irréversible. Cet actionneur est dimensionné afin de permettre le basculement de la verticale à l'horizontale et inversement lorsque le colis est positionné en bout de berceau. Les courses sont gérées par capteurs de fin de course redondés par butées mécaniques. La possibilité de déporter cette motorisation sera confirmée dans le cadre de l'avant-projet détaillé. En cas de défaillance de la motorisation de basculement, une commande manuelle est prévue pour être accessible via les bras télémanipulateurs de la cellule.

Le berceau est constitué d'une structure mécano-soudée robuste supportant un tablier en inox, offrant deux surfaces de contact pour interfacer avec les patins des colis de stockage HA (cf. section colis) et assurant le contact colis/berceau sur deux génératrices (pour la fourchette de diamètres de colis HA) et permettant notamment le glissement avec les patins des colis de stockage HA. Le berceau embarque les éléments assurant la translation du panier et donc du colis. L'entrainement du panier est effectué à l'aide d'un vérin à vis trapézoïdale couplé à une motorisation électrique embarquée permettant l'irréversibilité du mouvement. Le guidage du panier le long du berceau est assuré par des rails de guidage et patins dimensionnés pour reprendre les efforts générés lors des phases de translation et basculement.

Le panier est doté d'un système mécanique sans actionneur électrique pour s'adapter au diamètre du colis à basculer et éviter ainsi les mouvements parasites du colis lors du basculement. Deux arceaux équipés de systèmes de galet et came coulissent grâce à la translation opérée lors du positionnement en hauteur du colis.

Le berceau participe à la bonne mise en position du colis de stockage pour le transfert en hotte. Le procédé fonctionne également en sens inverse, dans le cas d'un transfert depuis la hotte vers le poste de basculement. L'orientation angulaire du colis est effectuée sur le poste de contrôle précédant celui de basculement (contrôle C7).

3.3.5.2 Chargement des colis de stockage MA-VL dans la hotte

Le colis de stockage une fois contrôlé est transféré via un chariot dans l'une des trois cellules de chargement en hotte MA-VL.

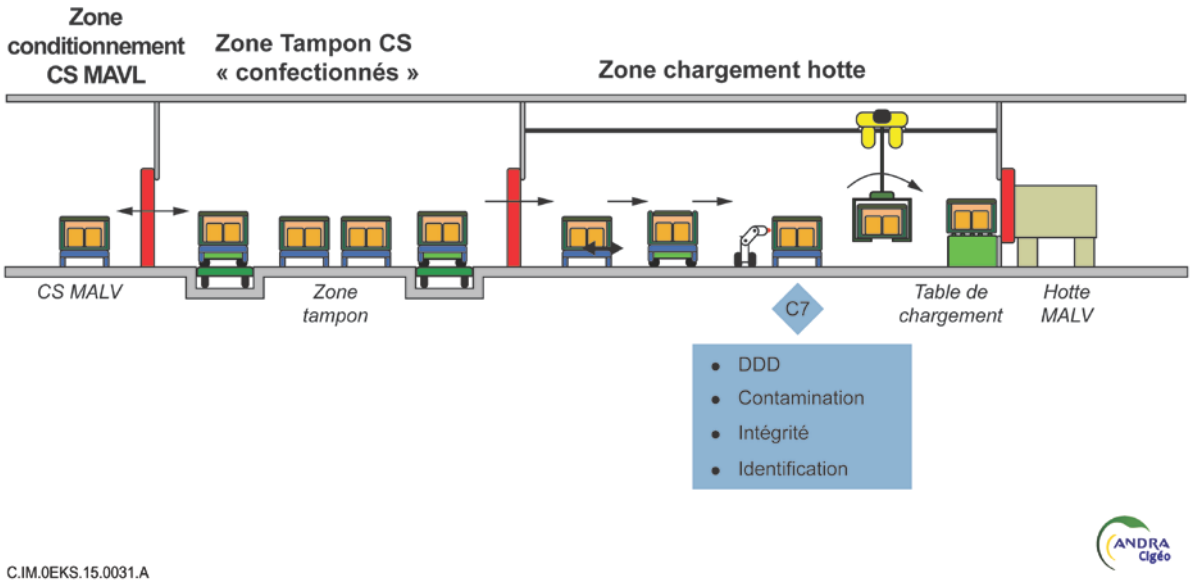


Figure 3.3-19 Schéma de principe de mise en hotte colis de stockage MA-VL Illustration fin APS)

Le colis de stockage MA-VL est déposé sur la table de chargement en hotte. L'équipement qui permet le transfert depuis la palette jusqu'à la table de chargement sera précisé dans le cadre de l'avant-projet détaillé.

3.3.6 Filière F5 : Contrôles par prélèvement

Les contrôles par prélèvement de colis interviennent en dehors des opérations de conditionnement des colis dans le flux d'exploitation. Les cellules associées à ces contrôles sont situées dans le bâtiment de contrôle par prélèvement, de gestion des non-conformités et de gestion des déchets.

Les types de mesures seront précisés suite à la réflexion en cours avec les producteurs de déchets visant à garantir la qualité des colis, en fonction des dispositions qui seront mises en œuvre dans leurs propres installations, avant expédition des colis primaires vers Cigéo.

La zone accueillant ces mesures sera adaptable en fonction des besoins associés aux différents types de colis de déchets et des chroniques de livraison.

A la fin du processus de contrôle, les colis rejoignent le flux d'exploitation ou sont dirigés vers les cellules de gestion des non conformités, situées dans le même bâtiment, pour un traitement adapté.

3.3.7 Filière F6 : Gestion des déchets nucléaires et conventionnels

Cette filière transverse abrite l'ensemble des locaux et équipements liés à la gestion des déchets nucléaires et conventionnels liés à la gestion des déchets d'exploitation.

Les règles et bonnes pratiques de gestion des déchets, répondant aux exigences, sont rappelées ci-après :

- séparer les différents flux au maximum des possibilités techniques (mélanges interdits) ;
- collecter les effluents liquides à la source, utiliser des réservoirs de reprise permettant les contrôles ;
- pouvoir homogénéiser le contenu des réservoirs et prendre des échantillons ;
- réduire les volumes de déchets ;
- traiter les déchets in situ ou être en mesure d'expédier vers les exutoires externes ;
- pouvoir expédier vers un centre de traitement et conditionnement externe ;
- pouvoir accueillir des unités mobiles de traitement et conditionnement.

a) Gestion des déchets solides conventionnels

Les déchets conventionnels sont entreposés aux points de collecte dédiés. L'évacuation des déchets est gérée de manière à éviter l'accumulation excessive de déchets.

Les zones d'entreposage sont dimensionnées pour recevoir des déchets de toute nature (déchets inertes, déchets non dangereux et déchets dangereux) et de dimensions variables.

L'emplacement des bennes de collecte durant les phases de construction et de démantèlement dépend des contraintes de chantier associées. Elles peuvent être déplacées pour optimiser les flux d'évacuation.

Au cours de l'exploitation et des opérations de maintenance et jouvence, les déchets produits sont acheminés jusqu'à des points de collecte. Leur positionnement tient compte des zones de production des déchets dans l'installation et de l'accessibilité depuis l'extérieur des installations.

b) Gestion des déchets solides nucléaires

Les déchets nucléaires solides sont potentiellement générés au cours des opérations suivantes :

- réalisation des contrôles de non contamination aux points de contrôle ;
- décontamination des colis ;
- traitement des colis de stockage en écart ;
- analyses au laboratoire « chaud » ;
- maintenance et jouvence des équipements en ZDN ;
- démantèlement des locaux classés ZDN ;
- changement des filtres de ventilation ;
- dépotage dans le local à effluents.

Les déchets nucléaires[47] sont triés au plus près de la source de production. Le tri est établi en considérant la nature physique du déchet, la catégorie radiologique et le spectre (lié à la zone de production).

Le regroupement des déchets est réalisé au moyen de conteneurs adaptés à chaque type de déchet identifié. Ainsi, les déchets d'exploitation sont conditionnés dans un emballage (sac vinyle ou fût métallique) directement sur la zone de production puis évacués vers le local de traitement des déchets d'exploitation afin d'être traités sur site (le cas échéant) ou conditionnés dans des emballages

[47] Durant les opérations de démantèlement, les déchets volumineux seront collectés directement dans les caissons appropriés (fonction de la catégorie radiologique), en distinguant les natures physiques (déchets métalliques ou gravats) si l'encombrement le permet.

adéquats pour leur transport vers un centre de traitement externe (le cas échéant) ou vers un exutoire de stockage pour colis de déchets conditionnés (centres Cires ou CSA). Selon la nature des déchets et des emballages utilisés, les transferts internes sont réalisés avec les équipements existants d'exploitation ou avec des moyens spécifiques à la gestion des déchets.

En fonction du risque radiologique considéré (alpha ou béta-gamma), l'épaisseur de l'enveloppe vinyle peut varier. Une simple enveloppe vinyle est suffisante pour des déchets contenant des radioéléments émetteurs de rayonnements béta-gamma alors qu'une double voire triple enveloppe vinyle est nécessaire pour des déchets contenant des radioéléments émetteurs de rayonnements alpha.

A l'issue de la collecte in-situ du lieu de production, les déchets doivent être envoyés vers la zone de traitement des déchets pour être préparés au stockage définitif avant évacuation.

Les déchets d'exploitation (déchets technologiques, petits outillages, équipements défectueux issus des ZDN) sont acheminés jusqu'au local de traitement des déchets d'exploitation. Les opérations de traitement envisagées sont la décontamination, la réduction de volume et le conditionnement. Le local comprendra notamment :

- des moyens de décontamination : frottis humides, bac à l'ultrason, gels secs aspirables, jet haute pression, etc.
- des moyens de réduction de volume : table de découpe, scie circulaire, scie sabre, cisaille, poste plasma, grignoteuse, presse, etc. ;
- des moyens de conditionnement : casiers TFA ou FMA, fûts, soudeuse vinyle, etc. ;
- des équipements de manutention : pont ou monorail + palan (capacité et zone de couverture à définir), chariot, porte-fût, etc.

3.3.8 Filière F7 : Support aux process

Les fonctions de support à l'ensemble des procédés identifiées sont :

- les infrastructures support
  - ✓ support physique (ex : génie civil, ventilation…) ;
  - ✓ support technique (locaux, servitudes) ;
- les procédés supports (équipements des cellules, ateliers, laboratoire d'analyse…)

L'accès aux cellules de conditionnement HA se fait, en l'absence de terme source, par plusieurs biais :

- porte bouchons situées en zone arrière centrale ;
- porte de garage pont ;
- trémie de sur-cellule.

La zone de garage pont est également munie d'une trémie supérieure permettant le démontage de la poutre du pont ou l'introduction de matériel dans le garage pont.

Chaque cellule est également munie d'une zone avant avec des postes de conduites locaux réservés aux cas dégradés.

Enfin, en situation de maintenance, il est prévu de pouvoir entreposer l'ensemble des colis dans les zones tampon et de permettre l'accès exceptionnel de personnel dans les couloirs de circulation procédés.

3.3.9 Les familles d'équipements de manutention jusqu'à la mise en hotte

Les équipements de manutention pour le procédé en surface sont regroupés en trois familles :

- équipements de levage et de manutention ;
- équipements de manutention au sol ;
- accessoires de manutention et de levage.

3.3.9.1 Famille des équipements de levage et de manutention

Cette famille regroupe les équipements suivants :

- portiques : Les ponts portiques sont des équipements de levage et de manutention communément utilisés dans le monde industriel, notamment dans les installations portuaires. Des solutions techniques standards sont donc reprises dans le process du bâtiment nucléaire de surface ;
- ponts roulants : Les spécificités de certaines opérations de levage et de manutention intervenant dans l'installation nucléaire de surface de Cigéo sont liées à la nature des colis manutentionnés. Les ponts roulants évoluent dans des cellules dites "chaudes", sans intervention humaine directe possible, compte tenu du milieu irradiant ou contaminant. De ce fait, les ponts roulants de l'installation nucléaire de surface de Cigéo sont regroupés en trois catégories :
  - ✓ ponts roulants dits standards : ces ponts roulants ne nécessitent pas d'adaptation à un environnement radioactif et respectent les exigences de sécurisation des fonctions de levage et de transfert liées à la réglementation classique en vigueur ;
  - ✓ ponts roulants dits particuliers : ces ponts roulants présentent des exigences particulières pour tenir compte de la spécificité des colis manutentionnés. Ils sont conçus pour limiter le risque de chute, de choc et de collision du colis, par l'intermédiaire de marges spécifiques de dimensionnement mécanique et de mise en place de dispositifs de détection de défaillance.
  - ✓ ponts roulants dits nucléarisés : ces ponts roulants évoluent en cellules dites chaudes et présentent des exigences nucléaires particulières liées à un environnement irradiant et potentiellement contaminant.
- tables élévatrices : Les tables élévatrices sont des équipements de levage et de manutention communément utilisés dans le monde industriel et nucléaire. Les solutions techniques standards sont donc reprises dans le process nucléaire de surface de Cigéo.

3.3.9.2 Famille des équipements de manutention au sol

Cette famille regroupe les équipements suivants :

- chariots de transfert : Les chariots de transfert regroupent les équipements de manutention dont la fonction principale est de transférer une charge à l'intérieur d'une cellule ou entre deux zones du process sans changement de direction. La charge est le plus souvent déposée au pont et le moyen parcourt de courtes distances (inférieures à 25 mètres) ;
- chariots de transfert avec levage : Les chariots de transfert avec levage regroupent les équipements de manutention disposant d'une fonction de levage embarquée afin de transférer la charge d'une zone du process à une autre ;
- transbordeurs : Les transbordeurs regroupent les moyens évoluant en fosse et permettant de transférer un autre équipement (chariot) dans le sens horizontal de l'installation ;
- lorrys : Il s'agit d'équipements permettant le transfert des emballages de transport de l'extérieur vers l'intérieur de l'installation. Les déplacements de ces moyens de manutention sont assurés via un guidage sur rail. La position des moyens le long du rail est déterminée par des capteurs de position mis en place le long du parcours.

3.3.9.3 Famille des accessoires de manutention et de levage

Cette famille regroupe les accessoires de type palonniers, grappins, châssis support, palettes de transfert et paniers de manutention

3.3.10 La gestion et le transfert des hottes jusqu'au transfert incliné

3.3.10.1 Les hottes MA-VL

Les hottes MA-VL diffèrent les unes des autres par leurs dimensions en fonction des colis de stockage MA-VL à transporter et de leurs épaisseurs de blindage. Des systèmes d'ajustement dans la cavité interne permettent l'adaptabilité de la hotte à la prise en charge de plusieurs géométries de colis et notamment de limiter l'amplitude des déplacements du colis dans sa hotte en cas de choc. La masse maximale de dimensionnement des équipements horizontaux est de 90 tonnes.

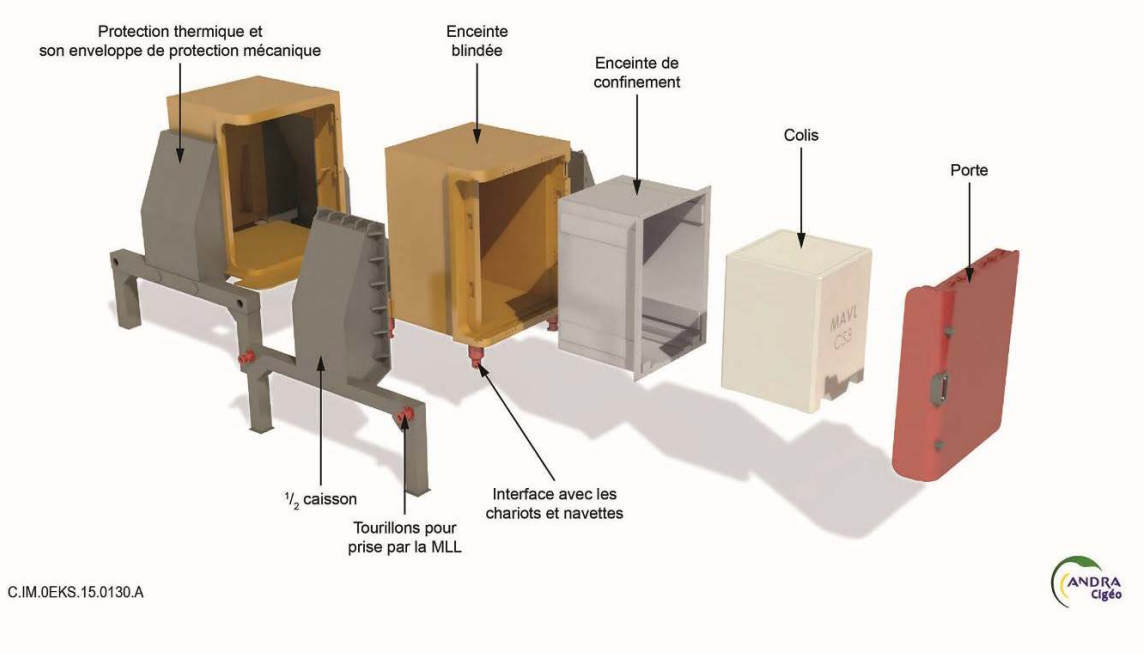


Figure 3.3-20 Vue éclatée des constituants de la Hotte MA-VL

Il existe trois types de hottes différentes pouvant contenir les différents types de Colis de Stockage MA-VL :

- type 1 :hottes dédiées au transport des colis de stockage MA-VL CS2 et CS3 ;
- type 2 :hottes dédiées au transport des CS1, CS4, CS6 et CS7 ;
- type 3 :hottes dédiées au transport des CS5.

Les figures ci-après illustrent les trois types de hottes.

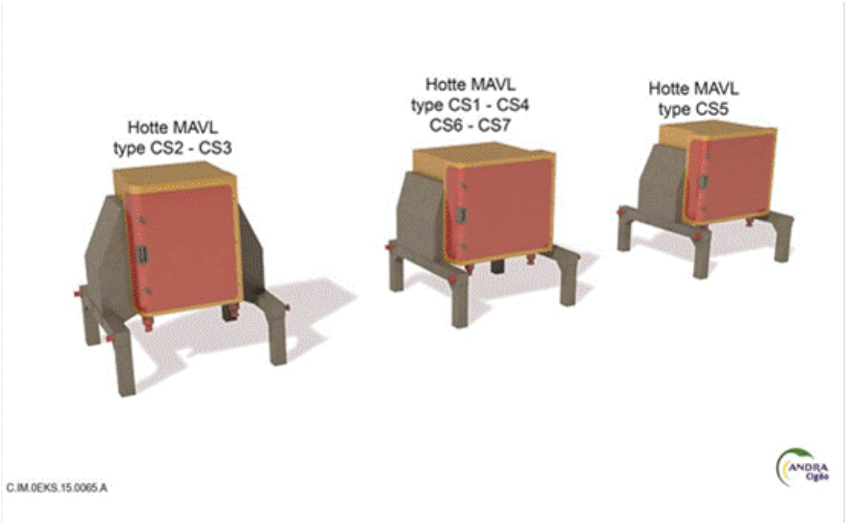


Figure 3.3-21 Différentes hottes MA-VL

Les caractéristiques des trois types de hottes au stade d'APS sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 3.3-1 Caractéristiques principales des hottes MA-VL à ce stade

Type de hotte	Colis associés	Masse Max du colis (en t)	Masse hotte + colis (en t)	Hauteur de la hotte (en mm)
Type 1	CS 2	13	85	4490
	CS 3	13	85	
Type 2	CS 1	11	74	4210
	CS 4	15	78	
	CS 6	17	80	
	CS 7	16	79	
Type 3	CS 5	16	87	4240

3.3.10.2 Les hottes HA

Ces hottes sont motorisées pour réaliser les opérations d'accostage, de mise en place dans l'alvéole/ récupération du colis de stockage HA et de retrait / remise en place du bouchon d'exploitation.

Elles sont alimentées en courant par la navette HA, toutefois, l'alimentation n'est pas active pendant les phases de transfert de la hotte. Par ailleurs, les hottes HA doivent assurer une protection radiologique durant les phases d'accostage. Cette fonction doit être assurée en situation normale, incidentelle et accidentelle. La hotte HA dispose de protection neutronique compte tenu de la nature des déchets HA. Elle n'assure pas de fonction de confinement qui est assuré par le colis de stockage HA (cf. section relative au risque de dispersion dans le volume III).

La figure ci-après illustre une hotte HA.

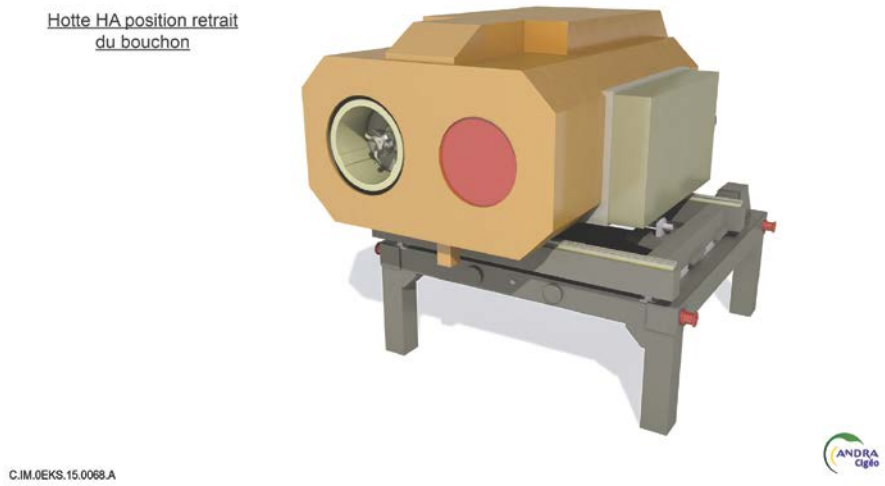


Figure 3.3-22 Schéma de principe d'une hotte HA

Les caractéristiques des hottes HA sont présentées ci-après.

Tableau 3.3-2 Caractéristiques des hottes HA

Masse des hottes	Hottes colis Ø 606	Hottes colis Ø 671
Masse Vide (kg)	77800	77800
Masse maxi (kg)	79900	81200

3.3.10.3 Transfert des hottes en surface

Dans le hall parc à hottes, le cycle de transfert comprend les activités suivantes :

- transfert d'une hotte (HA ou MA-VL) vide vers une façade d'accostage (HA ou M-VL) ;
- positionnement de la hotte sur la façade grâce à la table d'accostage ;
- chargement du colis de stockage dans la hotte :
  - ✓ ouverture de la hotte et de la façade d'accostage ;
  - ✓ introduction du colis dans la hotte ;
  - ✓ fermeture de la hotte et de la façade d'accostage ;
- désaccostage de la hotte grâce à la table ;
- transfert de la hotte pleine vers la table tournante des hottes à l'aide de la Machine à Levage Limité (MLL) ;
- dépose de la hotte sur la table tournante ;
- orientation de la hotte grâce à la table tournante ;
- transfert par la navette correspondant au type de la hotte pleine vers le transfert incliné.

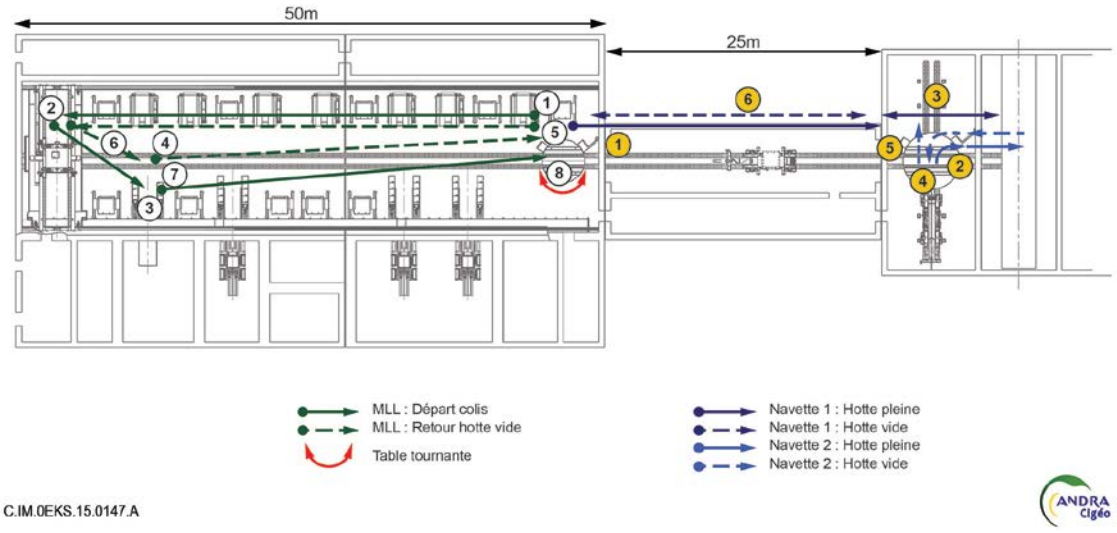


Figure 3.3-23 Schéma du cycle des transferts en surface

En tête de descenderie, le cycle de transfert comprend les activités suivantes :

- retrait de la hotte vide du transfert incliné par la navette de surface ;
- attente sur la voie de dégagement de la navette de surface avec la hotte vide ;
- dépose de la hotte pleine sur le transfert incliné par la navette de surface ;
- dépose de la hotte vide sur la table tournante par la navette de surface ;
- prise de la hotte vide sur la table tournante par la navette de surface pour la transférer vers le parc à hottes.

La figure ci-après montre les principes de gestion en tête de descenderie avec une navette de transport.

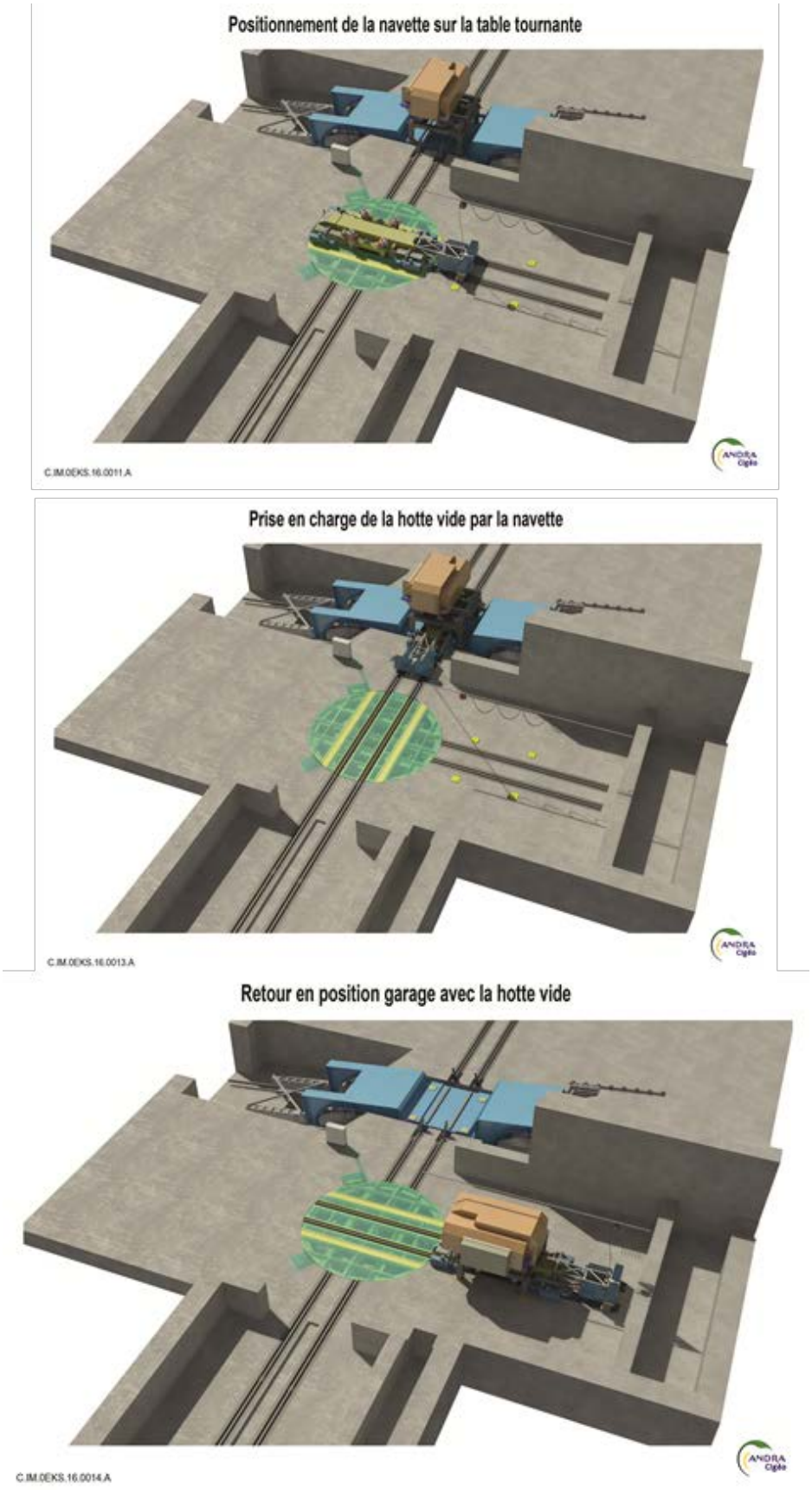


Figure 3.3-24 Principe de gestion de la tête de descenderie

3.3.11 La zone de surface EP1 relative à la gestion des hottes

La zone de surface EP1 relative à la gestion des hottes et à leur exploitation avec des colis en provenance de la salle de chargement ou de l'installation souterraine se décompose de la façon suivante :

- le local dans lequel s'effectuent les opérations de maintenance et de préparation des hottes et des navettes de surface. Ce local peut après une mise en configuration assurer les opérations d'une potentielle décontamination de la cavité interne des hottes ;
- le hall parc à hottes et d'accostage se décompose en :
  - ✓ une zone « parc » où sont entreposées les hottes MA-VL et HA0 ;
  - ✓ une zone où se trouvent les quatre façades d'accostage ;
  - ✓ une zone de transit permettant les transferts des hottes ;
  - ✓ la galerie de raccordement dans laquelle circulent les navettes de transfert entre le hall parc à hottes et d'accostage et la tête de descenderie ;
  - ✓ la tête de descenderie, zone dans laquelle les hottes sont chargées ou déchargées du transfert incliné.

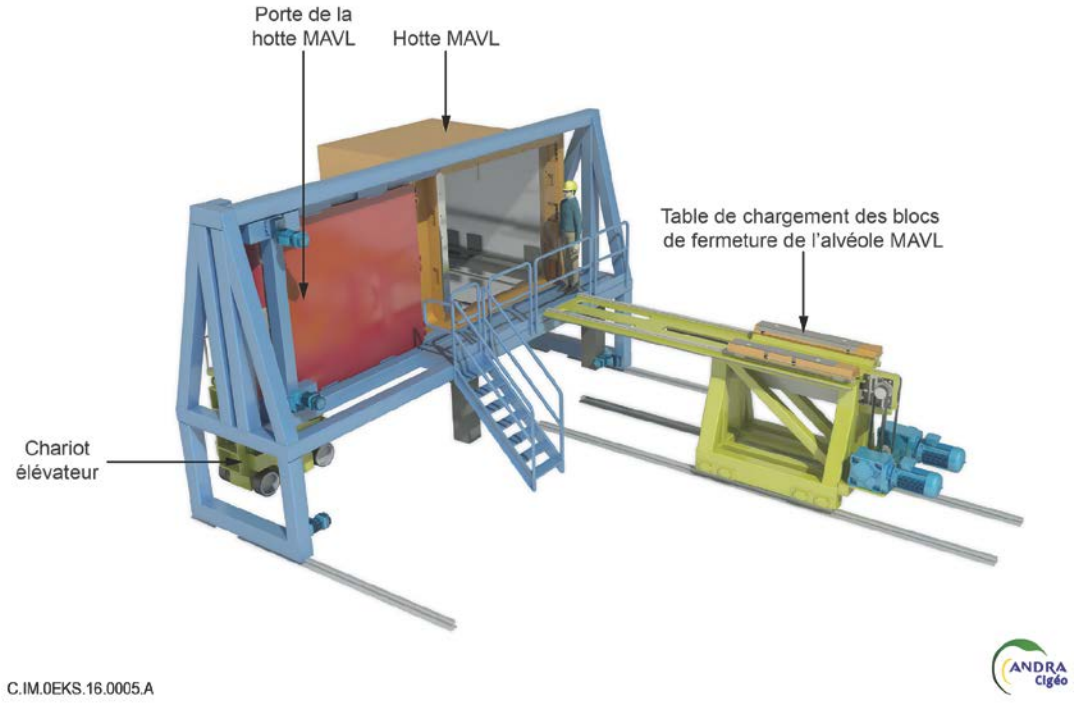


Figure 3.3-25 Poste de maintenance MA-VL – Local de maintenance

Le hall parc à hottes et d'accostage accueille les hottes HA et MA-VL, ainsi que les moyens de manutention nécessaires à leurs transferts entre les différentes zones. Les différents équipements mis en œuvre sont présentés ci-après.

3.3.11.1 La Machine à Levage Limité (MLL)

La Machine à Levage Limité (MLL) implantée dans le hall parc à hottes et d'accostage permet la manutention des hottes dans la zone de transit. Elle assure une partie des manutentions des hottes vides ou pleines entre les différentes zones du hall.

La Machine à Levage Limité est équipée d'un palonnier fixe, unique et solidaire du restant de la machine. L'interface entre cette machine de levage limité et les hottes HA et MA-VL est standard pour toutes les hottes.

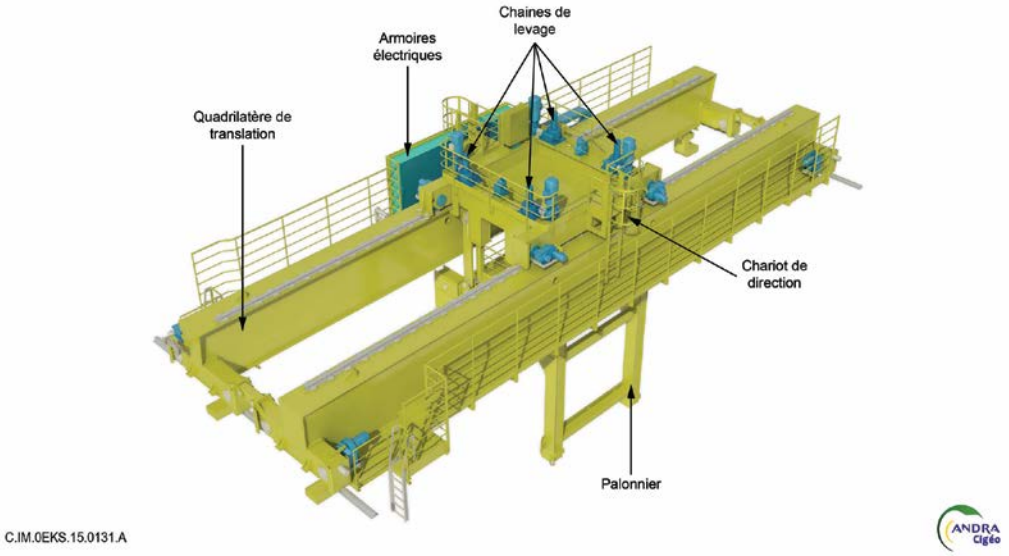


Figure 3.3-26 Machine à Levage Limité (MLL)

La Machine à Levage Limité soulève les hottes et les translate au ras du sol. Sa hauteur de levage est limitée mécaniquement par conception (~100 mm). L'ensemble des manutentions est ainsi réalisé sans jamais dépasser les hauteurs de qualification des hottes.

Caractéristiques principales et performances :

- portée : 20000 mm ;
- charge maximale d'utilisation CMU : 90T ;
- vitesse de translation :
  - ✓ petite vitesse : 8m/min ;
  - ✓ grande vitesse : 20m/min.
- vitesse de direction :
  - ✓ petite vitesse : 2m/min ;
  - ✓ grande vitesse : 20m/min.
- vitesse de levage :
  - ✓ petite vitesse : 0.20m/min ;
  - ✓ grande vitesse : 0.35m/min.

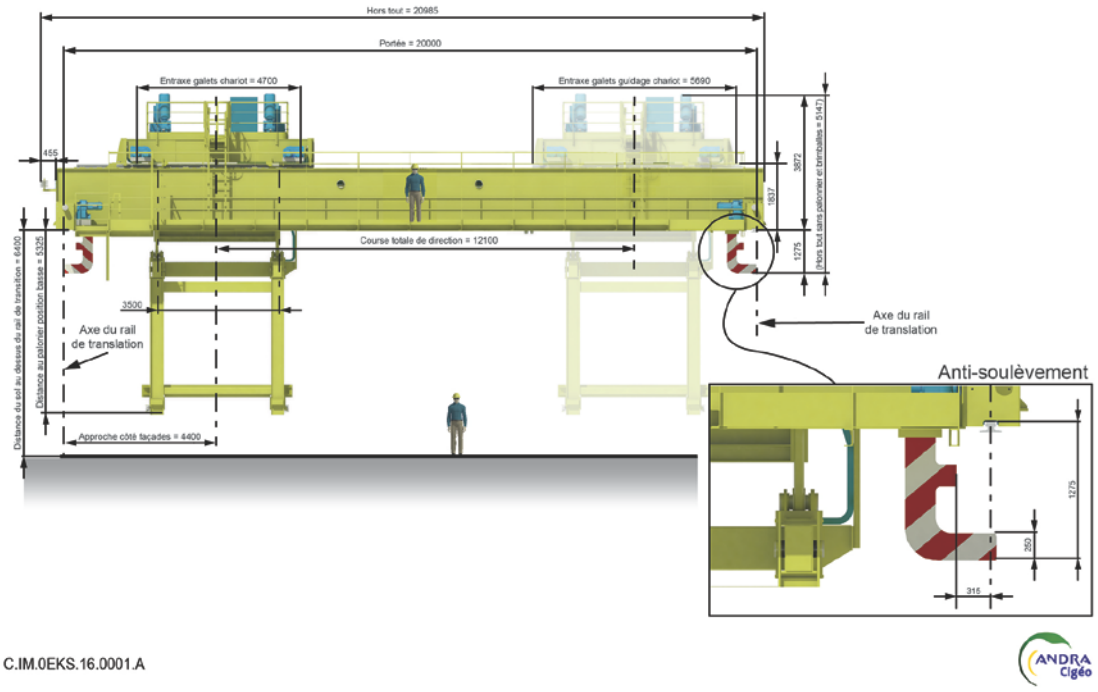


Figure 3.3-27 Machine à Levage Limité (MLL) –dispositif anti-soulèvement

3.3.11.2 Les façades d'accostage MA-VL

Les façades d'accostage MA-VL en surface assure l'interface entre la hotte et les salles de chargement. Elles permettent l'introduction des colis de stockage MA-VL dans les hottes de transfert MA-VL en respectant la continuité du confinement et de la radioprotection.

L'accostage des hottes MA-VL est réalisé par les équipements suivants :

- la table d'accostage est l'équipement sur lequel est déposée la hotte par la MLL. Cette table a pour fonction de positionner avec précision la hotte sur la façade afin de réaliser l'accostage ;
- la façade d'accostage en surface permet de gérer l'ouverture entre la salle de chargement et le hall parc à hotte et d'accostage :
  - ✓ en l'absence de la hotte, elle assure la séparation entre les deux locaux en respectant les contraintes de zonage ;
  - ✓ en présence d'une hotte accostée et verrouillée à la façade, elle assure l'ouverture des portes et garantis portes ouvertes (portes hotte et façade) la continuité du zonage. Le colis placé à l'intérieur de la hotte, les portes sont refermées. Le test d'étanchéité de la hotte est effectué, la hotte libérée de la façade et reprise en charge par la MLL.

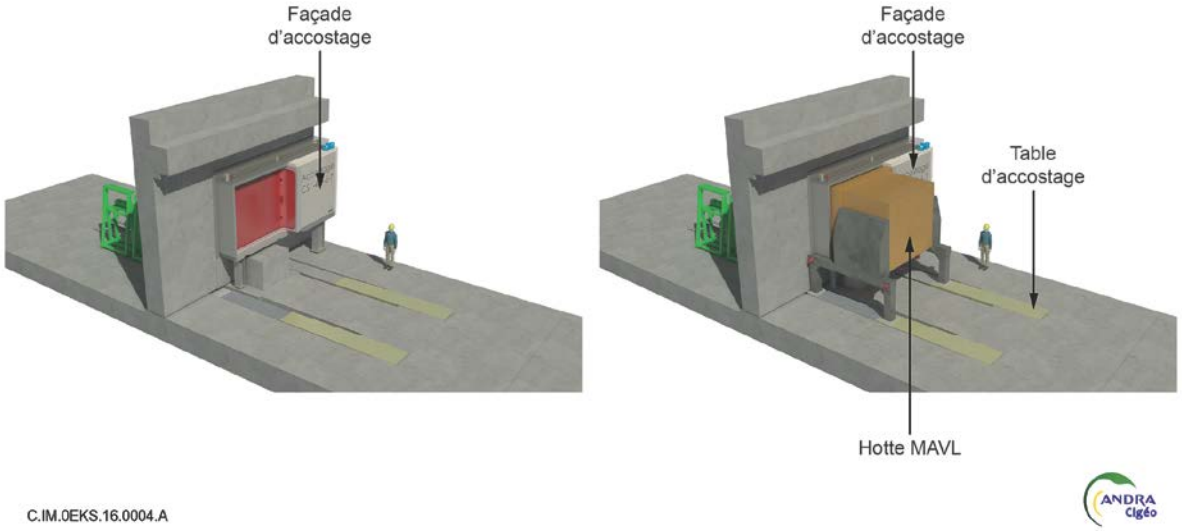


Figure 3.3-28 Façade d'accostage MA-VL en surface

La façade d'accostage est constituée :

- d'un voile en béton armé assurant la protection radiologique et le confinement des salles. Elle reçoit le cadre de la façade d'accostage ;
- d'une partie mécanique montée dans le cadre assurant la fonction d'accostage (ouverture, fermeture des portes de la hotte et de la salle de chargement). Elle assure une protection radiologique et un confinement.

Il existe trois façades d'accostage MA-VL, une par salle de chargement.

Pour réaliser l'introduction des colis dans les hottes, chaque façade d'accostage est complétée (côté salle de chargement) par une table de chargement.

3.3.11.3 Les façades d'accostage HA

Les façades d'accostage HA en surface assurent l'interface entre la hotte et la salle de chargement pour les deux diamètres de colis. Elles permettent l'introduction des colis de stockage HA dans les hottes de transfert.

L'accostage des hottes HA0 est réalisé par les équipements suivants :

- la table d'accostage est l'équipement sur lequel est déposée la hotte par la Machine à Levage Limité (MLL). Cette table a pour fonction de positionner avec précision la hotte sur la façade d'accostage ;
- la façade d'accostage en surface permet de gérer l'ouverture entre la salle de chargement et le hall parc à hotte et d'accostage ;
- la façade d'accostage HA est constituée d'un bouchon. La hotte, avec ses grappins et ses motorisations, assure les opérations :
  - ✓ de retrait du bouchon de protection radiologique ;
  - ✓ de mise en position de la cavité colis ;
  - ✓ d'introduction du colis de stockage dans la hotte ;
  - ✓ de remise en position cavité bouchon ;
  - ✓ de remise en place du bouchon de protection radiologique.

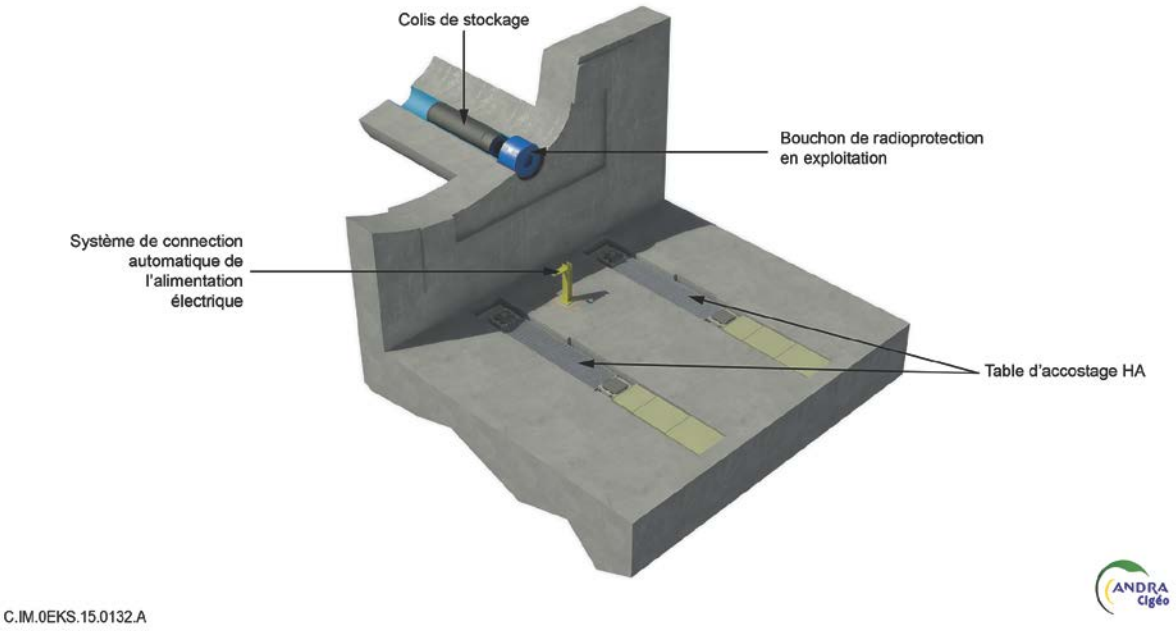


Figure 3.3-29 Façade d'accostage HA en surface

3.3.11.4 Navettes de surface

Les navettes permettent le transfert des hottes entre les différentes zones de surface :

- le transfert des hottes vers l'atelier de maintenance ;
- le transfert des hottes pleines vers le transfert incliné ;
- le transfert des hottes vides vers la zone de reprise.

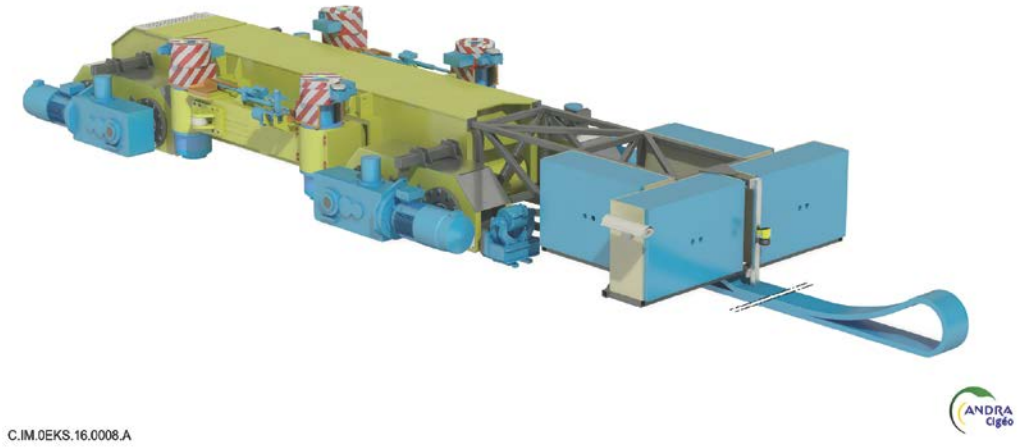


Figure 3.3-30 Navette de chargement du transfert incliné

Les navettes sont conçues pour passer indifféremment sous les hottes HA et MA-VL et sont traversantes. Les zones qu'elles desservent ont des longueurs limitées, ce qui permet de les alimenter avec des chaînes porte-câbles.

Elles disposent d'une table XY, permettant de compenser les défauts de positionnement et qui garantit la reprise ou la dépose précise des hottes. Le dispositif de levage des hottes (4 points de levage) est monté sur la table XY. Il permet un mouvement de levage limité, comme pour la Machine à Levage Limité (MLL). Les hottes circulent ainsi au ras du sol. Au stade actuel du projet, les caractéristiques et performances retenues pour la navette sont les suivantes :

- Vitesse de translation :
  - ✓ très petite vitesse : 0.6 m/min ;
  - ✓ petite vitesse : 8 m/min ;
  - ✓ grande vitesse : 30 m/min ;
- accélération : 0.1 m/s^2 ;
- charge maximale d'utilisation : 90T (masse enveloppe d'une hotte MA-VL ou HA chargée) ;
- temps de levage : 150 s ;
- hauteur de levage : 120 mm,
- course de réglage de la hotte en Y (perpendiculaire au rail) : ± 20 mm ;
- masse estimative : 37 000 kg.

3.3.11.5 Voies de roulement

A ce stade, les choix et hypothèses de conception sont :

- des rails de roulement de type MRS 125,
- un écartement entre les faces intérieures de 1435mm (écartement standard de l'UIC) ;
- des rails continus en partie courante ;
- des interruptions de quelques centimètres au plus, au niveau des singularités (tables tournantes, sas et transfert incliné).

3.3.11.6 Tables tournantes

Une première table tournante est implantée à l'entrée de la galerie de raccordement avec la tête de descenderie. Elle permet l'orientation des hottes à 0°, 90° ou 180°, soit avant le transfert vers le transfert incliné, soit au retour du transfert incliné. Cette table permet d'orienter les hottes, mais ne

permet pas la rotation des navettes. Une seconde table tournante, positionnée en tête de descenderie, permet d'assurer le chargement/déchargement des hottes, compatible avec les temps de cycles de la chaine de transfert. Cette table tournante de plus grand diamètre, de même conception que la table tournante de hotte, permet la rotation des navettes :

- la navette (navette C) transportant la hotte vide sur une voie de dégagement ;
- la navette (navette B) transportant la hotte pleine à destination du transfert incliné.

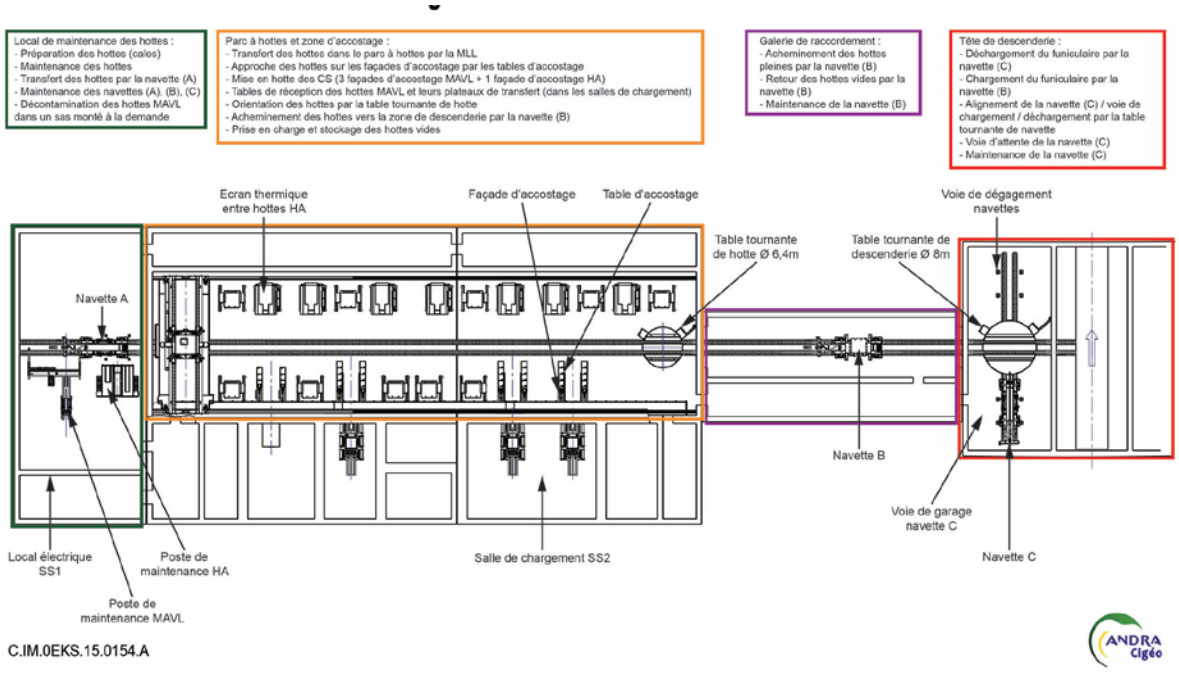


Figure 3.3-31 Tables tournantes en surface

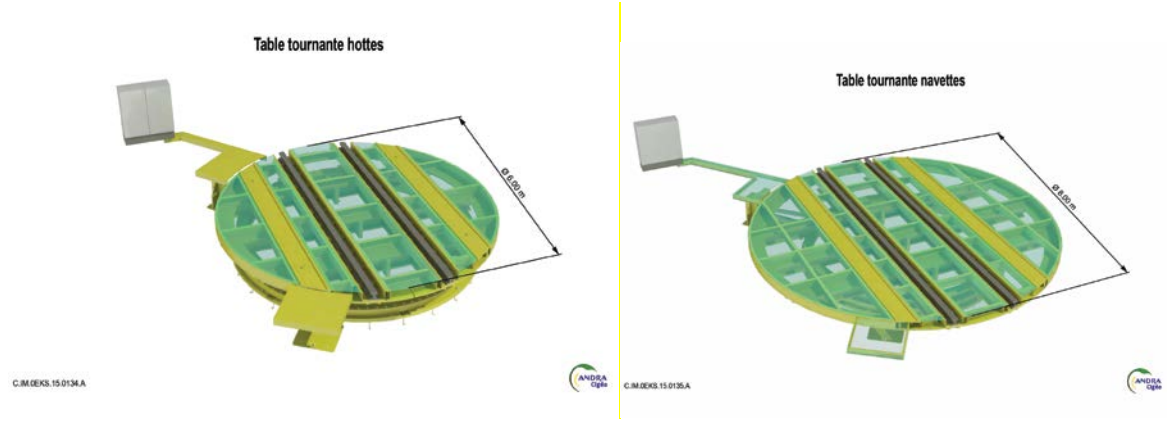


Figure 3.3-32 Tables tournantes en surface – navettes et hottes

3.3.12 Les systèmes auxiliaires de l'installation de surface

3.3.12.1 Électricité

A ce stade, deux boucles HTA sont prévues pour l'alimentation de puissance de l'installation:

- une boucle « Nord » alimentant les sous-stations situées au nord de l'installation ;
- une boucle « Sud » alimentant les sous-stations situées au sud de l'installation.

3.3.12.2 Ventilation

Le système de ventilation est constitué d'un système de soufflage et d'un système d'extraction. Ces deux systèmes sont munis de ventilateurs redondants (normal et secours) permettant d'assurer une continuité de la fonction en cas de défaillance sur un ventilateur. L'alimentation du circuit de ventilation est également redondante et secourue (onduleur).

Un schéma des principes de ventilation des installations nucléaires de surface est présenté ci-après.

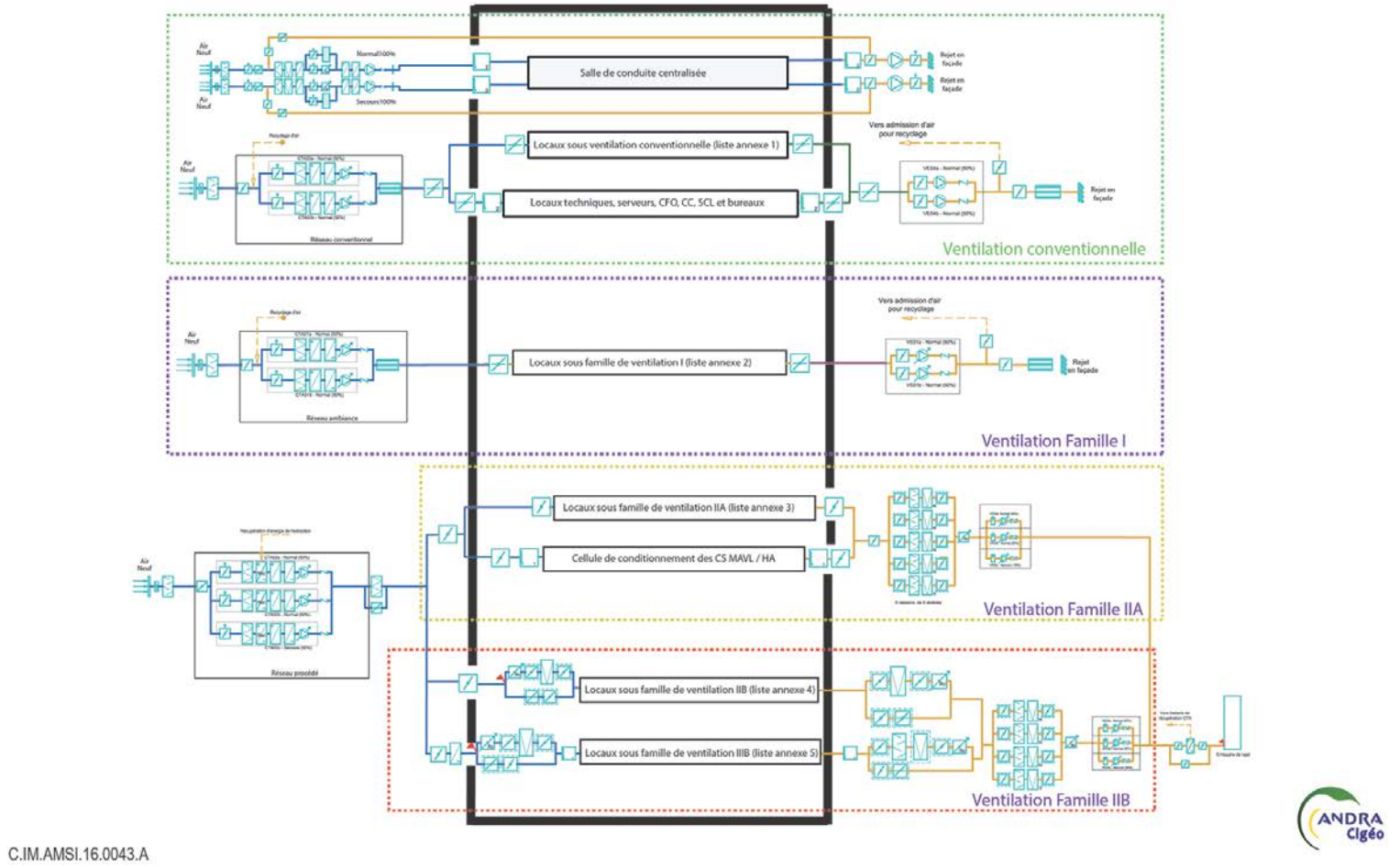
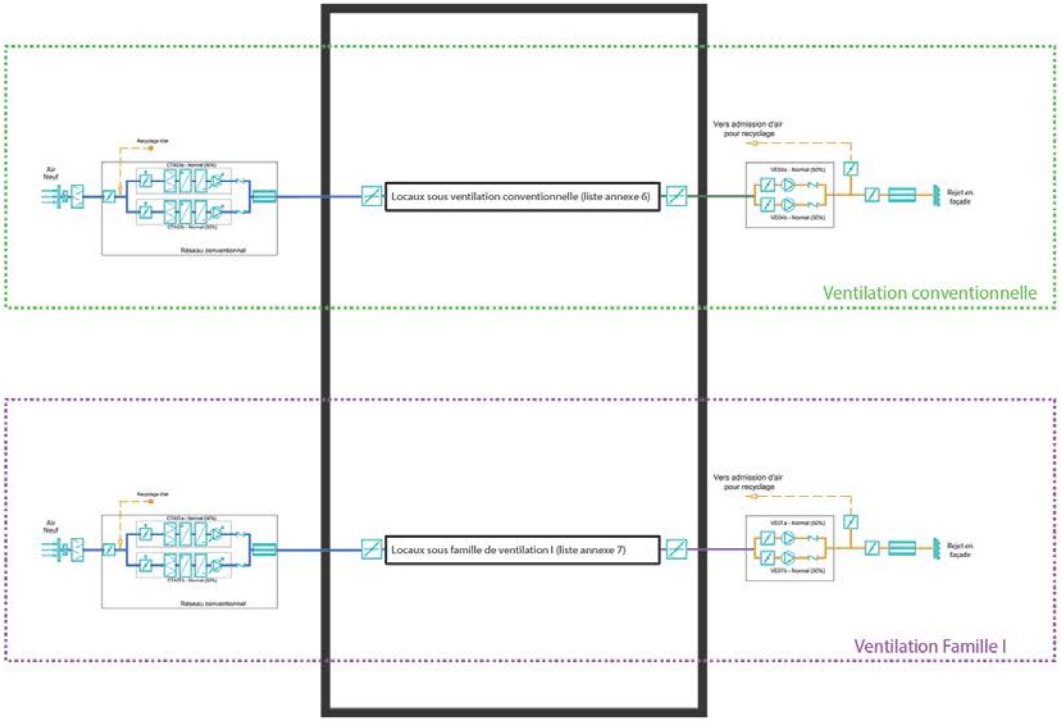


Figure 3.3-33 Schéma des principes de ventilation



C.IM.AMSI.16.0044.A

Figure 3.3-34 Schéma de principe de ventilation des batiments nucléaires de surface

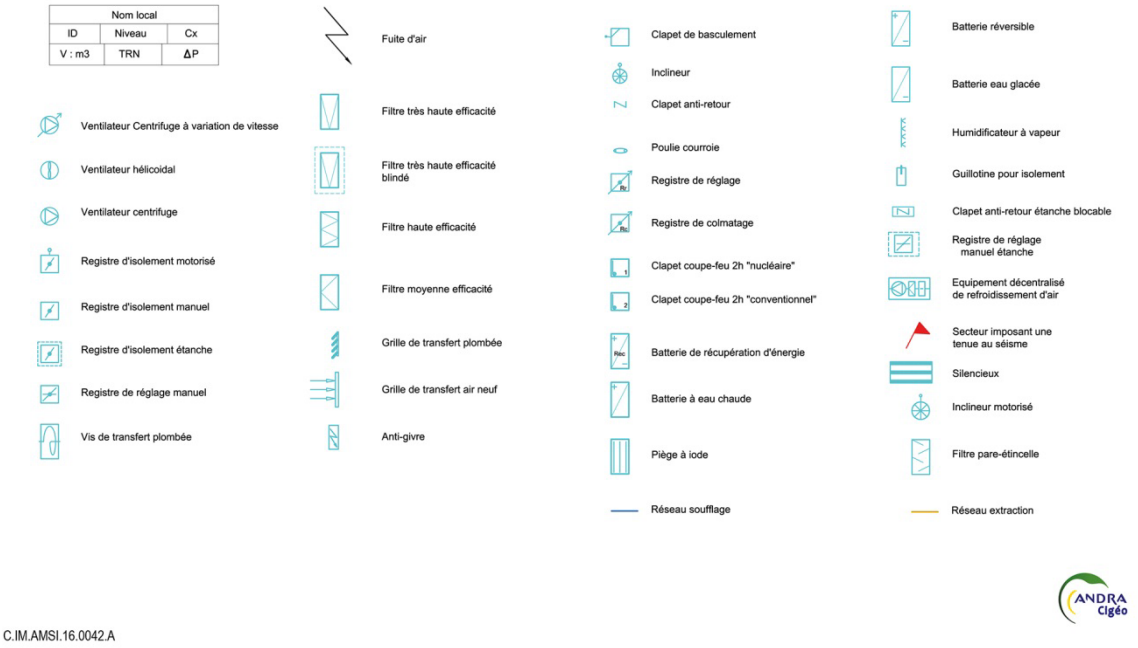


Figure 3.3-35 Principes de ventilation des bâtiments de surface légende des symboles pour les figures précédentes

Liste des locaux sous ventilation conventionnelle (bâtiment nucléaire) :

- circulation personnel, matériel et process ;
- magasin ;
- archives ;
- local de soufflage (VN) ;
- halls de réception conteneurs de stockage palettes et paniers ;
- zones avant, tampons et de maintenance pont ;
- sas camion, personnel et matériel ;
- tri déchet ;
- salle de repos ;
- stock EPI ;
- stock palettes.

Liste des locaux sous famille de ventilation I (bâtiment nucléaire)

- circulation personnel, matériel ;
- salle de visiteurs ;
- halls et réception des ET ;
- zone de maintenance pont ;
- fosse du chariot de transfert ;
- transbordeur du chariot de transfert ;
- voie de garage du chariot de transfert ;
- reconfiguration châssis et support ET ;
- local de préparation ;
- local d'approvisionnement du matériel de remplissage ;
- local de fabrication du liant de clavage ;
- zone arrière ;
- sas process, personnel et matériel ;
- parc à hottes vides et pleines ;
- magasin chaud ;

- local technique ;
- bureau ;
- zone arrière pont ;
- galerie de connexion et d'intervention des moyens de manutention.

Liste des locaux sous famille de ventilation IIA (bâtiment nucléaire) :

- tampons et effluents douteux et actifs ;
- traitement des emballages NC ;
- accostage chariot ;
- circulation personnel, matériel et process ;
- sas ;
- zone tampon CP NC 12 emplacements ;
- local de filtration VN ;
- cellule de contrôle contamination palettes et panier HA ;
- zone avant (contrôle C5) ;
- zone tampon CP en CS non confectionnés ;
- local d'injection des matériaux de remplissage ;
- zone arrière ;
- zone arrière pont ;
- atelier chaud ;
- cellule de contrôle C7 ;
- mise en hotte HA/MA-VL ;
- local de descente de hotte ;
- local technique.

Liste des locaux sous famille de ventilation IIB (bâtiment nucléaire) :

- sas personnel et matériel ;
- zone arrière ;
- zone arrière (cellule de conditionnement) ;
- zone arrière (poste de mise en CS) ;
- zone arrière chariot.

Liste des locaux sous famille de ventilation IIIB (bâtiment nucléaire) :

- cellule d'introduction des CP dans les CS ;
- cellule de chargement des CP dans les CS + contrôle C5 ;
- cellule de déchargement ;
- zone arrière pont ;
- cellule de remise en conformité + contrôle C5 ;
- poste de mise en CS ;
- cellule de déchargement des emballages HA.

Liste des locaux sous ventilation conventionnelle (bâtiment tête de descenderie) :

- local ventilation descenderie ;
- circulation personnel et matériel ;
- locaux électriques transfert incliné.

Liste locaux sous famille de ventilation I (bâtiment tête de descenderie)

- sas (process) ;
- sas transbordeur double voie ;
- couloir de raccordement de la tête de descenderie (amorce pour EP2) ;
- galerie de raccordement de la tête de descenderie (amorce pour EP2) ;
- couloir de raccordement de la tête de descenderie (amorce pour EP1) ;
- galerie de raccordement de la tête de descenderie (amorce pour EP1).
- machinerie/fosse de maintenance/fosse de tension.

Vis-à-vis du contrôle-commande de la ventilation, il est prévu un automate par voie ; il constitue avec son armoire un ensemble autonome et redondant permettant d'assurer systématiquement le basculement vers la voie en secours en cas de défaillance ou perte de la voie active.

Les moyens de supervision et, si nécessaire, de conduite de la ventilation nucléaire sont situés en salle de conduite centralisée du bâtiment EP1.

3.3.12.3 Contrôle-commande du procédé nucléaire

L'ensemble fonctionnel Contrôle-commande comprend les sous-ensembles suivants :

- les équipements nécessaires au contrôle-commande du procédé nucléaire;
- la vidéo-contrôle, embarquée ou non, associée aux opérations ;
- la traçabilité temps réel des colis en termes de géolocalisation.

L'architecture contrôle-commande est présentée à la section 3.6.3

3.3.12.4 Systèmes Courants Faibles Industriels

Les ensembles fonctionnels sont :

- l'EF DP (Dispositions Particulières) relatif au contrôle d'accès, à la détection d'intrusion, à la surveillance (système rondier) et à la vidéosurveillance du bâtiment ;
- l'EF SSP, relatif aux Systèmes de Sécurité des Personnes en zones contrôlées ;
- l'EF VDI (Voix, Données, Image), relatif à la téléphonie, l'interphonie, au réseau de vidéodiffusion (télévision, informations site) radiocommunication ;
- l'EF GTB (Gestion Technique du Bâtiment) gérant pour le bâtiment EP1 les fluides et utilités, l'électricité BT ;
- l'EF GTC relatif à l'acquisition des informations critiques (alarmes, évènements) ;
- l'EF GTE (Gestion Technique Electrique) relatif à la surveillance et au maintien opérationnel des réseaux électriques ;
- l'EF RP (Radio Protection) pour la surveillance radiologique d'ambiance, la surveillance des rejets gazeux et liquides, la surveillance des rejets atmosphériques en cheminées d'exhaure et la dosimétrie opérationnelle ;
- l'EF SSI (Système de Sécurité Incendie) pour la détection et la mise en sécurité incendie du bâtiment EP1 ;
- l'EF VN (Ventilation Nucléaire) ;
- l'EF MCO (Maintien en Condition Opérationnelle) des équipements via une GMAO.

Des liaisons inter-EF seront mises en œuvre afin de réaliser des asservissements entre :

- le SSI (Système de Sécurité Incendie) et la ventilation nucléaire et son propre contrôle-commande (EF VN) ;
- le SSI et les équipements mécaniques des différentes filières via l'EF Contrôle-Commande. Typiquement, une détection incendie (EF SSI) engendrera des actions au niveau des systèmes de contrôle-commande afin de mettre en position de repli ou à l'état sûr les équipements concernés;
- le système de radioprotection (EF RP) et la ventilation nucléaire.

Les échanges d'informations se font via des modules d'interopérabilité permettant le transfert des données à échanger entre les ensembles fonctionnels concernés (SSI, VN, RP) qui ont chacun leur propre réseau de communication (support physique indépendant).

3.4 L'installation souterraine

3.4.1 Principes de conception et choix de l'architecture souterraine

3.4.1.1 Principales exigences de conception de l'installation souterraine

La conception de l'installation souterraine du centre de stockage est fondée sur un développement par tranche conformément au plan directeur pour l'exploitation de Cigéo,(PDE). La conception des premiers ouvrages (T1) prend en compte les meilleures connaissances et retours d'expériences disponibles au moment de leur réalisation. Cette première tranche est conçue pour ne pas compromettre pas le développement des phases ultérieures de réalisation du stockage (TU).

L'architecture est conçue sur la base d'un inventaire de colis de déchets et d'une chronique de livraison associée au PIGD (VD) (à ce stade). Elle est adaptable aux variations de l'inventaire en fonction d'éventuelles décisions prises dans le futur en termes de politique industrielle ou énergétique : nouveaux types de déchets, augmentation des quantités de déchets, ou de la réorientation vers le stockage profond de déchets dont l'acceptabilité dans les filières à faible profondeur n'est pas garantie. Les options de sûreté retenues sont compatibles avec ces éventuelles décisions futures.

3.4.1.2 Solution d'architecture souterraine

La solution d'architecture comprend, suivant la chronologie de développement, les ouvrages souterrains suivants :

- des liaisons surface-fond qui relient les installations de surface aux zones de soutien logistique ;
- deux zones de soutien logistique fond séparées, dédiées à l'exploitation et aux les travaux ;
- une organisation du stockage en trois zones principales de stockage (MA-VL, HA0, HA1/HA2) :
  - ✓ la zone MA-VL constitue un seul quartier (un quartier est un regroupement borgne d'alvéoles et de galeries d'accès ;
  - ✓ la zone HA0 ;
  - ✓ la zone HA1/HA2 est constituée de six quartiers.
- des alvéoles MA-VL et HA regroupés en quartiers ;
- des alvéoles conçus pour s'intégrer dans la formation d'argilites sur la base de choix de sûreté, techniques et économiques. Les principaux critères de choix de sûreté et techniques sont la préservation des caractéristiques du milieu et la conception d'ouvrages à la base des performances de sûreté à long terme, la capacité d'assurer la sûreté, la sécurité en exploitation, ainsi que la réversibilité (justifiés par le savoir-faire et les études, essais en Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne) ;
- des principes de conception du déploiement graduel assurant la sécurité et la sûreté avec une séparation physique retenue entre les zones conventionnelles de travaux et les zones d'exploitation nucléaire, qui permettent de réduire les risques liés à la coactivité (séparation des flux de personnels, des utilités, des fonctions supports, etc.)

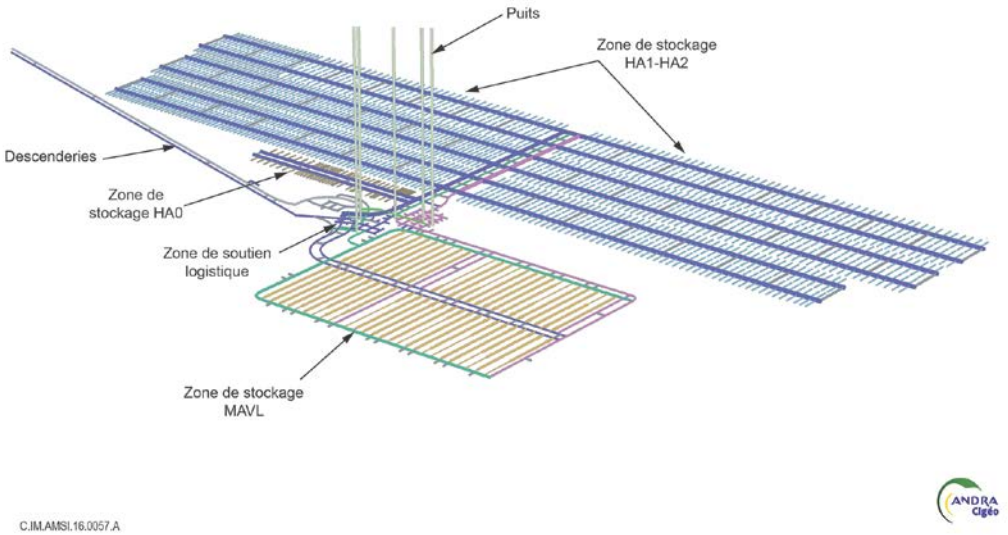


Figure 3.4-1 Installation souterraine de Cigéo

3.4.2 Le développement progressif du stockage

L'installation souterraine est construite progressivement tout au long de l'exploitation du stockage sur une durée séculaire. A une première phase de construction et d'exploitation (correspondant à la première quinzaine d'années) se succéderont des phases de réalisations ultérieures. La conception prend en compte ce développement et se concentre tout d'abord sur la première tranche tout en vérifiant la compatibilité avec les développements des tranches ultérieures.

3.4.2.1 La 1ère tranche de construction et d'exploitation

Les premiers ouvrages réalisés répondent au besoin d'exploitation des premiers alvéoles de la zone MA-VL et de la zone HA0, la 1ère tranche de construction. La tranche 1 comprend la construction des liaisons surface-fond par descenderies et puits, les zones de soutien logistique travaux et exploitation et les réalisations des 1ères alvéoles du quartier MA-VL et de la zone de stockage HA0.

Une phase industrielle pilote est prévue au démarrage de Cigéo. Elle débute pendant la construction initiale et se poursuit au début de l'exploitation du stockage. Elle comporte des opérations en « inactif », notamment des essais sur les équipements installés, ainsi que des opérations en « actif », c'est-à-dire sur des colis de déchets. Pendant cette période, on réalise toutes les opérations d'essais, de mise en place de démonstrateurs (par exemple de scellements ou d'alvéoles), d'exploitation et de surveillance nécessaires au bon démarrage de Cigéo et à la montée en régime de l'exploitation.

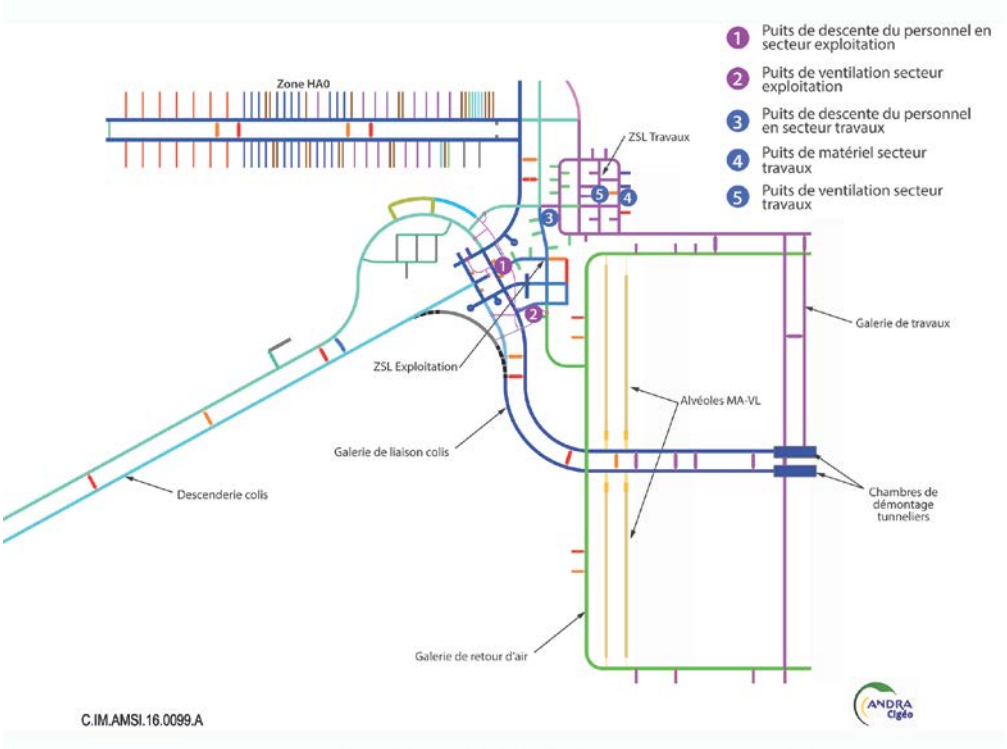


Figure 3.4-2 1ère tranche (T1) de construction

3.4.2.2 Les tranches ultérieures de stockage

Le développement incrémental du stockage se prolonge par la suite de la construction et de l'exploitation de la zone de stockage MA-VL. Il correspond au caractère continu, régulier et prudent de l'enchaînement des opérations de construction de l'installation de stockage sur toute la durée de son exploitation. Il favorise l'intégration aux futures tranches de construction de toutes les améliorations qui seront rendues possibles sur la durée d'ordre séculaire du projet par les progrès scientifiques et techniques et par le retour d'expérience dans une optique d'optimisation technico économique de la conception ainsi que pour l'amélioration continue, au sens de l'arrêté du 7 février 2012, des dispositions prises pour la sûreté.

Après exploitation, les zones de stockage seront fermées progressivement en fonction des choix retenus dans le cadre du plan directeur pour l'exploitation de Cigéo (cf. PDE).

3.5 La description de l'installation souterraine et des procédés de transfert des colis

3.5.1 Les liaisons surface-fond

3.5.1.1 Principales exigences de conception des liaisons surface-fond

La conception des liaisons surface-fond répond à des principes de conception, de fonctionnement et de limitation des impacts sur l'environnement :

- l'impact des liaisons surface-fond sur les aquifères est limité. Les exigences correspondantes sont :
  - ✓ aquifères profonds et limitation de la communication entre aquifères : dispositions prises pour empêcher la communication entre aquifères en exploitation et après fermeture ;
  - ✓ aquifères de surface (nappes phréatiques) : débit de fuite de la nappe du Tithonien de 50l/h sous la fondation (par liaison surface-fond) ;

- ✓ aquifères profonds : traitement de l'exhaure de l'Oxfordien en fonction du débit des niveaux producteurs ; drainage de l'Oxfordien pour éviter le ruissellement dans le Callovo-Oxfordien : débit d'eau entre la couche de l'Oxfordien et le Callovo-Oxfordien limité à 20l/h.

- les puits et descenderies sont regroupés au fond (pour satisfaire les fonctions de sûreté après fermeture (Cf. chapitre 3 du Volume II du DOS-AF) ;
- les puits et descenderies relient les installations de surface aux zones de soutien logistique. Ils sont répartis sur deux zones:
  - ✓ la zone descenderies comprend une descenderie colis et une descenderie service ;
  - ✓ la zone puits comprend cinq puits (deux pour l'exploitation et trois pour les travaux) ;
- les liaisons surface-fond sont réalisées dès la 1ère tranche de construction ;
- la durée de vie de ces ouvrages est envisagée pour 150 ans ;

3.5.2 Les liaisons surface-fond en zone « Descenderies »

Les installations de la zone « Descenderies » sont reliées à l'installation souterraine via deux descenderies inclinées et parallèles d'une pente de l'ordre de 10 à 15 % (12% au stade de l'APS) :

- **la descenderie colis permet** le transfert des colis de déchets vers les ouvrages de stockage dans l'installation souterraine ;
- **la descenderie de service** est dédiée aux fonctions d'exploitation autres que le transfert des colis de déchets (évacuation/secours, maintenance, acheminement des matériaux/équipements).

Les descenderies sont composées de 3 parties : la tête, le corps et le pied de descenderie.

1. la tête de descenderie colis est reliée aux installations nucléaires de surface. En amont du tympan d'attaque du tunnel, un ensemble de bâtiments recouvrira la majeure partie de la tête de la descenderie, à l'exception des 30 derniers mètres qui constituent la tranchée couverte entre les bâtiments de surface et le tympan d'attaque ;
2. les descenderies sont creusées au tunnelier pleine face. Elles sont étanches dans les calcaires du Barrois. Les corps des deux descenderies sont creusés en parallèle au moyen de deux tunneliers à attaque globale permettant d'excaver un diamètre d'une dizaine de mètres. Une étanchéité est faite au pied de ces calcaires. Des dispositions constructives seront prises dans les calcaires de l'Oxfordien pour limiter les débits d'eau. Une étanchéité est réalisée à la base des calcaires de l'Oxfordien (au toit des argilites) ;
3. en pied de descenderie est implantée une recoupe destinée à l'exhaure des eaux. Les tunneliers poursuivent le creusement des galeries de liaison vers le quartier MA-VL.

Des recoupes espacées tous les 400 mètres relient les deux descenderies distantes d'une cinquantaine de mètres, afin d'assurer des fonctions d'intervention en situation incidentelle ou accidentelle (évacuation, secours).

Le diamètre utile des descenderies répond aux besoins d'implantation et de fonctionnement du transfert incliné et du transfert des hottes (à ce stade, le diamètre utile est de l'ordre de 8,4 m).

Au stade de l'APS, le revêtement est constitué de voussoirs (en béton) et de voussoirs bicouches[48] compressibles dans les argilites. Différentes solutions de matériaux compressibles à l'interface voussoir/argilites sont à l'étude. L'utilisation de voussoirs bicouches compressibles est prévue d'être testée fin 2016 début 2017, dans le Laboratoire souterrain du Centre Meuse/Haute-Marne.

Durant tous les travaux de construction des ouvrages souterrains préalables à l'exploitation du stockage (T1), les descenderies sont exclusivement empruntées par des flux liés aux travaux. La ventilation et la sécurité sont spécifiques à cette phase de travaux.

[48] Les voussoirs bicouches comprennent en plus du béton une couche de matériau compressible, à l'extrados du voussoir, afin de permettre une convergence partielle de la roche (et de limiter les efforts supportés).

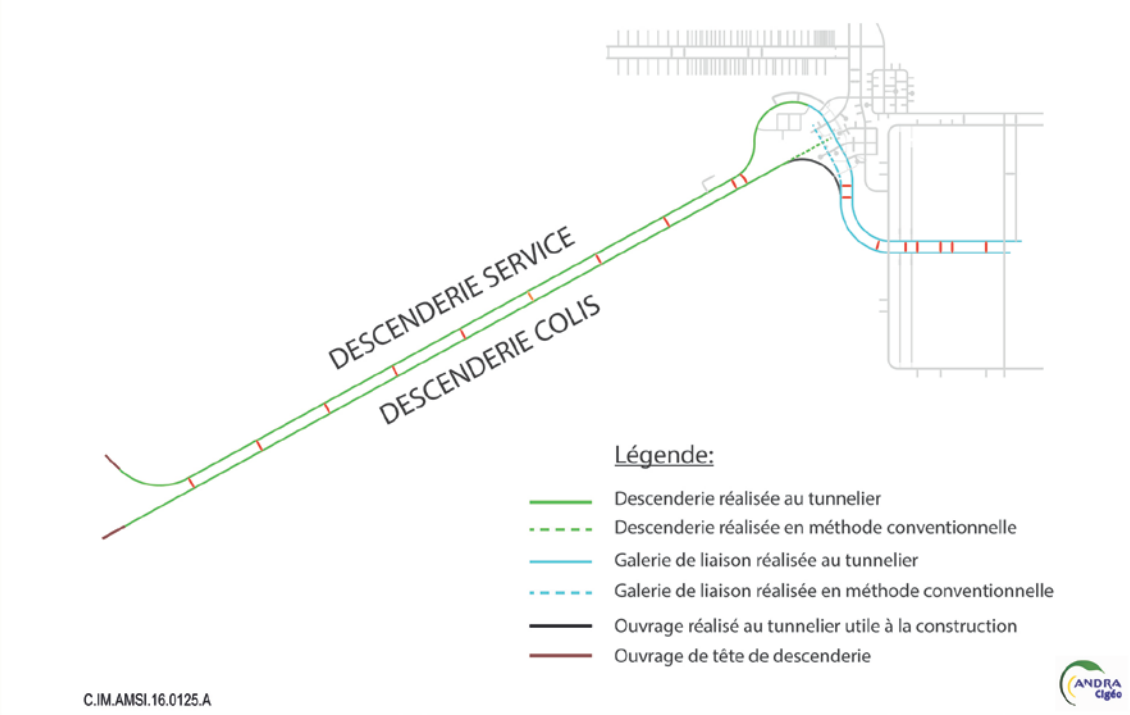


Figure 3.5-1 Descenderies colis et de service (vue au stade d' APS)

Pendant la phase d'exploitation, la ventilation des descenderies est ascendante en pleine section. Elle est assurée par soufflage depuis le plénum de ventilation en zone de soutien logistique (ZSL). Un schéma de ventilation, incluant le fonctionnement des descenderies, est présenté au chapitre.3.5.13.2. Lors de la fermeture définitive du stockage, les descenderies sont remblayées et un scellement est réalisé dans chaque descenderie au toit de la formation argileuse (Cf. chapitre 3 du volume II du DOS-AF).

3.5.3 Le transfert incliné dans la descenderie

3.5.3.1 Emprise du dispositif de transfert incliné

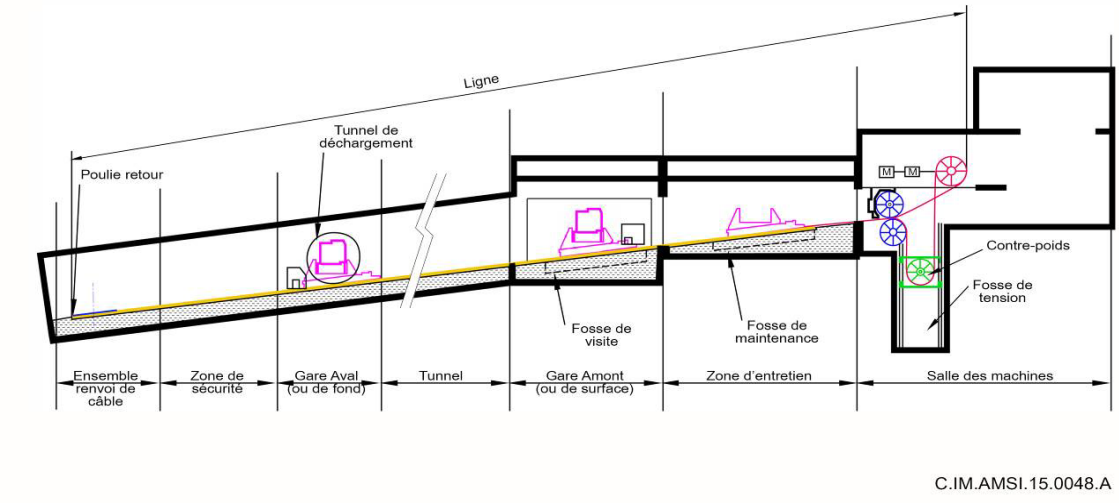


Figure 3.5-2 Schéma de l'emprise du système de transfert incliné

L'emprise du dispositif de transfert incliné s'étend sur 8 zones (de l'amont vers l'aval) :

- la zone située entre l'extérieur et la salle des machines ;
- la salle des machines ;
- la zone d'entretien et maintenance ;
- la gare amont (ou de surface) ;
- le tunnel de la descenderie de colis ;
- la gare aval (ou de fond) ;
- la zone de sécurité ;
- la zone pour l'ensemble de renvoi de câble.

3.5.3.2 Fonctions principales et caractéristiques du transfert incliné

Le transfert incliné a pour fonction principale le transfert des hottes dans le tunnel rectiligne de descenderie colis entre la surface et le fond, au niveau de la zone de soutien logistique (aller et retour).

L'opération de transfert des colis de stockage entre les installations de surface et souterraine comporte les trois étapes suivantes :

- chargement / déchargement des hottes de transfert en gare amont ;
- transfert dans le tunnel de descenderie ;
- chargement / déchargement des hottes de transfert en gare aval.

Les opérations de chargement / déchargement dans les gares amont et aval correspondent à des opérations et interfaces « sensibles » et font l'objet d'une automatisation dont la supervision et la coordination est effectuée à un niveau supérieur.

Lors des opérations de mise en stockage, le flux de colis est dirigé de la surface vers le fond exclusivement. Cela signifie que pendant le transfert des colis de la surface vers le fond, le transfert incliné prend en charge une hotte de transfert contenant un colis de stockage alors que pendant les remontées en surface, il prend en charge une hotte vide.

Lors des opérations de récupération des colis de stockage, le transfert incliné prend en charge en gare aval une hotte de transfert contenant un colis.

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

Caractéristiques principales du transfert incliné (au stade actuel) – domaine de fonctionnement	**Conditions de fonctionnement transfert incliné**
Dénivelé : environ 500m ; Pente : 12% +/- 1% ; Longueur : environ 4 200 m ; Masse des hottes à transférer : 130 tonnes maxi ; Disponibilité attendue égale à 98,5% ; Durée totale d'exploitation de l'ordre de 120 ans avec jouvence intermédiaire ; Temps de cycle aller / retour : 1 heure maxi, hors temps de chargement/ déchargement des hottes.	Vitesse véhicule : 2,55 m/s ; Accélération / Décélération : 0,05/0,1 m/s2 ; Inclinaison : 12,06 % ; Poids total maxi véhicule + charge : 80 + 130 = 210 t.

3.5.3.3 Description et principe de fonctionnement du transfert incliné (le mouflage)

Le système retenu est une technologie de transport par câble avec un « véhicule » sur rails. L'entraînement se fait par la rotation simultanée en sens inverse des deux poulies motrices et la tension est assurée par deux poulies de tension disposées symétriquement au niveau de la gare amont. Le principe de la boucle mouflée est présenté dans la figure ci-après.

Le moufle est situé au niveau du véhicule par le biais de poulies dites de « synchronisation ».

En fonctionnement nominal, les deux poulies motrices tournent ensemble ainsi que les poulies de retour placées en gare aval. Ainsi, il n'y a pas de mouvement des poulies de synchronisation du véhicule en fonctionnement normal.

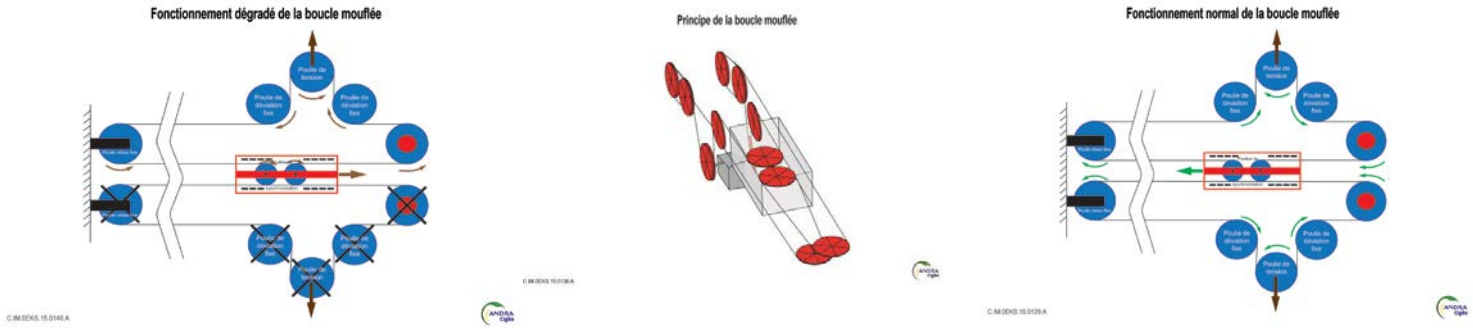


Figure 3.5-3 Principe et cas de fonctionnement de la boucle mouflée

En fonctionnement partiel, c'est-à-dire en cas de panne sur un élément de la boucle provoquant l'incapacité de rotation d'une poulie, l'ensemble des poulies situées sur le même côté que celle-ci cessent de tourner : le câble est immobile du côté inopérant. Cependant, le côté toujours opérationnel permet de garantir le rapatriement du véhicule à mi vitesse. Les poulies de synchronisation se mettent à tourner dans le même sens sous l'action de la tension du câble et permettent ainsi à la hotte d'être rapatriée en gare.

3.5.3.4 Description des composants et équipements

Aménagement de la gare amont (tête de descenderie)

La zone de chargement/déchargement constitue le point d'arrêt du véhicule face aux emplacements d'amenée et d'évacuation des hottes par les navettes de surface.

La zone de sécurité est située entre la zone de chargement/déchargement et la zone de maintenance. D'une longueur d'environ 4 m, elle est d'une distance suffisante pour permettre l'arrêt du véhicule en cas de dépassement de la position d'arrêt en gare haute.

La zone de maintenance est prévue pour réaliser les opérations d'entretien du véhicule, hors périodes d'exploitation. Une fosse de visite permet de réaliser certains contrôles et opérations de maintenance courants sous le véhicule. Cette zone est séparée de la section courante du tunnel par une porte coulissante qui ne laisse passer que les quatre brins de câble en assurant un compartimentage entre zones.

La zone de machinerie regroupe les équipements de la motrice et de tension du câble. A côté des motrices se situe un atelier où sont entreposées toutes les machines fixes ou mobiles nécessaires à l'entretien des composants du transfert incliné.

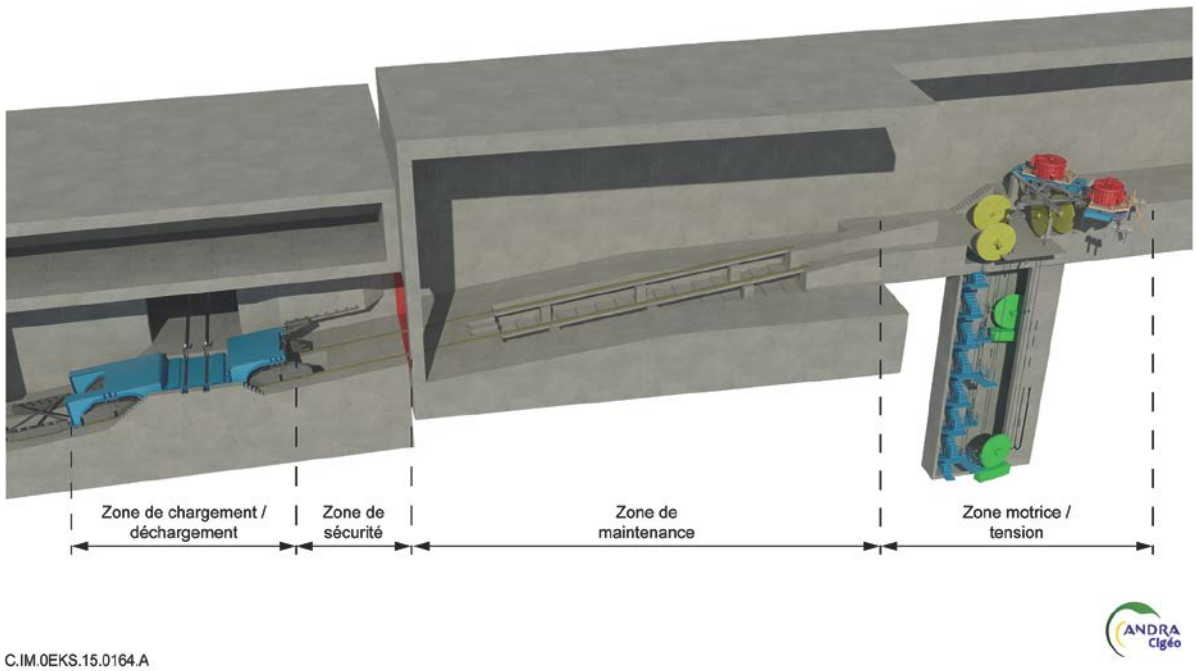


Figure 3.5-4 Aménagement gare amont

Aménagement de la section courante de la descenderie

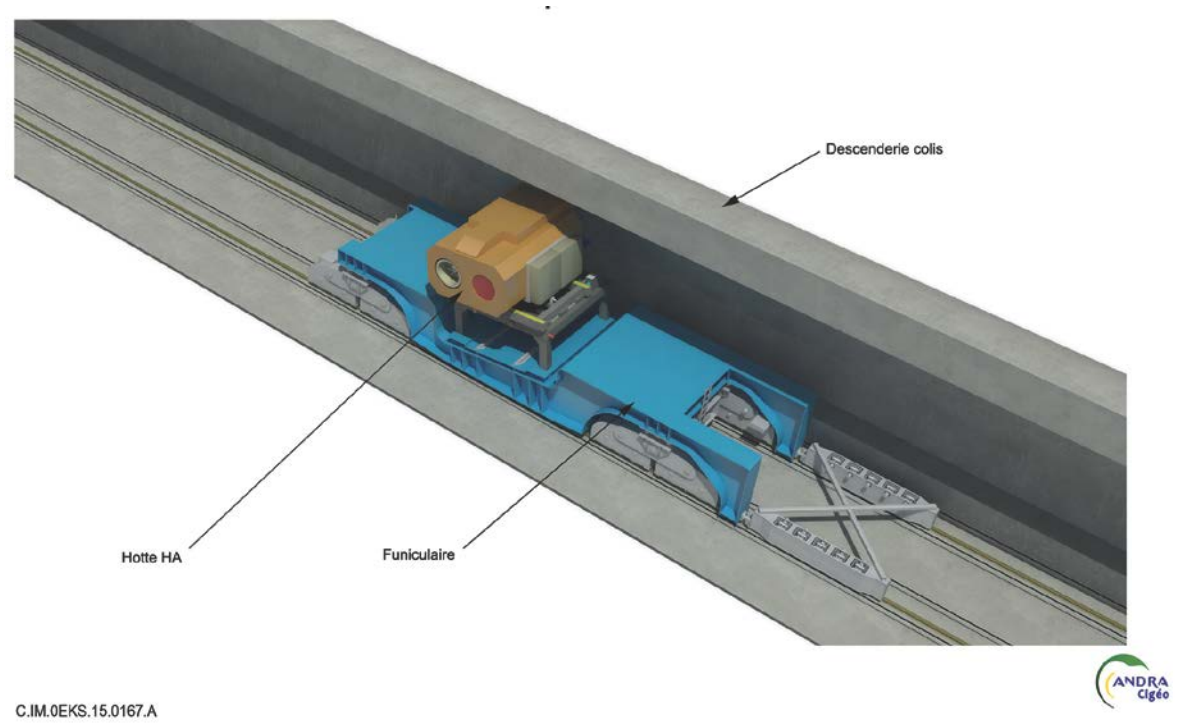


Figure 3.5-5 Aménagement du tunnel (section courante) de la « descenderie colis »

La descenderie est équipée d'une voie rectiligne d'une extrémité à l'autre du parcours, sans croisement et sans virage. Elle est fixée sur un radier, lui-même fixé sur le tunnel de la descenderie. Dans le radier circule une partie des réseaux nécessaires aux liaisons entre les gares haute et basse de l'installation.

La largeur de la voie de la descenderie est compatible avec les dimensions du véhicule. Elle est composée de deux rails parallèles de type MRS 87A, ayant un profil plat et trapu, fixés sur le génie civil à l'aide de fixations disposées tous les 80 cm.

En parallèle de cette première descenderie, une deuxième descenderie dédiée aux fonctions de service sera réalisée, elle permettra également l'accès aux installations de la descenderie colis pour d'éventuelles interventions ou inspections. Une recoupe entre ces deux descenderies est prévue tous les 400 m, cet accès sera réglementé et asservi au fonctionnement du transfert incliné.

Aménagement de la gare aval (pied de descenderie)

De même qu'en gare amont, la gare aval possède une zone de déchargement/chargement avec les mêmes équipements et les mêmes fonctions.

La zone de sécurité, d'une longueur d'environ 10 m, permet un arrêt du véhicule par les butoirs de fin de voie en cas d'arrivée en survitesse et de dysfonctionnement des autres systèmes de freinage.

Enfin, la zone de renvoi du câble est constituée de galets de déviation placés en amont de deux poulies de renvoi fixées sur un châssis mécano-soudé.

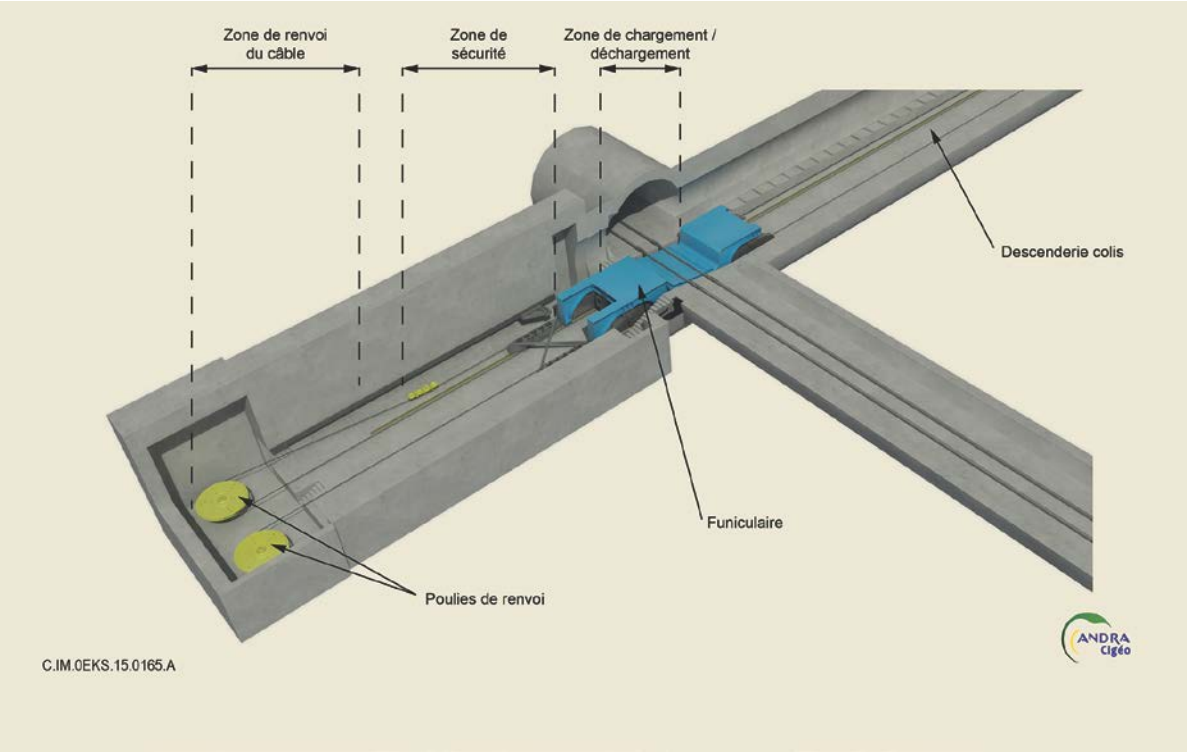


Figure 3.5-6 Aménagement gare aval

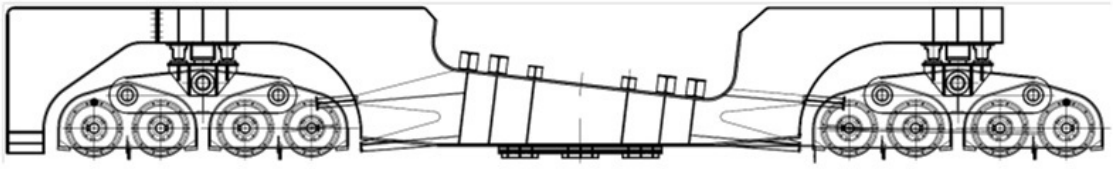
3.5.3.5 Les caractéristiques du véhicule de transfert

Les caractéristiques du véhicule à ce stade, répondant aux conditions de fonctionnement de la section 3.5.3.2 sont les suivantes :

- hauteur (sans hotte) : 2,46 m ;
- longueur : 22,78 m ;
- largeur : 4,50 m ;
- poids à vide : 80 t ;
- poids maximum charge : 210 t.

Les équipements principaux du véhicule sont les suivants :

- la structure du véhicule ;
- les balanciers de roues (roues porteuses et roues de guidage) ;
- le Frein d'Arrêt d'Urgence (FAU) ;
- le Frein d'Arrêt d'Ultime Secours (AUS) ;
- les systèmes d'anti-soulèvement ;
- le système de maintien de la hotte ;
- les déviateurs de câble ;
- les poulies de synchronisation ;
- les batteries.



C.IM.ADPC.16.0001.A

Figure 3.5-7 Vue partielle du profil du véhicule

Structure du véhicule et balanciers de roues

Le véhicule se compose d'un châssis mécano-soudé, métallisé et peint, équipé de seize roues d'un diamètre proche de 900 mm, de deux types différents, réparties sur des balanciers montés sur des vérins sustentateurs :

- huit roues guidées, ou de guidage, situées sur le premier rail, assurent le positionnement du véhicule sur la voie ;
- huit roues planes, ou porteuses, situées sur le second rail, permettent de rattraper les éventuelles variations d'écarts de voie.

Des pièces d'anti-soulèvement empêchant le déraillement du véhicule sont également solidaires des balanciers de roues. Un anti-dérailleur se trouve entre chaque balancier simple.

Hormis le châssis, tous les éléments du véhicule sont constitués d'acier galvanisé.

Freins du véhicule : Frein d'Arrêt d'Urgence (FAU) et Frein d'Arrêt d'Ultime Secours (AUS)

Le véhicule de transfert est muni de deux types de freins qui se déclenchent dans le cas où les freins des motrices ne parviennent pas à ralentir suffisamment le véhicule. Ce sont les suivants :

- les FAU, de type freins à mâchoires. Un jeu de huit pinces est réparti sur deux chariots de freinage placés à l'aval du véhicule ;
- l'AUS, de type freins par affaissement. Ils sont disposés au-dessus des rails, directement solidaires du châssis du véhicule. Ce dernier repose sur quatre vérins hydrauliques porteurs, à raison d'un vérin par coin du véhicule, au niveau des portées.

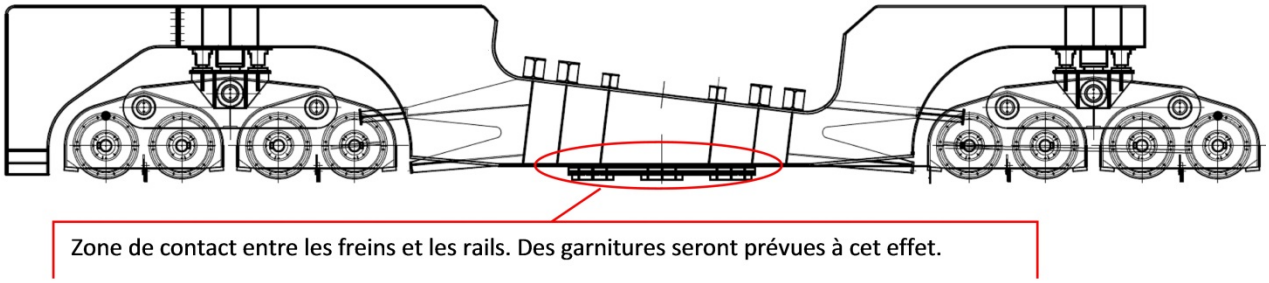


Figure 3.5-8 Localisation de l'AUS sur le véhicule

Les systèmes de freinage sont fondés sur le principe du « frein à sécurité positive ». Lorsqu'ils ne sont pas alimentés en énergie hydraulique, les freins s'enclenchent automatiquement. Les freins et les vérins sustentateurs du véhicule sont alimentés par les centrales de commande et de distribution hydraulique situées à proximité des chariots de freinage. La puissance hydraulique est assurée par un moteur, et une pompe à commande manuelle est prévue en cas d'avarie de la pompe ou de perte de la pression dans le circuit hydraulique.

Système de maintien de la hotte

Afin de maintenir la hotte sur le véhicule, un système de verrouillage quart de tour est installé sur la plateforme du véhicule. Quatre verrouillages sont prévus, un pour chaque pied de la hotte. Ce système est dimensionné pour tenir sous l'effet des décélérations maximales du véhicule et également pour le Séisme Majoré de Sécurité (SMS).

Poulies de synchronisation et déviateurs de câble

Les poulies de synchronisation du véhicule font le lien entre le câble et le véhicule, mais ne sont pas fixées à celui-ci en rotation, et permettent l'entraînement du véhicule dans tous les cas.

Batteries et coffrets électriques

Les freins ainsi que l'ensemble des équipements électriques du véhicule sont alimentés par un réseau de batteries embarquées d'une autonomie de 12 heures placées dans deux coffrets à l'amont du véhicule. Cela permet une autonomie en énergie du véhicule lors de ses phases de descente et de remontée.

Ces batteries sont rechargées de deux façons :

- lors du stationnement en gare et en zone de maintenance, par un système de rails multiconducteurs ;
- lors des phases de transfert, grâce à quatre alternateurs placés sur quatre roues différentes du véhicule, ce qui permet un rechargement continu et complémentaire des batteries. Chaque alternateur est dédié à une ligne de distribution électrique embarquée. Un cinquième alternateur, utilisé en secours, est placé sur une cinquième roue différente.

Il est possible d'alimenter le véhicule à l'arrêt de façon alternative à l'aide de rallonges :

- en zone de maintenance, afin de travailler en sécurité à proximité du rail d'alimentation ;
- en cas de blocage du véhicule dans la descenderie pendant une période supérieure à 12 heures un câble d'alimentation permet de connecter manuellement les batteries à des prises électriques (230 Volts alternatif) placées régulièrement le long de la descenderie (tous les 100 m environ), afin de les recharger.

A proximité des batteries sont placés des coffrets électriques qui gèrent l'ensemble de l'alimentation des systèmes électriques du véhicule. Ces coffrets ainsi que les batteries sont éloignés au maximum de la hotte.

3.5.3.6 La motrice

Les équipements principaux de la motrice sont les suivants :

- la structure ;
- le treuil principal ;
- les poulies motrices ;
- les poulies et galets de déviation ;
- les freins de service ;
- les freins de secours.

L'ensemble des éléments formant la motrice sont fixés sur des châssis mécano-soudés, eux-mêmes fixés sur le génie civil à l'aide d'ancrages.

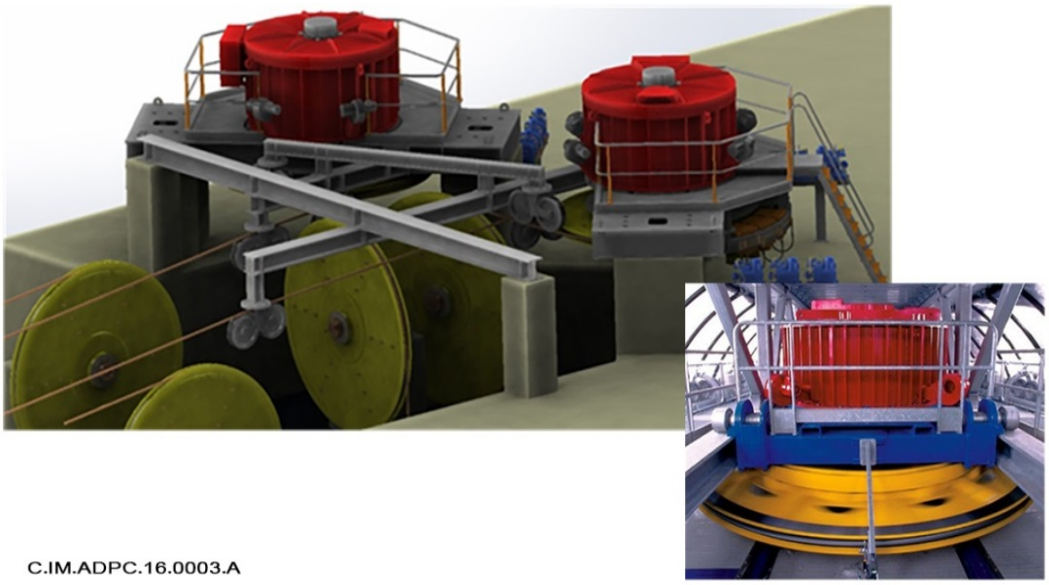


Figure 3.5-9 Implantation des motrices

Du fait de l'utilisation d'une boucle mouflée, l'entraînement est réalisé de manière redondante par deux poulies motrices. Chacune est entraînée par un treuil principal qui est constitué d'un moteur lent sans réducteur (direct drive) dont l'arbre en sortie entraîne directement la poulie motrice. Les poulies ont également une redondance d'axe réalisée par un montage de fourreaux redondés. En cas de perte du fourreau extérieur, la reprise de la tension et de la rotation est assurée par le fourreau interne qui n'est pas directement en contact avec l'arbre moteur.

La déviation du câble avant l'arrivée sur les poulies motrices est assurée par des poulies de déviation, en amont desquelles sont placés des galets de déviation.

C.IM.ADPC.16.0004.A

Figure 3.5-10 Anti dérailleur

Par ailleurs, des anti-dérailleurs sont placés notamment en entrée et sortie des poulies afin d'empêcher de manière mécanique que le câble sorte de la gorge des poulies. Ils sont fixés sur le châssis des poulies motrices et des poulies de déviation.

Enfin, les freins de service et les freins de secours sont des freins hydrauliques de type freins à pinces. Comme les freins du véhicule, ils sont à sécurité positive. Ils sont disposés autour des deux poulies motrices, à raison de trois freins à pinces constituant les freins de service et de trois freins à pinces constituant les freins de secours, soit douze freins à pinces au total (service et secours). Chaque ensemble de trois pinces (freins de service ou frein de secours) est alimenté par une centrale hydraulique, soit quatre centrales hydrauliques au total.

C.IM.ADPC.16.0005.A

Figure 3.5-11 Frein de pince

3.5.3.7 Les appareils électriques dans les liaisons surface-fond

Equipements de puissance / équipements électriques

Les équipements électriques sont situés dans des locaux dédiés dont une partie est implantée en zone amont entre la tête de descenderie et les installations de surface.

Ces locaux sont composés de :

- deux salles contenant les équipements de puissance alimentant les deux machineries ;
- deux salles contenant les Tableaux Généraux Basse Tension (TGBT) ;
- deux salles contenant les deux transformateurs de puissance ;
- deux salles contenant les distributions électriques et les systèmes d'information et de communication associés ;
- deux salles contenant les équipements liés à la transmission de données (réseau de communication Point à Point : PP) et aux systèmes « Process » (BAR-1, BAR-2 et BAR-3) avec un échange d'information en logique câblée (LC). Chaque chaîne est dans une salle dédiée : salle A1 et salle B1 ;
- deux salles contenant les équipements liés à la transmission de données (réseau de communication Radio Haut-débit : RC) et aux systèmes « Process » (BAR-1, BAR-2 et BAR-3) avec un échange d'information en logique programmée de sécurité (LP). Chaque chaîne est dans une salle dédiée : salle A2 et salle B2 ;
- la salle de conduite locale (SCL), qui centralise la totalité des informations et des commandes relatives au système de « transfert incliné » et permet de commander à distance le transfert incliné en cas d'indisponibilité de la salle de conduite centralisée (SCC). La SCL est utilisée initialement pour la mise en route des tests du transfert incliné.

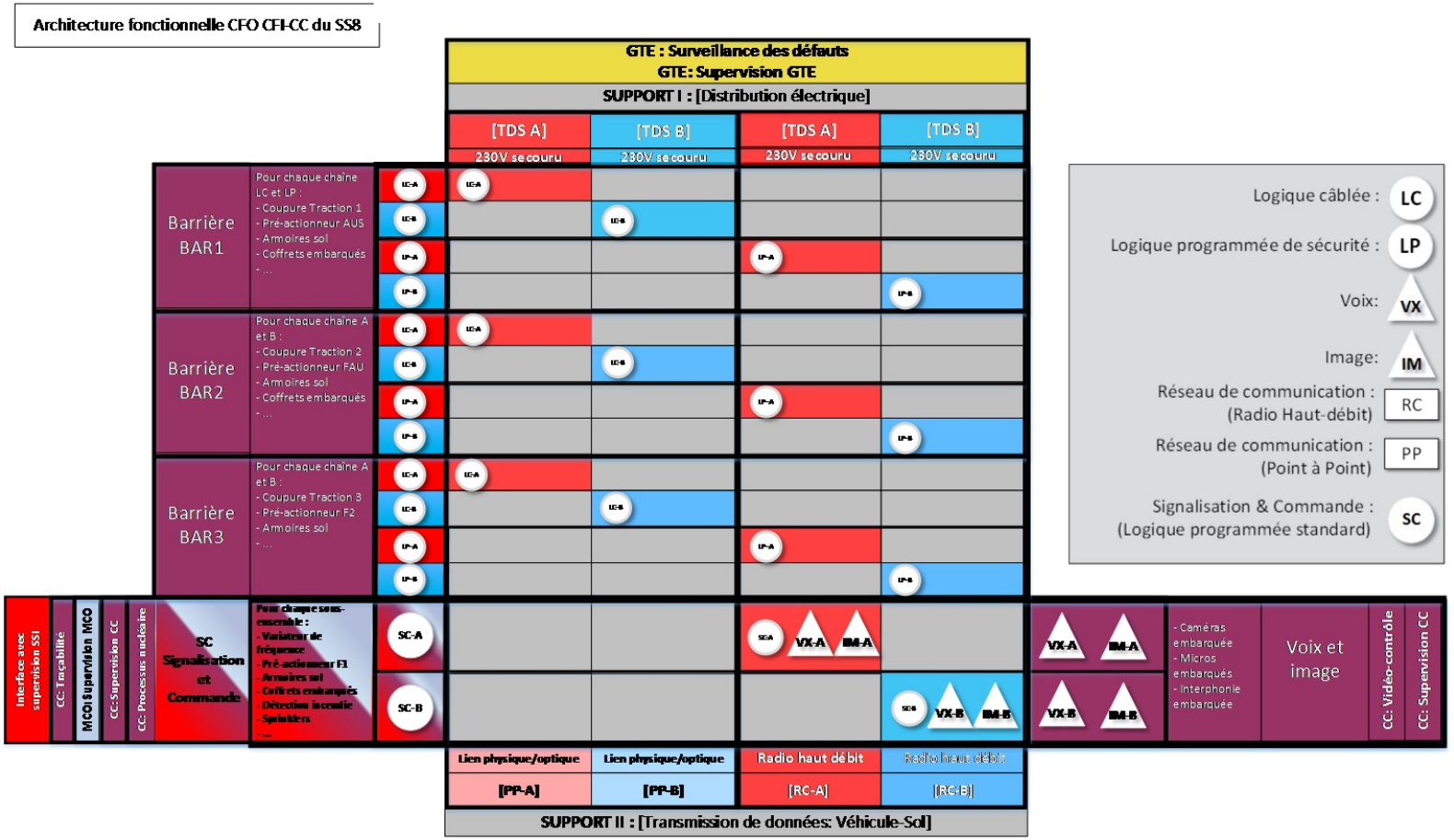
Les locaux électriques de la gare aval sont composés de :

- deux salles contenant les distributions électriques et les systèmes d'information et de communication associés ;
- deux salles contenant les équipements liés à la transmission de données (réseau de communication Point à Point : PP) et aux systèmes « Process » (BAR-1, BAR-2 et BAR-3) avec un échange d'information en logique câblée (LC). Chaque chaîne est dans une salle dédiée : salle A1 et salle B1 ;
- deux salles contenant les équipements liés à la transmission de données (réseau de communication Radio Haut-débit : RC) et aux systèmes « Process » (BAR-1, BAR-2 et BAR-3) avec un échange d'information en logique programmée de sécurité (LP). Chaque chaîne est dans une salle dédiée : salle A2 et salle B2.

A noter que les armoires d'alimentation électrique « au sol » sont placées dans des locaux secteurs feu.

Matrice Support/Process/Information et communication

La matrice présentée ci-après, permet de définir les systèmes support utilisés par les systèmes Process et Information et Communication, ainsi que les principes de redondance.



C.IM.ADPC.16.0006.A

Figure 3.5-12 Matrice/Support/Process/Information et Communication

Chaque système Support dispose d'une partie distribution électrique [TDS] (basse tension) permettant d'alimenter les différentes barrières de sécurité [BAR] du process et d'une partie transmission de données [PP]/ [RC] permettant la transmission de données entre les systèmes embarqués du véhicule et les différents postes de contrôle.

Les systèmes Support (incluant les deux distributions électriques et les quatre transmissions de données) sont indépendants entre eux, quelle que soit leur localisation (gare amont, gare aval, voie, véhicule). Ceci permet notamment de minimiser les modes communs.

Les alimentations de puissance et de contrôle-commande sont séparées, ce qui explique que la machinerie n'est pas représentée sur cette matrice.

Alimentation machinerie

La solution de distribution électrique mise en place utilise deux alimentations électriques 230 V minimum chacune, qui permettent d'alimenter les moteurs lents, les variateurs de fréquence et leurs auxiliaires.

Les moteurs des motrices sont alimentés par des sources distinctes. Chaque moteur possède son transformateur de puissance dédié. Ces transformateurs bénéficient d'une alimentation secourue. Cependant, la liaison surface-fond ne possède pas ses propres groupes électrogènes.

Chaque alimentation est prévue pour pouvoir alimenter les deux moteurs lents simultanément, via une liaison pilotée, en cas de défaillance de la seconde alimentation.

A noter que ces alimentations peuvent renvoyer l'énergie de freinage produite par les moteurs sur le réseau. Dans le cas où cette puissance ne pourrait pas être absorbée par le réseau d'alimentation, des résistances de freinage sont prévues pour dissiper cette énergie.

Alimentation en gare amont et en gare aval

La gare amont et la gare aval sont chacune alimentées par deux alimentations, une par distribution [TDSA] et [TDSB]. Il n'est pas prévu de liaison de secours entre ces distributions.

Alimentation en voie

Les alimentations en voie doivent permettre d'alimenter les différents relais des systèmes de transmission de données, et les points de connexion des alimentations par rallonge du véhicule. A ce stade, ces alimentations ne sont pas encore définies.

Alimentation dans les salles de commande

Les armoires relevant du périmètre LSF sont placées dans la SCC, et la SCL, elles nécessitent des alimentations. A ce stade, elles ne sont pas définies.

3.5.3.8 Equipements de contrôle-commande

L'ensemble de l'architecture de contrôle et de commande du système de « transfert incliné » est découpé en trois parties :

- les Barrières Technologiques (BAR) qui sont en charge de la chaîne d'acquisition et de traitement des données ;
- le Contrôle Commande (CC) qui récupère les informations délivrées par chacune des barrières et délivre les informations affichées sur l'Interface Homme-Machine (IHM) ;
- Les Interfaces Homme-Machine (IHM) qui, grâce aux écrans, permettent à l'opérateur de visualiser les informations en provenance des BAR et du CC. Les IHM sont situées en Salle de Conduite Centralisée (Poste de Conduite Centralisé dédié aux opérations du transfert incliné) et en salle de conduite locale (pupitres situés en tête de descenderie d'exploitation). Des inter-verrouillages entre ces 2 lieux de conduite potentiels sont réalisés afin de supprimer tout risque de double commande.

- **L'Interface Homme-Machine**

Selon les postes d'Interface Homme-Machine (IHM), les possibilités de l'opérateur seront différentes. La détection d'un phénomène anormal entraîne une signalisation sur un poste d'IHM. La répartition des signalisations suivant les postes d'IHM n'est pas encore définie à ce stade du projet.

- **Tension**

Du fait de l'utilisation d'une boucle mouflée, deux poulies de tension (une sur chaque côté) sont nécessaires pour générer une tension suffisante dans le câble afin d'assurer son adhérence avec les poulies motrices.

Afin de mettre en tension le câble, un contrepoids en métal de 26,5 t est suspendu à chaque poulie de tension. Il translate verticalement dans la fosse de tension lui permettant une course d'environ 12 m :

- 5 m sont prévus pour la course fonctionnelle du câble (variation élastique du câble) ;
- 7 m sont prévus pour pallier l'allongement permanent du câble dû à son vieillissement.

Le guidage de chaque contrepoids est assuré par un système de translation vertical fixé dans la fosse.

- **Équipements de gare**

Du fait de l'utilisation d'une boucle mouflée, deux poulies retour sont placées en gare aval pour permettre le renvoi du câble soit vers la gare amont, soit vers la poulie de synchronisation aval du véhicule. Elles sont fixées sur la structure retour qui, comme celle de la gare amont, est mécano soudée et fixée au génie civil.

Afin de guider la position du câble au niveau des poulies retour, des galets de déviation, équipés de dispositifs d'anti déraillement du câble, sont mis en place.

Au niveau de chaque gare, sont installés des butoirs de fin de voie escamotables. Ils permettent :

- de positionner le véhicule sur la voie pour les phases de chargement/déchargement de la hotte ;
- d'amortir l'arrivée du véhicule ;
- de garantir le maintien en position du véhicule lors des phases de chargement/déchargement ;
- de permettre une translation verticale du véhicule par rapport à la voie (lors des phases de chargement/déchargement) ;
- de laisser passer le véhicule en gare amont (pour aller en zone de maintenance) ;
- d'arrêter le véhicule en cas de survitesse accidentelle lors de son entrée en gare (jusqu'à 3 m/s) avec une décélération inférieure à 1 g. Le dimensionnement des butoirs est présenté dans la note.

Par ailleurs, dans chaque gare, pour les opérations de chargement/déchargement, la continuité entre le quai et le véhicule est assurée par un système de rails pivotants indépendants et biseautés à 45° qui basculent sur le véhicule une fois celui-ci arrêté en gare. Le fait de biseauter les rails permet de rattraper le jeu latéral du véhicule.

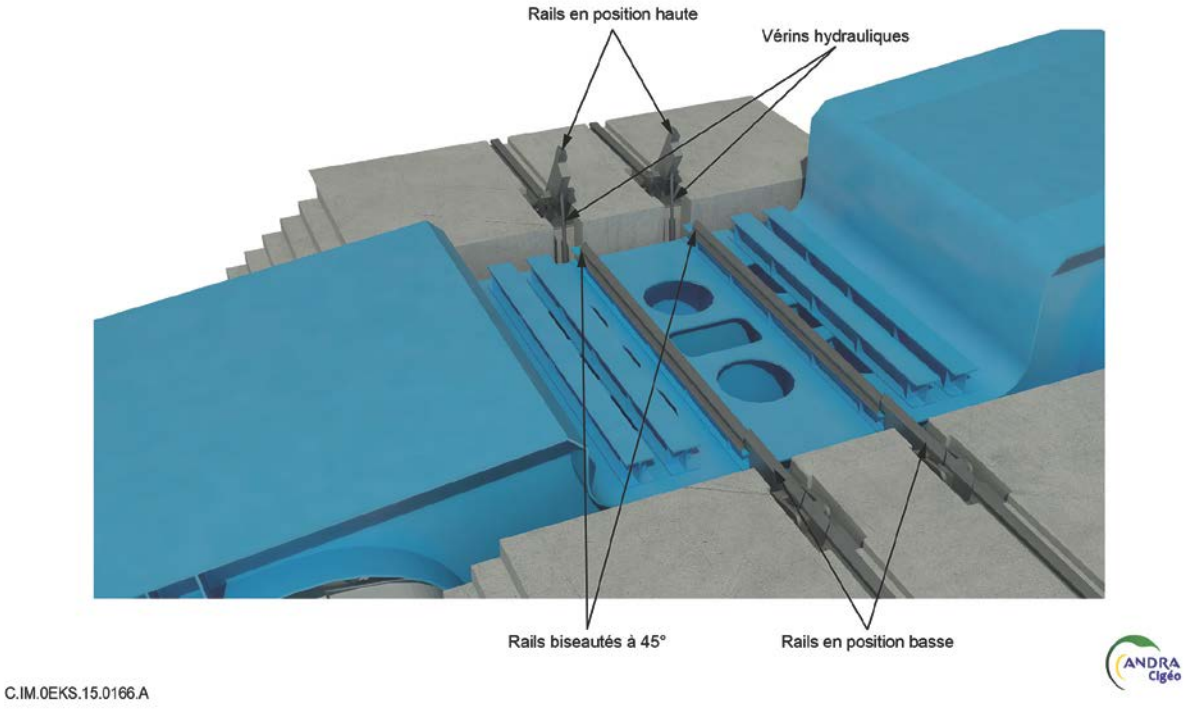


Figure 3.5-13 Configuration du système de continuité quai/véhicule

- **Moyens de soutien**

Le véhicule de montage utilisé lors de l'installation de la zone de renvoi en gare aval est utilisé pour la maintenance de cette même zone. Ce véhicule de maintenance est stocké dans la zone de maintenance, à côté de la voie, lorsqu'il n'est pas utilisé. Un bras de grue hydraulique modulaire peut être monté sur ce véhicule afin de réaliser des opérations de maintenance sur la voie et en gare aval. Lors de son utilisation en phase de maintenance, le véhicule de maintenance est rattaché en aval du véhicule de transfert. L'effort de traction est alors supporté par le véhicule de transfert.

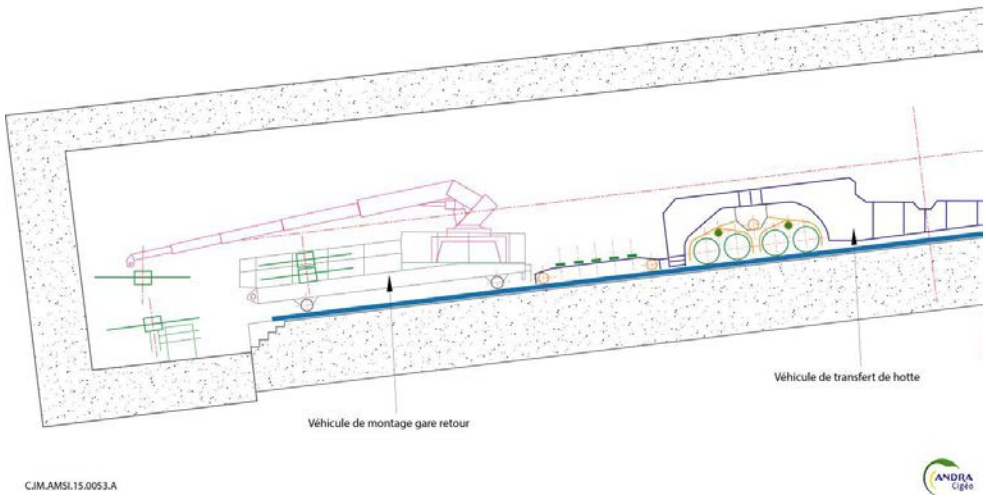


Figure 3.5-14 Véhicule de maintenance en zone de renvoi

3.5.4 Les liaisons surface-fond en « zone puits »

La « zone puits » comprend des liaisons par puits entre l'installation de surface et l'installation souterraine. Les puits desservent indépendamment les zones de soutien logistique travaux et exploitation. Certains puits sont dédiés au transfert du personnel ou du matériel tandis que d'autres sont uniquement dédiés à la ventilation. Ils sont réalisés pendant la tranche T1.

La « zone Puits comprend » :

- puits de la zone exploitation (implantés dans la zone de soutien logistique exploitation) :
  - ✓ 1 puit dédié au transfert du personnel « exploitation » et à l'apport d'air frais (VFE) ;
  - ✓ 1 puit dédié au retour d'air vicié en zone exploitation (VVE) ;
  - ✓ 3 puits optionnels (puits ventilation air vicié HA (V-HA), puits scellement (S) et puits colis (C).
- puits de la zone travaux (implantés dans la zone de soutien logistique travaux) dédiés :
  - ✓ au transfert du personnel « travaux » et à l'apport d'air frais (VFT) ;
  - ✓ à l'apport et à l'évacuation des matériels et matériaux de construction (MMT) ;
  - ✓ au retour d'air vicié en zone travaux (VVT).

La hauteur totale des puits varie de 510 à 550 m. La section est circulaire de diamètre utile variant de l'ordre de 6 à 8 m selon le puits (en fin d'APS). Le dimensionnement des ouvrages est réalisé à partir des flux transitant sur la durée d'exploitation et de fermeture du stockage.

Un schéma de ventilation, incluant le fonctionnement des puits est présenté à la section 3.5.13.2 .

Les puits sont creusés après le passage des premiers mètres de terrain altéré, de façon traditionnelle à l'explosif. La possibilité de variantes de méthodes de creusement est toutefois étudiée. Le creusement traditionnel consiste à creuser un puits borgne en descendant à partir de planchers de travail mobile, à un ou plusieurs niveaux, suspendus depuis la surface à des câbles accrochés à un chevalement. Un système de treuils et câbles permet la mobilité de ce plancher, ainsi que de l'ensemble des équipements installés en puits (cuffats, ascenseur personnel, éclairage…). Ces principes ont déjà été utilisés pour foncer les puits du Laboratoire souterrain du Centre Meuse Haute-Marne.

Dans les formations de couverture, le revêtement est en béton. Dans le Callovo-Oxfordien, le revêtement est en béton, mais un matériau compressible[49] pourra être placé entre le revêtement et le terrain.

Les puits sont conçus étanches dans l'aquifère du Barrois. Dans les autres formations de couverture (Kimméridgien et calcaires de l'Oxfordien) un revêtement permet de résister à la pression hydrostatique. Une étanchéité est réalisée à la base des calcaires de l'Oxfordien (au toit des argilites). Les éventuelles venues d'eau sont collectées.

La figure ci-après représente les puits qui permettent d'accéder dans les zones logistiques travaux et exploitation. Les deux zones sont physiquement séparées au fond.

[49] Ce matériau compressible permettrait de mettre en place directement le revêtement, tout en bénéficiant d'une réduction de l'épaisseur du revêtement en béton (rigide) et de diminuer le temps d'attente opérationnel entre soutènement et revêtement.

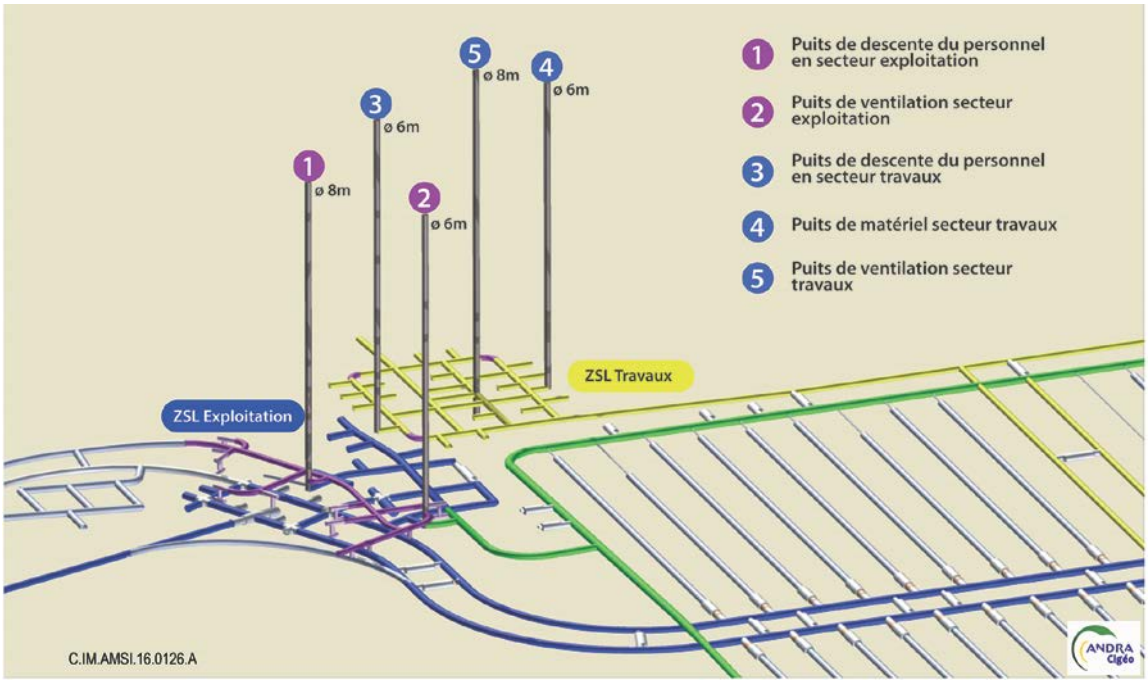


Figure 3.5-15 Les puits dans les zones de soutien logistique (vue à fin APS)

3.5.5 Les fonctionnalités et équipements en puits (à fin APS)

3.5.5.1 Puits Ventilation air Frais Exploitation (VFE)

Le puits Ventilation air Frais Exploitation (VFE) est exclusivement dédié à l'exploitation et permet :

- de transférer le personnel des installations de surface conventionnelles vers la Zone de Soutien Logistique (ZSL) ;
- de ventiler et d'alimenter en air frais les ouvrages souterrains par des unités de ventilations situées en surface.

Le puits VFE est localisé en surface dans la Zone d'Exploitation et en souterrain dans la zone de Soutien Logistique (ZSL) en Exploitation.

- des sas sont mis en place dans le puits afin d'assurer l'étanchéité des bâtiments de surface et de limiter les fuites ;
- une cage principale (cabine) de 20 personnes est installée ainsi qu'une cage de secours de 8 personnes en cas d'incident ;
- une machinerie destinée au levage est implantée dans un bâtiment situé au niveau du sol, sans tour apparente (système de chevalement) ;
- un bâtiment de surface permettant d'accueillir le personnel d'exploitation, d'intégrer une usine de ventilation (5 unités de ventilation) et d'implanter des locaux techniques est associé au puits.

3.5.5.2 Puits Ventilation air vicié Exploitation (VVE)

Le puits Ventilation air vicié Exploitation (VVE) est exclusivement dédié au retour d'air vicié en zone d'exploitation par mutualisation des flux d'air issus de la ventilation souterraine d'ambiance réputée « propre » (classement C1) et de la ventilation des alvéoles et cellules de manutention MA-VL (classement C2) filtré avant rejet. Le puits est connecté aux unités de ventilation de surface.

Le puits VVE est localisé en surface dans la Zone d'Exploitation et en souterrain dans la zone de Soutien Logistique en Exploitation

3.5.5.3 Puits Ventilation air Frais Travaux (VFT)

Le puits Ventilation air Frais Travaux (VFT) est exclusivement dédié à l'activité travaux de l'installation souterraine et permet :

- de transférer le personnel des installations de surface conventionnelles vers la Zone de Soutien Logistique travaux ;
- de ventiler et d'alimenter en air frais les ouvrages souterrains en travaux par des unités de ventilations situées en surface.

Le puits VFT est localisé en surface dans la Zone d'accès des Puits Travaux et en souterrain dans la Zone de Soutien Logistique Travaux.

- une cage principale (cabine) de 50 personnes est installée ainsi qu'une cage de secours de 8 personnes en cas d'incident ;
- une machinerie destinée au levage des cabines est implantée dans un bâtiment situé au niveau du sol, sans tour apparente ;
- un bâtiment de surface permettant d'accueillir les personnels travaux d'intégrer les 4 unités de ventilation et d'implanter des locaux techniques est associé au puits.

3.5.5.4 Puits Ventilation air Vicié Travaux (VVT)

Le puits Ventilation air Vicié Travaux (VVT) est exclusivement dédié à l'extraction d'air vicié des galeries en activité travaux. Le puits est connecté aux unités de ventilation en surface.

Le puits VVT est localisé en surface dans la Zone d'accès des Puits Travaux et en souterrain dans la Zone de Soutien Logistique Travaux.

- le puits ne possède pas de moyen de levage mais les inspections sont assurées par un camion-grue avec nacelles ;
- un bâtiment de surface dédié au système de ventilation (4 unités de ventilation) est associé au puits.

3.5.5.5 Puits Matériels Matériaux Travaux (MMT)

Le puits Matériels Matériaux Travaux (MMT) est essentiellement dédié à l'activité travaux et permet :

- de transférer les équipements, les matériels et matériaux pour les travaux et équipements encombrants du process nucléaire ;
- d'acheminer vers la surface les déblais issus des excavations.

Le puits MMT est localisé en surface dans la Zone d'accès des Puits Travaux et en souterrain dans la Zone de Soutien Logistique en Travaux.

- les matériels et matériaux entrants sont transférés par une cage nécessaire aux transferts de charges importantes tels que les toupies à béton, les équipements, et les moyens de manutention. La capacité de charge de la cage est de 30 tonnes ;
- les flux de déblais travaux sortants sont extraits par le puits MMT via un skip d'extraction d'une capacité estimée à 2850 m^3/jour. La charge utile du skip est voisine de celle de la cage (environ 30 tonnes) ;
- une cage de secours de 8 personnes est installée en cas d'incident ; elle permet aussi d'effectuer les opérations de maintenance du puits ;
- une machinerie destinée au skip et au levage des cabines est implantée dans un bâtiment avec une tour métallique ;
- un bâtiment de surface intégrant un chevalement (60 m de hauteur) et un bâtiment technique est associé au puits.

3.5.6 Les zones de soutien logistique dans l'installation souterraine

Deux zones distinctes de soutien logistique assurent un appui logistique aux travaux de construction des ouvrages et à l'exploitation du stockage. Le dimensionnement des ouvrages est réalisé pour

répondre aux fonctionnalités de transit des flux sur la durée d'exploitation et de fermeture du stockage. La réalisation de ces ouvrages est faite majoritairement dès la première tranche de travaux. Cependant, des aménagements associés à des retours d'expérience/progrès et optimisations sont envisageables au cours des différentes phases de vie du stockage.

Les galeries sont excavées par la méthode conventionnelle (MAP). La stabilité de ces galeries pendant la durée d'exploitation de 150 ans est assurée par un soutènement souple. N'étant pas dédiées à la circulation du process, elles ne nécessitent pas un maintien strict de leur gabarit interne.

3.5.6.1 La zone de soutien logistique travaux

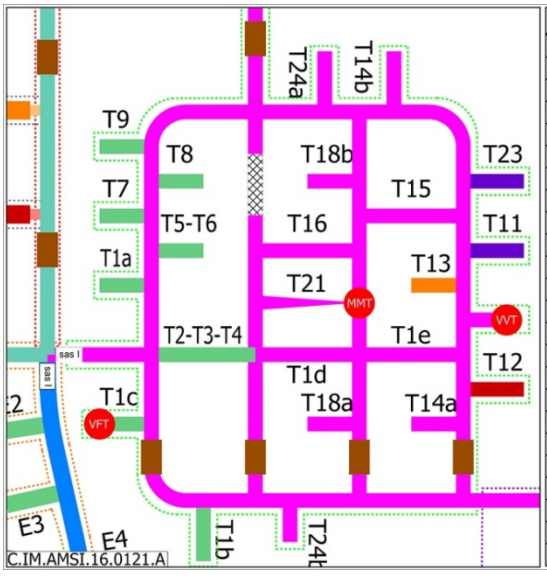
Cette zone permet le transit des flux entrants destinés à la construction des ouvrages : matériaux, matériels, équipements, et réseaux (électriques et aérage) et des flux de matériaux sortants (marinage) et des flux associés aux locaux et dispositions d'intervention et de secours. Elle comprend les puits travaux qui sont connectés par l'intermédiaire de la zone de soutien logistique aux zones travaux de stockage MA-VL et HA.

Les locaux de la zone de soutien logistique répondent aux fonctionnalités :

- stockage véhicules/matériel ;
- maintenance ;
- électriques : CFI, CFO, HT/BT ;
- zone vie et secours.

Les galeries sont excavées par la méthode conventionnelle (MAP). La stabilité de ces galeries pendant la durée d'exploitation de 150 ans est assurée par un soutènement souple. N'étant pas dédiées à la circulation du process, elles ne nécessitent pas un maintien strict de leur gabarit interne. Les sections de galerie sont dimensionnées aux dimensions des flux. Le dimensionnement conduit à un diamètre utile des ouvrages inférieur à la dizaine de mètres. Les intersections pouvant être de dimension légèrement supérieure.

La ventilation de la zone de soutien logistique travaux est assurée par une amenée d'air par le puits VFT (entrée d'air et transfert personnel) (Cf. 3.5.13.2). La zone de soutien logistique dessert en air frais la partie supérieure des galeries travaux vers les activités de travaux des quartiers de stockage. Le retour d'air se fait en pleine section vers le puits VVT (retour d'air travaux dans la zone de soutien logique).



Locaux de la ZSL TRAVAUX	
T1a/T1b	Local véhicules Personnel/Travaux
T1c	Local véhicules visite
T1d/T1e	Galerie garage véhicule chantier
T2	Zone stockage véhicules évacuation
T3	Zone stockage véhicules incendie
T4	Zone stockage véhicules pompiers
T5	Poste de secours
T6	Niche de secours
T7	Zone vie bureau
T8	Zone vie réfectoires
T9	Zone vie sanitaires
T11	Local Stockage Air/Gaz
T12	Local HT/BT CFO
T13	Local CFI
T14a/T14b	Local maintenance petit matériel
T15	Local maintenance gros matériel
T16	Local déchets de construction
T18a/T18b	Stockage tampon soutènements
VFT	Puits ventilation air frais/personnel/travaux/secours
MMT	Puits travaux matériel/matériaux
VVT	Puits ventilation vicié travaux
T21	Trémie d'accès au puits MMT
T23	Local carburant
T24a/T24b	Aire de lavage

Figure 3.5-16 Vue en plan de la zone de soutien logistique travaux (illustration fin APS)

3.5.6.2 La zone de soutien logistique exploitation

Cette zone permet le transit des flux entrants d'exploitation des alvéoles de stockage en phase d'exploitation, maintenance, jouvence et fermeture : colis, matériels, équipements et réseaux (électriques et aérage), des flux de matériaux en phase de maintenance et de fermeture et des flux associés aux locaux et dispositions d'intervention et de secours. Elle comprend les puits et descenderies exploitation qui sont connectés par son intermédiaire aux zones d'exploitation de stockage MA-VL et HA.

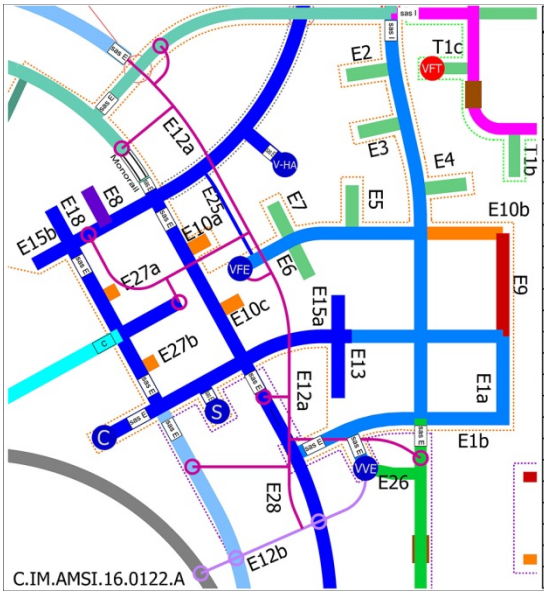
Les locaux de la zone de soutien logistique exploitation répondent aux fonctionnalités :

- circulation du process ;
- stockage véhicules/matériel ;
- Maintenance ;
- électriques : CFI, CFO, HT/BT ;
- ventilation : un plénum, situé sur un niveau supérieur aux galeries de la zone exploitation, permet de gérer par soufflage la ventilation des galeries des différents quartiers. sur la base d'une connexion au puits d'air neuf exploitation, Il assure le soufflage de 9 antennes (Cf. :3.5.13.2: La ventilation) :
  - ✓ soufflage de la galerie de liaison MA-VL Nord ;
  - ✓ soufflage de la galerie de liaison MA-VL Sud ;
  - ✓ soufflage des galeries de retour d'air MA-VL Nord et Sud ;
  - ✓ soufflage des cheminements protégés des galeries de retour d'air ;
  - ✓ soufflage de la ZSL exploitation ;
  - ✓ soufflage de la descenderie colis et de la gare basse ;
  - ✓ soufflage de la descenderie de service et de la zone des ouvrages témoins ;
  - ✓ soufflage de la galerie évacuation /secours du quartier HA ;
  - ✓ soufflage de la galerie de liaison exploitation et des galeries d'accès du quartier HA.

A noter que l'air vicié de l'installation souterraine converge vers le puits d'air vicié exploitation (VVE) afin d'être rejeté en surface. L'air vicié est acheminé vers le puits VVE à l'aide d'un réseau d'extraction implanté en voûte des galeries. Dans le cas du quartier MA-VL, les différents réseaux d'extraction sont directement raccordés au puits VVE au moyen du plénum d'extraction.

Les galeries de la zone de soutien logistique exploitation sont creusées au tunnelier pour la galerie de liaison réalisée dans le prolongement de la descenderie de service, par la méthode conventionnelle pour les autres galeries.

Les sections de galerie sont dimensionnées aux dimensions des flux. Le dimensionnement conduit à un diamètre utile des ouvrages inférieur à la dizaine de mètres, les intersections pouvant être de dimension légèrement supérieure.



Locaux de la ZSL EXPLOITATION	
E1a	Local véhicules personnel et visite
E1b	Local véhicules maintenance GRA
E2	Local véhicules évacuation personnel
E3	Local véhicules extinction feu
E4	Local véhicules pompier
E5	SPR Poste de secours
E6	Niche de secours
E7	Zone vie
E8	Local effluents fluides
E9	Local BT CFO
E10a	Local CFI SS1
E10b/E10c	Local CFI SS4
E12a	Plénum ventilation - Soufflage
E12b	Plénum ventilation - Extraction
E13	Local support process
E15a/E15b	Local stockage matériel SS1
E18	Local tampon hotte
VFE	Puits personnel/ventilation air frais
VVE	Puits ventilation air vicié
V-HA	Puits ventilation air vicié HA (option)
S	Puits / Accès puits scellement (option 2040)
C	Puits / Accès puits colis HA (réserve pour 2075)
E25	Galerie Technique (Câbles)
E26	Local Technique Ventilation
E27a/E27b	Local électricité SS8
E28	Local production eaux glacées

Figure 3.5-17 Vue en plan de la zone de soutien logistique exploitation (illustration fin APS)

3.5.7 Le transfert de la zone de soutien logistique exploitation vers les alvéoles HA et MA-VL

3.5.7.1 Chariot de transfert de fond

Une fois le transfert incliné arrivé en gare basse, la hotte chargée d'un colis de stockage est reprise par un chariot de transfert (chariot de fond). Ce chariot de transfert permet le transfert des hottes depuis la gare basse du transfert incliné jusqu'à l'entrée des galeries d'accès MA-VL et HA.

Ce chariot circule dans les galeries de liaison (GL) et dépose les hottes à l'entrée des galeries d'accès (GA) des alvéoles MA-VL (Cf. 3.5.8). Ces chariots sont de conception différente des navettes : en effet, compte tenu des plus longues distances qu'ils ont à parcourir, leurs armoires électriques sont placées verticalement sur le chariot pour en réduire l'encombrement longitudinal, notamment pour les virages et le passage sur les tables tournantes. Le chariot est alimenté par des rails électriques encaissés dans le radier.

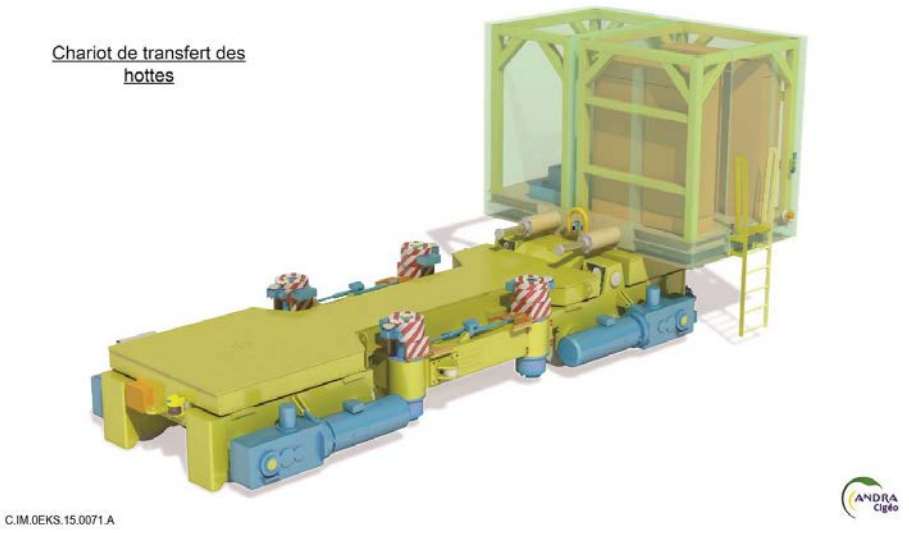


Figure 3.5-18 Chariot de transfert de fond

Le chariot de transfert de fond est principalement constitué :

- d'un châssis porteur réalisé par une structure caissonnée ;
- de deux bogies de translation équipés chacun de quatre galets et des motorisations qui assurent les mouvements de translation ;
- d'un système de freinage par pincement des voies à sécurité positive et d'anti soulèvement/déraillement dimensionné au séisme ;
- d'un système de levage et de sa centrale hydraulique qui permettent le levage de la hotte (suivant Z) et son positionnement dans le plan horizontal (XY) ;
- des armoires électriques et de contrôle-commande, regroupées à l'arrière du châssis ;
- d'un ensemble de capteurs et d'instruments qui permettent la surveillance et le contrôle des différents mouvements et paramètres de fonctionnement du chariot.

Pour respecter les cadences, deux chariots peuvent être en circulation. Un troisième est en attente dans la zone de maintenance en secours.

Les hottes pleines sont déchargées d'un côté du transfert incliné par un premier chariot qui part pour transférer sa hotte pleine pendant que le deuxième chariot dépose une hotte vide sur le transfert incliné avant sa remontée. Ce deuxième chariot se met ensuite en attente de la hotte pleine du cycle suivant.

Principes de conception des chariots

- ***Anti-soulèvements - Anti-déraillements***

De manière à prévenir tout risque de déraillement, le chariot de transfert fond est équipé de quatre systèmes d'anti-soulèvement. Ils sont montés directement sous les sommiers des bogies et disposés entre les galets.

- les doubles joues sur les galets assurent le guidage du chariot sur les rails. La redondance des joues permet de sécuriser cette fonction en cas de rupture d'une joue ;
- les dispositifs d'anti-soulèvement permettent d'assurer la fonction d'anti-déraillement en cas de casse d'un galet par exemple ;
- freinage.

Compte tenu du niveau de fiabilité élevé requis, le système de freinage du chariot repose sur une architecture qui comprend trois niveaux de freinage distincts et complémentaires :

- freinage électrique : ce freinage est principalement utilisé lors des phases de ralentissement et d'arrêt ou lorsque le chariot se déplace en descente. Dans ces configurations les quatre moteurs se comportent en générateurs et renvoient l'énergie récupérée dans le réseau d'alimentation via les variateurs de fréquence ;
- freinage de service : cette fonction est assurée par des freins à disques et à manque de courant intégrés aux moteurs. Ils sont utilisés lors des phases d'arrêt en position du chariot ARH1 et sur détection de défauts dans les séquences d'arrêt de type ARH2 ;
- freinage de sécurité : en cas d'arrêt d'urgence, de survitesse, ou de détection d'obstacle par exemple, le freinage de sécurité de type ARH3 est actionné. Il est réalisé au moyen de deux freins de type pince-rail installés directement sur la structure du bogie arrière. Ces freins sont également utilisés afin de maintenir le chariot en position à l'arrêt (sur une table tournante, sous une hotte, etc.) ;

- ***Amortisseurs de protection des hottes.***

Dans la mesure où le chariot de transfert fond n'est pas traversant, des dispositions sont prises afin de limiter les conséquences d'un impact éventuel d'un chariot vide contre une hotte qui pourrait se produire en cas de défaillance ou de séisme par exemple. Pour ce faire, deux amortisseurs sont installés entre la cellule technique et la hotte.

Les caractéristiques de ces amortisseurs sont :

- présence d'amortisseurs hydrauliques ;
- capacité totale de dissipation : 2 x 55 kN.m (pour une énergie cinétique maximale de 2 x 45 kN.m) ;
- vitesse d'impact maximale : 10 km/h (en GV) ;
- fluide hydraulique : résistant au feu de type HFC (eau-glycol).

3.5.7.2 Voies de roulement

Les voies de roulement des chariots de transfert sont des rails continus en partie courante, avec Interruptions de quelques centimètres au plus, au niveau des singularités (tables tournantes, sas de ventilation et transfert incliné). L'alimentation électrique est faite par rails multiconducteurs situés entre les rails de roulement.

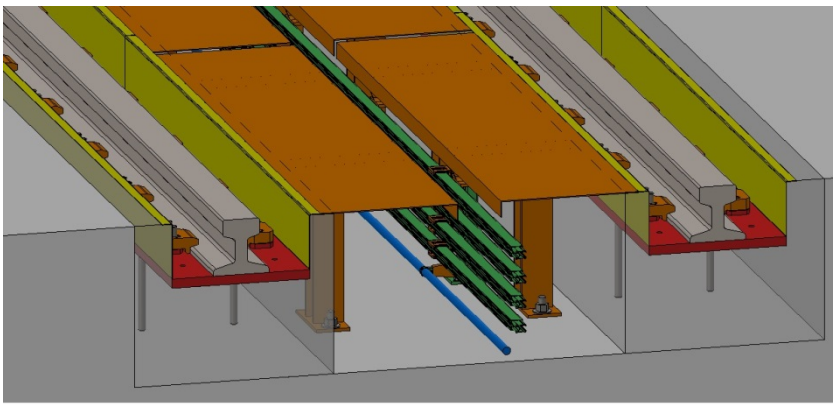


Figure 3.5-19 illustration de voie de roulement

3.5.7.3 Tables tournantes autour de la gare basse du transfert incliné

Afin d'orienter la direction du chariot de transfert (non-traversant), cinq tables tournantes sont présentes autour de la gare basse. Ces tables sont similaires à la table de surface en zone de descenderie. Elles autorisent des rotations de +/-90°. Ces tables permettent l'accès du chariot :

- aux deux galeries de liaison MA-VL ;
- à la galerie de liaison HA ;
- à la zone de maintenance en ZSL ;
- aux deux côtés de la gare basse du transfert incliné.

3.5.7.4 Table tournante ZSL et tables tournantes de rails

Aux intersections entre galerie de liaison et galerie d'accès, les hottes sont déposées par les chariots et reprises par les navettes MA-VL ou HA. Des tables tournantes de rails y sont installées afin de permettre le passage à ces intersections soit du chariot de fond, soit des navettes. Ces tables permettent d'orienter les rails (électriques et porteurs) dans le sens souhaité en supprimant les croisements de rails.

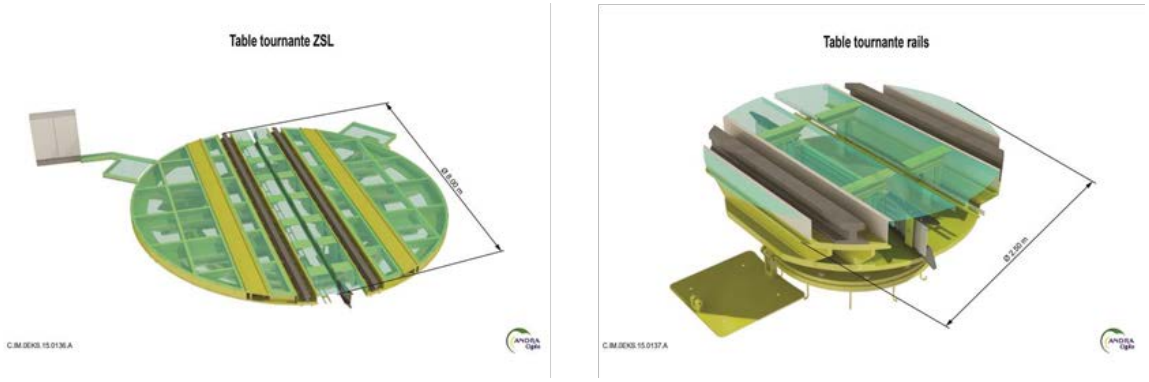


Figure 3.5-20 Tables tournantes dans l'installation souterraine

3.5.8 La zone de stockage MA-VL

La zone MA-VL est connectée aux ZSL travaux et exploitation par des galeries de liaison travaux et exploitation et une galerie de retour d'air. Elle est constituée d'un seul quartier.

3.5.8.1 Principales exigences de conception des alvéoles MA-VL

La conception des alvéoles MA-VL répond notamment aux fonctions et exigences de sûreté notamment en lien avec les objectifs de sûreté après fermeture présentés dans le DOS-AF.

Les exigences de conception sont les suivants :

- optimiser la forme géométrique des alvéoles MA-VL pour minimiser le ratio volume excavé et volume de colis stockés et pour limiter le volume de béton utilisé ;
- assurer la stabilité mécanique des alvéoles MA-VL par un revêtement. Elle doit être assurée sur la période de réversibilité ;
- prendre en compte les contraintes s'exerçant pendant la durée de récupérabilité (Cf. DOREC) pour le dimensionnement mécanique des galeries et des alvéoles MA-VL ;
- concevoir des alvéoles horizontales de stockage des colis MA-VL (une pente maximale de 1% est tolérée pour le process nucléaire). La tolérance acceptée est de +/- 1%, pour tenir compte des aléas de construction et des déplacements / déformations dans le temps ;
- orienter les alvéoles selon la contrainte principale majeure du Callovo-Oxfordien ;
- limiter l'emploi de l'acier pour les composants laissés en place dans les alvéoles après fermeture, s'il n'apporte pas un bénéfice substantiel vis-à-vis des fonctions de sécurité de l'exploitation, de sûreté après fermeture, de réversibilité ou de d'économie du projet ;
- réaliser des alvéoles MA-VL témoins représentatives des autres alvéoles de même type : le nombre d'alvéoles témoins dépendra du nombre de types différents d'alvéoles prévues en première tranche ;
- limiter la section excavée maximale à 65 m² (avec une tolérance) pour les alvéoles mises en exploitation en T1. Ce point évoluera suite aux études de justification de conception d'alvéole de dimensions supérieures, notamment avec la réalisation d'un démonstrateur d'alvéole de grande dimension (prévue en phase industrielle pilote) ;
- les alvéoles MA-VL seront espacées d'une distance équivalente à 5 diamètres (distance extérieure entre deux alvéoles) pour limiter les perturbations mécaniques (en fin d'APS). Ce point fera l'objet d'études visant à diminuer cette distance en APD, sachant que la distance minimum pour limiter l'interaction physico-chimique des alvéoles contenant des complexants et des sels sur les autres alvéoles est de 30 mètres ;
- les alvéoles de stockage des déchets seront dimensionnées pour que la température de l'air y reste en permanence inférieure à 50°C ;
- éviter l'utilisation de boulons creux (de type « Swellex » ou « split-set » par exemple) si l'usage de boulons radiaux est nécessaire lors de la construction des tronçons de galeries destinés à recevoir des scellements et des alvéoles.

Les principaux éléments pris en compte pour dimensionner les alvéoles MA-VL sont :

- l'environnement du milieu géologique :
  - ✓ chargement mécanique de l'alvéole ;
  - ✓ échanges hydriques entre les argilites et l'alvéole ;
  - ✓ aléa sismique.
- les conditions de ventilation (avant fermeture) ou non (après fermeture) et leurs conséquences sur les processus mis en jeu :
  - ✓ processus thermiques : cycles thermiques transportés par la ventilation (couplés le cas échéant avec le dégagement de chaleur par les déchets) ;
  - ✓ processus hydriques et hydrauliques : cycles hydriques transportés par la ventilation, désaturation/resaturation des composants ouvragés et naturels ;
  - ✓ processus chimiques : renouvellement ou consommation de l'oxygène (état redox) et du CO_2 (carbonatation atmosphérique).
- les caractéristiques des colis de déchets et les constituants de l'alvéole :
  - ✓ température ;
  - ✓ dégagement de gaz (hydrogène) selon les familles de déchets ;
  - ✓ comportement hygroscopique de certains déchets (type déchets salins).

3.5.8.2 Architecture MA-VL

Le quartier MA-VL est organisé autour d'une ossature de galeries de liaison et de retour d'air, à partir de laquelle les alvéoles MA-VL seront progressivement construits : galerie d'accès, cellule de manutention et conduit d'air. Cette ossature du quartier sera achevée au moins partiellement avant la construction et l'exploitation des premiers alvéoles du quartier.

Le quartier MA-VL se déploie en "chassant", c'est-à-dire que les alvéoles sont construits puis exploités en s'éloignant de la ZSL Exploitation. Un plan de fonctionnement de l'aérage est présenté à la section 3.5.13.2. Le déploiement progressif du stockage prend en compte la réalisation d'une première tranche de stockage (T1) suivie de tranches ultérieures. La durée de développement de la zone MA-VL sur une période d'environ 60 ans incite à considérer des possibilités d'évolutions et optimisations. Le développement progressif du stockage). La représentation en plan du quartier à terminaison est donc susceptible d'évoluer.

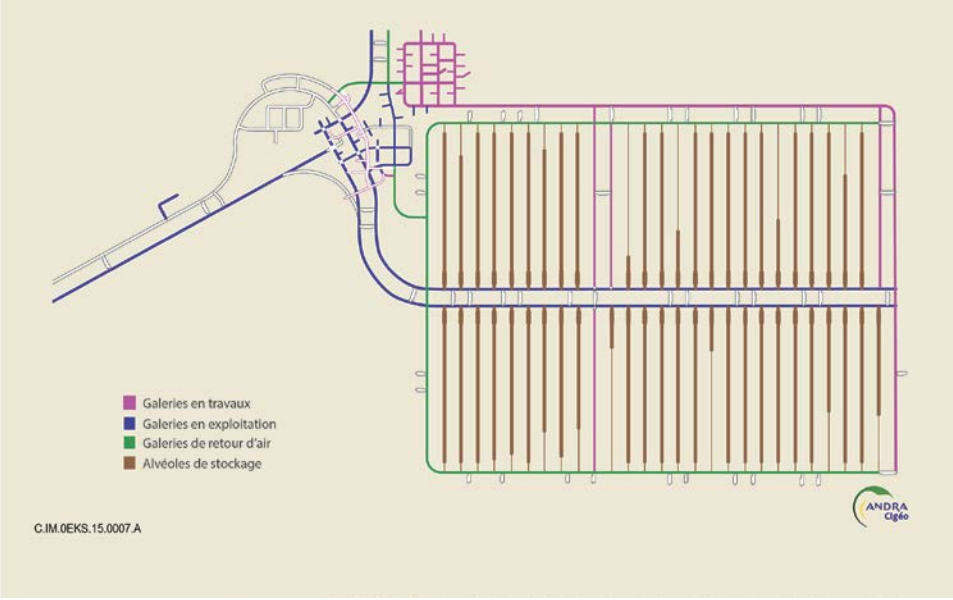


Figure 3.5-21 Zone MA-VL à terminaison

3.5.8.3 Architecture du quartier MA-VL pour la tranche 1

L'architecture de la première tranche réalisée à l'horizon 2030 sert de support à la présentation de chacun des ouvrages souterrains, de leurs fonctions et des équipements de transfert. Les données sont celles de la conception en fin d'APS.

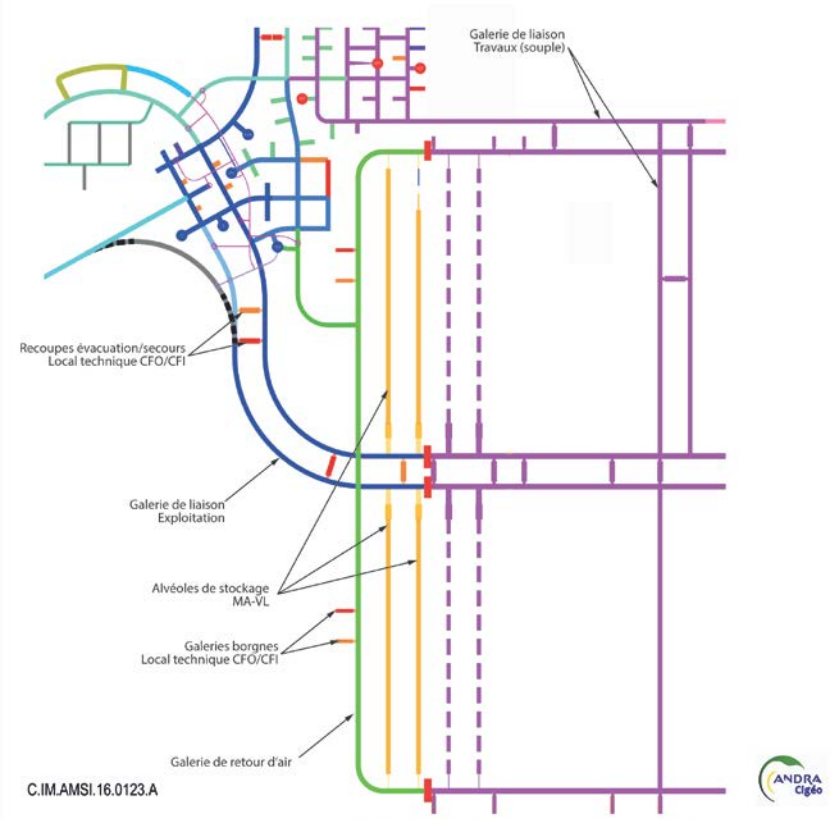


Figure 3.5-22 Vue en plan du quartier MA-VL pour la tranche 1

3.5.8.4 Les galeries de liaison exploitation

Les galeries de liaison exploitation se connectent aux galeries d'accès de chaque alvéole à partir des pieds de descenderies, en passant par la zone de soutien logistique exploitation.

La ventilation de chaque galerie de liaison MA-VL (Nord et Sud) est faite en pleine section. L'air est acheminé au départ de chaque galerie de liaison depuis le plénum par l'intermédiaire d'une antenne de soufflage propre à chaque galerie. L'air est ensuite extrait en extrémité de chaque galerie de liaison puis véhiculé vers le puits d'air vicié (VVE). Le diamètre excavé est de l'ordre de 10 m.

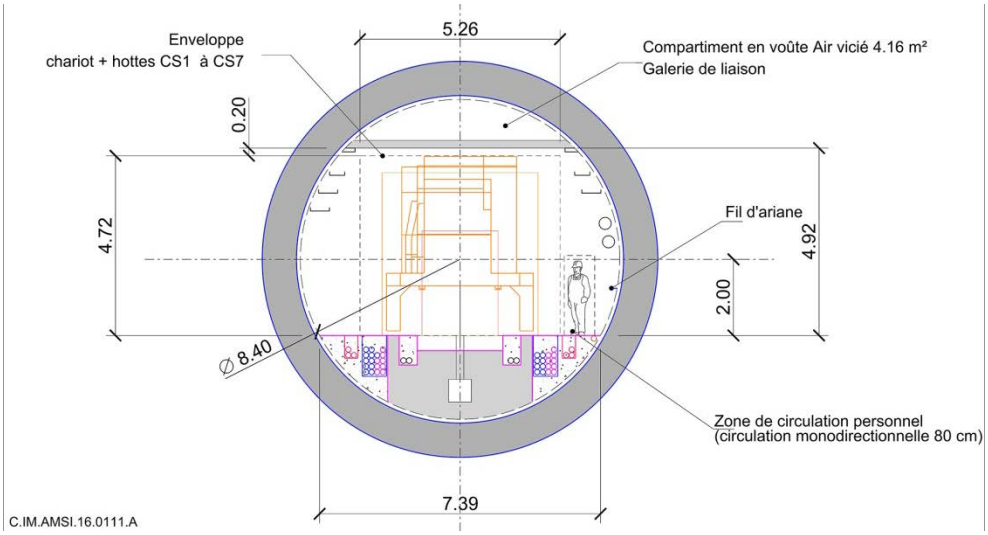


Figure 3.5-23 Galerie de liaison exploitation (section courante réalisée au tunnelier, fin APS)

Le diamètre utile prend en compte les éléments dimensionnants suivants :

- en section :
  - ✓ passage de la hotte sur le chariot ;
  - ✓ jeu fonctionnel défini pour le process qui permet également la prise en compte des déplacements verticaux liés à la cinématique de la hotte d'une part, des tolérances de réalisation et des déplacements des infrastructures sur le long terme d'autre part ;
  - ✓ passage du personnel exploitant (circulation monodirectionnelle) ;
  - ✓ Intégration d'une série d'équipements comprenant notamment :
    - un système d'extinction et de détecteur d'incendie (DAI) ;
    - des capteurs de mesure (qualité et vitesse de l'air en pleine section) et une sonde de surveillance radiologique (irradiation) ;
    - un échangeur pour l'évacuation de la chaleur des recoupes CFO/CFI et un chemin de câbles CFI ;
    - une caméra de surveillance, un réseau sans fil wifi.
- en radier :
  - ✓ alimentation process et rails : l'alimentation du chariot est réalisée dans la partie centrale du radier entre les rails de roulement. Cette zone permet la circulation des véhicules d'intervention ;
  - ✓ descentes de charges et rails galerie d'accès : les descentes de charges induisent une zone inaccessible pour le passage des réseaux électriques et la mise en place de chambres de tirage. La limite supérieure d'implantation des réseaux est aussi dictée par le croisement entre la galerie de liaison et la galerie d'accès au niveau des rails ;
  - ✓ intégration des réseaux électriques (HT, BT, CFI…) : le radier intègre les réseaux électriques des alvéoles desservis par la galerie de liaison ainsi que les équipements alimentés par la seconde galerie de liaison (séparation totale entre les réseaux redondants) ;
  - ✓ effluents : des caniveaux de collecte des effluents liquides sont disposés de part et d'autre de la galerie. Des réseaux incendie et refroidissement sont également prévus dans le radier.
- en voûte :
  - ✓ compartiment de ventilation : il permet l'extraction de l'air vicié, notamment en situation incidentelle ;
  - ✓ dalle de séparation : elle sépare le compartiment de ventilation de la section courante.

3.5.8.5 Les galeries de liaison travaux

Les galeries de liaison travaux permettent la poursuite des travaux dans le quartier en exploitation. Elles permettent d'accéder au front des alvéoles à partir de la ZSL travaux. Les galeries sont dimensionnées pour permettre le passage des engins de travaux ainsi que les équipements et les flux travaux.

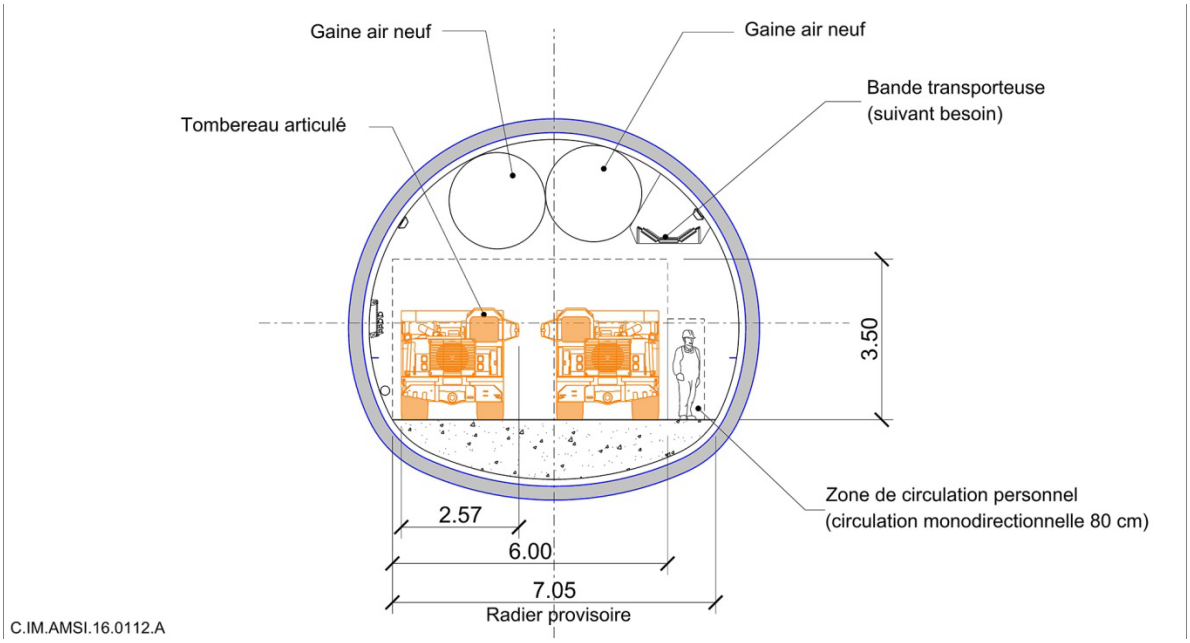


Figure 3.5-24 Galerie de liaison travaux (section courante fin APS)

Contrairement aux autres galeries du quartier MA-VL, elles sont de conception dite souple car ne nécessitant pas un maintien strict et pouvant être maintenu du gabarit interne.

La section de la galerie est similaire à celle des galeries de la ZSL-travaux.

La conception souple des galeries de liaison travaux entraîne des intersections avec les autres galeries de type galerie souple/galerie rigide de type : carrure en T, en croix, en L.

3.5.8.6 Galerie de retour d'air exploitation

La ventilation de chaque galerie de retour d'air (au Nord et au Sud du quartier) est réalisée en pleine section. L'air est acheminé au départ de chaque galerie de retour d'air depuis le plénum par l'intermédiaire d'une antenne de soufflage propre à chaque galerie. L'air est ensuite extrait en extrémité de chaque galerie puis véhiculé vers le puits d'air vicié (VVE). La ventilation du cheminement protégé est réalisée à l'aide d'une antenne de distribution distribuant l'air de manière uniforme tout le long du linéaire associé au cheminement. L'air est ensuite dirigé vers la galerie de retour d'air puis repris par le réseau d'extraction de la galerie de retour d'air.

Cette galerie est réalisée de façon conventionnelle avec une machine à attaque ponctuelle.

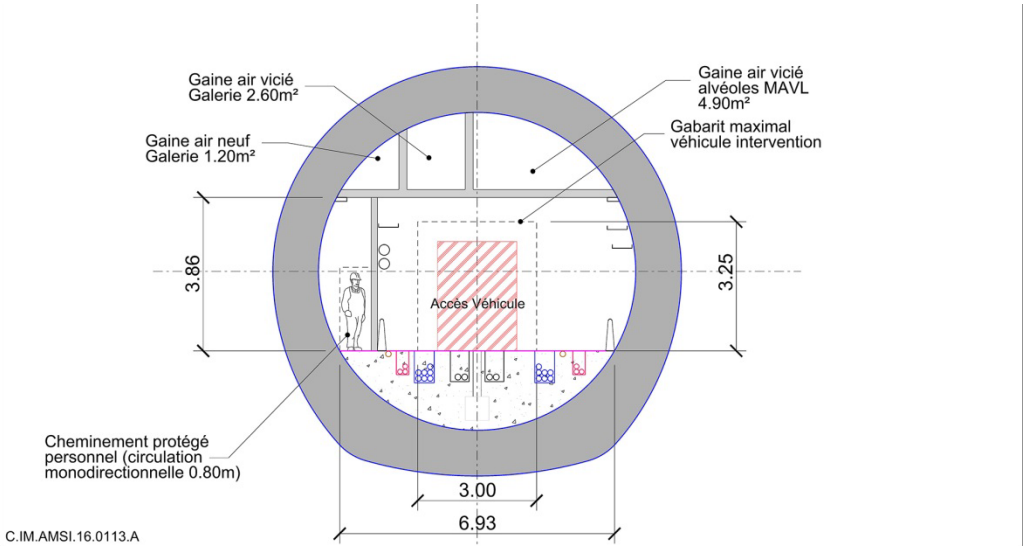


Figure 3.5-25 Galerie de retour d'air exploitation (section courante creusement à la MAP fin APS)

3.5.8.7 Alvéole MA-VL

Les alvéoles de stockage MA-VL :

- sont des tunnels orientés suivant la direction de la contrainte principale majeure,
- sont reliés à l'une de leurs extrémités à une galerie d'accès, qui permet l'arrivée d'air dans l'alvéole et à l'autre extrémité à une galerie de retour d'air avec local de filtration dédié à chaque alvéole,
  - ✓ le système de filtration THE et le registre de régulation de débit sont implantés pour chaque alvéole dans la galerie de retour d'air,
  - ✓ une cellule de manutention est positionnée entre la galerie d'accès et la partie utile de l'alvéole,
  - ✓ la partie utile du stockage maximum est d'environ 500 m. Cette longueur est compatible avec la préservation d'une garde d'argilite saine nécessaire à la justification de la sûreté après fermeture.

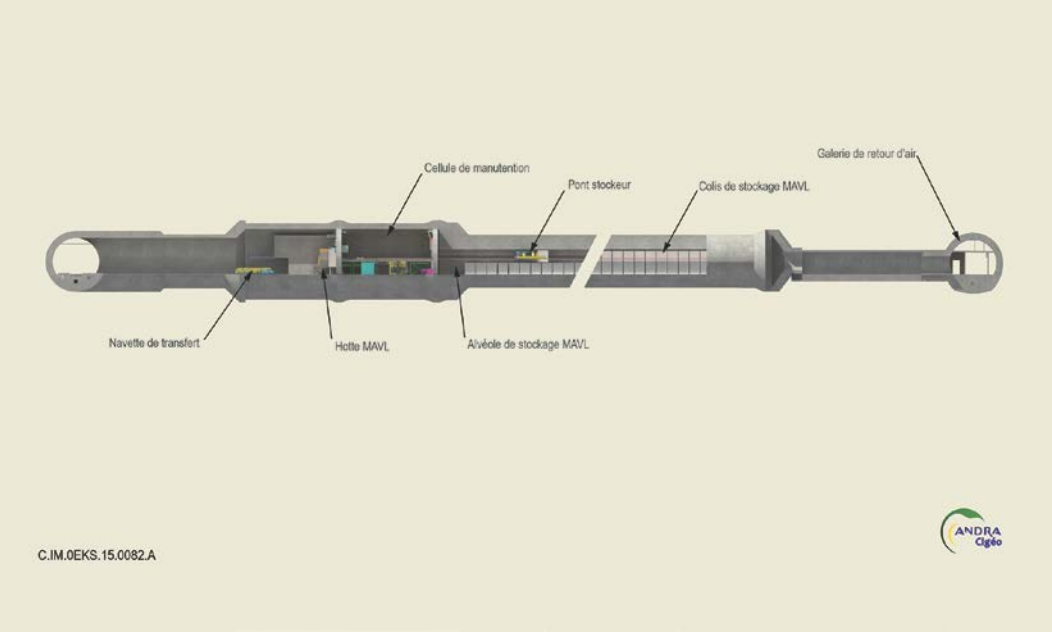


Figure 3.5-26 Principe de conception : Alvéole MA-VL

Solutions techniques d'alvéoles MA-VL

La construction des alvéoles MA-VL avec une Machine à Attaque Ponctuelle (MAP) permet des variations de diamètre entre galerie d'accès/cellule de manutention/cellule de stockage. La galerie d'extraction d'air, de diamètre plus petit adapté au besoin d'aérage, est compatible avec un creusement au micro-tunnelier. Le dimensionnement à ce stade considère un creusement à la machine à attaque ponctuelle avec un soutènement souple et un revêtement rigide.

- soutènement : béton projeté, cales compressibles et boulons à ancrages répartis ;
- revêtement assurant la durabilité de l'ouvrage (et radier) ;
- Béton de remplissage limitant le taux de vide (pour la sûreté après fermeture), pouvant être préfabriqué.

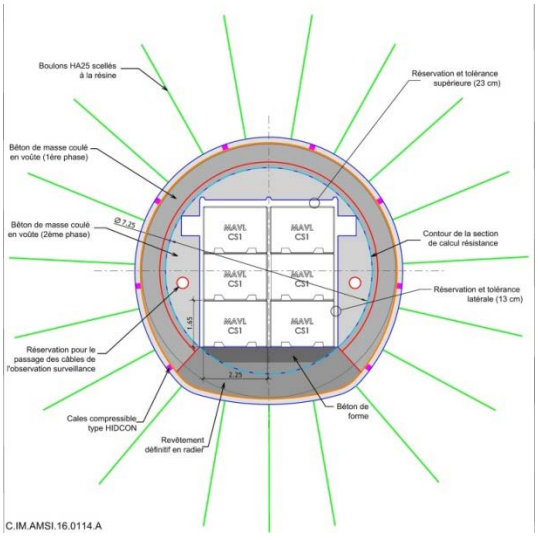


Figure 3.5-27 Section type d'Alvéole MA-VL avec soutènement et revêtement, exemple des CS1 (fin APS)

La dimension des alvéoles MA-VL est fonction des colis de stockage contenus. Chaque type d'alvéole est défini en tenant compte de règles de co-stockage des différents colis de stockage et d'un agencement des colis de stockage (nombre de colis par colonnes/niveaux) au sein de la zone utile de l'alvéole.

Les alvéoles à ce stade comprennent des agencements de colis sur 1 à 2-3 colonnes/niveaux avec des sections excavées de l'ordre de 17 à 65-70 m². Les différentes configurations de remplissage des alvéoles avec des colis CS1 à CS7 sont présentées dans les coupes ci-après (en fin d'APS).

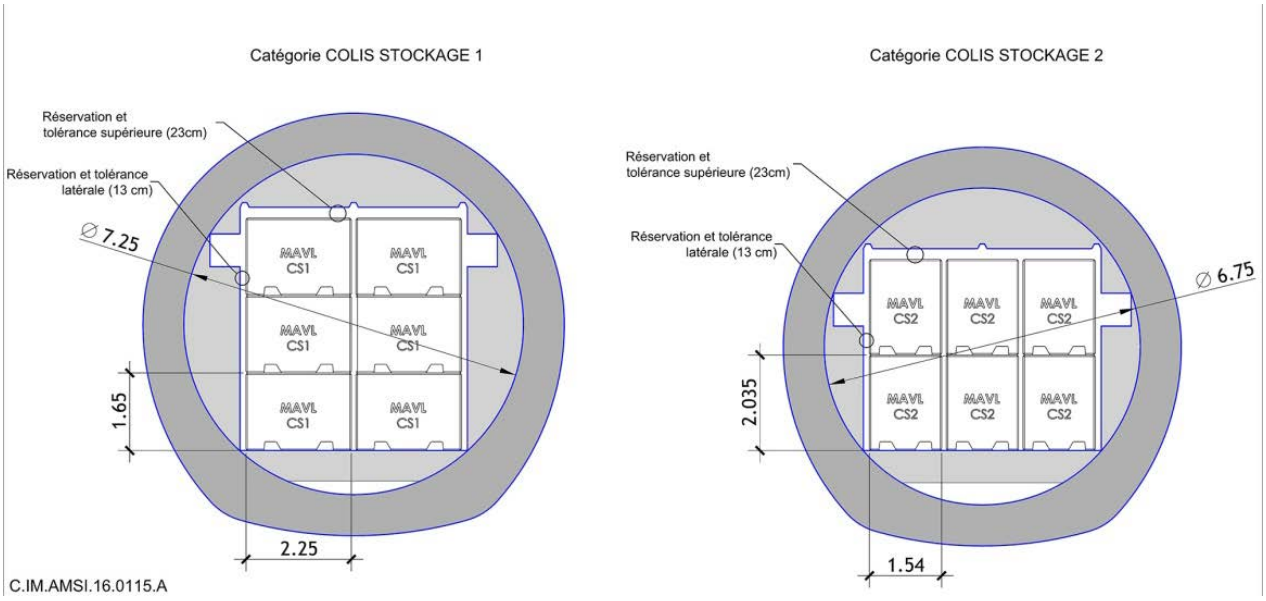


Figure 3.5-28 Remplissage d'alvéoles avec des CS1 et CS2 (fin APS)

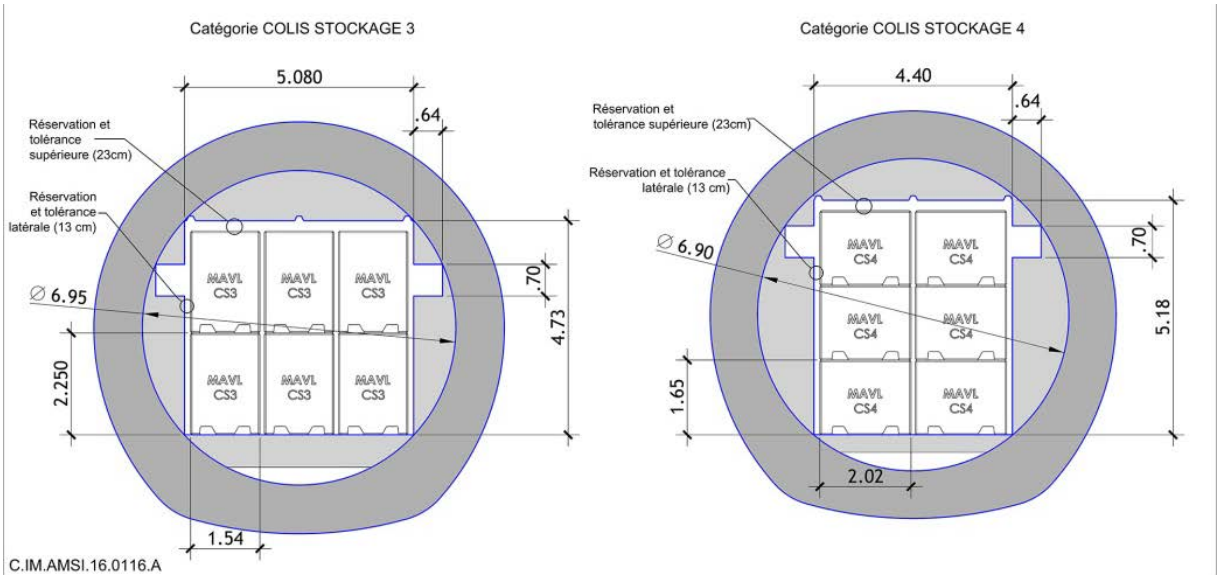


Figure 3.5-29 Remplissage d'alvéoles avec des CS3 et CS4 (fin APS)

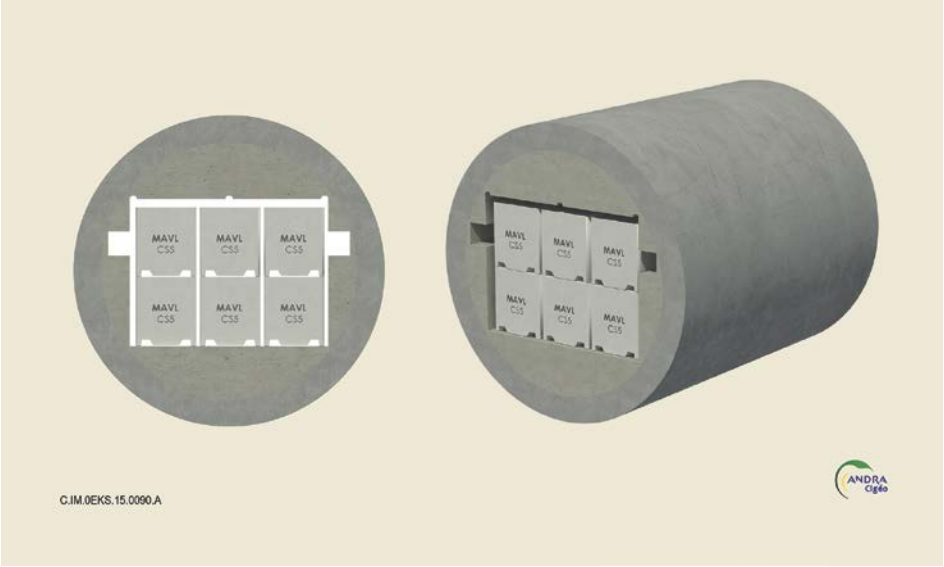


Figure 3.5-30 Remplissage d'alvéole avec des CS5 (fin APS)

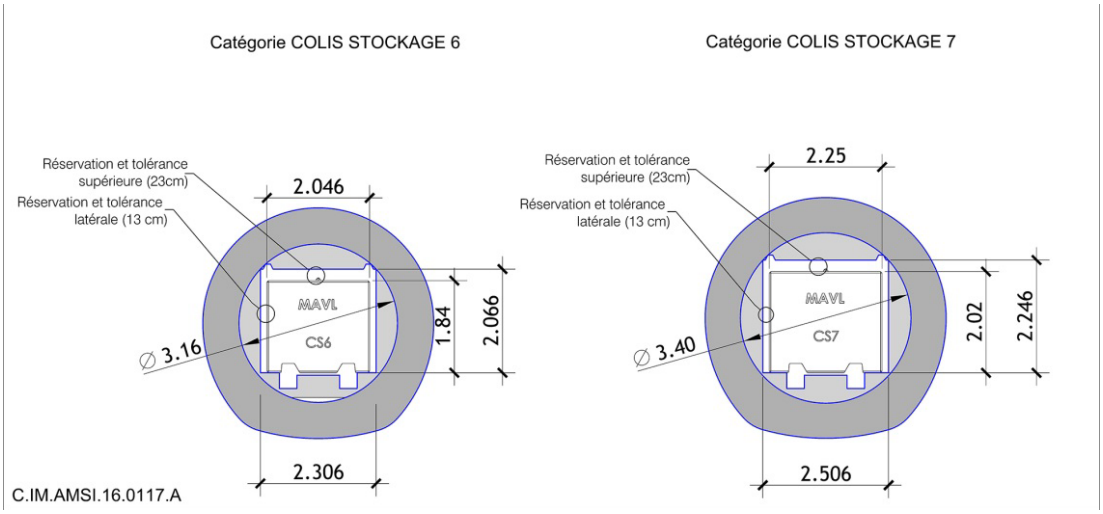


Figure 3.5-31 Remplissage d'alvéoles avec des CS6 et CS7 (fin APS)

3.5.8.8 Optimisations des alvéoles MA-VL envisagées

Sur la base de la conception actuelle :

- l'optimisation justifiée des modalités de définition, de dimensionnement et de réalisation des soutènements-revêtements reste un objectif permanent et fait l'objet d'études ;
- des études visant à diminuer la distance entre alvéoles, actuellement de 5 diamètres, seront faites sur la base du juste besoin permettant de garantir une stabilité mécanique de la zone MA-VL tout en respectant la limitation d'interaction physico-chimique pour laquelle on retient une garde minimum de 30 mètres ;
- le béton de remplissage, pour respecter le taux de vide après fermeture, pourrait être remplacé par un matériau pulvérulent, par exemple fabriqué avec de l'argilite (tout en respectant l'exigence de taux de vide) ;
- le stockage direct dit solution n°3 dans la section relative au colis (cf. section chapitre 1 du présent volume) correspond au stockage de colis primaires directement en alvéoles de stockage sans mise en conteneur de stockage, sous réserve qu'ils répondent aux exigences spécifiées. Des études

menées en phase APD du projet viseront à préciser les colis candidats au stockage direct associés à des solutions techniques de stockage, justifiées vis-à-vis des critères de sûreté, de faisabilité technique, économique, de sécurité. La prise en compte de cette optimisation est visée dès la T1 ;

- un objectif d'optimisation du quartier et des alvéoles MA-VL est étudié dans le cadre d'une densification du stockage et donc d'une diminution du nombre d'alvéoles, par modification de l'agencement des colis en augmentant le nombre de colonnes et de niveaux de 1 à 3-4 colonnes/niveaux. Les sections excavées associée à cette densification sont de l'ordre de 17 à 110 m². Le respect des différents critères cités précédemment devra être justifié pour ces configurations d'alvéoles. Un démonstrateur d'alvéole MA-VL d'environ 110 m² est prévu en phase industrielle pilote. La prise en compte de cette optimisation est visée après la T1 ;
- une modification des choix de creusement avec l'utilisation d'un tunnelier pleine face est envisagée. Elle nécessite de contenir les fonctionnalités de la cellule de manutention dans un diamètre unique égal à celui de la galerie d'accès et de la cellule de stockage. Cette solution, favorable à la sécurisation des travaux de construction, facilite et optimise la mise en place des soutènements/revêtements.

3.5.8.9 Principe de déploiement du quartier MA-VL

Sur la base de la chronique des flux de colis, les alvéoles sont déployées en tenant compte de la possibilité de stockage géométrique des différents colis de stockage. Actuellement les possibilités de regroupement sont CS1 et CS5, CS4 et CS5, et CS2 et CS3. Six catégories physico-chimiques de colis MA-VL

plus une septième de déchets sodés en faible quantité sont considérées. La conception de Cigéo se fonde sur la séparation des déchets présentant des caractéristiques physico-chimiques différentes.

Sur la base des éléments de co-stockage et des flux de livraison des colis de déchets un déploiement chronologique de la zone de stockage MA-VL est présenté ci-après.

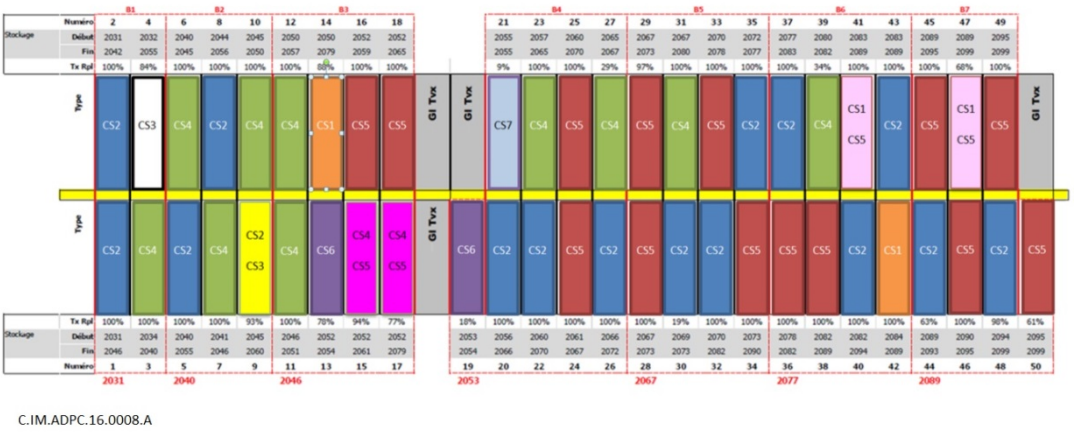


Figure 3.5-32 Chronologie de déploiement des alvéoles MA-VL (fin APS)

3.5.8.10 Les interfaces entre zone travaux et zone exploitation dans le quartier MA-VL : co-activité

Les ouvrages réalisés dans le quartier MA-VL en T1 sont les galeries de liaison MA-VL, galeries d'accès aux alvéoles, la galerie de retour d'air et 4 (à 5) alvéoles correspondant au besoin en alvéoles de stockage en fin de T1.

La suite du déploiement du quartier MA-VL s'effectue en parallèle de son exploitation. Le quartier MA-VL se déploie en « chassant », c'est-à-dire que les alvéoles sont construites puis exploitées en s'éloignant de la ZSL exploitation. Les alvéoles de stockage en exploitation chassent sur les alvéoles de stockage en cours de réalisation. Les interfaces entre zone travaux et zone exploitation dans le quartier MA-VL sont schématisé ci-après.

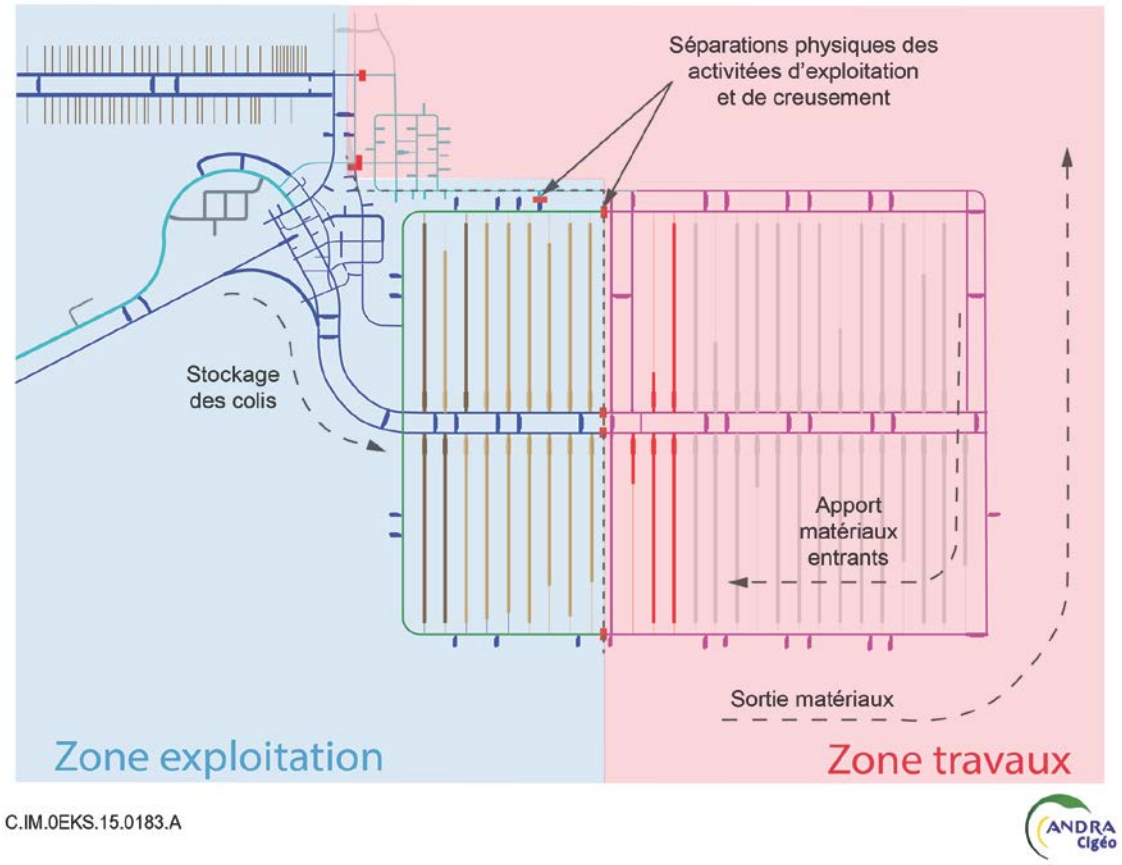


Figure 3.5-33 Quartier MA-VL - interfaces entre zone travaux et zone exploitation

Le déploiement du stockage s'effectue en respectant le processus suivant :

- état initial : construction du génie civil des ouvrages de la phase à déployer ;
- la zone exploitation (phase P) est isolée de la zone en travaux et d'essais phase (P+1) dans le respect des exigences de sectorisation opérationnelle en situation normale, à savoir :
  - ✓ séparation physique et sas personnel en galerie de liaison ;
  - ✓ séparation physique et sas personnel et sas véhicule en galerie de retour d'air.

Le déploiement comprend ensuite :

- étape 1 : acheminement et mise en place des équipements sur site ;
- étape 2 : raccordement du réseau HTA sur le réseau principal en exploitation ;
- étape 3 : mise sous tension des équipements et raccordement sur réseau : pas d'impact sur l'exploitation ;
- étape 4 : essais et qualifications de phase 2 (mode isolé) : pas d'impact sur l'exploitation ;
- étape 5 : Basculement de la zone d'essais vers l'exploitation ;
- étape 6 : Essais globaux.

La figure ci-après illustre un schéma possible de déploiement entre activités travaux-équipement-exploitation.

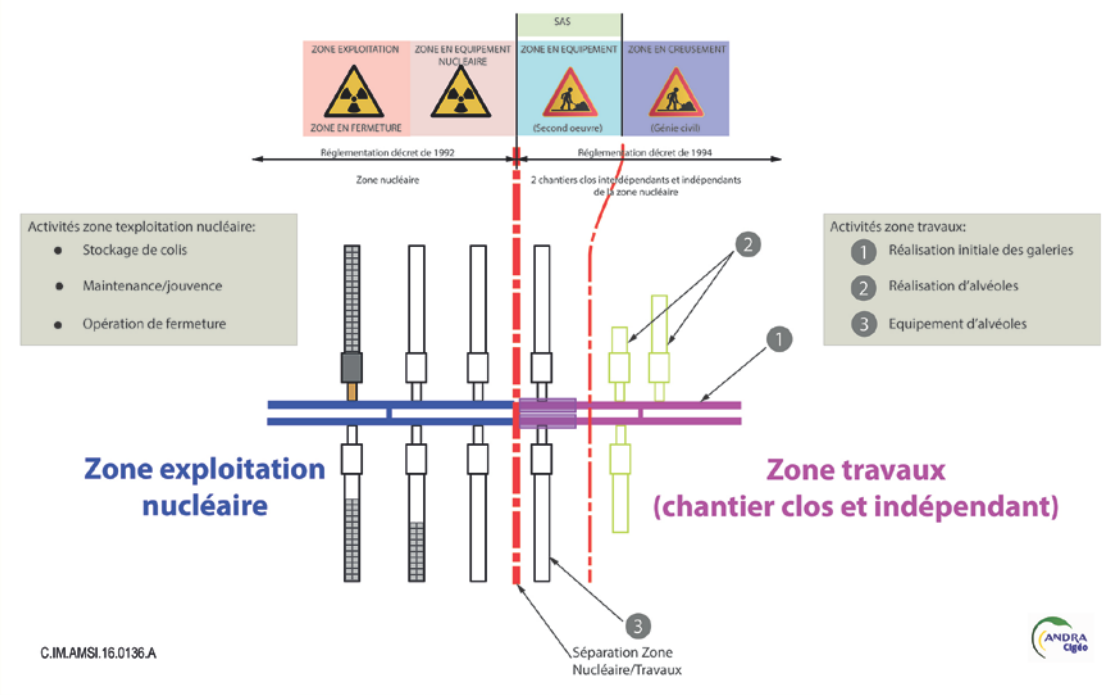
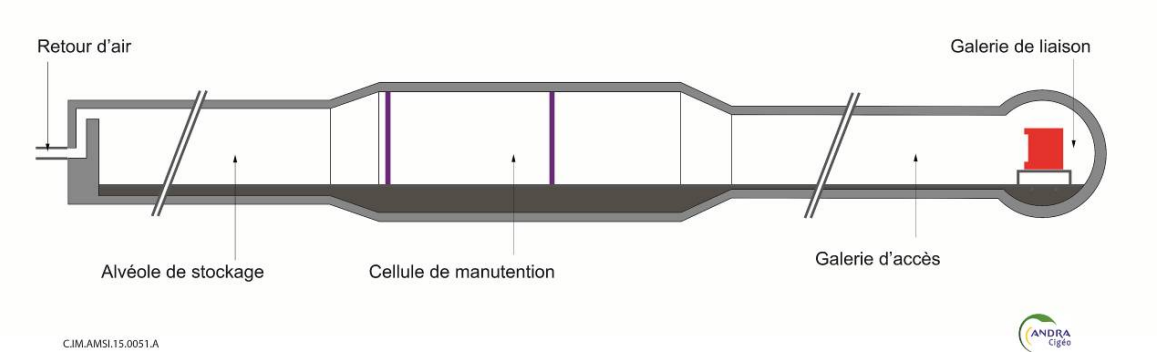


Figure 3.5-34 Illustration d'un schéma possible de déploiement entre activités travaux équipement-exploitation

3.5.9 Transfert et stockage dans les alvéoles MA-VL

La zone de stockage des colis MA-VL se décompose en 3 parties :

- une galerie d'accès où circule la navette d'accostage et où la hotte est accostée ;
- une cellule de manutention où les colis sont déchargés de la hotte et mis en position pour leur prise en charge par le pont stockeur (ou chariot stockeur pour les CS6/CS7) ;
- l'alvéole de stockage.



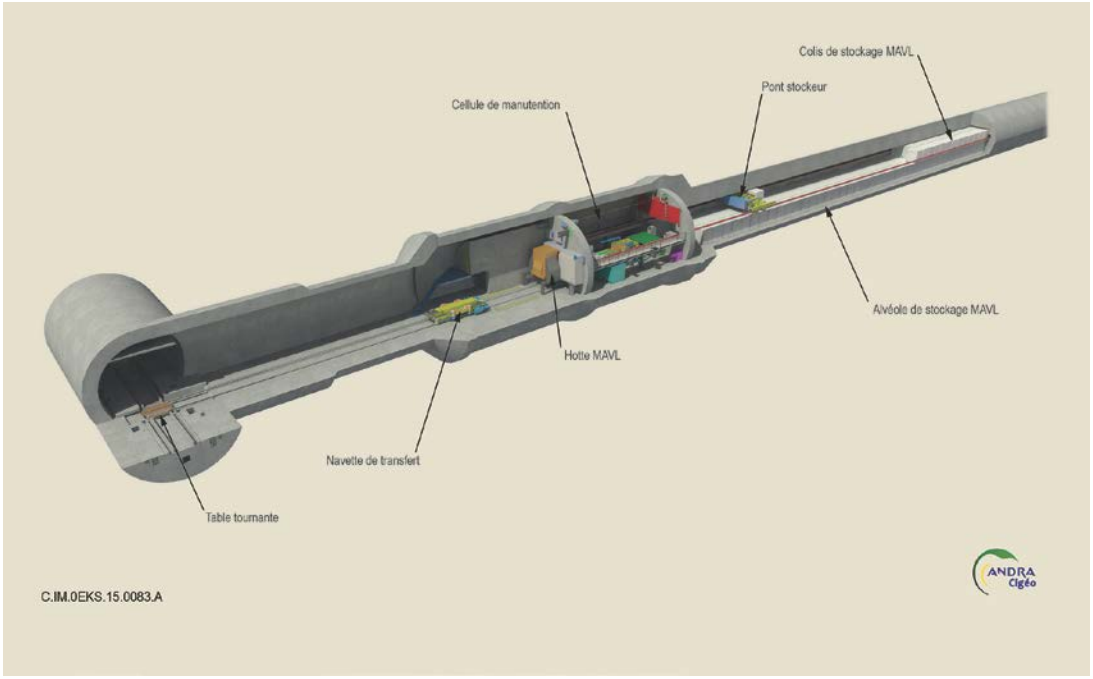
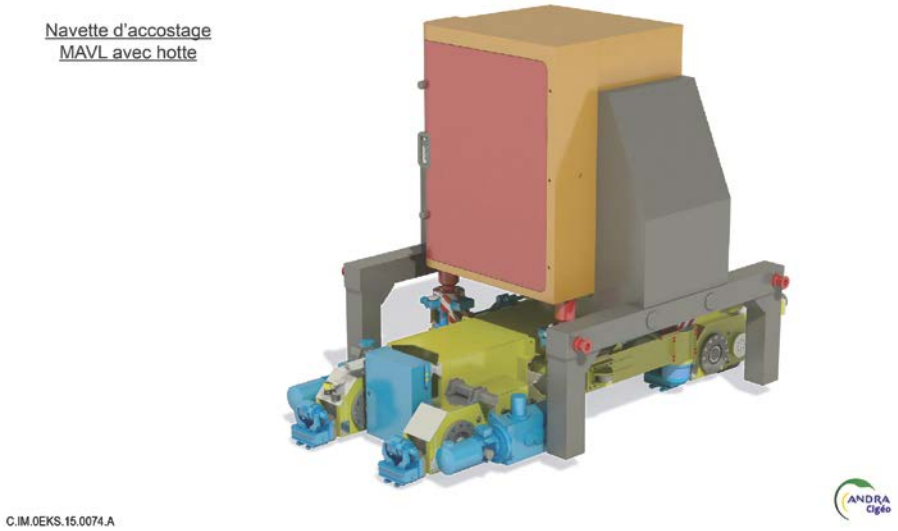


Figure 3.5-35 Alvéole de stockage des colis CS1 à CS5

3.5.9.1 Transfert des hottes dans les galeries d'accès de l'alvéole MA-VL

Aux intersections entre galerie de liaison et galerie d'accès, les hottes MA-VL sont prises en charge par les navettes traversantes MA-VL qui permettent de transférer les hottes jusqu'aux façades d'accostage avec précision et à faible vitesse. Elles déposent ensuite les hottes sur les tables d'accostage.



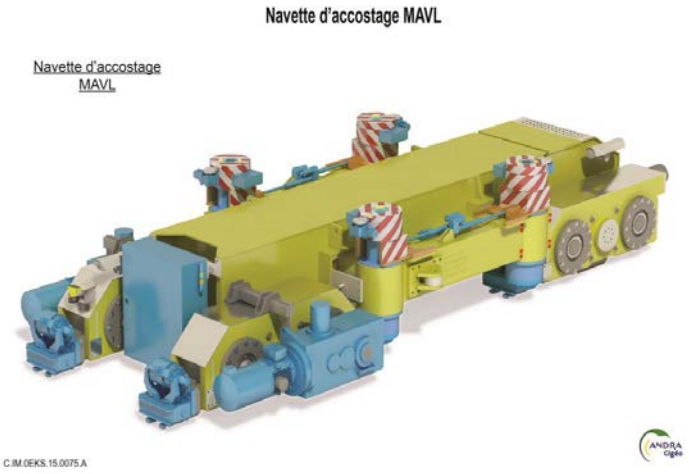


Figure 3.5-36 Navettes d'accostage MA-VL

Les systèmes d'accostage de la hotte MA-VL sont les mêmes que ceux des installations en surface. La hotte MA-VL est déposée sur la table d'accostage par la navette MA-VL, l'accostage final de la hotte contre la façade est réalisé par la table d'accostage. Des plots béton fixes, situés contre la façade d'accostage, ont pour but d'empêcher tout affaissement de la hotte en cas d'incendie lorsque cette dernière est en position accostée.

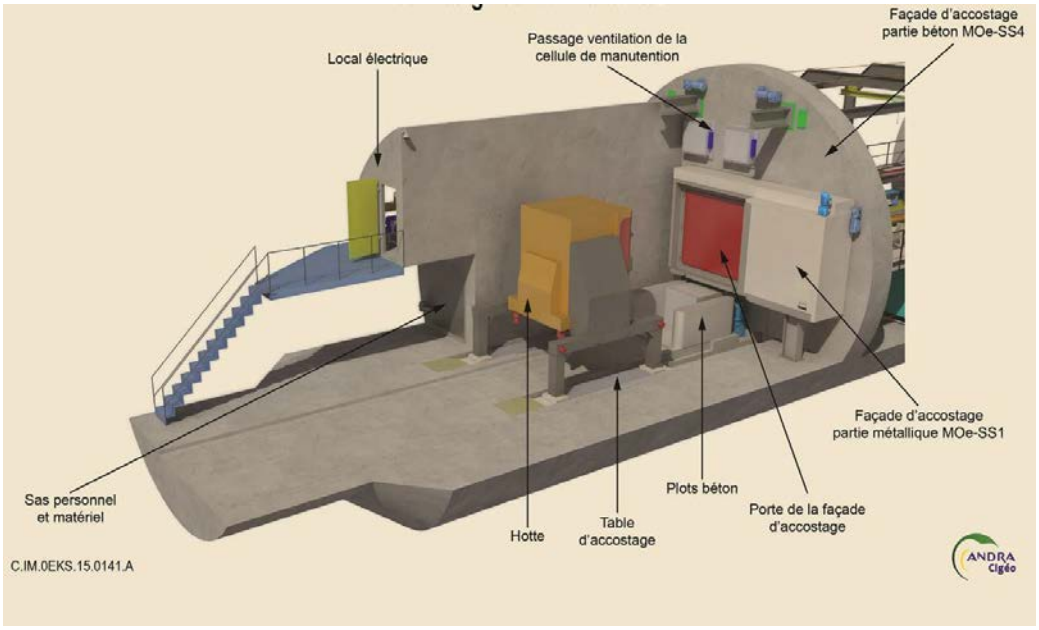


Figure 3.5-37 Translation de la table d'accostage vers la façade

Il existe deux géométries de façades d'accostage :

- une pour les hottes CS5 et CS1, 4, 6, 7 ;
- une autre pour les hottes CS2 et 3.

Les tables d'accostage sont indifférenciées. Comme en surface, la façade d'accostage se décompose en une partie béton et une partie acier.

Sur le côté de la façade d'accostage, se situe un sas qui permet de faire circuler le personnel et le matériel. Le local électrique qui alimente et permet le pilotage des navettes MA-VL ainsi que celui de l'ensemble des matériels de la cellule de manutention est positionné au-dessus du sas.

La façade d'accostage supporte en partie haute les passages pour la ventilation de la cellule de manutention MA-VL. La façade a aussi pour fonction de maintenir l'étanchéité statique entre la galerie d'accès et la cellule de manutention.

Le stockage des colis dans les alvéoles MA-VL est effectué via une cellule de manutention qui permet le déchargement de la hotte et la mise en position du colis de stockage dans l'alvéole de stockage.

Le colis de stockage MA-VL est pris en charge dans la cellule par des équipements de manutention différents suivant le type de colis dans l'alvéole de stockage (gerbés ou sur un seul niveau). Autant que faire se peut, les motorisations sont déportées à l'extérieur de la cellule de manutention, sur la façade d'accostage, pour en faciliter la maintenance et réduire les charges calorifiques dans la cellule.

Pour les colis de stockage MA-VL de types 1 à 5, les colis sont déchargés de la hotte par une table de réception avec son plateau de transfert et amenés sur une table élévatrice de mise à niveau en fonction de la couche en cours de constitution. Ils sont alors repris par le pont stockeur pour être transférés à leur position de stockage dans l'alvéole.

3.5.9.2 Pont stockeur pour colis CS1 à CS5

Le pont stockeur permet un arrangement des colis de stockage sur plusieurs niveaux et plusieurs rangées (CS 1 et 4 : 2 rangées sur 3 niveaux ; CS 2, 3, 5 : 3 rangées sur 2 niveaux).

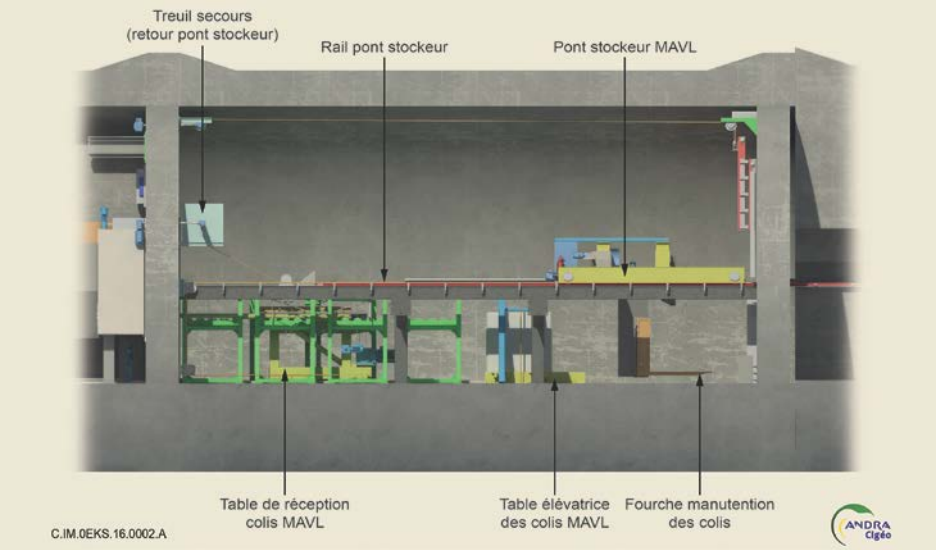


Figure 3.5-38 illustration d'une cellule de manutention et de pont stockeur

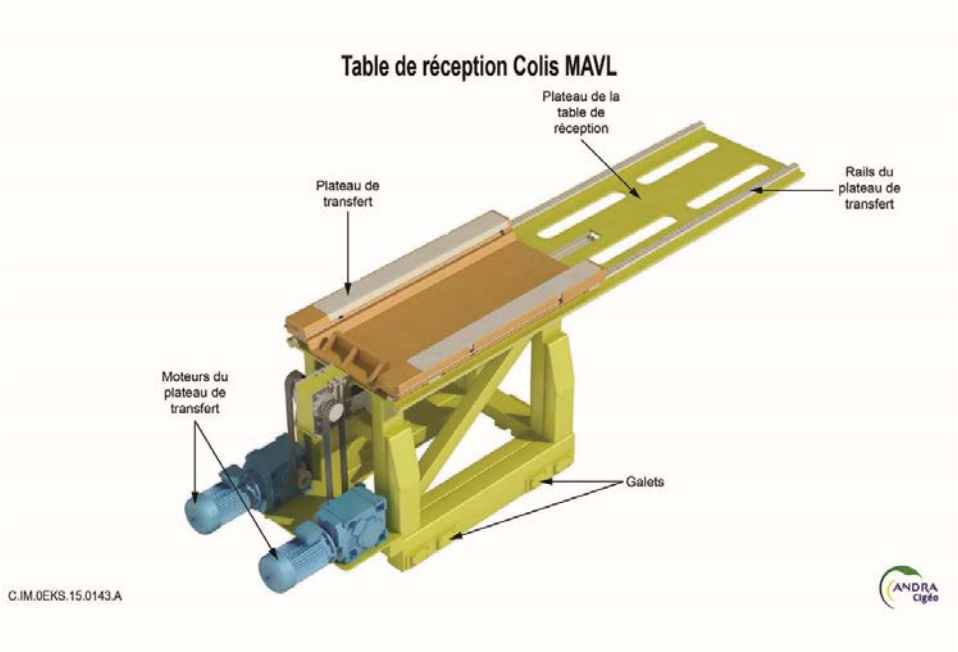


Figure 3.5-39 Table de réception

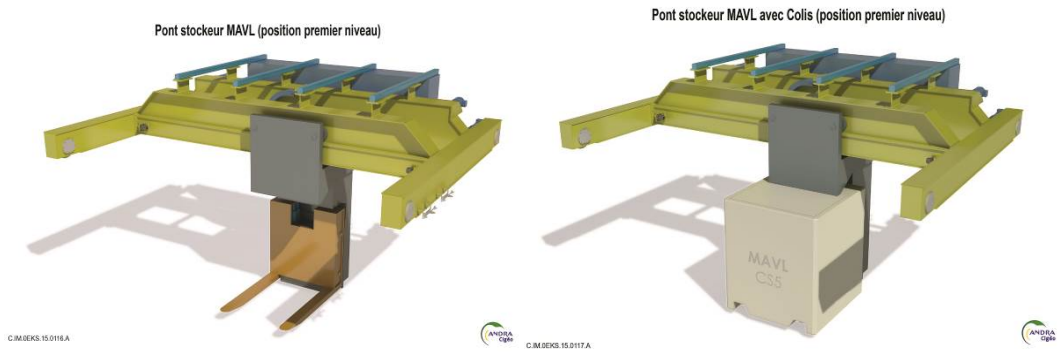


Figure 3.5-40 Pont stockeur

Après remplissage du premier niveau de toute l'alvéole, un platelage est disposé entre la table élévatrice et la porte blindée (décrite ci-dessous), de manière à limiter la hauteur de chute potentielle du colis de stockage. La hauteur de manutention du pont stockeur est ajustée par suppression d'une entretoise. La course de levage de ce système de transfert est faible. Le pont stockeur décolle les colis de stockage pour les transporter au ras du plancher ou des colis déjà stockés (ou du platelage). Dans tous les cas, la hauteur de chute est respectée.

Un enrouleur multi-spires permet l'alimentation du pont stockeur sur une longueur d'alvéole de stockage utile de 500 m. Il est installé dans un carter de protection ignifugé, permettant le noyage de l'enrouleur par un agent d'extinction sur détection feu.

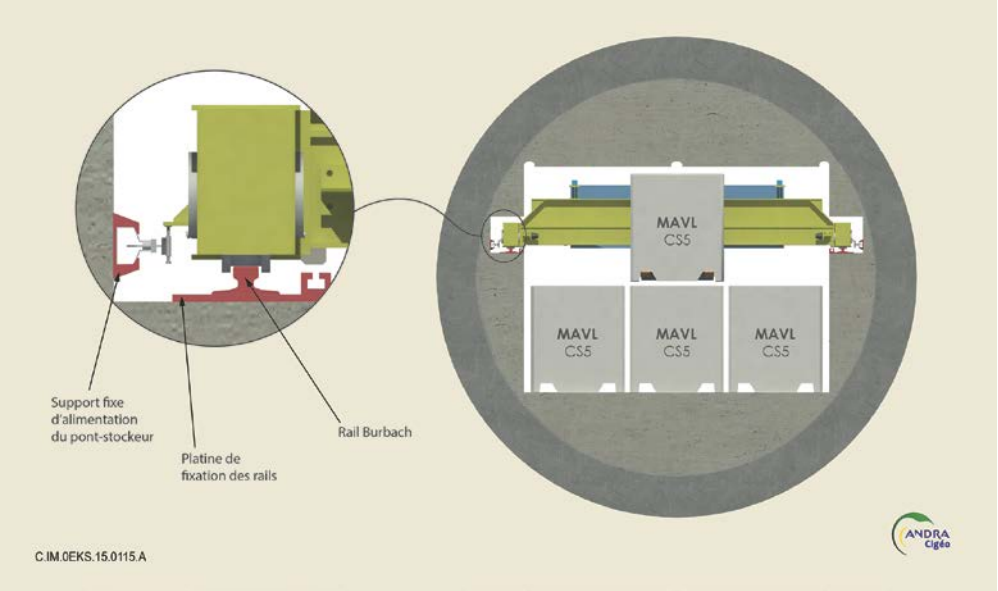


Figure 3.5-41 Pont dans l'alvéole – dernier niveau

Disposition particulière : Un mur en béton construit à l'avancement du remplissage des couches de colis assure d'une part la limitation de hauteur de chute entre la cellule de manutention et la zone utile de l'alvéole et d'autre part isole radiologiquement la cellule de l'alvéole remplie afin de permettre le démontage des équipements de la cellule.

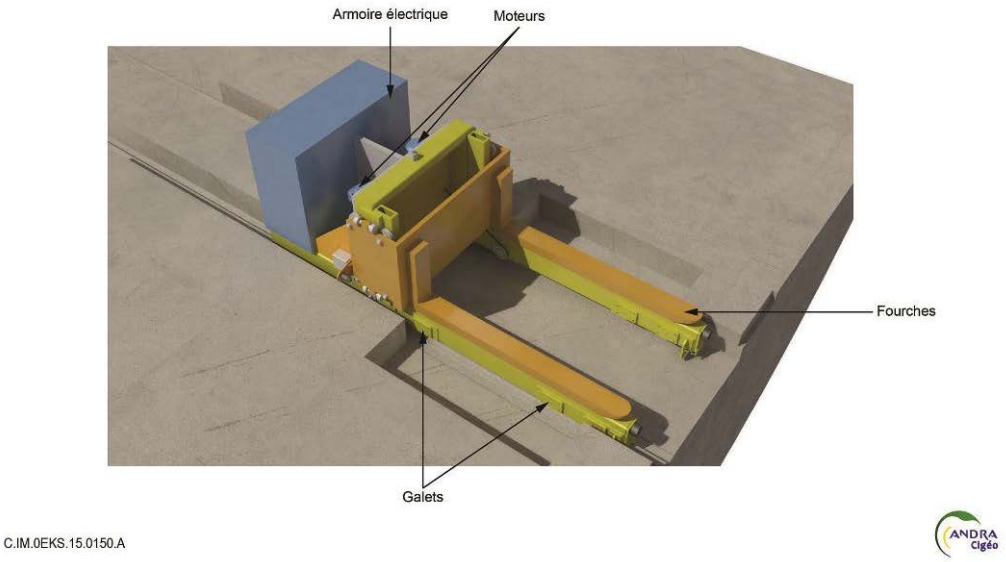


Figure 3.5-42 Chariot stockeur CS6 à CS7

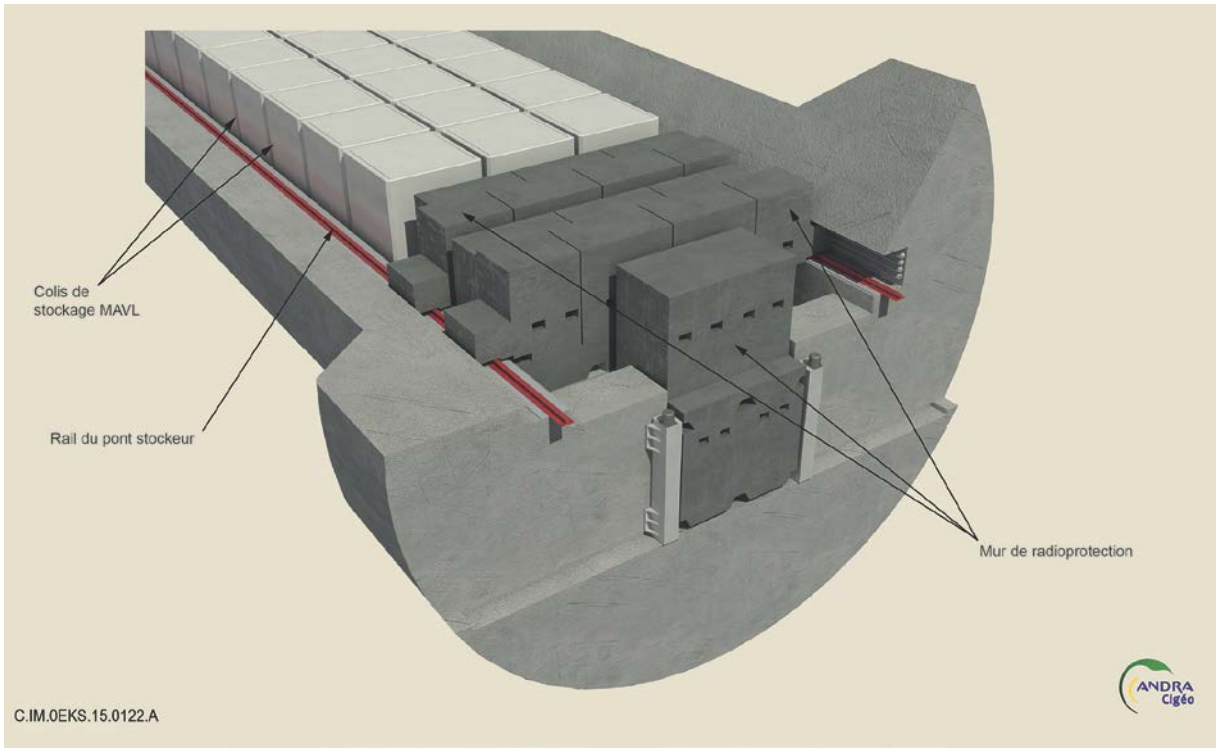


Figure 3.5-43 Fermeture de l'alvéole – Bloc béton

3.5.9.3 Chariot stockeur pour colis CS6 et CS7

Pour les colis de stockage MA-VL de types 6 et 7, les colis sont déchargés de la hotte par une table de réception avec son plateau de transfert et apportés sur la table élévatrice. Ils sont alors repris par un chariot stockeur pour être emportés dans leur position de stockage dans l'alvéole.

Le chariot stockeur permet uniquement le rangement des colis de stockage sur un niveau et une rangée. Comme pour les autres systèmes de transfert, le colis de stockage circule à une hauteur très limitée.

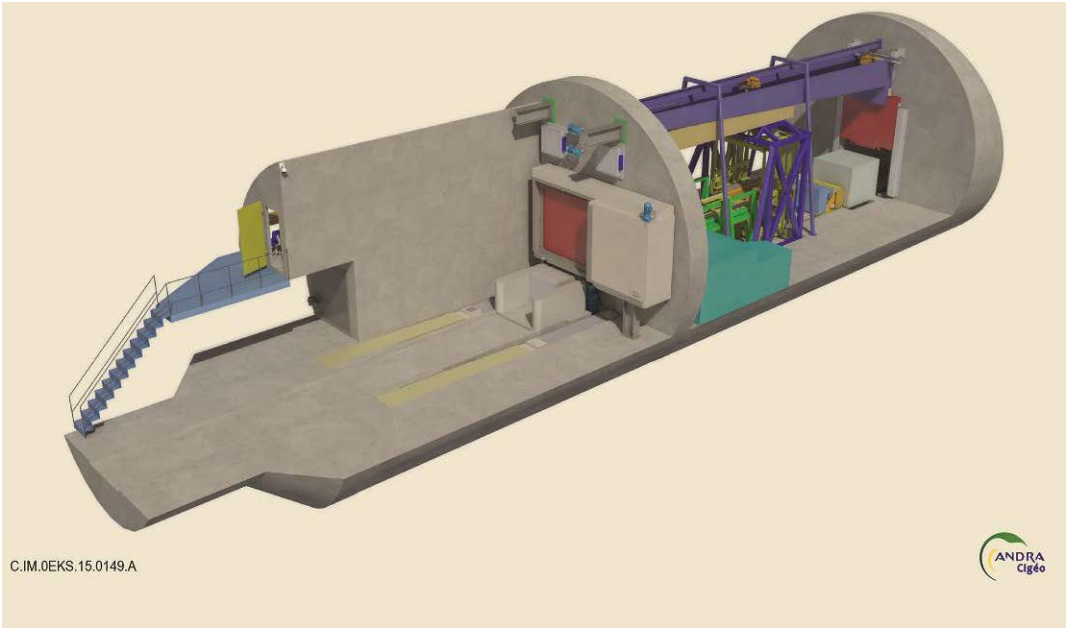


Figure 3.5-44 Alvéole de stockage des colis CS 6 et CS7

Préalablement au démantèlement des équipements, lorsque les alvéoles sont pleines, une protection radiologique constituée d'un mur de blocs de béton est implantée en tête de la partie utile de l'alvéole entre la dernière rangée de colis et la porte de protection de la cellule de manutention

3.5.9.4 Porte de radioprotection

Un écran amovible, constitué de trois panneaux, dénommé « porte blindée » par la suite, est descendu, entre l'alvéole et la cellule de manutention. Il assure la protection radiologique des personnels intervenant dans la cellule vis-à-vis des colis de stockage dans l'alvéole. Cette porte blindée n'a aucune fonction de confinement : de par sa conception, elle doit, en effet, laisser passer l'air de la ventilation en provenance de la cellule de manutention vers l'alvéole de stockage.

La porte de radioprotection est dimensionnée pour obtenir un DED au contact de 25µSv/h.

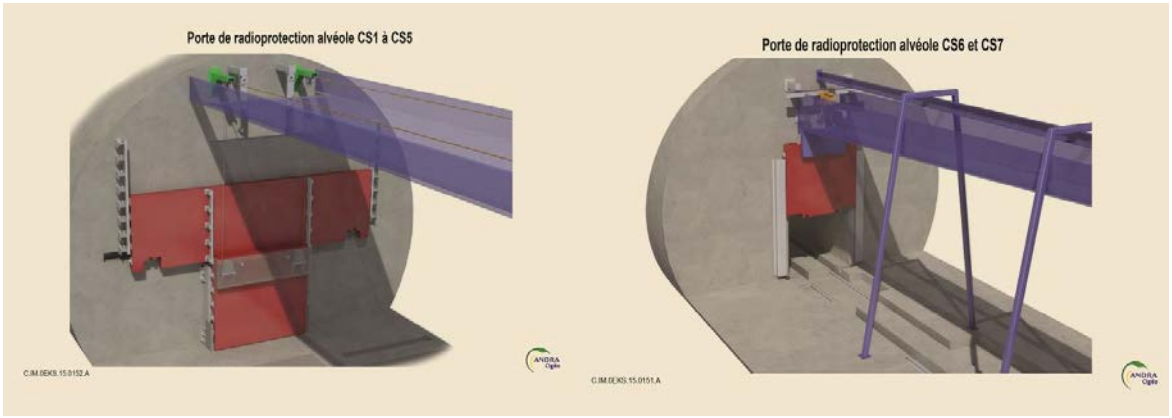


Figure 3.5-45 Porte de radioprotection (à gauche pour les CS1 à CS5 et à droite CS6 et CS7)

La ventilation est basée sur un transfert d'air du sas de manutention vers l'alvéole de stockage via les passages laissés libres par l'écran de radioprotection (chicane de radioprotection sans ligne de fuite). Elle a pour seules fonctions la protection du personnel contre les rayonnements ionisants en phase de maintenance et la protection en phase d'attente des équipements du rayonnement de l'alvéole de stockage.

3.5.9.1 Principes généraux d'exploitation du quartier MA-VL

L'exploitation de l'installation de fond est réalisée comme suit :

- En gare basse et ZSL *:*
  - ✓ prise en charge de la hotte pleine sur le transfert incliné par un chariot de fond ;
  - ✓ orientation du chariot grâce aux tables tournantes ZSL ;
  - ✓ transfert du chariot avec la hotte pleine vers la galerie de liaison menant au quartier de destination du colis.
- Dans le quartier MA-VL *:*
  - ✓ dépose de la hotte en face de la galerie d'accès de l'alvéole de destination ;
  - ✓ orientation de la table tournante de rails ;
  - ✓ prise en charge de la hotte MA-VL par la navette MA-VL ;
  - ✓ dépose de la hotte MA-VL sur la table d'accostage ;
  - ✓ accostage de la hotte MA-VL à la façade d'accostage

- Dans la cellule de manutention et l'alvéole MA-VL *:*
  - ✓ ouverture de la hotte et de la façade ;
  - ✓ prise en charge du colis dans la hotte par le plateau de transfert ;
  - ✓ transfert du colis sur l'élévateur ;
  - ✓ mise à niveau du colis et prise en charge par le pont stockeur ;
  - ✓ positionnement du colis dans l'alvéole par le pont stockeur.

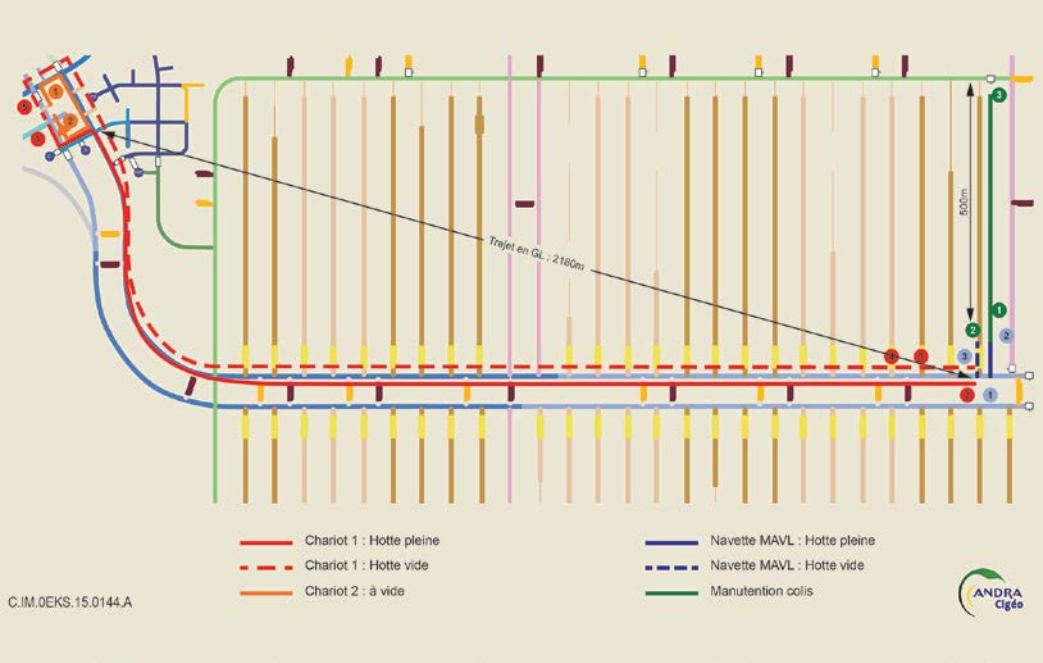


Figure 3.5-46 Schéma du cycle des transferts en fond MA-VL

3.5.9.2 Dispositions particulières dans les alvéoles MA-VL

La récupérabilité des colis est réalisée avec les mêmes équipements que ceux qui ont servi à leur mise en place. Toutefois, ces équipements sont complétés par un système de contrôle de la contamination et par un système de fixation de cette contamination. Le contrôle de la contamination est opéré par frottis à l'aide d'un bras télémanipulateur. Sa fixation est réalisée par projection de spray.

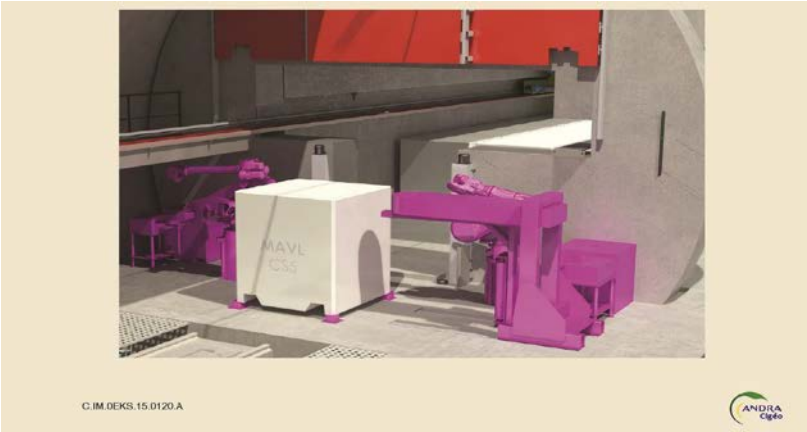


Figure 3.5-47 Equipements de contrôle et de traitement de la contamination

3.5.10 Les zones de stockage HA

3.5.10.1 Principales exigences de conception des quartiers et alvéoles HA

A noter que les exigences et données prises en compte pour la conception des zones de stockage sont en lien avec les objectifs de sûreté après fermeture listés dans le DOS-AF.

Critères de conception : (sur la base du concept de référence retenu en fin d'APS)

- les alvéoles de stockage HA sont des micro-tunnels subhorizontaux accusant une pente de l'ordre de 1% à 2 % orientée en point bas vers la galerie d'accès, afin de recueillir les éventuels effluents ;
- les alvéoles de stockage HA et HA0 sont borgnes ;
- la longueur des alvéoles HA sera établie en fonction notamment du risque de déviation du chemisage, de manière à satisfaire les besoins de rectitude associés à la manutention des colis ;
- en lien avec les exigences de sûreté après fermeture, la longueur d'alvéole HA est supérieure à 50 m. A ce stade :
  - ✓ la longueur des alvéoles HA exothermiques est de l'ordre de 100 m ;
  - ✓ la longueur des alvéoles HA moyennement exothermiques est de l'ordre de 80 m.
- les alvéoles sont orientés selon la contrainte principale majeure du Callovo-Oxfordien.
- chemisage :
  - ✓ le chemisage des alvéoles HA est en acier à basse teneur en carbone ;
  - ✓ la stabilité mécanique des alvéoles HA est réalisée par un chemisage. Celle-ci doit être assurée sur la période de réversibilité ;
  - ✓ tenue du chemisage pendant au moins 500 ans (contraintes mécaniques, thermomécaniques, corrosion, chargement hétérogène) pour répondre à des exigences de sûreté après fermeture ;
  - ✓ chemisage type acier pétrolier « Sour-service » d'une épaisseur minimale de 25 mm dont le diamètre est multiple de 2 pouces, ce qui correspond à des standards industriels ;
  - ✓ tenue aux contraintes géostatiques maximales, corrosion : 10µm/an d'épaisseur en moins pendant 500 ans.

Exigences liées à l'architecture industrielle :

- les quartiers des déchets HA les plus exothermiques seront regroupés dans une même zone, au Nord (référentiel ZIRA) des ZSL ;
- la zone HA0 moyennement exothermique est composée d'un quartier de stockage.
- deux possibilités:
  - ✓ le quartier peut être réalisé en une seule phase (2 galeries de liaison) et il est ensuite rendu à l'exploitation ;
  - ✓ le quartier est réalisé en plusieurs phases et doit répondre aux exigences de sécurité (mise en œuvre éventuelle d'une galerie de secours entre les deux galeries de liaison).
- la zone HA fortement exothermique est construite en plusieurs phases (une phase par quartier). Pour respecter le principe de séparation travaux/exploitation, chaque quartier est entièrement construit et équipé avant sa mise en exploitation ;
- les colis de déchets HA1 et HA2 seront stockés successivement ;
- la longueur de garde minimale des galeries de liaison entre le quartier HA0 et le pied des liaisons surface-fond sera prise égale à 300 mètres (quartier dont l'activité en radionucléides mobiles et à vie longue est relativement faible : HA moyennement exothermiques) ;
- la longueur de garde minimale des galeries de liaison entre les quartiers MA-VL / HA (hors HA0) et le pied des liaisons surface-fond sera prise égale à 500 mètres (quartiers dont l'activité en radionucléides mobiles et à vie longue est forte : HA fortement exothermiques et MA-VL).

Conditions de dimensionnement thermo-hydro-mécanique des quartiers HA

Pour justifier la sûreté du stockage après fermeture à l'échelle du quartier, un dimensionnement thermo-hydro-mécanique des quartiers HA est réalisé en prenant en compte :

- la puissance thermique induite par les différents types de déchets HA et la diffusion de la chaleur dans les argilites et la décroissance thermique liée à la décroissance radioactive qui est fonction de l'inventaire et de la durée d'entreposage préalable ;

- la contrainte horizontale majeure normale à l'axe des galeries d'accès ;
- la réponse hydromécanique des argilites à l'élévation de la température (variations des pressions interstitielles et de la contrainte effective en regard de la résistance mécanique) et la réponse mécanique des argilites au creusement des galeries d'accès (déformations, ruptures, comportement de la zone endommagée) ;
- la ventilation des galeries pendant la période d'exploitation et les variations éventuelles de débit au cours des phases successives de travaux, d'exploitation et d'attente de fermeture.

A titre informatif pour la poursuite des études en avant-projet détaillé, les données de dimensionnement retenues, sur la base de modélisations, avec des critères de rupture avec des seuils prudents (Rt=0) sont :

Tableau 3.5-1 Entraxes des alvéoles HA moyennement exothermiques d'une longueur environ 80m

Famille de colis		Puissance thermique (W/colis)	Nombre de colis par alvéole	Nombre d'alvéoles	Entraxe d'alvéole, Px (m)
CEA-1070, CEA-1080, CEA-350, CEA-1500	Verres AVM, verres Atalante, sources HA	193	64	13	51
		132	64	13	36
		77	64	19	22
		33	64	5	9,5
COG-150	Verres UMo	40	45	20	11,5
CEA-200, CEA-1190	Verres Piver et verres de laboratoire	30		2	8,5

Tableau 3.5-2 Entraxe des alvéoles HA fortement exothermiques d'une longueur d'environ 100m

	Famille de colis	Nbre de colis (PIGD vD)	Age des colis et puissance thermique à la mise en stockage	Nbre de colis par alvéole	Nbre d'alvéoles	Entraxe d'alvéole, Px (m)
Chronique de référence (2075-2140)	COG-140 COG-810 COG-820 COG-850 COG-860 COG-870 COG-880 COG-890 COG-900 COG-150	**7721**	85 ans (275 W/colis)	44	180 (dont 4 témoins)	33
	COG-800	**19010**	85 ans (345 W/colis)	38	501	36
	COG-200 COG-830	**15888**	85 ans (365 W/colis)	34	472 (dont 4 témoins)	51
		9268	70 ans (448 W/colis)	29	320	45

- l'entraxe entre deux alvéoles de colis de puissances différentes est égal à l'entraxe correspondant à l'alvéole la plus exothermique des deux ;
- les contraintes thermiques conditionnent des distances de 30m entre fond d'alvéoles au sein d'un même quartier HA et entre différents quartiers HA ;
- les galeries d'accès et les recoupes dans les zones de stockage font l'objet d'un dimensionnement thermo-hydro-mécanique. Des solutions techniques permettent de prendre en compte la dilation des revêtements, avec, par exemple, l'utilisation de cales compressibles dans le revêtement.

Observations surveillance *:*

- pour permettre le suivi de certains paramètres nécessitant des moyens d'auscultation, deux alvéoles HA représentatives des alvéoles réalisées ultérieurement, desquelles les colis seront in fine retirés pour être stockés dans d'autres alvéoles, seront réalisées.

3.5.10.2 Les alvéoles de stockage HA

Les alvéoles HA répondent à des principes de conception qui permettent de justifier le fonctionnement en exploitation et après fermeture des ouvrages.

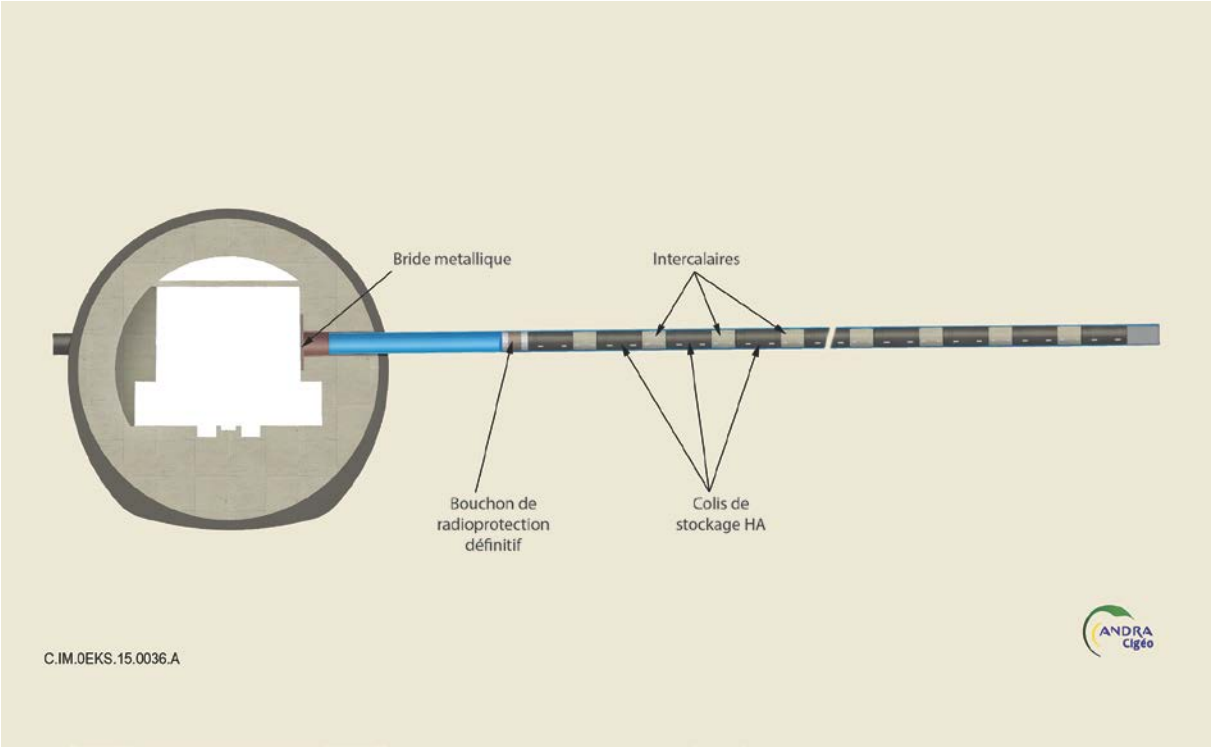


Figure 3.5-48 Coupe d'un alvéole HA1/HA2 : ici en fin de chargement (illustration fin APS)

La conception en référence de l'alvéole retient un chemisage métallique avec un colis primaire (CSD-V) dans un conteneur de stockage métallique ;

- les alvéoles de stockage contiennent des colis de stockage et (éventuellement des intercalaires[50]) ;
- le chemisage a une épaisseur minimale de 25 mm, son diamètre est de l'ordre de 700 mm ;
- l'alvéole est composée d'une tête d'alvéole et d'une partie utile au stockage ;
- la tête d'alvéole est constituée pendant l'exploitation d'une bride et d'un bouchon de radioprotection, dans l'attente de la fermeture définitive de l'alvéole ;
- l'espace annulaire entre le chemisage et l'argilite est rempli par un matériau imposant des conditions d'environnement limitant la corrosion (coulis à base de ciment, …).

A ce stade, sur la base des acquis obtenus en Laboratoire souterrain, la longueur totale de l'alvéole HA0 est de 80 m. Un essai d'alvéole représentatif est prévu à l'horizon 2017 au Laboratoire souterrain. En regard du temps disponible pour justifier la conception avant réalisation et exploitation de la zone HA1/HA2, notamment sur la base de l'expérience acquise avec la zone HA0, la longueur totale de l'alvéole HA /HA2 retenue est de 100 m.

[50] Les intercalaires permettent de gérer la puissance thermique d'une alvéole dans le cadre du dimensionnement thermique de la zone de stockage, l'objectif ultime étant de minimiser leur usage.

Des solutions évolutives d'alvéoles HA répondant à des fonctionnalités identiques seront étudiées. Elles pourront notamment s'appuyer sur une conception avec des composants non métalliques ou avec des dispositions permettant de limiter la corrosion (par exemple : céramiques).

3.5.10.3 Zone de stockage HAO

La zone de stockage HA0 est connectée aux ZSL travaux et exploitation par des galeries de liaison travaux et exploitation et des galeries d'accès.

Le quartier HA0 moyennement exothermique sera construit et exploité plusieurs décennies avant la zone HA1/2 plus exothermique. Ce quartier, qui correspond environ à 5% du nombre total d'alvéoles, est un pilote de stockage HA. Il permet d'acquérir un retour d'expérience sur la réalisation et l'exploitation des alvéoles HA. Sur la base d'un réseau instrumental d'acquisition et de surveillance des paramètres thermo-hydro-mécaniques, ce quartier pilote HA0 qui conforte et précise la durabilité des galeries d'infrastructure et le fonctionnement aéraulique, permet de finaliser le dimensionnement de la zone HA.

Deux possibilités sont envisagées:

- le quartier peut être réalisé en une seule phase (2 galeries de liaison) et il est ensuite rendu à l'exploitation ;
- le quartier est réalisé en plusieurs phases et doit répondre aux exigences de sécurité (mise en œuvre éventuelle d'une galerie de secours entre les deux galeries de liaison)

Dans la solution présentée ci-après, le quartier HA0 est réalisé en une seule phase comportant deux galeries d'accès ; il est ensuite rendu à l'exploitation.

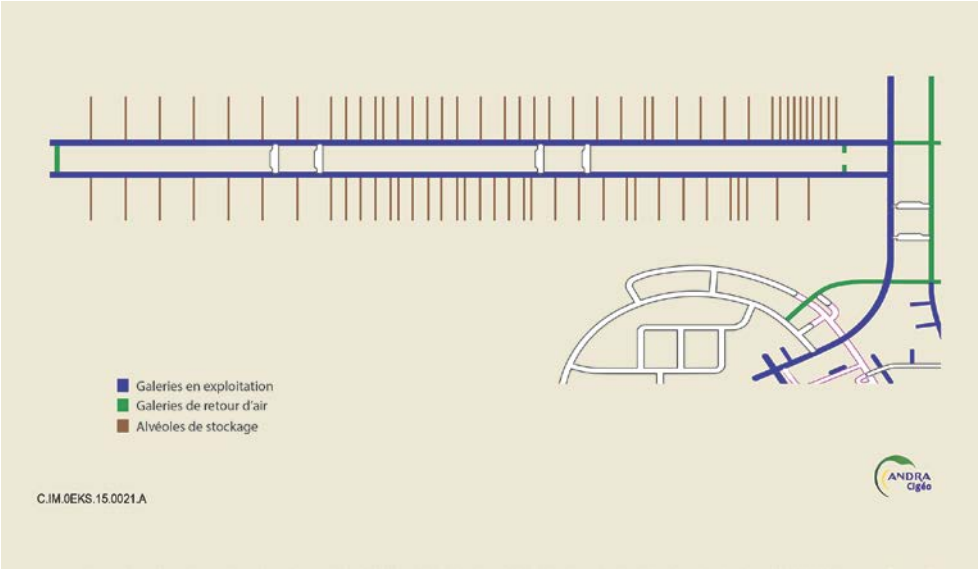


Figure 3.5-49 Quartier HA0 (illustration au stade de l'APS)

Les ouvrages composant le quartier HA0 sont :

- galerie de liaison exploitation ;
- galerie de liaison travaux ;
- galerie de liaison évacuation/secours ;
- galeries d'accès ;
- alvéoles ;
- des recoupes :
  - ✓ évacuation/secours entre galeries d'accès ;
  - ✓ évacuation/secours entre galeries de liaison ;
  - ✓ travaux/exploitation.

- des niches évacuation/secours (compartimentage).

Après la fermeture des alvéoles HA, la fermeture du quartier (niveau 4 de fermeture) correspond au remplissage par un remblai de l'ensemble des galeries d'accès et de liaison (et recoupes). Des ouvrages de scellement situés dans les galeries de liaison complètent le dispositif de fermeture. La solution de référence est la fermeture du quartier en fin de remplissage du quartier HA.

3.5.10.4 Zone de stockage HA1/HA2

La zone de stockage de colis de fortement déchets exothermiques HA1/HA2 est décomposée en quartiers. Les quartiers comprennent des galeries d'accès et des alvéoles de stockage de colis de déchets HA1/HA2. Les quartiers sont composés de modules dont le dimensionnement est adapté à chaque famille de puissance thermique.

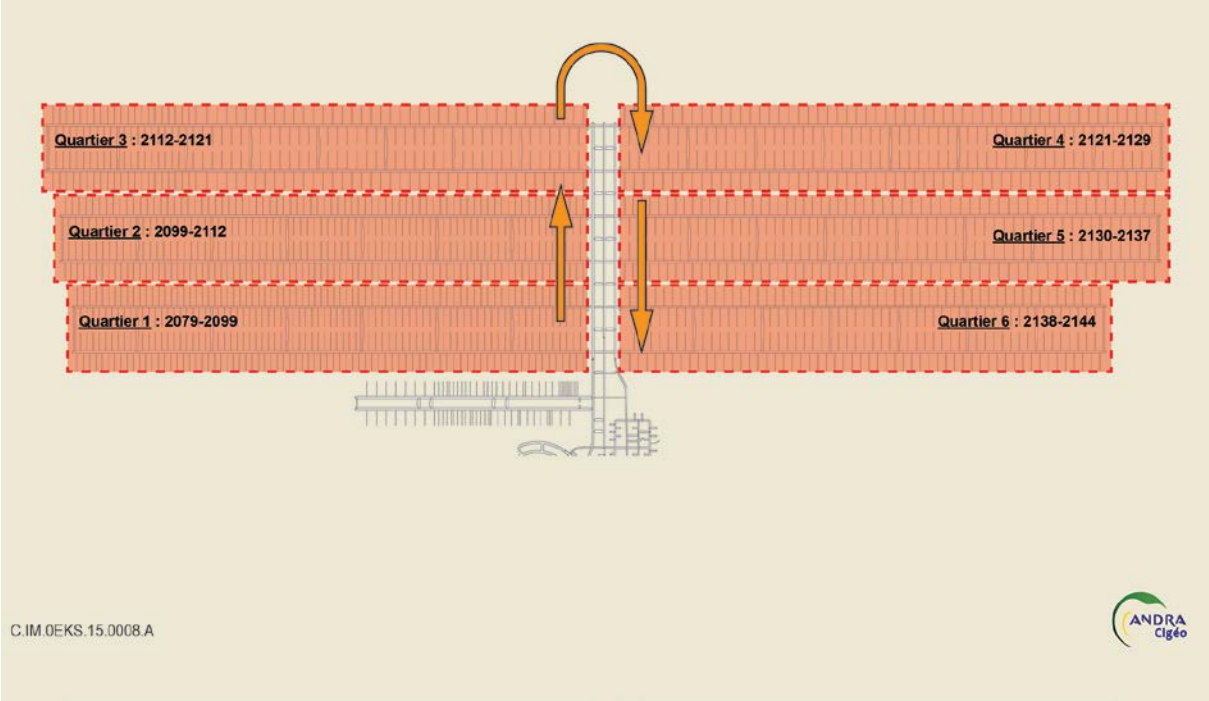


Figure 3.5-50 Principe de déploiement des quartiers HA1/HA2

Pour respecter le principe de séparation physique entre travaux et exploitation, le déploiement est fait par quartier. Chaque quartier passe successivement d'une phase travaux à une phase exploitation. Le déploiement s'effectue du 1er quartier au 3ème en « chassant » puis du 4ème quartier au 6ème en « rabattant ». Ses opérations sont réalisées en s'appuyant sur un faisceau de trois galeries : 2 galeries d'exploitation/travaux et une galerie centrale d'évacuation/secours.

Les ouvrages composant les quartiers HA1/2 sont (Cf. figure ci-après) :

- galerie de liaison exploitation (1) ;
- galerie de liaison travaux (2) ;
- galerie de liaison évacuation/secours (3) ;
- recoupes exploitation entre galeries de liaison (4) ;
- galeries d'accès (5) ;
- alvéoles (6) ;
- recoupes évacuation/secours-LTE CFO/CFI entre galeries d'accès (7) ;
- recoupe évacuation/secours entre galeries d'accès (extrémité du quartier) ;
- recoupes E/S-LTE CFO/CFI entre galeries de liaison (8) ;
- niches évacuation/secours (compartimentage).

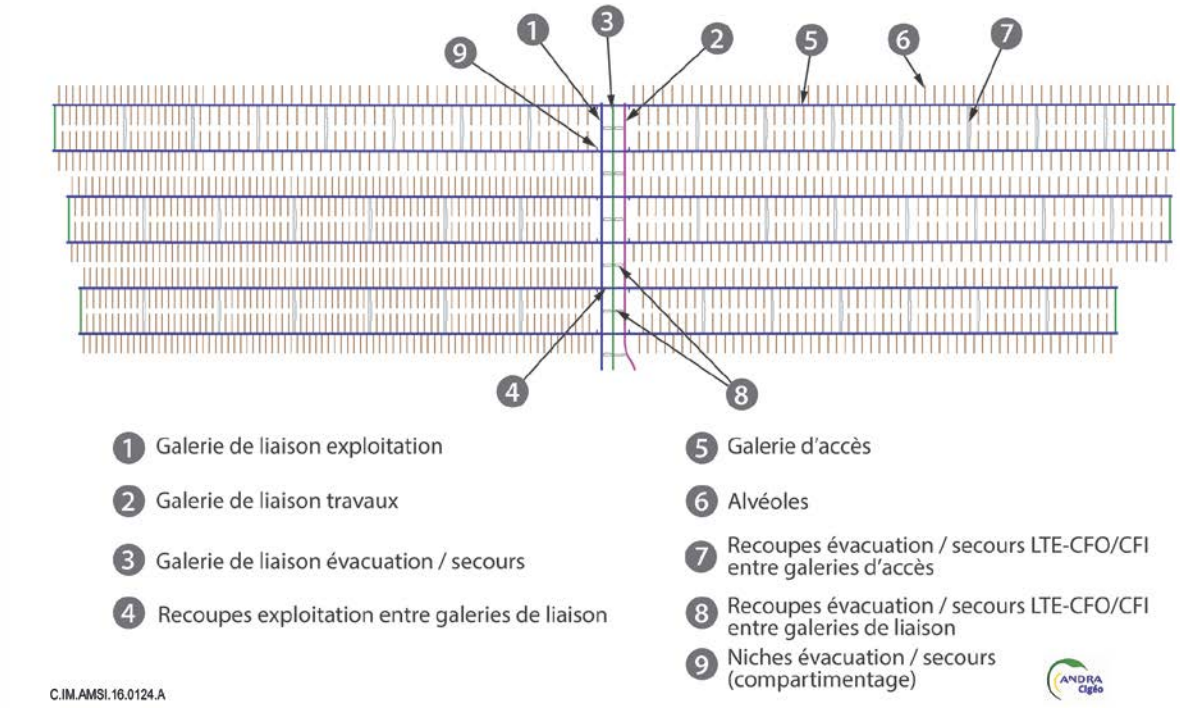


Figure 3.5-51 Vue en plan de la zone HA1/HA2

3.5.10.5 Optimisations du dimensionnement des zones HA et des alvéoles HA

- optimisation du dimensionnement THM et vérification de critères de rupture ;

Sont pris en compte, en l'état actuel des connaissances, sur la base de modélisations, des critères de rupture avec des seuils prudents (Rt = 0).

Les études et les modélisations et expérimentations et des développements théoriques et numériques sont poursuivis pour évaluer les conditions de rupture et d'endommagement. La possibilité est retenue de réinjecter des données d'entrée en cours d'APD en fonction des résultats des études et des optimisations technico-économiques, pour disposer d'une architecture à terminaison optimisée, qui servirait de référence pour la DAC.

- optimisation des alvéoles HA ;

Longueur : la longueur de référence de 80 m pour les HA0 est basée sur le retour d'expérience du Laboratoire souterrain et le programme d'essais d'ici la DAC. La longueur de référence de 100 m pour les HA1/2 est susceptible d'évoluer dans le cadre d'un programme d'optimisation visant des alvéoles plus longues (150 m).

Solutions alternatives : Des solutions d'alvéoles HA alternatives seront étudiées (au-delà de la DAC) en s'appuyant sur une conception avec des composants non métalliques ou avec des dispositions permettant de limiter la corrosion.

3.5.11 Transfert et stockage dans les alvéoles HA

Les alvéoles sont composées :

- d'une zone d'accostage des hottes ayant un rôle de protection radiologique ;
- d'une façade d'accostage des hottes en face de laquelle la navette HA vient positionner la hotte ;
- d'une tête d'alvéole ;
- d'une zone utile correspondant à un fourreau métallique circulaire (zone de stockage des colis HA).

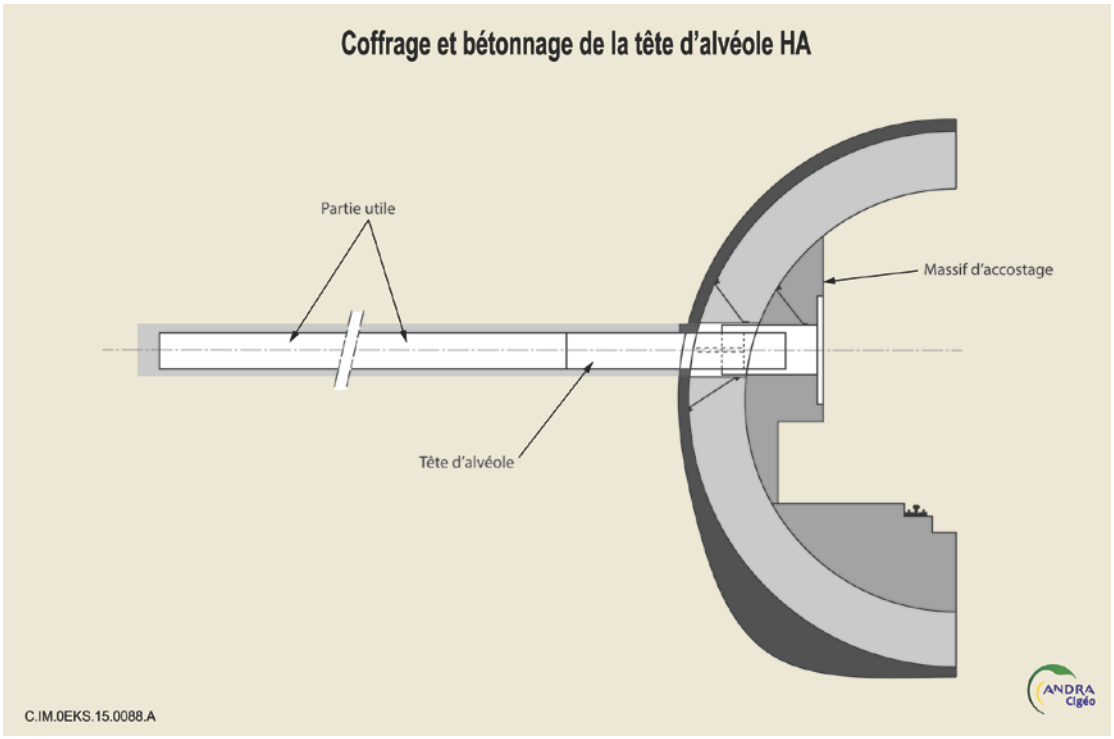


Figure 3.5-52 Alvéoles de stockage HA

Un bouchon d'exploitation positionné en tête d'alvéole permet d'assurer la protection radiologique lorsqu'il n'y a pas de manutention de colis. Pour des raisons de protection radiologique, ce bouchon est de diamètre supérieur à celui de l'alvéole. Ce bouchon peut être retiré ou mis en place par la hotte HA ainsi que par les robots-pousseurs ou tireurs.

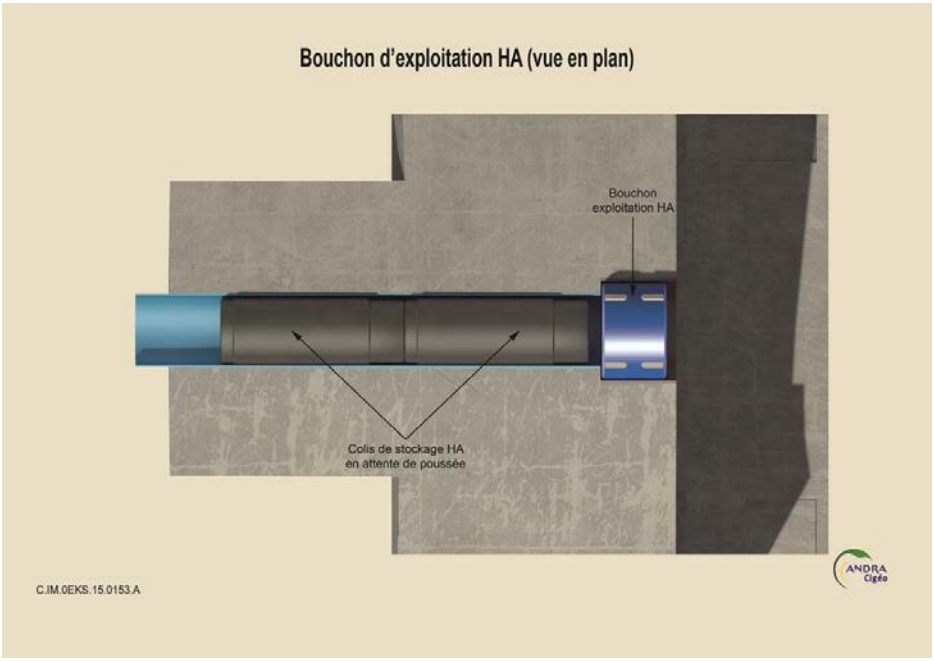


Figure 3.5-53 Bouchon d'exploitation des alvéoles HA

Les colis de stockage HA sont déposés en tête d'alvéole par la hotte de transfert, puis poussés au fond de l'alvéole par leur robot-pousseur. Chaque robot-pousseur est monté sur une hotte spécifique. Il circule dans la galerie d'accès sur une navette HA spécifique aux robots. Les hottes de transfert et celles du robot-pousseur sont en mesure de retirer et de remettre en place le bouchon d'exploitation.

Les opérations de mise en alvéole des colis de stockage HA sont les suivantes :

- accostage de la hotte HA ;
- retrait du bouchon d'exploitation ;
- dépose du colis de stockage HA en tête d'alvéole ;
- remise en place du bouchon d'exploitation ;
- accostage de la hotte du robot-pousseur ;
- retrait du bouchon d'exploitation ;
- transfert du colis de stockage HA (un colis de stockage à la fois) en fond d'alvéole par le robot pousseur ;
- remise en place du bouchon d'exploitation.

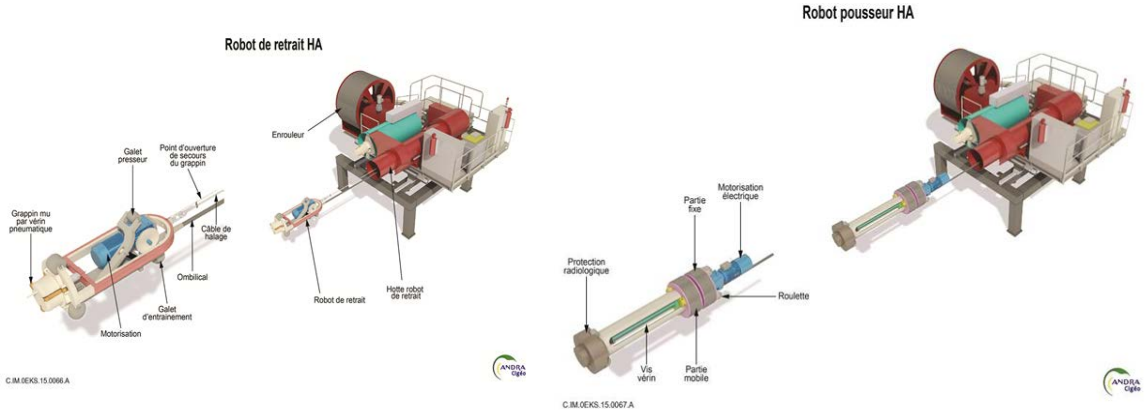


Figure 3.5-54 Hotte / robot de retrait et pousseur

3.5.11.1 Principes généraux d'exploitation des zones HA

L'exploitation de l'installation de fond est réalisée comme suit :

- En gare basse et ZSL :
  - ✓ prise en charge de la hotte pleine sur le transfert incliné par un chariot de fond ;
  - ✓ orientation du chariot grâce aux tables tournantes ZSL ;
  - ✓ transfert du chariot avec la hotte pleine vers la galerie de liaison menant au quartier de destination du colis.
- Dans le quartier HA :
  - ✓ dépose de la hotte en face de la galerie d'accès de l'alvéole de destination ;
  - ✓ orientation de la table tournante de rails ;
  - ✓ prise en charge de la hotte HA par la navette HA ;
  - ✓ dépose de la hotte HA devant la façade de l'alvéole de destination ;
  - ✓ accostage de la hotte HA à la façade d'accostage ;
  - ✓ retrait du bouchon d'exploitation par la hotte HA ;
  - ✓ dépose du colis de stockage HA au début de l'alvéole HA grâce à la hotte HA ;
  - ✓ remise en place du bouchon d'exploitation par la hotte HA ;
  - ✓ évacuation de la hotte vide ;
  - ✓ mise en place de la hotte robot-pousseur par une navette HA ;
  - ✓ accostage de la hotte robot-pousseur à la façade d'accostage ;
  - ✓ retrait du bouchon d'exploitation par la hotte robot-pousseur ;
  - ✓ mise en place du colis de stockage HA dans l'alvéole HA grâce au robot-pousseur ;
  - ✓ remise en place du bouchon d'exploitation par la hotte robot-pousseur.

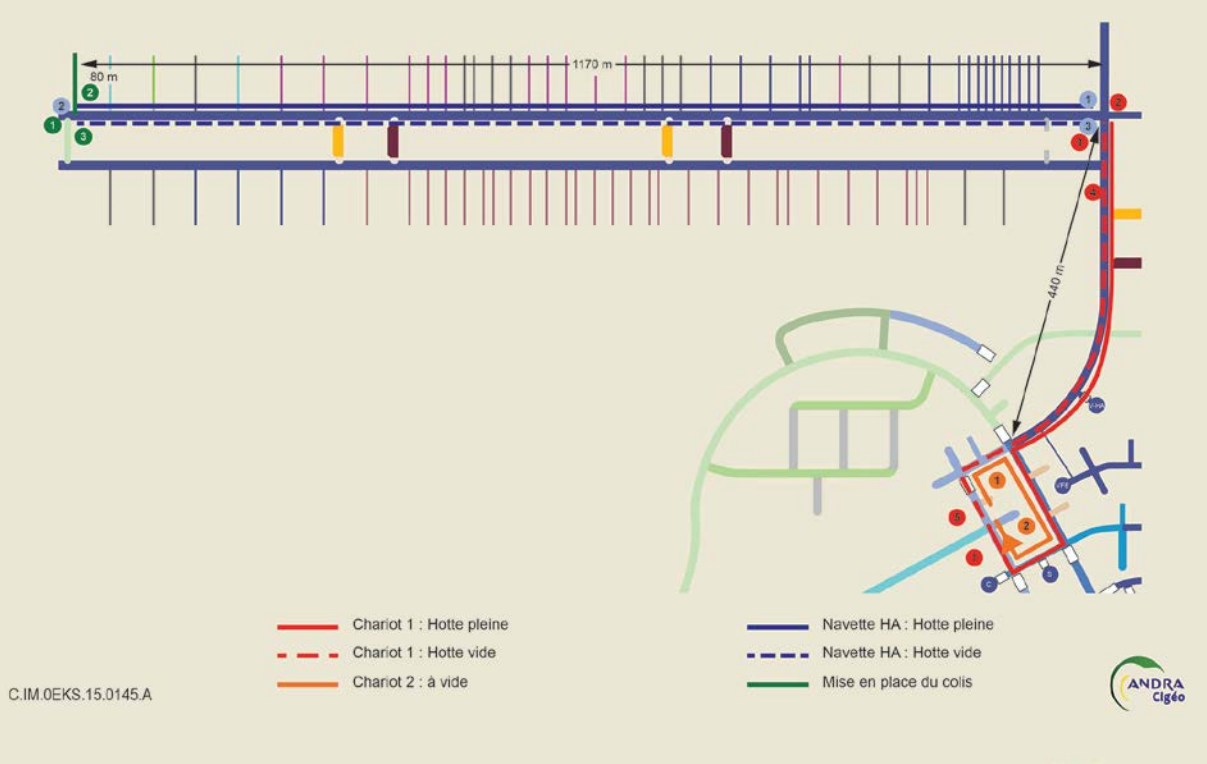


Figure 3.5-55 Schéma du cycle des transferts en fond HA0

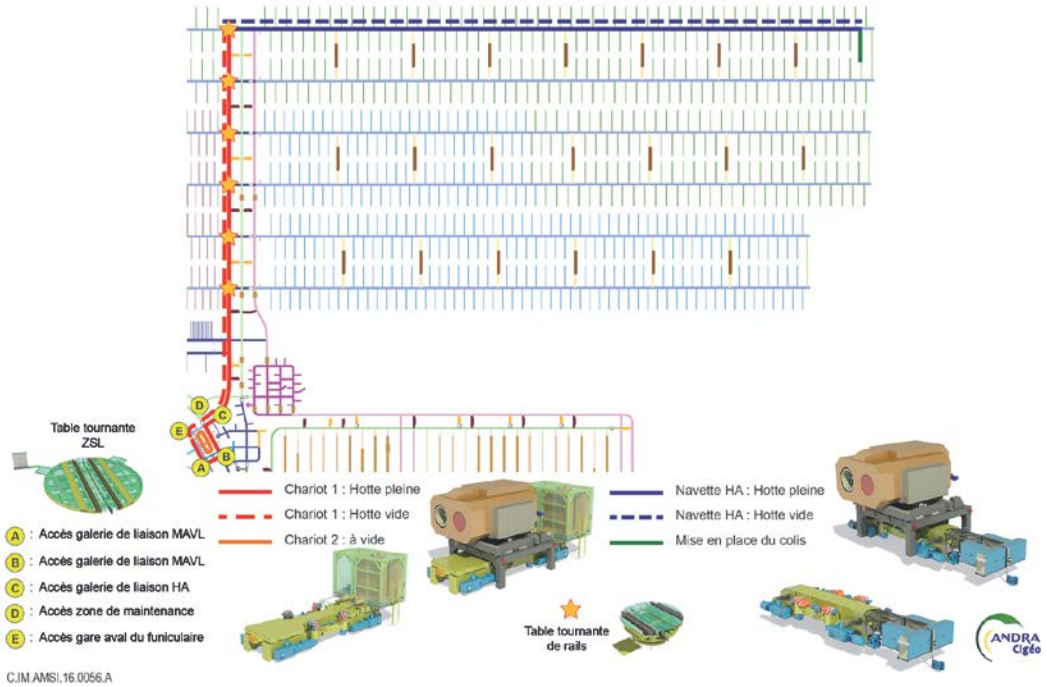


Figure 3.5-56 Schéma du cycle des transferts en fond HA1/HA2

3.5.12 La phase industrielle pilote, les ouvrages d'essais, les démonstrateurs et les alvéoles témoins, la reconnaissance et la réception des ouvrages

3.5.12.1 La phase industrielle pilote

Les objectifs de la phase industrielle pilote annoncés par l'Andra (délibération du conseil d'administration 5 mai 2014) portent sur :

- la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation ;
- les performances des équipements industriels ;
- la capacité à retirer des colis de déchets de leur alvéole de stockage ;
- la capacité à surveiller les ouvrages de stockage ;
- la capacité à sceller les alvéoles et galeries ;
- des essais pour tester des pistes d'optimisation technico-économique.

Cette phase industrielle pilote est prévue au démarrage de l'exploitation de Cigéo avant le passage en exploitation courante. Elle comportera notamment des essais permettant de conforter, en conditions réelles, la capacité à retirer les colis de déchets stockés dans Cigéo

3.5.12.2 Les ouvrages d'essais, les démonstrateurs et les alvéoles témoins

Une zone, séparée des quartiers MA-VL et HA0 où sont stockés les colis de déchets radioactifs accueille des ouvrages d'essais et des démonstrateurs. Des caractérisations et des essais dits «inactifs » y sont réalisés, c'est-à-dire sans présence de déchets radioactifs.

- concernant les alvéoles de stockage MA-VL, les modes opératoires de réalisation sont confirmés préalablement à la réalisation d'alvéoles dans le quartier MA-VL ;
- un ou des démonstrateurs d'alvéoles HA, inactifs, pourront être réalisés en fonction des essais menés préalablement en Laboratoire souterrain pour finaliser la conception préalablement à la réalisation des premières alvéoles HA0 ;
- certaines performances des équipements industriels sont vérifiées ;
- des démonstrateurs de scellements représentatifs sont réalisés. Ils sont destinés à suivre pendant la période d'exploitation du stockage sur le moyen terme et à échelle représentative la resaturation et la mise en charge hydraulique : scellement de liaison surface fond, de galerie et coupure hydraulique ;
- des études de pistes d'optimisation sont poursuivies, notamment un alvéole MA-VL de grand diamètre sera construit et fera l'objet de mesures et d'essais préalablement à une mise en œuvre en zone de stockage MA-VL.

Ces démonstrateurs qui sont destinés à être surveillés deviennent des ouvrages témoins inactifs.

Des alvéoles HA ou MA-VL témoins, représentatifs d'un type d'alvéole, situés en zone et quartier de stockage font l'objet de surveillance.

3.5.12.3 La reconnaissance, la réception et le début de la surveillance des ouvrages souterrains

Le creusement des ouvrages fait l'objet d'un suivi et d'acquisitions d'informations visant à conforter le modèle géologique géométrique et ses paramètres physico-chimiques supports.

Le modèle géologique 3D actuel a atteint un niveau de maturité élevé et une précision importante. Des forages complémentaires de reconnaissance sont programmés avant de réaliser les liaisons surface-fond pour notamment caler précisément la profondeur des surfaces des différentes unités sur le site d'implantation.

Tout au long de la construction de l'installation souterraine, une reconnaissance géologique à l'avancement sera mise en œuvre. Il s'agira notamment de contrôler l'homogénéité de la couche et de mesurer les paramètres importants vis-à-vis des fonctions de sûreté et ceux qui impactent le dimensionnement des ouvrages.

La vérification des caractéristiques importantes de la roche hôte, prises pour données d'entrée dans l'évaluation de sûreté après fermeture (comportement mécanique, extension, structure, perméabilité

de la zone endommagée autour des ouvrages…) fait partie du programme de surveillance mené dès la réalisation des ouvrages, au cours de la phase industrielle pilote (et poursuivi au-delà).

Dans le cadre du programme de surveillance[51], des tronçons d'ouvrages de l'installation souterraine, (des tronçons de descenderie et de puits, des tronçons de galerie ou des intersections, des alvéoles HA et MA-VL), choisis pour leur caractère représentatif d'un ensemble d'ouvrages ou pour leur positionnement particulier (par exemple à l'emplacement d'un futur scellement) en regard des objectifs de sûreté en exploitation ou en après fermeture feront l'objet de mesures de surveillance spécifiques. Ces ouvrages sont dénommés «témoins». Les informations spécifiques recueillies dans ces «témoins» seront intégrées et valorisées dans le programme de surveillance de Cigéo. Leurs rôles et les fonctions des mesures spécifiques qu'ils abritent seront définis dans le dossier de DAC.

Les moyens opérationnels mis en œuvre seront définis en avant-projet détaillé. Ils s'appuieront sur le retour d'expérience du Laboratoire souterrain, ces moyens pourront notamment inclure des observations visuelles, des cuttings, des forages carottés pluri-métriques, des instrumentations en forage et des méthodes géophysiques non intrusives.

A titre d'illustration, dans le cadre des galeries de liaison creusées au tunnelier, les dispositions opérationnelles ci-après de suivi à l'avancement, de mise en place de l'instrumentation de surveillance, de mesures de caractérisation et de réception des ouvrages sont envisageables. Elles seront précisées en phase d'avant-projet détaillé :

- analyse de cuttings pour suivre la continuité des paramètres physico-chimiques supports (à la sûreté et au dimensionnement) ;
- mise en place en retrait du front de sections de mesures hydro-géo mécaniques (forages carottés avec mesures d'extensométrie, pression interstitielle, température, etc.), caractérisation de l'EDZ, et ensuite chroniques de mesures dans le cadre de la surveillance (dont mesures régulières de convergence) ;
- mise en place d'instrumentations (mesure de charges, cordes vibrantes, etc.) pour caractériser la reprise de charges, dans les bétons de revêtement, dans les matériaux de remplissage (par exemple, matériau compressible) et la roche ;
- mesures géophysiques (tomographie sismique) pour caractériser l'EDZ (initial puis chronique dans le cadre de la surveillance) ;
- mesures sur le moyen terme de perméabilité au gaz et à l'eau dans l'EDZ ;
- réception des ouvrages (génie civil, profondeur d'EDZ,...) tels que construits en conformité avec la spécification de réalisation ;
- poursuite des chroniques de mesures dans le cadre de la surveillance.

Dans les zones de stockage, en fonction des configurations géométriques de galeries et des connaissances acquises pendant le creusement (en lien avec la connaissance portée par le modèle géologique), il pourra être envisagé de compléter le modèle géologique par forages carottés ou par tomographie sismique entre galeries, préalablement au creusement des alvéoles.

La surveillance commence dès le creusement et la construction des ouvrages et dure pendant toute son exploitation. Elle consiste en la mesure systématique continue ou périodique d'un certain nombre de grandeurs permettant de contrôler le fonctionnement de l'installation.

[51] Les principales attentes relatives à la surveillance de l'installation souterraine sont indiquées dans le Guide de sûreté : « Outre sa contribution à la sûreté de l'installation en phase d'exploitation, le programme de surveillance a pour objectif de suivre l'évolution de certains paramètres caractérisant l'état des composants de l'installation de stockage et du milieu géologique, ainsi que les principaux phénomènes responsables de cette évolution. Le programme de surveillance basé sur l'actualisation des connaissances scientifiques doit permettre de montrer que les phénomènes précités ont bien été anticipés et restent maîtrisés. Il apporte également les éléments nécessaires pour la gestion, l'exploitation et la réversibilité de l'installation. Les moyens utilisés pour la surveillance ne doivent pas diminuer le niveau de sûreté du stockage ». Le guide indique également : « Un programme de surveillance de l'installation doit être mis en œuvre pendant la construction des ouvrages de stockage et jusqu'à la fermeture de l'installation. Certaines dispositions de surveillance pourraient également être maintenues après la fermeture de l'installation ». Pour ce qui concerne la surveillance après fermeture, le guide précise : « la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée ».

3.5.13 Systèmes auxiliaires de l'installation souterraine

[Note de lecture : les systèmes auxiliaires utilisant de nombreux sigles, ils sont en gras lors de leur première utilisation]

Pour ce qui concerne l'électricité haute tension A, HTA, et les systèmes courants faibles industriels CFI, l'architecture et la description s'inscrivent dans une architecture système.

3.5.13.1 Systèmes (CFI)

Des asservissements sont mis en œuvre entre :

- **le SSI (Système de Sécurité Incendie)** et la ventilation nucléaire et son propre contrôle-commande, **ensemble fonctionnel ventilation nucléaire (EF VN)** ;
- le SSI et les équipements mécaniques situés en **zone de soutien logistique (ZSL)** et dans les galeries (par exemple des portes de sas et de sectionnement) ;
- le système de radioprotection, **ensemble fonctionnel radioprotection (EF RP)** et la ventilation nucléaire.

Au-delà de l'installation souterraine et des systèmes CFI associés, les systèmes de contrôle-commande du transfert incliné et des moyens de manutention des hottes de transfert des colis de stockage en ZSL et dans les galeries ainsi que des équipements de mise en alvéoles (MA-VL et HA) sont impactés par des informations issues d'ensembles fonctionnels CFI. Typiquement, une détection incendie, **ensemble fonctionnel système de sécurité incendié (EF SSI),** engendre des actions au niveau des systèmes de contrôle-commande précités pour mettre en position de repli ou à l'état sûr les équipements concernés.

Les échanges d'informations se font via des modules d'interopérabilité permettant le transfert des données à échanger entre les ensembles fonctionnels concernés (SSI, VN, RP) qui ont chacun leur propre réseau de communication (support physique indépendant).

<u>Systèmes Courants Faibles Industriels</u>

Un certain nombre d'ensembles fonctionnels du SII de Cigéo sont concernés par les activités des sous-systèmes du process nucléaire, de l'installation souterraine et du transfert incliné.

La fonction de chacun ces ensembles ou systèmes est décrite §1.6 Systèmes auxiliaires de l'installation Cigéo du présent document.

Les ensembles fonctionnels concernant l'installation souterraine sont :

- l'EF **DP (Dispositions Particulières)** relatif au contrôle d'accès, à la détection d'intrusion, à la surveillance (système rondier) et à la vidéosurveillance ;
- l'EF **SSP, relatif aux Systèmes de Sécurité des Personnes** en zones contrôlées ;
- l'EF **VDI (Voix, Données, Image),** relatif à la téléphonie, l'interphonie, au réseau de vidéodiffusion (télévision, informations site), radiocommunication ;
- l'EF **GTB (Gestion Technique du Bâtiment**) pour la gestion des fluides et utilités, de l'électricité BT et des ascenseurs puits ;
- l'EF **GTC (Gestion technique critique)** relatif à l'acquisition des informations critiques (alarmes, évènements) ;
- l'EF **GTE (Gestion Technique Electrique)** relatif à la surveillance et au maintien opérationnel des réseaux électriques ;
- l'EF RP (Radio Protection) pour la surveillance radiologique d'ambiance, la surveillance des rejets gazeux et liquides, la surveillance des rejets atmosphériques en cheminées d'exhaure et la dosimétrie opérationnelle ;
- l'EF SSI (Système de Sécurité Incendie) pour la détection et la mise en sécurité incendie du bâtiment EP1;
- l'EF VN (Ventilation Nucléaire) ;
- l'EF **MCO (Maintien en Condition Opérationnelle)** des équipements via la **gestion de maintenance assistée par ordinateur GMAO.**

Les ensembles fonctionnels concernant les sous-systèmes du process nucléaire et du transfert incliné sont :

- l'EF GTC relatif à l'acquisition des informations critiques (alarmes, évènements) ;
- l'EF GTE (Gestion Technique Electrique) relatif à la surveillance et au maintien opérationnel des réseaux électriques ;
- l'EF SSI (Système de Sécurité Incendie) pour la détection et la mise en sécurité incendie du bâtiment EP1;
- l'EF MCO (Maintien en Condition Opérationnelle) des équipements via la GMAO.

3.5.13.2 La ventilation

Principes généraux

Les zones de travaux et d'exploitation disposent chacune d'une ventilation indépendante. Cette ventilation est basée sur un système « poussage-extraction » : une installation de soufflage et une autre d'extraction. Ce système couramment utilisé dans les réseaux de tunnels ou métros permet :

- d'assurer un contrôle des cascades de dépression entre les différentes zones d'exploitation au fond, une meilleure répartition des flux d'air entre les différents quartiers de l'installation et une plus grande flexibilité pour le réglage et l'équilibrage des réseaux ;
- de minimiser les fuites d'air entre la zone d'exploitation et la surface ;
- de maintenir une ventilation minimale en cas de perte d'une des deux usines de ventilation, dans le respect du sens des écoulements d'air ;
- de répartir les pertes de charges vues par les ventilateurs entre les 2 usines, et ainsi retenir des équipements de ventilation dans les gammes « standard » des fournisseurs. Dans le cas de conception avec une seule usine de ventilation , la pression vue par les ventilateurs serait de l'ordre de 10 kPa ou plus, nécessitant des équipements « sur mesure » engendrant des coûts d'investissement, de maintenance et de jouvence plus élevés. Les coûts d'exploitation sont donc réduits.

La ventilation de la zone exploitation est réalisée par l'intermédiaire de deux puits et des deux descenderies : l'air neuf est fourni par le puits personnel exploitation et le retour d'air s'effectue par le puits de retour d'air exploitation et par les descenderies colis et de service.

La ventilation de la zone travaux est réalisée par l'intermédiaire des puits personnel travaux et de retour d'air travaux : l'air frais est apporté par le puits personnel travaux et le retour d'air s'effectue par le puits de retour d'air travaux. Il est important de souligner qu'un débit non significatif (par rapport au besoin global de cette zone) circule dans le puits matériel et travaux (ce flux n'est pas présenté sur la figure associée).

Ventilation de la zone d'exploitation

L'alimentation en air frais dans la zone d'exploitation est réalisée par le puits personnel exploitation. Un plenum situé au niveau du puits permet de répartir l'air dans les différentes zones du souterrain : zones MA-VL, HA/HA0 et zone de soutien logistique exploitation.

- Zone MA-VL

La zone MA-VL est alimentée par l'intermédiaire du plénum. L'air frais circule en pleine section dans les galeries de liaison MA-VL puis passe par la galerie d'accès pour traverser chaque alvéole de la zone. L'air vicié (air issu de l'alvéole) est évacué après filtration THE dans une gaine dédiée au sein de la galerie de retour d'air pour arriver au puits de retour d'air exploitation. Cet air est enfin rejeté vers l'extérieur.

- Zone HA/HA0

Les zones HA/HA0 sont alimentées par l'intermédiaire du plénum. L'air frais circule en pleine section dans les galeries de liaison HA (ou HA0) puis traverse les deux galeries d'accès alvéole du quartier HA (ou HA0) en phase de remplissage des colis. Une trappe en extrémité de chaque galerie d'accès permet d'évacuer l'air (vicié) traversant cette galerie vers le puits de retour d'air exploitation. Cette évacuation

est réalisée par l'intermédiaire d'un carneau situé en partie supérieure des galeries d'accès et de liaison. Cet air est enfin rejeté vers l'extérieur par le biais du puits de retour d'air exploitation.

- Zone de soutien logistique

La zone de soutien logistique est alimentée par l'intermédiaire du plénum. L'air frais circule en pleine section dans les galeries constituant la zone. Des trappes, placées en extrémité de certaines galeries dans cette zone, permettent d'extraire une partie de l'air issu de cette zone, l'autre partie de cet air étant dédiée à l'alimentation en air des deux descenderies. L'air extrait est ensuite dirigé vers le puits de retour d'air exploitation par l'intermédiaire d'un carneau situé en partie supérieure des galeries. Cet air est enfin rejeté vers l'extérieur.

- Descenderies

Les deux descenderies sont alimentées par de l'air issu la zone de soutien logistique exploitation. L'air circule en pleine section dans les deux descenderies avant d'être évacué à l'extérieur.

Ventilation de la zone travaux d'exploitation

L'alimentation en air frais dans la zone travaux d'exploitation est réalisée par le puits personnel travaux. Cette ventilation est de type « soufflant ». L'air neuf, issu du puits personnel travaux d'exploitation, circule dans les ventubes situés en partie supérieure des galeries de liaison travaux pour alimenter le front de creusement en air sain. L'air s'évacue en pleine section après traitement par des dépoussiéreurs situés en galerie à proximité du front de creusement. Cet air circule dans les galeries de liaison vers le puits de retour d'air travaux avant d'être évacué à l'extérieur.

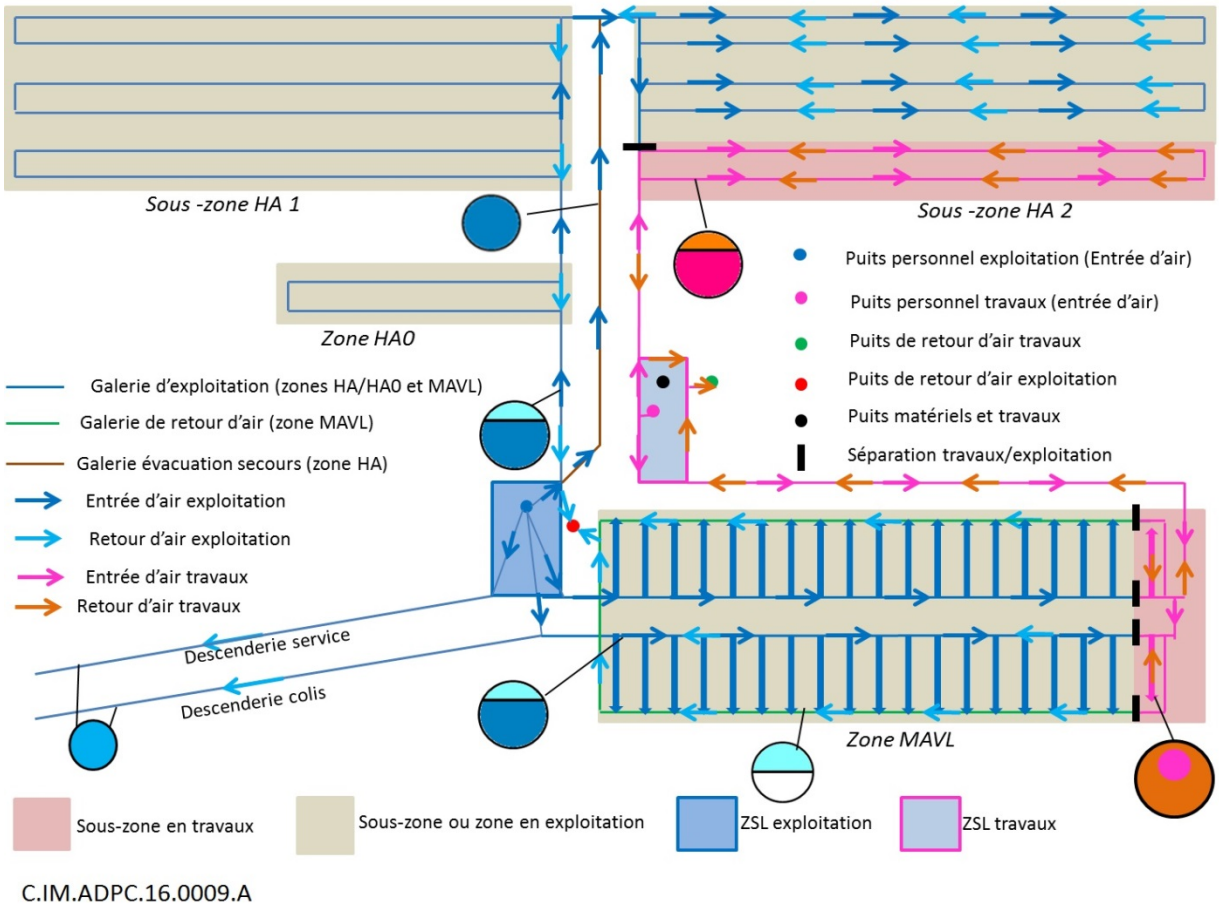


Figure 3.5-57 Schéma de fonctionnement de la ventilation (intemporel)

3.6 Les systèmes auxiliaires au niveau de l'installation Cigéo

3.6.1 Système d'Information Industriel

L'architecture générale fonctionnelle du Système d'Information Industriel (SII) de Cigéo se décompose suivant le schéma ci-après :

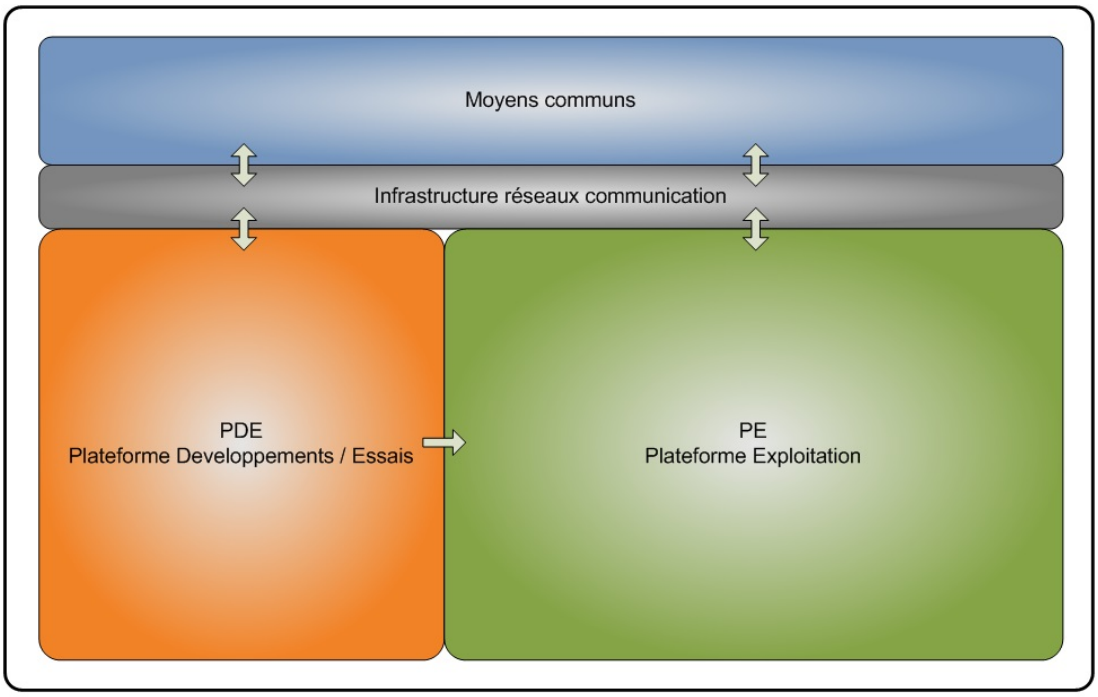


Figure 3.6-1 Architecture générale fonctionnelle du SII

Deux ensembles transverses, « moyens communs » et « infrastructure des réseaux de communication » participent au fonctionnement de deux plateformes opérationnelles :

- plateforme Exploitation ;
- plateforme Développements/Essais.

Le terme plateforme englobe l'ensemble des moyens opérationnels appliqués aux activités de développement, d'essais et d'exploitation, il comprend :

- les locaux d'où sont conduits les développements, les essais et l'exploitation du site,
- les moyens de communication et de contrôle-commande,
- les équipements et dispositifs de terrain.

La plateforme Développements/Essais représente les moyens et fonctions nécessaires durant la période de coactivité aux activités de développement, de tests, d'intégration, mais également pour les actions de formation.

La plateforme Développements/Essais permet de tester et de qualifier les extensions graduelles (matériel, application, etc…) avant le déploiement en plateforme d'exploitation.

Sa structure, de configuration significativement identique à la plateforme d'exploitation, permet de :

- valider les essais réalisés dans des conditions proches de l'exploitation normale ;
- former et mettre à niveau les opérateurs de conduite via les logiciels de simulation de parties opératives.

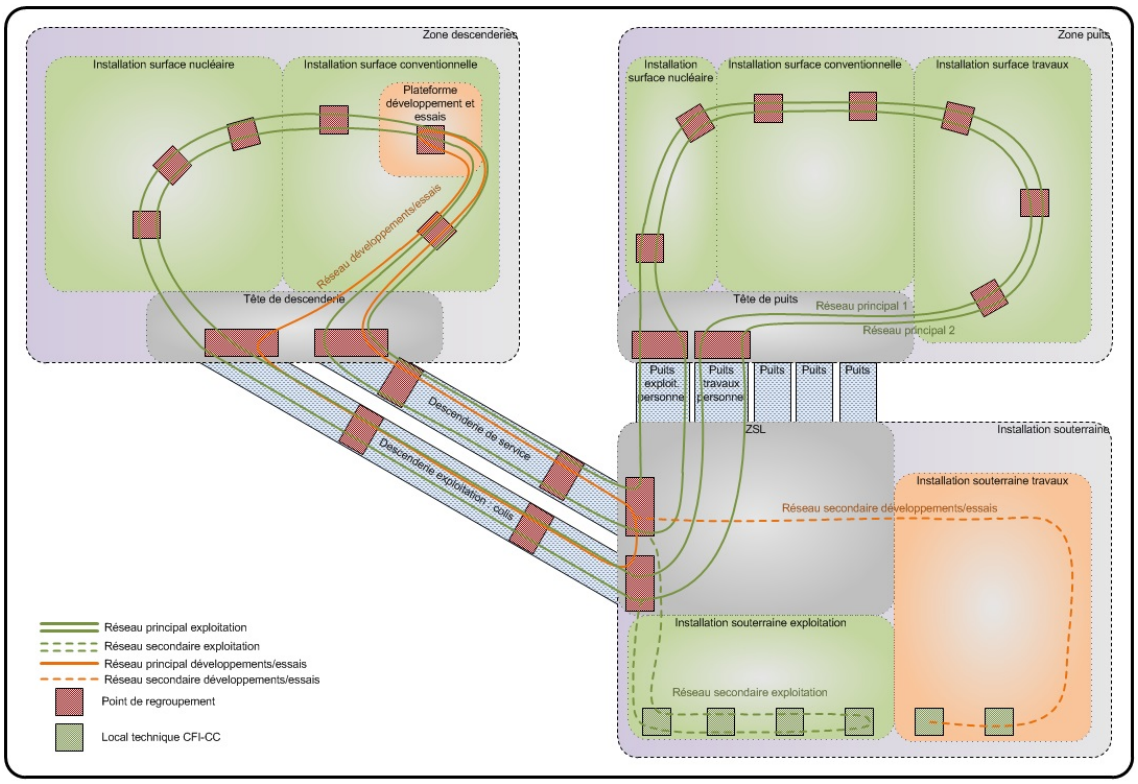
Cette plateforme s'appuie sur les moyens communs du SII.

Les moyens communs fournissent l'ensemble des besoins en exploitation et maintenance informatique du système d'information industriel.

L'infrastructure des réseaux de communication réalise les liens physiques et logiques entre les équipements et les logiciels.

Le support physique du réseau principal du SII est constitué de fibres optiques monomodes multibrins prévues pour les applications :

- D'infrastructure de type épine dorsale de communication d'entreprise installable en colonne montante et en cheminement horizontal ;
- Permettant de soutenir toutes les applications de réseaux informatiques tels que VDI, FDDI, Ethernet Gigabit ;
- De résistance au feu, sans halogène et étanches adaptés pour l'intérieur et l'extérieur ;
- De durée de vie prévue > 60 ans ;
- Résistant au niveau des radiations locales.

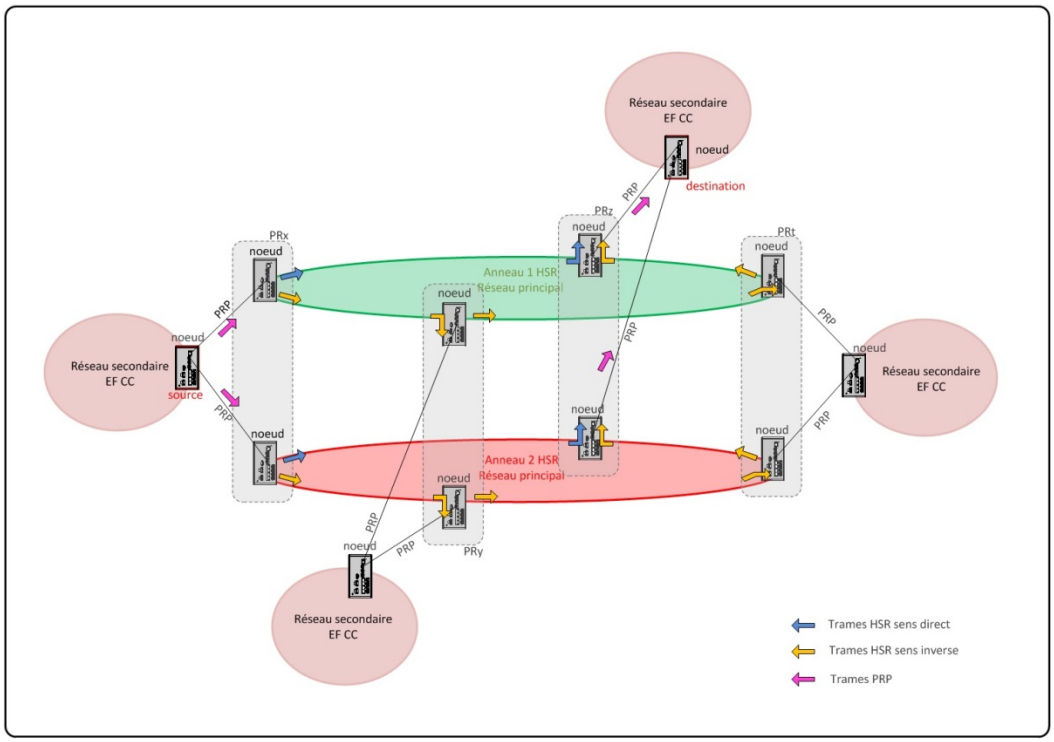


C.IM.ADPC.16.0011.A

Figure 3.6-2 Infrastructure des réseaux de communication

Les 2 anneaux auto-cicatrisants sont sous protocole sécurisé au standard HSR pour réseaux de haute disponibilité.

Toutes les données sont dupliquées au travers des 2 anneaux de réseaux haut débit à forte résilience en utilisant le protocole HSR/PRP.



C.IM.ADPC.16.0012.A

Figure 3.6-3 Principe général architecture réseau pour un ensemble fonctionnel incluant les connexions aux réseaux secondaires

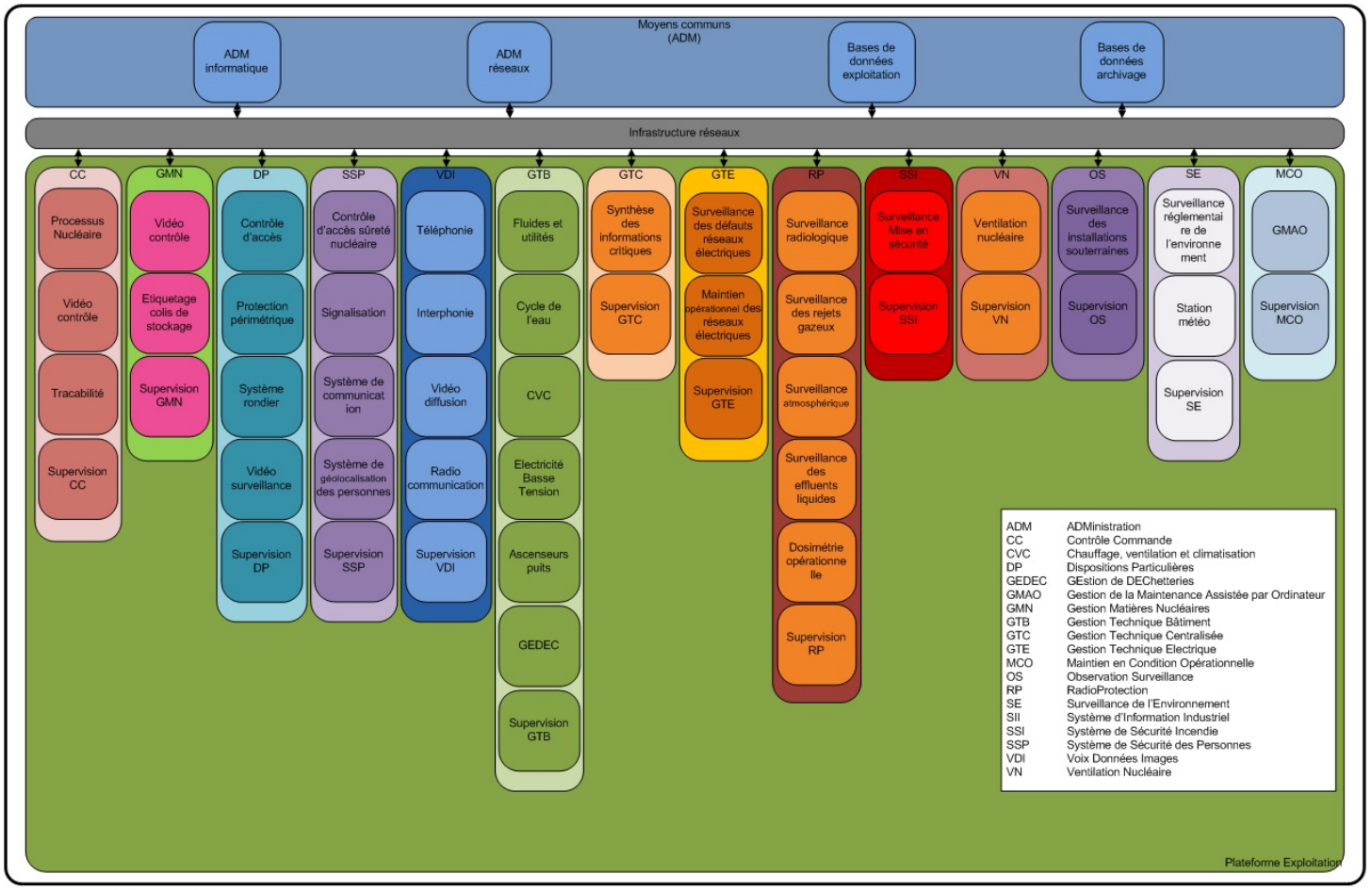
Le réseau principal exploitation couvre tous les besoins de communication de chaque ensemble fonctionnel et couvre l'ensemble des zones d'exploitation.

Pour les exigences liées à la disponibilité et à sûreté de fonctionnement du système de contrôle-commande, les moyens de communication sont redondés.

Le Système d'Information Industriel est organisé en 15 ensembles fonctionnels (EF) qui correspondent aux systèmes Courants Faibles Industriel (CFI) et au système de Contrôle-Commande du processus nucléaire qui seront mis en œuvre :

- ADM : ADMinistration ;
- CC : Contrôle-Commande du process nucléaire ;
- GMN : Gestion des Matières Nucléaires ;
- DP : Dispositions Particulières ;
- SSP : Système de Sécurité des Personnes ;
- VD I: Voix, Données et Images ;
- GTB : Gestion Technique du Bâtiment ;
- GTC : Gestion Technique Centralisée ;
- GTE : Gestion Technique Electrique ;
- RP : Radio Protection ;
- SSI : Système de Sécurité Incendie ;
- VN : Ventilation Nucléaire ;
- OS : Observation Surveillance ;
- SE : Surveillance de l'Environnement ;
- MCO : Maintien en Condition Opérationnelle.

Une représentation schématique de l'organisation en ensembles fonctionnels de Cigéo est donnée ci-après.



C.IM.ADPC.16.0013.A

Figure 3.6-4 Représentation schématique de l'organisation en ensembles fonctionnels de Cigéo

La structure du réseau principal suit une distribution physiquement indépendante par ensemble fonctionnel pour garantir l'étanchéité de chaque domaine. Des regroupements peuvent être envisagés si nécessaire pour mutualiser les moyens de communication entre ensembles fonctionnels.

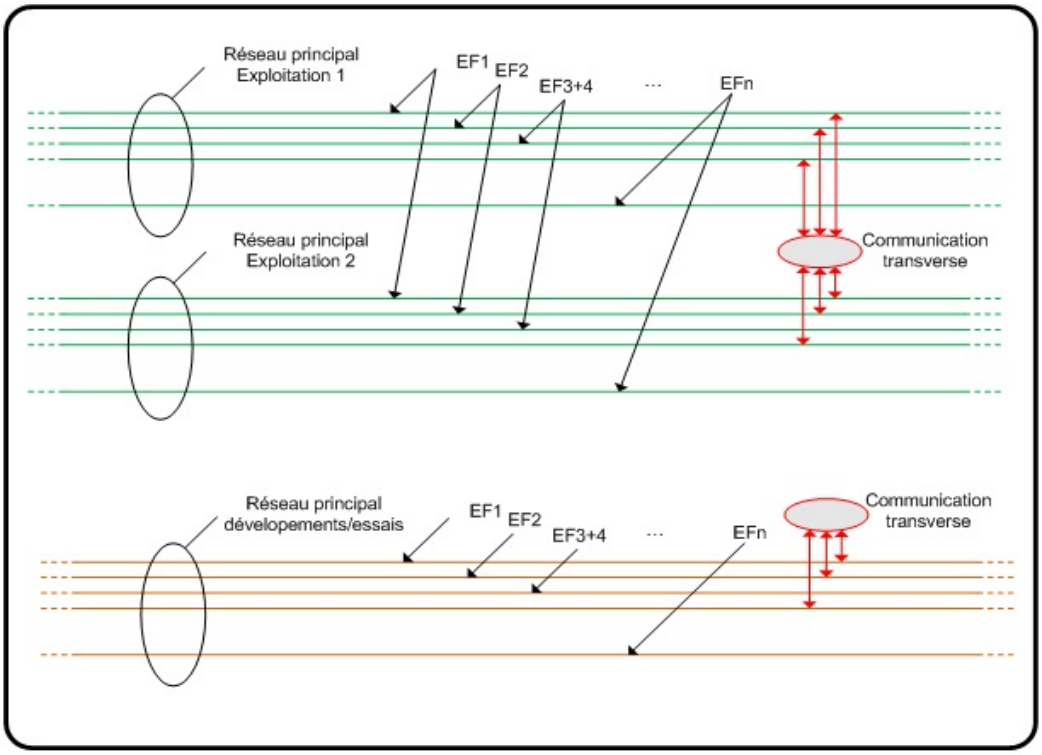


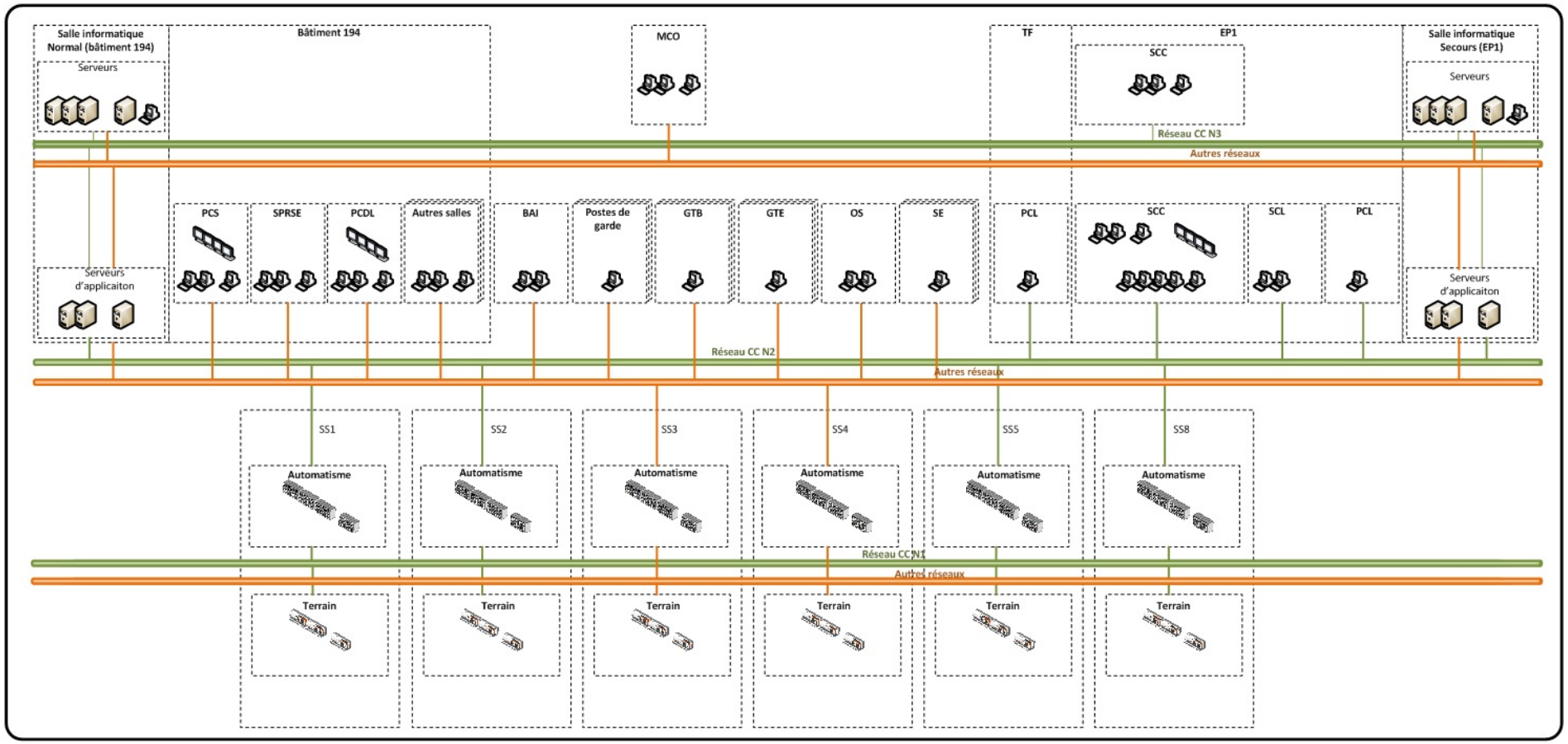
Figure 3.6-5 Principe de distribution du réseau principal

Pour la communication transverse entre ensembles fonctionnels, un module d'interopérabilité applicative est mis en place de façon à autoriser le dialogue entre différents domaines tout en garantissant le principe d'indépendance des réseaux par ensemble fonctionnel.

Ce principe de distribution est aussi appliqué au réseau de communication dédié à la plateforme de développements/essais.

Des cheminements distants sont prévus pour séparer, autant que possible, le parcours aller et retour de l'anneau d'une part et le réseau redondant d'autre part.

L'architecture globale réseaux et niveaux d'acquisition et de traitement des informations suivant le concept CIM sont présentés ci-après.



C.IM.ADPC.16.0015.A

Figure 3.6-6 Architecture globale réseaux et niveaux d'acquisition et de traitement des informations

3.6.2 Systèmes Courants Faibles Industriels

Les systèmes Courants Faibles Industriels correspondent aux 14 Ensembles fonctionnels suivants :

- ADM (ADMinistration) : il regroupe les moyens communs du SII et l'informatique de niveau bureautique ;
- GMN (Gestion des Matières Nucléaires) : l'exploitation d'une INB nécessite la mise en place d'un système de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires présentes dans l'installation. Ce système permet de tenir une comptabilité des matières détenues au sein de Cigéo dans le respect des impositions Euratom ;
- DP (Dispositions Particulières) : il est dédié à la FLS au PCS (Poste Central de Sécurité) et met en œuvre les moyens pour assurer le contrôle des accès et la sécurité des personnes et des biens vis-à-vis d'un acte de malveillance, de sabotage ou de terrorisme au travers d'une supervision centralisée. Il est composé de quatre systèmes ou sous-ensembles fonctionnels :
  - ✓ contrôle d'accès ;
  - ✓ système rondier ;
  - ✓ protection périmétrique ;
  - ✓ vidéosurveillance ;
- SSP (Système de Sécurité des Personnes) : il contrôle les barrières technologiques et les dispositifs participant à la protection du personnel dans les zones contrôlées au travers d'une supervision centralisée. Le SSP est composé de plusieurs dispositifs permettant de garantir l'application des règles de sécurité. Il surveille et pilote les organes de sécurité d'accès aux zones contrôlées, informe et réalise le suivi des personnes sur le site au travers de quatre systèmes ou sous-ensembles fonctionnels :
  - ✓ contrôle d'accès sûreté nucléaire ;
  - ✓ signalisation ;
  - ✓ communication y compris le réseau de diffusion d'ordre du site et l'activation de la sirène d'alerte du site ;
  - ✓ géolocalisation des personnes ;
- VDI (Voix, Données et Images) : il fournit les moyens de communication sur le site au travers d'une supervision centralisée. Il est composé de quatre systèmes ou sous-ensembles fonctionnels :
  - ✓ téléphonie ;
  - ✓ interphonie ;
  - ✓ vidéo diffusion ;
  - ✓ radio communication ;
- GTB (Gestion Technique du Bâtiment) : il met en œuvre les moyens nécessaires pour assurer la gestion et la supervision des équipements techniques des bâtiments tels que le chauffage, la ventilation et climatisation (CVC) et l'électricité (éclairage des bâtiments et du site) au travers d'une supervision centralisée. Les ascenseurs de la zone puits, les stations d'épuration (STEP) ainsi que les déchetteries du site sont également surveillés et contrôlés par la GTB. L'ensemble fonctionnel GTB intègre six systèmes ou sous-ensembles fonctionnels principaux :
  - ✓ Contrôle et gestion des fluides et utilités ; le processus de production de froid est compris dans le SEF « fluides et utilités » ;
  - ✓ Cycle de l'eau ;
  - ✓ Chauffage, ventilation et climatisation des bâtiments (CVC) ;
  - ✓ Electricité BT (éclairages, petite force motrice, distribution PC, …) ;
  - ✓ Pilotage des ascenseurs des puits (Ascenseurs puits) ;
  - ✓ Contrôle et gestion des déchets conventionnels (GEDEC).
- GTC (Gestion Technique Centralisée) : il met en œuvre les moyens nécessaires pour acquérir et synthétiser les informations critiques provenant du site et des autres ensembles fonctionnels au travers d'une supervision centralisée située prioritairement au PCS. L'ensemble fonctionnel GTC intègre le sous ensemble « Synthèse des défauts et alarmes du site ».
- GTE (Gestion Technique Electrique) : elle a pour mission de superviser les réseaux électriques HTB/HTA/BT en assurant la surveillance, le contrôle et l'automatisation. Elle assure la continuité de l'activité et garantit la fiabilité et la disponibilité de l'installation électrique du site au travers d'une

supervision centralisée par la conduite des installations électriques, la surveillance et le contrôle des réseaux et l'automatisation de reconfiguration des réseaux. L'ensemble fonctionnel GTE est composé des deux systèmes « surveillance des défauts sur les réseaux électriques » et « maintien opérationnel des réseaux électriques ». Les réseaux électriques concernés par cet ensemble fonctionnel sont la HTB, HTA et BT. La gestion des groupes électrogènes de secours est aussi traitée dans l'ensemble fonctionnel GTE. De façon générale, il gère toutes les sources et distributions d'énergie électrique, les postes de livraison et de distribution, les sous-stations, les locaux électriques.

- RP (Radioprotection) : il réalise les mesures, analyses radiologiques et dosimétriques liées aux activités du site au travers d'une supervision centralisée ou tableau de contrôle des rayonnements (TCR). L'ensemble fonctionnel RP est composé de cinq systèmes ou sous-ensembles fonctionnels :
  - ✓ surveillance radiologique des zones nucléaires du site ;
  - ✓ surveillance radiologique des rejets gazeux ;
  - ✓ surveillance radiologique des rejets atmosphériques ;
  - ✓ surveillance radiologique des effluents liquides ;
  - ✓ dosimétrie.
- SSI (Système de Sécurité Incendie) : il réalise la protection et la surveillance du site contre l'incendie par l'intermédiaire de dispositifs de terrain autonomes et au travers d'une supervision centralisée située au PCS. Le système global de sécurité incendie concerne l'ensemble des installations de surface et souterraine de Cigéo. Celui-ci réalise la détection et les actions de mise en sécurité des installations et des personnes. Des scénarios de mise en sécurité sont coordonnés avec le contrôle-commande de la ventilation nucléaire (EF VN) et le contrôle-commande du processus nucléaire (EF CC). L'ensemble fonctionnel SSI intègre le sous-ensemble fonctionnel « Surveillance et mise en sécurité ». La mise en sécurité est réalisée soit par des CMSI (Centralisateur de Mise en Sécurité Incendie) attachés à un SSI (Système de Sécurité Incendie), soit par des automates programmables si les opérations de mise en sécurité sont trop complexes à réaliser à partir d'un CMSI ;
- VN (Ventilation Nucléaire) : il permet de superviser et piloter la ventilation des zones d'activité nucléaire des installations de surface et souterraine en accord avec les exigences opérationnelles d'une INB. Des scénarios de mise en sécurité (extraction des fumées des zones compartimentées) réalisés par les automates programmables sont coordonnés avec le SSI (Système de Sécurité Incendie). Les automates gèrent également le rééquilibrage des réseaux en cas de perturbation due au lancement d'un scénario d'extraction de fumées. L'ensemble fonctionnel VN intègre le pilotage et la régulation de la ventilation nucléaire. La supervision des équipements de ventilation nucléaire est réalisée en Salle de Conduite Centralisée. Si nécessaire, des actions de conduite distantes peuvent être réalisées à partir de la SCC ou en local à partir des IHM en face avant des armoires contrôle-commande ventilation ;
- OS (Observation Surveillance) : Il réalise l'acquisition et le « monitoring » des mesures permettant le suivi de l'évolution des ouvrages souterrains y compris la descenderie d'exploitation. L'ensemble fonctionnel OS intègre les moyens d'acquisition OS.
- SE (Surveillance de l'Environnement) : il permet l'acquisition et le « monitoring » des données issues des mesures environnementales pendant l'exploitation de Cigéo et après sa fermeture. Il intègre les moyens de surveillance de l'environnement et les stations météorologiques ;
- MCO (Maintien en Condition Opérationnelle) : il traite les activités de maintenance du site. Il intègre le sous-ensemble fonctionnel GMAO (Gestion Maintenance) qui est alimenté de données lui permettant de notifier les actions de maintenance correctives, préventives voire prédictives.

3.6.3 Système de Contrôle-commande du process nucléaire

3.6.3.1 Objectifs du système de contrôle commande

Objectifs principaux

Par ordre de priorité, le système de contrôle- commande répondra aux objectifs suivants :

- Objectifs de sûreté/sécurité précisés dans les documents de sûreté établis conformément à la législation en vigueur sur les INB. Ces objectifs définissent un premier domaine d'exploitation : le domaine spécifié pour la sécurité de l'installation.
- Objectifs de production, c'est-à-dire produire à la cadence voulue dans le respect de la qualité produit, de la planification et des coûts en application des modes opératoires et des consignes d'exploitation. Ces objectifs définissent un second domaine d'exploitation : le domaine spécifié pour la production.

L'intersection de ces deux domaines constitue le domaine de fonctionnement autorisé. Une dérive du fonctionnement du procédé peut, selon les conséquences possibles, entraîner :

- Le déclenchement d'une alarme de procédé (d'une pré alarme carte de contrôle) ; celle-ci prévient d'une sortie du domaine de production. On distingue deux niveaux d'alarmes (A2 et A3 présentées dans la Figure 1 auxquelles s'ajoutent les alarmes mineures A1 dites de niveau information) selon le degré de gravité ou d'urgence demandée à l'opérateur pour intervenir. Ces évènements peuvent entraîner une action automatique par asservissement programmé dans le système normal de production.
- Le déclenchement d'une alarme de sécurité / sûreté ; celle-ci prévient d'une sortie du domaine de sécurité. Ces évènements peuvent entraîner une action automatique traitée par le système de sécurité.
- Les alarmes de sécurité / sûreté, en nombre limité, et les fonctions de sécurité correspondantes seront définies dans les documents de sécurité de l'installation. Au sein du domaine normal de fonctionnement, on trouve des seuils de signalisation, des alarmes mineures de niveau A1 et des seuils opérateur permettant de faciliter la conduite afin d'anticiper les dérives. Le schéma suivant présente l'ensemble de ces notions.

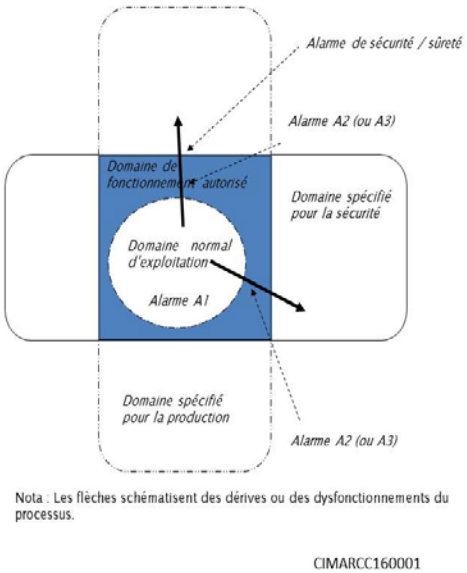


Figure 3.6-7 Schématisation des domaines d'exploitation référence manquante

Autres objectifs

Le système de contrôle commande répondra également aux objectifs suivants :

- Homogénéité des solutions dans le cadre d'une approche globale afin, en particulier, de minimiser le parc des pièces de rechange et de faciliter la maintenance de l'installation. De façon générale, un seul type de système doit gérer l'ensemble de l'usine. Pour les packages, l'utilisation d'automatismes spécifiques devrait être clairement justifiée par des contraintes technologiques (temps de cycle), de projet (approvisionnement de packages complets permettant par exemple d'engager clairement la responsabilité d'un fournisseur) ou toute autre contrainte spécifique à l'équipement considéré. Dans tous les cas, le choix des matériels d'automatisme et de conduite doivent être uniformisés.
- Mise en œuvre de fonctionnalités « avancées » du type :
  - ✓ Mise à disposition sur le poste de conduite d'informations de maintenance permettant un diagnostic de premier niveau sur les actionneurs, l'instrumentation et le système de contrôle commande.
  - ✓ Intégration au sein de l'imagerie d'une aide à la conduite contextuelle (modes opératoires, actions à réaliser sur alarmes (fiches réflexes). Cette intégration ne pourra être réalisée que progressivement après une période d'apprentissage sur l'exploitation du procédé.
  - ✓ Filtrage des alarmes pour améliorer le diagnostic de 1er défaut.
  - ✓ Diagnostic à distance et base de données centralisée des paramètres variateurs et des départs moteurs. Mise en œuvre d'un poste en salle de conduite.

Toutes ces fonctionnalités ont pour conséquence la mise en œuvre de réseaux de terrain, à la fois pour les capteurs et les actionneurs, car le flux d'informations véhiculées depuis le niveau 0 vers les niveaux supérieurs va augmenter significativement (en comparaison d'une technologie câblée).

3.6.3.2 Exigences de sûreté appliquées au contrôle commande

A ce stade, les systèmes de contrôle-commande se décomposent principalement en un système normal de production, un système dit de sécurité et un système dit de sauvegarde (si nécessaire). Les chaînes de sécurité permettent de prévenir et de limiter les conséquences d'événements redoutés, quelles que soient les anomalies du système de conduite normale. Ces chaines peuvent être actives ou passives. Elles sont classées en fonction de la gravité des événements.

Les chaînes de contrôle-commande du système de conduite normale sont dites "non classées" car aucune exigence ne leur est imposée au titre de la sûreté nucléaire. Elles peuvent le cas échéant assurer des fonctions visant la protection de l'outil industriel ou du travailleur.

Les chaînes de sécurité, constitutives du système de contrôle-commande de sécurité ou de sauvegarde (si nécessaire), visent à maintenir le procédé dans un état sûr quel que soit l'état de l'installation, en cas de dysfonctionnement du système de conduite normale.

Les systèmes de contrôle-commande des fonctions de sûreté sont indépendants des autres systèmes de contrôle-commande. En fonction des requis et/ou des objectifs de fiabilité à atteindre, les fonctions de sûreté assurées par ces systèmes peuvent être redondantes et au besoin diversifiées. Les informations issues de capteurs de sûreté nécessaires à la conduite normale pourront être envoyées au système normal (automate) via le système de contrôle-commande de sécurité. Le système de sécurité peut être réalisé en logique câblée ou programmée.

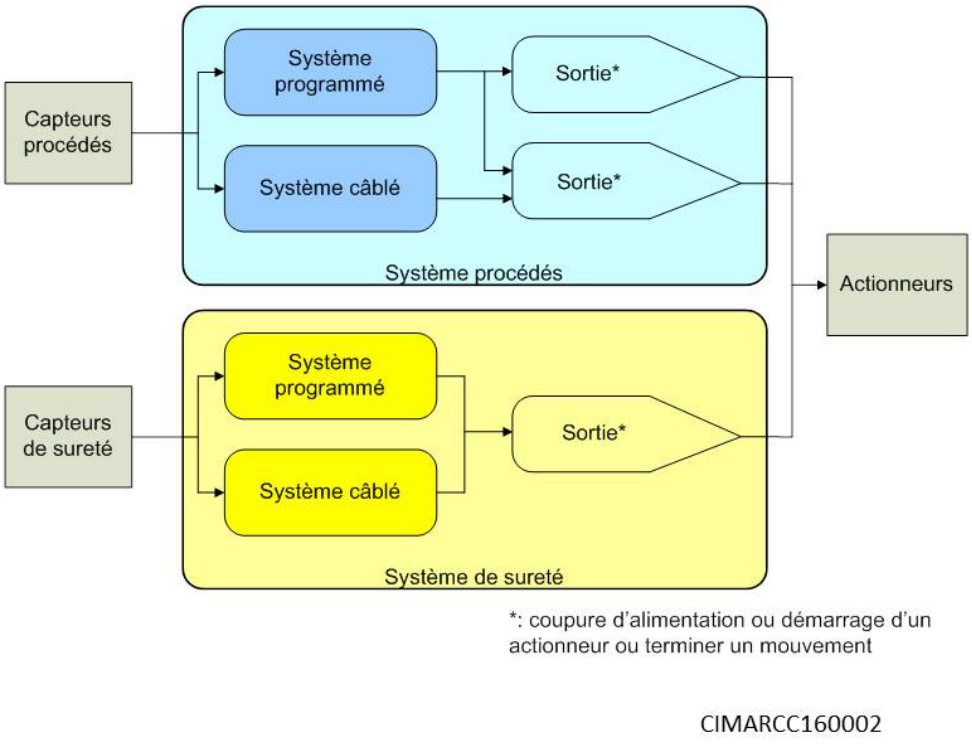


Figure 3.6-8 Les différents systèmes et capteurs du contrôle commande

3.6.3.3 Description du système de contrôle commande

Généralités

Le système de contrôle commande intervient pour acquérir, transmettre, interpréter et traiter les informations échangées entre le procédé et la supervision. L'utilisation d'automatismes programmés et standardisés offre aux utilisateurs et aux concepteurs une puissance de traitement et une grande souplesse d'emploi. Cela permet notamment de faciliter leur maintenabilité.

Le système de contrôle commande d'un atelier doit respecter les principes directeurs suivants :

- les exigences de sûreté ainsi que les exigences concernant le personnel et l'environnement ;
- l'exploitation centralisée en salle de conduite des fonctions principales de l'atelier ;
- la protection de l'outil de travail ;
- une présentation à l'opérateur d'informations sous une forme facilement exploitable, compréhensible et non interprétable.

La mise en œuvre de ces principes conduit à scinder le système de contrôle-commande en deux (ou trois) sous-ensembles qui sont :

- le système de conduite normale permettant d'assurer et de gérer la production dans le domaine autorisé, tout en assurant les objectifs de sûreté et de qualité produit. Celui-ci peut contribuer également à la surveillance du bon fonctionnement des constituants du système de contrôle-commande de sécurité (qui dispose de ses propres dispositifs d'autocontrôle). Le système de conduite normale n'intervient pas dans la chaîne de sûreté. Il permet cependant de fiabiliser le système global de contrôle commande. Des dispositifs spécifiques appelés Protection de l'Outil de Travail et du personnel (POT), intégrés directement dans les armoires électriques de distribution de l'énergie normale et secourue, agissent sur l'alimentation électrique des actionneurs en cas de détection d'une situation à risque pour le matériel, le produit ou pour le personnel. Les POT interviennent de façon prioritaire pour stopper les actions en cours, sauf en cas de passage en

conduite de sauvegarde post-séisme où ils seraient inhibés. Les interventions de ces automatismes sont signalées sur les moyens de surveillance ;

- le système de sécurité est un système permettant en cas de défaillance du système de production :
  - ✓ de mettre et de maintenir l'installation en état sûr soit automatiquement, soit par action de l'opérateur ;
  - ✓ de contrôler que l'installation reste en état sûr.

  Le système de sécurité a les caractéristiques générales suivantes :
  - ✓ il permet d'assurer uniquement le contrôle-commande des fonctions de sûreté ;
  - ✓ il est indépendant du système de production ;
  - ✓ il devient actif en cas de défaillance partielle ou totale du système de production (poste de conduite, équipement de commande, liaisons, capteurs, actionneurs) ;
- le système de contrôle-commande de sécurité constitué des deux sous-systèmes suivants:
  - ✓ un premier sous-système constitué de chaînes de sécurité actives permettant la commande des fonctions de sûreté lorsque l'installation est en état normal ;
  - ✓ un deuxième sous-système communément nommé "tableau de sécurité" qui permet l'arrêt en urgence de l'installation et participe à sa mise en sécurité en cas de nécessité, tout particulièrement en cas de défaillance partielle ou totale du système de conduite normale (on parle dans ce cas d'une fonction de "conduite de sécurité")[52] ;
  - ✓ Un système de sauvegarde pour la commande et la surveillance des fonctions de sûreté requises dans l'état de sauvegarde.

- **Mode de fonctionnement**

Il existe à minima les modes de conduite suivants :

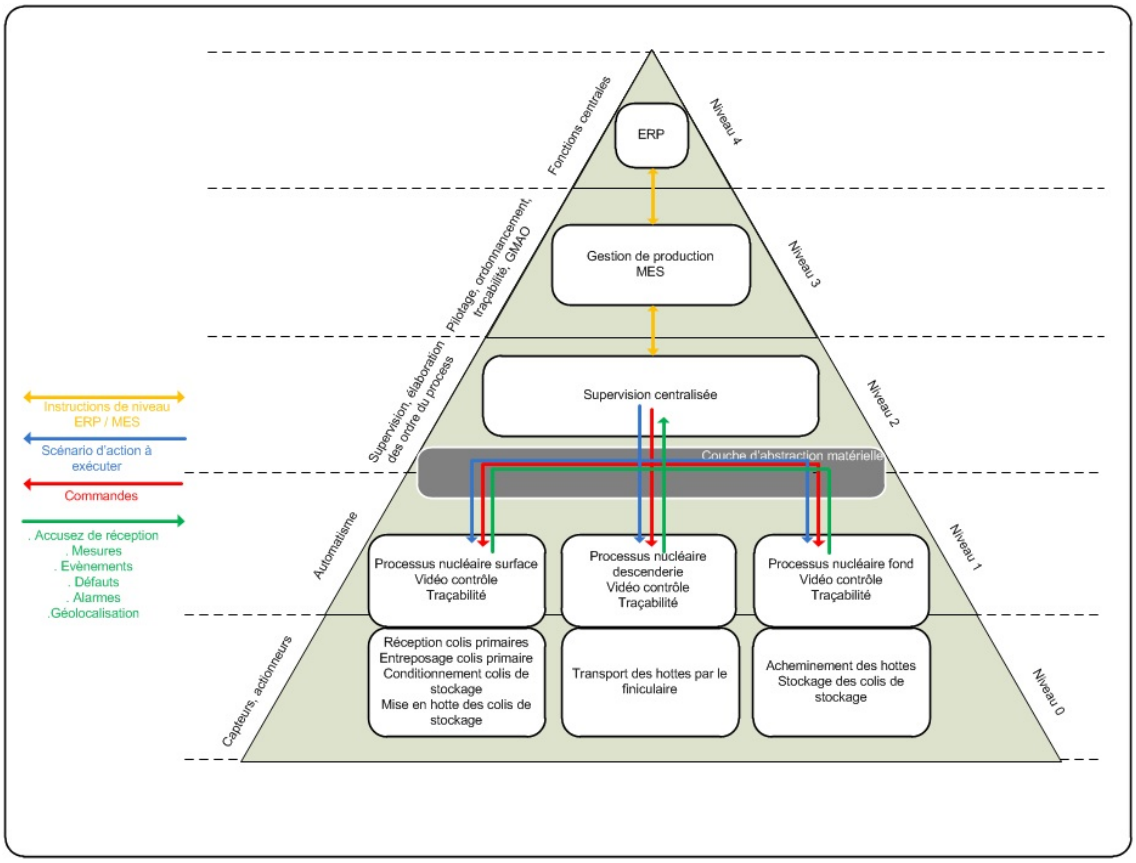
- le mode automatique : les cycles de production se déroulent sans intervention de l'opérateur (ou seulement quelques actions de validation opérateur depuis un terminal local). C'est le mode normal de fonctionnement ;
- le mode manuel asservi : suite à une anomalie, l'opérateur peut agir directement sur la commande de l'actionneur afin de « recaler » la machine et retrouver un état permettant la reprise du cycle automatique. Dans ce mode, les sécurités programmées et câblées restent actives ;
- le mode manuel essai/maintenance : ce mode est essentiellement utilisé en phase d'essais et de maintenance. Dans ce mode, les sécurités programmées ne sont plus actives. Sur commutateur les sécurités câblées peuvent être inhibées par l'opérateur de maintenance.

Chaque unité fonctionnelle définie est autonome pour intervenir à l'aide du moyen de conduite local, en mode manuel maintenance, pendant que la conduite centralisée se poursuit en mode automatique.

3.6.3.4 Architecture du système de contrôle commande

Le système de Contrôle-Commande du process nucléaire (EF CC) est relatif à la chaîne cinématique de manutention des colis, depuis la réception des emballages de transport jusqu'à la mise en stockage des colis de stockage dans les alvéoles MA-VL et HA. Sa fonction est la supervision et le pilotage du process nucléaire dans sa globalité en s'appuyant sur les différents niveaux de la pyramide CIM, depuis les équipements de terrain (niveau 0) jusqu'à la gestion de production (niveau 3) (Cf. figure ci-après).

[52] Les dispositifs de contrôle-commande assurant la sécurité des machines ne font pas partie du système de contrôle-commande de sécurité.



C.IM.ADPC.16.0016.A

Figure 3.6-9 Pyramide CIM : Principe et logique de contrôle-commande

Les niveaux de définition sont les suivants :

- un niveau 0 de capteurs et d'actionneurs, incluant notamment les actionneurs de sécurité (barrières) et les capteurs de sécurité pris en compte directement par la sécurité globale du processus ;
- le niveau 1 d'automatisation est découpé en trois sous-niveaux :
  - ✓ un premier niveau d'automatismes intégré aux équipements pour gérer les capteurs et actionneurs de ceux-ci ainsi que les fonctions de sécurité intrinsèques aux équipements.
  - ✓ un second niveau d'automatismes pour gérer les différentes opérations (automatismes de sécurité exceptés) ;
  - ✓ un troisième niveau d'automatismes concernant le séquencement global entre filières de production et les aspects globaux de sécurité.
- Le niveau 2 de conduite et de supervision regroupant :
  - ✓ les moyens informatiques (serveurs redondés, ..) ;
  - ✓ les postes de conduite centralisée (PCC) et les IHM associées dédiés aux opérations, les PCC étant situés dans la Salle de Conduite Centralisée (SCC) du bâtiment nucléaire ;
  - ✓ les fonctions de sécurité ayant des IHM spécifiques.

Ce dernier niveau s'appuie sur les moyens communs du SII de Cigéo. Les équipements ou machines de chaque niveau et les différents niveaux sont interconnectés via les réseaux secondaires et le réseau principal du SII, réseaux dédiés exclusivement au contrôle-commande (anneau redondé haute disponibilité fibres optiques).

Le système de Contrôle-Commande du process nucléaire concerne :

- le bâtiment nucléaire depuis la réception des emballages de transport jusqu'à la mise en hotte de transfert et les contrôles de second niveau ;
- les moyens de transfert horizontaux des hottes dans le bâtiment nucléaire et l'installation souterraine (galeries de liaison et galeries d'accès aux alvéoles) ;
- l'équipement de transfert incliné de la descenderie exploitation ;
- les équipements de mise en alvéole des colis MA-VL et HA ;

L'ensemble fonctionnel du contrôle commande est composé de trois sous-ensembles fonctionnels (SEF) : (i) process nucléaire, (ii) vidéo-contrôle, (iii) traçabilité. L'ensemble fonctionnel Contrôle Commande met en œuvre le traitement du process nucléaire piloté au travers d'une supervision centralisée et de moyens locaux de pilotage à vue :

- la réception des colis primaires (déchargement des emballages de transport, contrôles colis) ;
- l'entreposage des colis primaires (si nécessaire) ;
- la mise des colis primaires en colis de stockage ;
- l'entreposage des colis de stockage ;
- la mise en hotte des colis de stockage ;
- les transferts horizontaux des hottes en surface dans le bâtiment nucléaire ;
- le chargement/déchargement des hottes dans le transfert incliné en gares haute et basse ;
- les transferts surface-fond-surface via le transfert incliné ;
- les transferts horizontaux des hottes dans l'installation souterraine ;
- les mises en alvéoles MA-VL et HA des colis de stockage.

La gestion du process nucléaire est assurée par des ensembles automatisés de préhension, de manutention et de transferts. Les équipements de transferts sont équipés de moyens de communication sans fil embarqués afin de permettre un suivi « temps-réel » des opérations.

Le contrôle commande du process nucléaire est traité par des automatismes de process et de sécurité. Il est contrôlé principalement depuis la Salle de Conduite Centralisée (SCC) et si nécessaire depuis des postes de conduite locaux (pupitres, IHM en face avant des armoires de contrôle-commande).

La vidéo-contrôle est principalement utilisée en local comme une aide à la conduite des équipements nucléaires de surface et en déporté (SCC) pour le suivi des colis et de la hotte de transfert lors de leur déplacement.

Le sous ensemble fonctionnel « Traçabilité » réalise le suivi des déplacements et le positionnement en temps réel des colis dans l'installation y compris dans les alvéoles de stockage.

Gestion de production

Le principe de conception de la gestion de production est basé sur le concept du MES (Manufacturing Execution System) permettant un suivi des activités configurable et évolutif répondant au concept de la gestion des processus industriels. Il intègre un ensemble de fonctionnalités pour une exécution cohérente et efficace des activités opérationnelles, de traçabilité et généalogie des matières d'œuvres, de gestion des encours et des stocks, d'exécution des ordres de mission, de suivi des opérations, de mise en place d'indicateurs de performance (TRS, MTTR, MTBF, etc.) et d'intégration avec les systèmes de gestion de niveau 4 du CIM.

Le concept de MES est élaboré pour que chaque membre de l'équipe d'exploitation de Cigéo puisse à son niveau bénéficier d'informations pertinentes. Il apporte des moyens d'interopérabilité entre les différents services (management, pilotage des opérations, maintenance, développement, automatisme,…). Les principales fonctionnalités qu'apporte le MES dans Cigéo sont :

- modélisation des zones de traitement des colis (colis primaire et colis de stockage) : réception, entreposage, conditionnement, transfert des colis de stockage jusqu'à l'alvéole de stockage ;
- logiciel configurable et évolutif permettant une approche adaptée au déploiement graduel de l'installation souterraine ;

- interfaces opérateur prêtes à l'emploi, capables de rendre le système opérationnel tout en offrant la flexibilité requise afin notamment d'adapter l'interface aux différents profils utilisateurs ;
- traçabilité et positionnement des colis de stockage ;
- suivi dynamique des opérations en cours et des stocks ;
- gestion flexible des étapes de traitement ;
- collecte et archivage automatique des données de traitement.

3.7 Gestion des effluents liquides et des déchets du centre

3.7.1 Gestion des effluents

3.7.1.1 Recensement des effluents

Les effluents potentiels sont :

- les eaux usées pour lesquelles il est envisagé un traitement au plus près ;
- les eaux d'exhaure des zones en exploitation ;
- les eaux pluviales ;
- les eaux d'extinction d'incendies.

Principes de gestion des effluents :

Les schémas de principe de gestion des effluents sont présentés en annexes 4 et 5 en distinguant la zone puits de la zone descenderie.

3.7.2 Gestion des déchets

La démarche visant à minimiser les quantités et la radiotoxicité des déchets produits repose essentiellement sur un choix optimisé des matériaux et sur le confinement des substances contaminantes. L'accent sera mis autant que faire se peut sur la possibilité de réutilisation des équipements après remise à niveau (aspect maintenance).

La gestion des déchets induits sera décrite dans les RGE en rappelant les dispositions pour limiter le volume la toxicité, les processus de collecte, de conditionnement, de zonage et de contrôles radiologiques. De plus, un zonage déchet sera défini sur l'installation. Ce zonage des déchets différenciera les locaux engendrant des déchets conventionnels de ceux générant des déchets nucléaires ou catégorisés comme tels.

3.7.2.1 Recensement des déchets

Les installations de surface produiront essentiellement des déchets « technologiques », liés à l'exploitation et à la maintenance des installations elles-mêmes (outils, câbles, films plastiques, etc.). La majorité de ces déchets sera peu radioactive. Ils seront collectés et conditionnés puis évacués vers une filière adaptée (CSA ou Cires, a priori).

3.7.2.2 Principes de gestion des déchets

Le classement des zones sera effectué lorsque les plans de conception des installations seront définis de manière plus détaillée.

L'inventaire complet de tous les objets ou composants susceptibles d'être activés et/ou contaminés sera effectué dans une phase ultérieure. Pour chaque type de déchet généré (nature, origine, type de contamination), il conviendra de définir une stratégie de traitement par une filière adaptée. Par la suite, un suivi comptable des volumes de déchets produits sera réalisé et fera l'objet de bilans annuels et d'une étude déchets, révisée régulièrement et constituant un retour d'expérience complet relatif à la gestion des déchets en termes de :

- limitation des volumes de déchets produits ;
- connaissance et contrôle des flux et leurs caractéristiques.

4

Exploitation de Cigéo

4.1 Principes généraux d'exploitation du centre 268
4.2 La fonction exploitation 268
4.3 La fonction interface client 269
4.4 La fonction ingénierie/travaux 271
4.5 La fonction Qualité, Santé, Sécurité, Sûreté et Environnement (Q3SE) 271
4.6 La fonction support 273

4.1 Principes généraux d'exploitation du centre

A ce stade, et sans préjudice d'évolutions futures, il est prévu de placer l'exploitation de Cigéo sous la responsabilité d'un directeur de site responsable de :

- l'installation nucléaire de base et de son exploitation, à savoir l'ensemble des activités liées à la réception des colis et à leur stockage, à la construction de nouveaux alvéoles de stockage, à la maintenance des installations et à la surveillance de l'environnement, ce dans le respect des prescriptions techniques et réglementaires applicables ;
- la sécurité des personnes et des biens présents dans l'installation ;
- la prise en compte des risques liés aux facteurs organisationnels et humains ;
- les relations avec les autorités au plan local.

Le directeur de site s'appuiera sur les cinq fonctions suivantes :

- Exploitation : mise en œuvre des moyens techniques et humains nécessaires pour garantir l'exploitation des installations, la réalisation du programme de production, le maintien en conditions opérationnelles des équipements, la sûreté, la sécurité des personnes, la préservation de l'environnement ;
- Interface Client : mise en place des processus de prise en charge des déchets dont l'acceptabilité et l'approbation (voir paragraphes suivants), gestion de la relation client ;
- Ingénierie/Travaux : étude et pilotage des travaux de construction, équipement et mise en service notamment des ouvrages de fond (nouveaux alvéoles) ;
- Qualité, Santé, Sécurité, Sûreté et Environnement (Q3SE) : mise en place, gestion et suivi de la politique qualité, sûreté, sécurité, santé et environnementale de l'entreprise, sur site ;
- Support : achats, négociation commerciale, comptabilité générale et gestion de la trésorerie, support juridique pour les différentes unités, exploitation, maintenance, développement et sécurité des systèmes d'information.

La description réalisée dans le présent document se concentre sur les grandes fonctions nécessaires à l'exploitation du centre. Elle n'intègre pas la réflexion sur l'organisation industrielle de l'Andra en phase de construction ou d'exploitation, notamment la politique en matière de sous-traitance ou la mise en place de lignes de contrôle de second niveau au niveau de l'Agence, sujets abordés dans l'esquisse de la notice des capacités techniques de l'exploitant.

4.2 La fonction exploitation

La fonction exploitation intègre les fonctions de production et de maintenance, elle est placée sous la responsabilité d'un chef d'exploitation qui s'appuiera sur un responsable de production et un responsable de maintenance. Cela permet de prendre en compte au bon niveau les contraintes d'exploitation et de maintenance afin de réaliser les programmes de mise au stockage prévus et le maintien en conditions opérationnelles des équipements de production.

4.2.1.1 La fonction production

La production assure la conduite des procédés de manutention et de stockage des colis de déchets MA-VL et HA. Le procédé de mise en stockage des colis de déchets est conduit par des équipes d'opérateurs.

4.2.1.2 Le soutien à l'exploitation

Cette fonction concerne l'ensemble des tâches nécessaires à la production en interface direct ou indirect avec les activités d'exploitation.

Le soutien à l'exploitation regroupe les activités suivantes:

- gestion des conteneurs de stockage (spécifications, commandes, approvisionnement…). cette fonction assurera également la gestion de la matière nucléaire (GMN) ;
- gestion des dossiers de transports ;

- service de planification des livraisons ;
- service des rondes et gestion des utilités ;
- service méthodes exploitation ;
- gestion des déchets d'exploitation ;
- modifications de faible importance et interfaces construction/exploitation.

4.2.1.3 La maintenance

Cette fonction, chargée de garantir le maintien en conditions opérationnelles des capacités de production des différentes installations repose sur une organisation basée sur les métiers et spécialisations et se déclines-en :

- maintenance préventive qui consiste à la réalisation de contrôles et interventions périodiques réglementaires ou destinés à garantir les paramètres de qualité des équipements concernés ;
- maintenance prédictive qui consiste à déclencher des opérations de maintenance suite à l'analyse de certains paramètres de surveillance afin de s'affranchir de pannes subies et garder la maitrise des arrêts de production ;
- maintenance curative qui consiste à effectuer une intervention pour remise en condition opérationnelle après une défaillance.

Les différents domaines d'intervention concernent :

- l'électricité (courant fort HT/BT) ;
- le courant faible (interphonie, vidéosurveillance, téléphonie, SSI….) ;
- la mécanique et l'électromécanique ;
- l'automatisme et le contrôle-commande ;
- l'hydraulique et le pneumatique ;
- la ventilation, le chauffage, la climatisation ;
- la chaudronnerie, la tuyauterie, la menuiserie, la serrurerie.

En soutien à la maintenance, on retrouve les fonctions suivantes : (i) un bureau de gestion des opérations de maintenance, (ii) une cellule de planification afin d'organiser la maintenance des différentes fonctions ou des équipements en corrélation avec les activités d'exploitation, (iii) un service méthode, (iv) un magasin général pour la fourniture des consommables et des équipements/composants pour la maintenance.

4.2.1.4 La conduite des utilités

Les équipes de production/maintenance affectées à la conduite des utilités opèrent à partir des salles de commandes locales intégrées aux bâtiments utilités. Des reports de bon fonctionnement et d'alarmes permettent aux opérateurs conduisant le process nucléaire à partir de la salle de conduite centralisée de visualiser l'état des utilités nécessaires à l'exploitation.

Ces alarmes seront également reportées au PCS permettant aux agents de la FLS, en dehors des heures ouvrables, de lancer des actions correctives nécessaires.

4.3 La fonction interface client

4.3.1 La gestion des colis

La gestion des colis est l'activité centrale du personnel de l'exploitation (« Fonction Exploitant », « Fonction interface client ») de Cigéo. Elle regroupe les activités nécessaires à la mise en place des accords Andra/producteurs pour organiser et autoriser la réception des colis sur Cigéo, et les activités d'exploitation de Cigéo (de la réception des colis de déchets jusqu'à leur positionnement définitif en alvéole de stockage). Ces activités sont structurées en deux processus présentés ci-après :

- un processus d'acceptabilité : ce processus commence à partir de la demande d'un producteur de prendre en charge sur Cigéo une famille de colis primaires et se termine par l'émission de l'acceptation des colis à Cigéo. Ce processus permet l'émission de l'approbation et de

l'acceptation au stockage d'une famille de colis après les vérifications par l'Andra de la conformité des colis au référentiel applicable de Cigéo. Ce référentiel applicable comprend en particulier les spécifications d'acceptation des colis ;
- un processus opérationnel de conduite.

Les spécifications d'acceptation des colis à Cigéo

L'Andra retient que le colis primaire de déchets est un élément important pour la protection des intérêts visés au sens de l'arrêté INB du 7 février 2012 [1]. A ce titre, des exigences, de nature qualitative, quantitative ou déclarative, sont regroupées dans les spécifications d'acceptation des colis mentionnées à l'article L.542-12 du Code de l'Environnement.

Les exigences sont spécifiées pour les colis primaires de déchets et résultent de la prise en considération de la sûreté de Cigéo pendant son exploitation et après fermeture, ainsi que des contraintes opérationnelles, de sécurité, de santé et de protection de l'environnement.

Elles font partie du référentiel d'exploitation de Cigéo.

4.3.2 Le processus d'acceptabilité

Le processus d'acceptabilité permet à l'exploitant de Cigéo d'assurer la prise en charge des flux de colis de déchets tout au long de l'exploitation selon les règles générales d'exploitation. Ce processus peut durer plusieurs années (de la date de demande d'approbation à l'acceptation du dernier colis d'une famille de colis).

Ce processus aboutit notamment à :

- l'émission d'une approbation pour une famille de colis de l'exploitant de Cigéo vers le producteur matérialisé par un accord générique sur les dispositions relatives au conditionnement de déchets radioactifs. Cette approbation est adossée à la spécification d'acceptation en vigueur à la date de sa promulgation et pourra contenir des dispositions de maîtrise de la qualité (dont des contrôles) à mettre en place en vue de la livraison ;
- l'émission d'un accord pour livraison adossé aux résultats satisfaisants des vérifications précédentes ;
- l'émission d'une acceptation : acte par lequel l'exploitant de Cigéo matérialise son accord pour le stockage dans son installation d'un colis de déchets radioactifs. L'acceptation sera promulguée à l'issue des contrôles colis à réception effectués sur Cigéo.

Ce processus d'acceptabilité repose sur les dispositions de maîtrise de la qualité colis suivantes :

- la vérification de documents de justification de la conformité aux spécifications d'acceptation des colis fournis par le producteur. Ces documents peuvent s'appuyer notamment sur les spécifications de production, le descriptif de procédé, la déclaration des caractéristiques des colis, le plan de contrôle des procédés et des colis de déchets ;
- des contrôles colis par prélèvement, mis en œuvre avant l'accord de livraison sur Cigéo d'une famille de colis. Deux options sont envisagées:
  - ✓ ces contrôles sont réalisés sur le site du producteur (sur ligne de production, ou sur une installation de contrôle producteur) ;
  - ✓ ces contrôles sont réalisés sur Cigéo sur des colis sélectionnés au préalable par l'exploitant de Cigéo.
- des contrôles en ligne sur Cigéo réalisés dès la réception du colis ;
- des épreuves techniques ;
- une surveillance Andra sur les sites de production et d'entreposage des colis du producteur ;
- des audits.

Dans le cas où un écart est détecté, l'Andra analyse sa nature selon deux critères :(i) la gravité et (ii) le nombre de colis concernés. En fonction du résultat de l'analyse et en fonction de l'étape du processus à laquelle elle a été détecté, l'Andra se réserve la possibilité soit :

- de demander la correction de l'écart au producteur ;
- de suspendre le programme d'expédition en cours ;
- de traiter le colis sur Cigéo ;
- de délivrer une dérogation après instruction de l'écart ;
- de retourner le colis au producteur.

Dans tous les cas, l'exploitant de Cigéo engagera un processus d'échanges avec le producteur afin de trouver une solution de stockage pour les colis ou la famille de colis concernés. Les solutions consisteront à évaluer s'il est préférable de modifier le mode de conditionnement des déchets ou de développer un conteneur de stockage spécifique pour Cigéo selon les enjeux technico-économiques.

En fonction de la nature des écarts et après analyse de sûreté adaptée dans le cadre, par exemple, d'un processus d'autorisation interne, le colis est placé en zone tampon (si l'écart est « jugé acceptable pour aller en zone tampon en attente de son traitement ») ou en zone multi opérations (si l'écart est « non acceptable »). Exceptionnellement les colis en écart pourraient être retournés aux expéditeurs si les opérations de remise en conformité ne pouvaient être engagées sur Cigéo. Les vérifications et le cas échéant les actes préalables aux opérations de transport seraient effectués par les équipes de Cigéo en collaboration avec les équipes du producteur concerné et du transporteur.

Pour les colis en écart aux spécifications placés dans la zone tampon, les colis seront identifiés comme tels et mis dans un espace réservé dans la zone tampon..). Le cas échéant, des consignes d'exploitation spécifiques seront établies (non survol, consignation...).

L'Andra et les producteurs ont démarré une réflexion conjointe dès à présent pour d'une part préciser la stratégie de la maîtrise de la qualité des colis qui sera retenue en fin d'avant-projet détaillée et d'autre part les dispositions techniques et organisationnelles qui seront à mettre en œuvre pour appliquer cette stratégie. Cette élaboration conjointe doit permettre de rendre objectives et partagées les règles qui seront ainsi définies.

Les objectifs à atteindre dans le cadre de l'élaboration du processus d'acceptabilité sont principalement :

- garantir la conformité des colis de déchets au regard de la solution de stockage retenue ;
- adapter les dispositions de maîtrise de la qualité colis du stockeur à la variabilité du processus de maîtrise de la qualité mis en place par un producteur, que ce soit en termes d'organisation ou de dispositions ;
- répondre aux exigences de la décision ASN sur le conditionnement des colis de déchets ;
- tracer toutes les informations recueillis ou émises ;
- organiser les flux de colis conformément à la chronique de livraison qui sera définie en coordination par les producteurs et le stockeur (type PIGD) ;
- maîtriser le coût du processus.

Une première version de ce processus d'acceptabilité sera finalisée pour la DAC.

4.4 La fonction ingénierie/travaux

En lien avec les études de conception/réalisation, la fonction ingénierie/travaux définit les spécifications techniques des ouvrages et des équipements, assure la gestion technique des fournisseurs, contrôle de la bonne réalisation des travaux en respectant le planning et les coûts.

Elle assure la mise en service et le transfert des installations « neuves » à l'exploitant dans le respect des attentes et des contraintes de l'exploitation.

4.5 La fonction Qualité, Santé, Sécurité, Sûreté et Environnement (Q3SE)

Les différentes fonctions regroupent les activités suivantes :

- Qualité : Mettre en place la politique qualité de Cigéo en lien avec la direction qualité de l'agence. Mettre en place et faire appliquer système de management intégré auprès des différents acteurs

internes et externes. Elaborer et fait évoluer la documentation associée. Assurer le suivi des indicateurs et l'évolution des améliorations.

- Sûreté : Maîtriser les risques et gérer l'ensemble des dispositions techniques et mesures d'organisation prises en vue de prévenir les accidents et d'en limiter les effets. Elle comprend la radioprotection, la prévention et la lutte contre les actions de malveillance.
- Santé : Assurer la surveillance médicale des agents, la gestion des exams médicaux et des analyses, assurer une surveillance sanitaire autour du site.
- Sécurité : Mettre en place la politique sécurité de l'agence en phase travaux et exploitation. Etablir les objectifs et définir les processus pour atteindre les engagements en termes de sécurité au travail. Décliner et animer la politique de sécurité des travailleurs. Suivi et comptabilité des matières nucléaire.
- Environnement : Assurer la politique environnementale. Contrôler l'impact environnemental en phase construction et exploitation. Réaliser les prélèvements, analyses et bilans. Présentation aux autorités.
- Radioprotection : Contrôle et surveillance radiologique du personnel, gestion de la dosimétrie et des appareils de mesure d'activités des installations, contrôle radiologique des déchets, prélèvements et analyses environnementales

Les ingénieurs sûreté sont présents en permanence dans l'installation auprès des différents responsables. Ils auront en charge de veiller au respect des règles de sûreté à appliquer par les opérateurs de conduite et de maintenance au quotidien et sur le terrain. Ils participeront à la validation des modes opératoires de conduite et de maintenance et aux analyses de toutes les modifications d'équipements ou de modes opératoires pour lesquels ils apporteront un avis sûreté. Les ingénieurs sûreté sont également chargés d'assister les équipes opérationnelles pour la préparation d'interventions exceptionnelles de maintenance.

La fonction sûreté recouvre :

- l'assistance aux équipes d'exploitation ;
- l'assistance aux équipes de maîtrise d'œuvre et le suivi des exigences de sûreté pour les travaux/mise en service des nouveaux alvéoles ;
- l'élaboration et le suivi du référentiel de sûreté de Cigéo (rapport de sûreté, PUI, Spécifications d'acceptation …);
- le pilotage et le suivi des études de sûreté de Cigéo dans le cadre notamment des modifications de conception,
- l'instruction d'éventuelles modifications de référentiels, matérielles, le cas échéant dans le cadre des procédures d'autorisations internes [53];
- la tenue d'une base de retour d'expérience ;
- la rédaction des rapports périodiques de bilan d'activités des centres de stockage ;
- le réexamen de sûreté.

La fonction radioprotection couvre :

- le contrôle et la surveillance radiologique du personnel, des locaux ;
- la gestion des dosimètres et des appareils de mesures d'activités des installations ;
- le contrôle radiologique des déchets ;
- les prélèvements environnementaux ;
- les méthodes.

Les agents de radioprotection sont aussi présents au quotidien dans l'installation. Les modes opératoires d'exploitation, de maintenance, la maintenance et les modifications d'équipements, de modes opératoires seront systématiquement examinés par les agents de radioprotection. Les agents de radioprotection sont en charge des plans de prévention, de la formation et de l'information au personnel sur les risques radiologiques.

[53] L'autorisation interne peut être procédée qu'une fois la décision de l'ASN autorisant l'Andra promulguée et selon des critères établis (c'est le cas actuellement pour le CSA et le CSM).

La fonction sécurité recouvre :

- les activités de gestion de la co-activité construction/exploitation sur la zone construction /essais des nouveaux alvéoles ;
- les activités de protection physique du site, de secours (dont la lutte contre l'incendie), et de gardiennage du site. Les missions de gardiennage consistent à assurer sur les zones puits et descenderie :
  - ✓ le contrôle des entrées-sorties du personnel intervenant dans ces périmètres ;
  - ✓ le contrôle des entrées-sorties des véhicules ;
  - ✓ le contrôle des convois ferroviaires et routiers d'emballages de transport ;
  - ✓ le contrôle de l'introduction des matières potentiellement dangereuses (matières TRICE) ;
  - ✓ prévenir le vol de biens, d'informations sensibles, de matériaux et de matières

Les missions de sécurité incendie consistent à intervenir en cas d'alarme incendie et/ou de départ de feux sur l'ensemble des installations du site de Cigéo. Les installations sont soumises à une double surveillance confiées à :

- -la salle de conduite centralisée qui regroupe toutes les informations nécessaires à la conduite des installations ;
- -la formation locale de sécurité qui est chargée de l'intervention dans les différentes installations ;
- -la particularité de Cigéo est aussi de posséder une installation souterraine. Cette spécificité nécessitera de définir des dispositions et une organisation particulière pour optimiser le temps d'intervention.

Ces différentes pistes passent par la limitation de la vitesse des ascenseurs,-la notion de priorisation des ascenseurs en cas d'alarme, le-type et le nombre d'équipements présents dans les galeries et la formation du personnel comme « équipier de premier secours ».

La fonction sécurité au travail recouvre :

- les actions de prévention ;
- l'analyse des pré-accidents et accidents ;
- la mise en place et le suivi des actions correctives ;
- l'animation des formations ;
- l'établissement des bilans sécurité.

La fonction santé recouvre :

- la surveillance médicale des agents ;
- la prise en charge du personnel dans les locaux médicaux (infirmerie en zone descenderie et en zone puits) en cas d'accident ou de maladie et s'occupe de l'évacuation vers des hôpitaux en cas de nécessité.

La fonction environnement recouvre :

- les activités de surveillance de l'environnement du site ;
- les prélèvements et les analyses environnementaux ;
- la formation du personnel.

La fonction qualité recouvre :

- la mise en place des procédures d'exploitation ;
- les activités d'audits ;
- les actions de sensibilisation.

4.6 La fonction support

La fonction support est constituée des différents services achats, comptabilité/finances, contrôle de gestion, juridique et système d'information dont le rôle est d'assurer la gestion administrative et financière de l'Andra. Les missions sont notamment de contrôler la gestion globale de l'agence, mettre en place des outils de gestion ; d'assurer l'ensemble du support juridique en droit des affaires,

assurances, urbanisme, environnement et nucléaire, d'assurer l'exploitation et la maintenance du système d'information et son développement et d'-assurer la sécurité de système informatique.

On retrouve également la fonction ressources humaines qui participe et met en place la politique et le programme de ressources humaines de l'Agence en lien avec la fonction « Corporate ». Dans le cadre de sa politique d'insertion territoriale, la fonction ressources humaines participe activement au développement du marché du travail local en collaboration avec les différentes collectivités et les entreprises locales.

VOLUME III OPTIONS DE SURETE LIEES AUX OPERATIONS DE TRANSFERT ET DE MISE EN PLACE DES COLIS

.

1

Synthèse des opérations de transfert et de mise en place des colis

1.1 Synoptique général des opérations faisant intervenir les colis 278
1.2 Opérations en surface 278
1.3 Opérations de transfert des colis de déchets depuis la surface jusqu'à leur mise en place dans les alvéoles de stockage 282

1.1 Synoptique général des opérations faisant intervenir les colis

Sur la base des éléments descriptifs des procédés présentés au chapitre 3, l'ensemble des procédés et plus particulièrement le cheminement des colis dans les installations de surface, puis jusqu'à leur mise en place dans le stockage est illustré dans les figures qui suivent.

L'ensemble du procédé nucléaire de Cigéo est concentré sur l'installation de surface de la zone descenderie, la descenderie de transfert des colis et l'installation souterraine.

Au cours du procédé, depuis la réception des emballages de transport contenant les colis de déchets provenant des producteurs jusqu'à la mise en alvéole des colis de stockage, les charges radioactives manutentionnées se présentent sous les formes suivantes :

- des emballages de transport (ET) contenant les colis de déchets provenant des producteurs ;
- des colis de déchets primaires ou de stockage;
- des hottes de transfert contenant des colis de stockage.

Ces figures ne se substituent pas aux éléments descriptifs du chapitre 3 du volume II. Elles visent essentiellement à visualiser dans l'installation nucléaire de surface en zone descenderie, dans la descenderie de transfert des colis et l'installation souterraine respectivement les opérations de déchargement/traitement et transfert des colis de déchets une fois arrivés sur Cigéo en surface, le transfert des colis dans la descenderie puis dans les galeries et les opérations de mise en place des colis dans les alvéoles de stockage.

1.2 Opérations en surface

Les figures ci-après synthétisent l'ensemble des procédés intervenant dans l'installation nucléaire de surface de la zone descenderie ainsi que les locaux dans lesquels transitent les charges radioactives (colis, hottes, emballages).

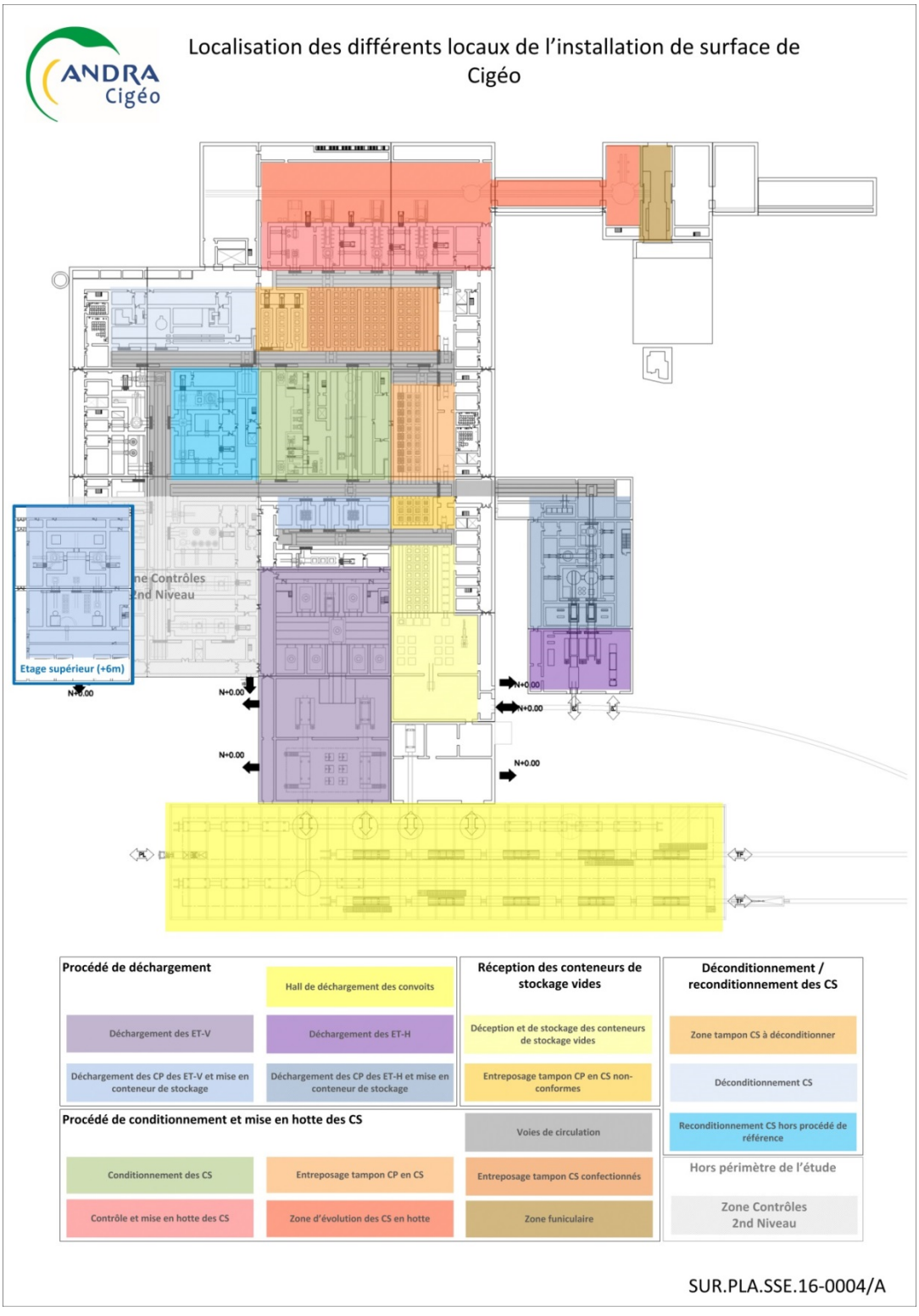


Figure 1.2-1 *Installation de surface de zone descenderie de Cigéo - Localisation des différents locaux dans lesquels transitent les colis de déchets*

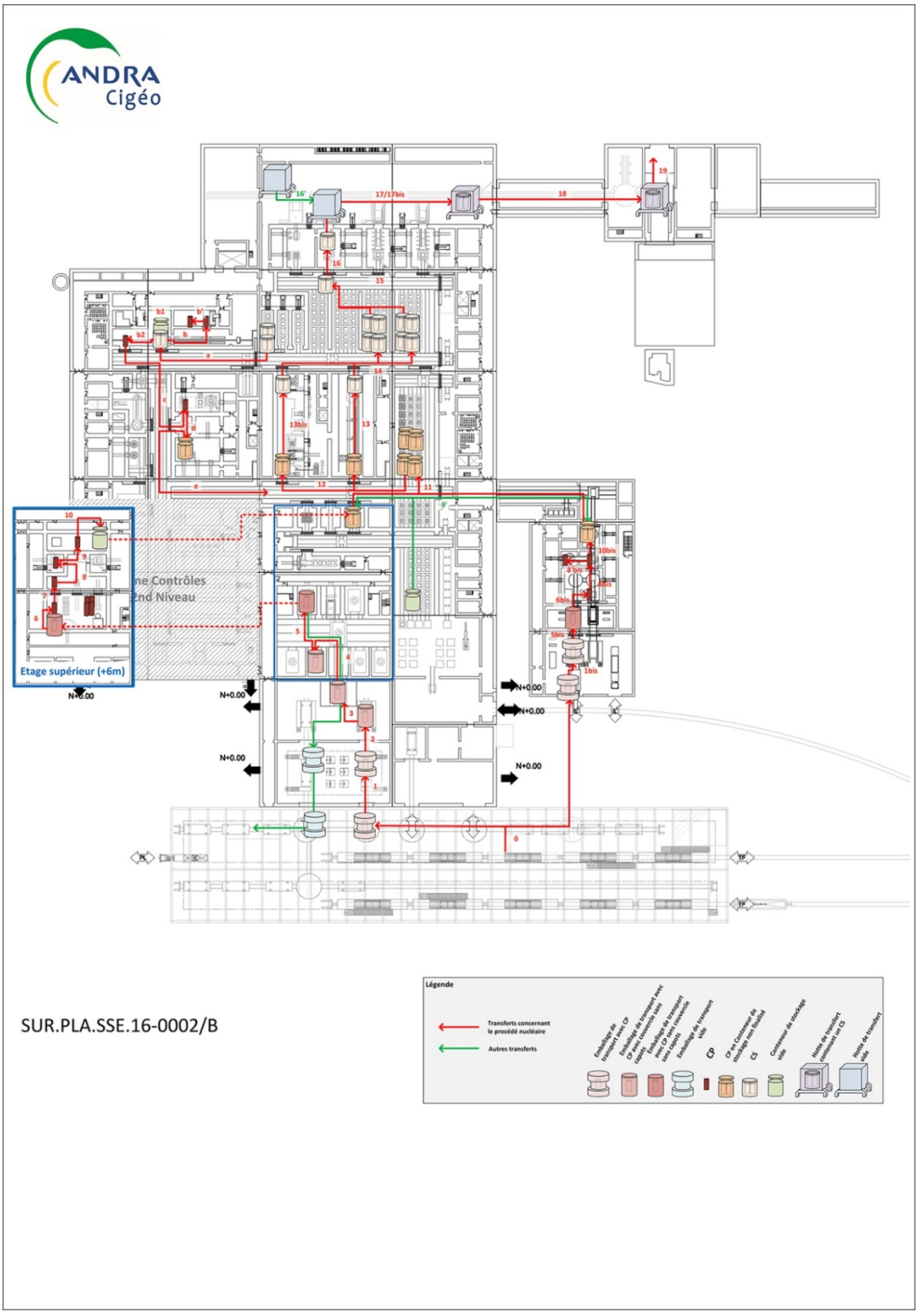


Figure 1.2-2 *Installation de surface de zone descenderie de Cigéo - Synoptique de la manutention des colis de déchets*

Liste des étapes du synoptique de manutention -Surface-

Procédé principal : emballages à déchargement vertical		
0	Hall de (dé)chargement des convois	Opérations de manutention transfert ET-V plein sur châssis/lorry via pont portique
1	Hall de (dé)chargement des convois Hall 1 de réception des ET	Transfert lorry + châssis avec ET-V plein du hall des convois vers poste Contrôle C3 amont
2	Hall 1 de réception des ET Hall 2 de réception des ET	Transfert ET-V plein de poste Contrôle C3 amont vers poste amont mise en vertical ET-V
3	Hall 2 de réception des ET	Basculement ET-V et dépose sur chariot de transfert
4	Couloir d'accès chariot ; Circulation transbordeur Locaux préparation et accostage des ET-V	Transfert chariot de transfert vers poste de préparation via transbordeur
5	Locaux de préparation des ET-V Local de préparation/contrôle C4	Préparation (contrôle C4) pour ET-V
6	Cellule de déchargement	Déballage : reprise des CP depuis l'ET et dépose sur chariot (capacité 16 CP maximum)
7	Cellule de déchargement Cellule de contrôle C5	Transfert chariot vers cellule de Contrôle C5
8	Cellule de contrôle C5	Prise du CP dans chariot et dépose en contrôle C5
9	Cellule de contrôle C5	Transfert CP dans chariot et dépose en entreposage tampon ; Alimentation du CtS vide sur palette (ou panier HA) ; Dépose couvercle et ouverture trappe
10	Cellule de contrôle C5 Cellules de mise des CP en CS	Reprise du CP et dépose en CtS
11	Entreposage tampon CS non-confectionnés	Transfert chariot CS non-confectionné en entreposage tampon CS non-confectionnés (via transbordeur)
12	Zone tampon CP en CS non-confectionnés	Transfert chariot CS/CP avec palette de contrôle C5 de stock tampon vers zone amont conditionnement MAVL (via transbordeur)
13	Cellule de conditionnement des CS MAVL	Opérations de conditionnement des CS MAVL: - dépose couvercle CS, comblement des vides, vissage du couvercle, clavage, contrôle C6.
13b	Cellule de conditionnement des CS HA	Opérations de conditionnement des CS HA : soudure, brossage, détentionnement, contrôle C6.
14	Couloir de circulation process Entreposage tampon CS confectionnés	Transfert palette CS confectionné en entreposage tampon (via transbordeur)
15	Couloir de circulation process Cellule de contrôle C7	Transfert palette CS confectionné en cellule de Contrôle C7 (via transbordeur)
16	Cellule de mise en hotte	Transfert CS confectionné vers cellule de mise en hotte
17	Cellule de mise en hotte MAVL/parc à hottes	Transfert CS sur table de chargement Chargement du CS dans la hotte MAVL et désaccostage
17b	Cellule de mise en hotte HA/parc à hottes	Basculement du CS HA Chargement du CS dans la hotte HA et désaccostage
18	Parc à hottes vides et pleines / Galerie de raccordement à la tête de descenderie	Transfert hotte vers funiculaire par navette via table tournante et galerie de raccordement
19	Tête de descenderie colis	Chargement de la hotte sur le funiculaire
Procédé principal : variante « Emballages à déchargement horizontal »		
X bis	Bâtiment de déchargement des emballages à déchargement horizontal (DN 0191)	*(Cf. opérations « 0 à 10 »ci-dessus)*
Procédé de gestion des non-conformités des Colis de stockage		
a	Zone d'entreposage Colis non conformes Cellule réception CS non conformes	Entreposage des CS non conformes (après contrôle C6) et Transfert des vers cellules de gestion des non-conformités
b1	Cellule de déconditionnement CS HA NC	Déconditionnement CS HA
b2	Cellule de déconditionnement CS MAVL NC	Déconditionnement CS MAVL
b'	Cellule de contrôle et d'assainissement CP	Contrôle et décontamination CP
c	Transfert en cellule de contrôle C5	Contrôle C5
d	Cellule de conditionnement en CS	Conditionnement CP en CS
e	Circulation transbordeur	Transfert chariot CS non-confectionné en entreposage tampon

SUR.PLA.SSE.0002/B

Figure 1.2-3 Installation de surface de zone descenderie Cigéo - Liste des étapes du synoptique de manutentions des colis de déchets

1.3 Opérations de transfert des colis de déchets depuis la surface jusqu'à leur mise en place dans les alvéoles de stockage

La figure ci-après synthétise les opérations de transfert des colis de déchets dans la descenderie colis puis dans l'installation souterraine (galeries de liaison, d'accès et mise en alvéole de stockage).

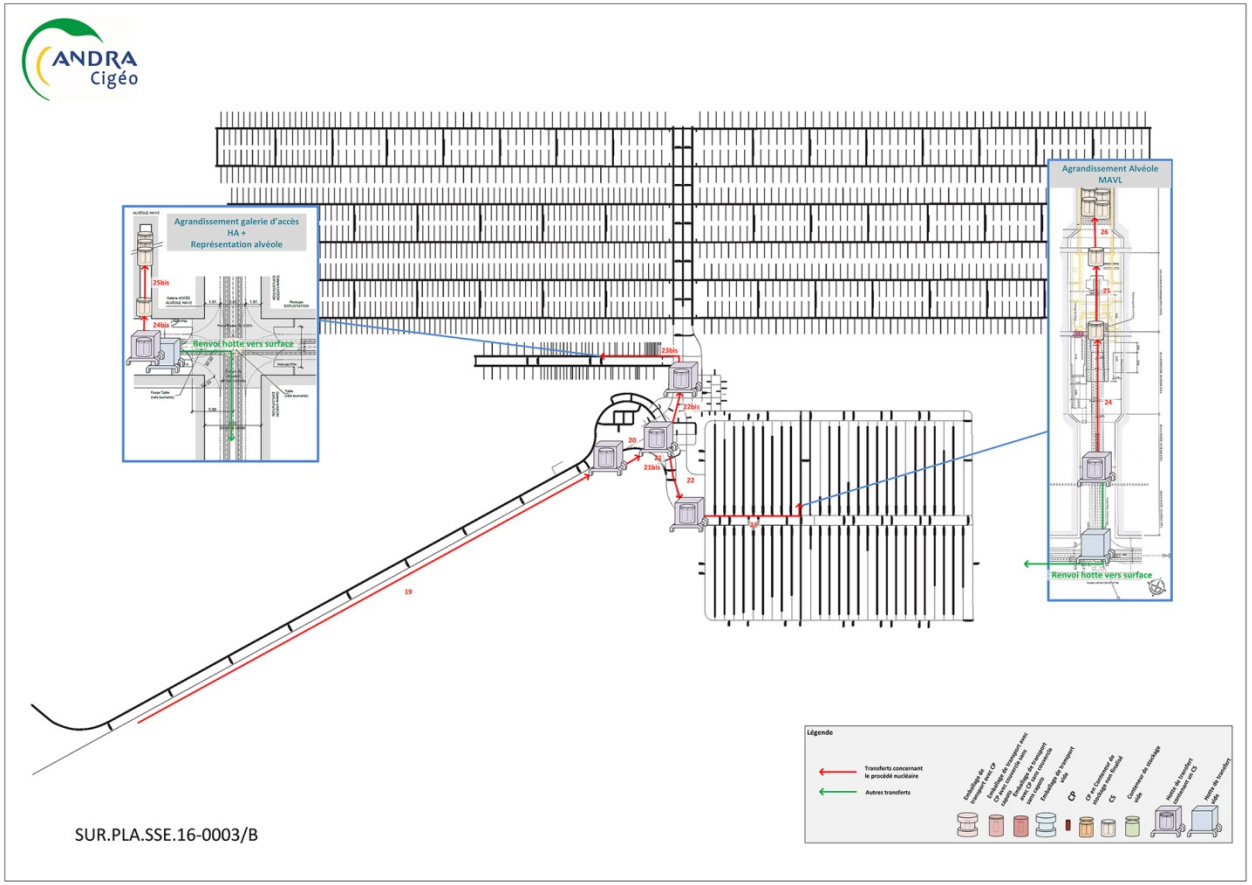


Figure 1.3-1 *Descenderie colis et installation souterraine - Synoptique des opérations de transfert des colis jusqu'aux alvéoles de stockage*

Liste des étapes du synoptique de manutention -Fond-

Procédé de manutention et de transfert des CS MAVL		
19	Descenderie colis	Transfert de la hotte via le funiculaire
20	Pied de Descenderie	Arrivée du funiculaire en gare aval
21	Gare aval dans ZSL	Reprise de la hotte par un chariot de transfert en fond
22	Galeries de Liaison	Transfert de la hotte par chariot de transfert en fond Orientation du chariot de transfert en fond via tables tournantes aux différents croisements
23	Intersection Galerie de Liaison et Galeries d'accès MAVL	Dépose de la hotte face à la galerie d'accès Retrait du chariot de transfert en fond Orientation de la table rails tournants Reprise de la hotte par une navette MAVL
24	Galerie d'accès MAVL	Transfert et dépose des CS MAVL sur table d'accostage Accostage de la hotte à la façade d'accostage
25	Cellule de manutention MAVL	Ouverture de la hotte et de la façade d'accostage Déchargement du CS sur table de réception Transfert sur table élévatrice
26	Alvéole MAVL	Mise à niveau du CS par la table élévatrice Reprise du CS par le pont stockeur Positionnement du CS en alvéole
Procédé de manutention et de transfert des CS : « variante CS HA »		
21bis	Zone de Soutien Logistique	Reprise de la hotte par un chariot de transfert en fond
22bis	Galeries de Liaison	Transfert de la hotte par chariot de transfert en fond Orientation du chariot via tables tournantes aux différents croisements
23 bis	Intersection Galerie de Liaison et Galerie d'accès HA	Dépose de la hotte en face de la galerie d'accès Retrait du chariot de transfert en fond Orientation de la table rails tournants Reprise de la hotte par une navette HA
24 bis	Galerie d'accès HA Alvéole HA	Accostage de la hotte HA Retrait du bouchon d'exploitation Translation de la hotte pour positionner le CS face à la tête d'alvéole Dépose du CS HA en tête d'alvéole et retrait de la hotte vide Remise en place du bouchon
25 bis	Alvéole HA	Accostage de la hotte du robot pousseur Retrait du bouchon d'exploitation Translation de la hotte pour positionner le robot pousseur face à la tête d'alvéole Transfert du CS HA en fond d'alvéole Remise en place du bouchon d'exploitation par le robot pousseur

SUR.PLA.SSE.16-0003/B

Figure 1.3-2 Descenderie colis et installation souterraine de Cigéo - Liste des opérations de manutention des colis de déchets

2

Inventaire des risques et disposition de maîtrise de risques

2.1	*Risques internes nucléaires*	*286*
2.2	*Agressions internes*	*316*
2.3	*Agressions externes*	*374*
2.4	*Cumuls d'agressions*	*392*
2.5	*Risques liés à la coactivité*	*394*
2.6	*Risques de malveillance*	*408*
2.7	*Risques liés aux alvéoles « pleins » en attente de fermeture*	*409*
2.8	*Risques liés aux opérations de retrait d'exploitation*	*411*
2.9	*Prise en compte du retour d'expérience*	*413*

2.1 Risques internes nucléaires

2.1.1 Exposition externe et interne

2.1.1.1 Origine du risque

Exposition externe

Le risque d'exposition externe en fonctionnement normal et incidentel/accidentel est lié aux termes sources constitués par les colis de déchets contenant des substances radioactives émettrices de rayonnements ionisants.

Les termes sources de rayonnements ionisants sont essentiellement les colis de déchets MA-VL et HA reçus sur le site de Cigéo. Ces colis se présentent sous forme de colis primaires puis de colis de stockage. Ils ont des caractéristiques radiologiques très variées (cf. Volume II, chapitre relatif aux colis) – produits d'activation, matière fissile, produits de fission, sources scellées, etc. – et peuvent émettre des rayonnements α, β, γ et neutrons.

- ***Installation de surface en zone descenderie***

Le risque d'exposition externe est lié aux termes sources radiologiques présents dans les locaux de l'installation de la zone descenderie et plus particulièrement le bâtiment nucléaire. Le Tableau 2.1- identifie par local ou type de locaux, les termes sources radiologiques présents.

Tableau 2.1-1 Locaux de l'installation de surface contenant des termes sources radiologiques

Local ou type de locaux	Termes sources
Halls 1/2/3 de réception et de préparation des emballages de transport jusqu'à l'accostage aux cellules	Colis de déchets en Emballage de Transport (ET) type B et type A
Local de traitement des emballages de transport non conformes	Colis de déchets en Emballage de Transport (ET) type B et type A
Cellules déchargement, contrôle et chargement des colis de déchets	Colis de stockage non confectionnés
Zone tampon colis de stockage non confectionnés	Colis de stockage non confectionnés
Cellules conditionnement en colis de stockage confectionnés	Colis de stockage confectionnés
Zone tampon colis de stockage confectionnés	Colis de stockage confectionnés
Cellule de déconditionnement des colis de stockage	Colis de stockage non confectionnés et confectionnés
Cellule de mise en hotte des colis de stockage	Colis de stockage confectionnés
Parc à hotte et tête de descenderie colis	Colis de stockage en hotte HA et MA-VL
Locaux de filtration THE des cellules	Filtres THE chargés d'aérosols radioactifs
Ateliers et magasins chauds	Matériels et équipements contaminés
Local de traitement des déchets issus des cellules de traitement, local d'entreposage des fûts de déchets nucléaires d'exploitation	Déchets nucléaires
Cuves tampons effluents douteux	Effluents douteux
Laboratoire d'analyses, spectrométrie	Échantillons de déchets nucléaires

En phase d'exploitation, les opérations dans les installations de surface susceptibles d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants sont essentiellement :

- les opérations nécessitant la présence d'opérateurs à proximité de termes sources radiologiques :
  - ✓ réception et le déchargement des convois routiers et ferroviaires ;
  - ✓ préparation et le déchargement des emballages ;
- les opérations nécessitant la présence occasionnelle d'opérateurs à proximité de termes sources radiologiques :
  - ✓ opérations de gestion des déchets et de traitement des effluents ;
  - ✓ opérations de contrôle/surveillance de radioprotection (contrôle des emballages, surveillance de l'ambiance des zones de travail, suivi des intervenants,…).

Les risques d'exposition en situation incidentelle ou accidentelle sont liés aux interventions réalisées à proximité de termes sources radiologiques (emballages de transport ou hottes contenant des colis de déchets…).

- ***Liaisons surface-fond- descenderie de transfert des colis***

Au niveau de la descenderie de transfert des colis, les termes sources de rayonnements ionisants sont essentiellement :

- les colis de stockage placés dans une hotte, qui assure notamment la fonction de protection radiologique. Le transfert des hottes chargées d'un colis est réalisé automatiquement par un système de transfert incliné ;
- les effluents gazeux ou liquides susceptibles d'être contaminés et les déchets solides potentiellement radioactifs qui transitent par les liaisons surface-fond en direction des zones d'entreposage, de tri et d'évacuation situées en surface.

Les opérations en situation normale n'entrainent pas d'exposition aux rayonnements ionisants compte tenu du fait que :

- le transfert des hottes est automatisé et supervisé à distance ;
- les effluents liquides et les déchets solides ne sont pas contaminés ;
- les effluents gazeux radioactifs sont canalisés jusqu'à l'exutoire en surface via le puits dédié au retour d'air vicié de la zone exploitation (VVE) ;
- la maintenance du transfert incliné est planifiée pour être réalisée en l'absence de colis de déchets.

Au stade actuel des études, le Tableau 2.1- identifie les termes sources radiologiques présents dans les liaisons surface-fond.

Tableau 2.1-2 Termes sources radiologiques présents dans les liaisons surface-fond

Local ou type de locaux	Termes sources
Descenderie de transfert des colis	Colis de stockage (en hotte)
Descenderie de transfert des colis	Effluents et déchets potentiellement contaminés

Les situations incidentelles ou accidentelles nécessitant une intervention au contact du transfert incliné chargé d'une hotte contenant un colis de déchets ou une intervention sur des déchets solides ou effluents potentiellement contaminés peuvent entraîner une exposition du personnel.

- ***Installation souterraine***

Au niveau de l'installation souterraine, les termes sources radiologiques identifiés sont :

- les colis de stockage situés dans la hotte, les colis de stockage localisés dans les cellules de manutention et les colis de stockage stockés dans les alvéoles MA-VL et HA ;
- les effluents gazeux et liquides potentiellement contaminés et les déchets solides non conventionnels entreposés avant d'être envoyés vers l'installation de surface pour traitement et évacuation.

Au stade actuel des études, le Tableau 2.1- identifie les termes sources radiologiques potentiellement présents par local ou type de locaux de l'installation souterraine.

Tableau 2.1-3 Locaux de l'installation souterraine accueillant des termes sources radiologiques

Local ou type de locaux	Termes sources
Galeries d'accès, galeries de liaison	Colis de stockage (en hotte)
Cellules de manutention	Colis de stockage (MA-VL)
Alvéoles de stockage MA-VL	Colis de stockage (MA-VL)
Alvéoles de stockage HA	Colis de stockage (HA)
Zone tampon de déchets en ZSL Exploitation	Déchets nucléaires
Locaux de filtration	Filtres THE chargés d'aérosols radioactifs
Quartiers MA-VL et HA	Effluents potentiellement contaminés

En phase d'exploitation, les opérations susceptibles d'entraîner une exposition aux rayonnements ionisants dans les zones de l'installation souterraine sont essentiellement :

- les opérations de remplacement des filtres de ventilation des alvéoles de stockage de déchets MA-VL ;
- les opérations de surveillance de radioprotection (contrôle des hottes, surveillance de l'ambiance des zones de travail, suivi des intervenants,…).

En fonctionnement normal, les déchets effluents liquides et les déchets solides ne sont pas contaminés.

Les risques d'exposition en situation incidentelle ou accidentelle sont liés aux interventions réalisées à proximité de termes sources radiologiques (hottes contenant des colis de déchets, cellule de manutention à proximité de l'alvéole contenant des colis de déchets).

Exposition interne

Le risque d'exposition interne en fonctionnement normal est lié essentiellement à la mise en suspension et aux transferts par contact de la contamination labile présente à la surface extérieure des colis de déchets. En situation incidentelle/accidentelle, le risque d'exposition interne est essentiellement lié à la rupture du confinement des colis de déchet ou d'autre équipements contenant des substances radioactives.

Le confinement des substances radioactives est assuré, en amont du conditionnement, par les colis primaires, et en aval du conditionnement, par le colis de stockage. Les colis MA-VL sont susceptibles d'émettre des gaz radioactifs (tritium, carbone 14, krypton….). Les colis primaires HA, et *a fortiori* les colis de stockage HA, sont en revanche étanches et permettent de confiner les gaz radioactifs. Le risque d'exposition interne par inhalation de gaz radioactifs reste cependant très faible comparé aux risques d'exposition externe (débit de dose des colis de déchets MA-VL de l'ordre de la dizaine de sieverts au maximum).

Les autres sources de rayonnements dans les installations de Cigéo sont constituées par les sources de contrôle et d'étalonnage des matériels de contrôle et de surveillance radiologique, les filtres des systèmes de ventilation susceptibles de capter des aérosols radioactifs ainsi que des effluents liquides et des déchets potentiellement contaminés générés par l'exploitation de l'installation.

2.1.1.2 Exigences de sûreté

L'Andra s'appuie sur les recommandations édictées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) applicables aux stockages de déchets radioactifs. Le principe d'optimisation (ALARA) sous contrainte de dose, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux, s'applique à la protection des personnels et du public vis-à-vis des rayonnements ionisants pendant l'exploitation de Cigéo. Les notions de dose, utilisées dans le cadre de la protection contre les rayonnements, sont définies dans le Code de la Santé publique (R. 1333-8 et R. 1333-1(25))

Les objectifs de protection pour Cigéo en situations normales et dégradées, ainsi que ceux retenus pour les situations incidentelles et accidentelles sont présentés dans le volume I.

Pour respecter les objectifs mentionnés dans ce tableau, des protections radiologiques sont placées entre les termes sources radiologiques et les personnes. Le dimensionnement (matériaux, épaisseurs) de ces protections radiologiques est adapté aux caractéristiques radiologiques de ces termes sources, aux personnes présentes et aux hypothèses de temps de présence associées aux postes de travail. Ainsi au niveau des zones nucléaires de Cigéo, les valeurs de dimensionnement des protections radiologiques sont d'environ 3,5 µSv.h-1 pour des postes de travail permanent (1500 heures de présence annuelle) et de 25 µSv.h-1 pour des postes de travail occasionnel (cas des hottes de transfert de colis).

Une évaluation préliminaire dosimétrique des différents postes de travail est ensuite réalisée. Cette évaluation permet de vérifier que les objectifs de dose définis par l'Andra sont respectés et d'identifier les postes de travail les plus dosant. Ces postes de travail seront optimisés prioritairement dans le cadre de la démarche ALARA qui sera réalisée de manière itérative pour les différentes études réalisées ultérieurement.

De plus, pour prévenir les risques d'exposition externe et interne, un zonage de radioprotection est mis en place sur le site Cigéo. La définition du zonage radiologique s'appuie sur la réglementation notamment l'article R.4451-18 du code du travail et l'arrêté du 15 mai 2006, relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et spécialement réglementées ou interdites. Ce zonage, présenté au paragraphe suivant, prend en compte l'exposition externe avec le débit d'équivalent de dose et l'exposition interne avec la contamination atmosphérique dans l'air.

2.1.1.3 Dispositions de prévention

Pour l'exposition externe, les principales dispositions de prévention mises en œuvre sur Cigéo sont :

- les spécifications d'acceptation des colis et les contrôles de vérification en entrée de site applicables aux transports de matières radioactives (documentation, contrôle de DED et de contamination des parties accessibles) qui permettent de s'assurer que les conditions d'exposition des opérateurs sont celles attendues et pour lesquelles l'installation est dimensionnée ;
- le génie civil et les équipements (portes et hublots blindées, façades d'accostage, bouchons de radioprotection au niveau des alvéoles HA, blocs béton de fermeture des alvéoles MA-VL) des installations de surface et souterraine qui sont dimensionnés pour que l'exposition du personnel et du public soit aussi basse que raisonnablement possible ;
- l'utilisation de hottes blindées qui participent à la protection radiologique depuis l'opération de chargement du colis de stockage en surface jusqu'à l'accostage en tête d'alvéole de stockage via la descenderie colis. Les hottes blindées, au nombre de quatre (trois pour les colis MA-VL et une pour les HA), sont dimensionnées pour que l'exposition à un mètre autorise ponctuellement la présence d'opérateurs à proximité en cas d'intervention ;
- les opérations de manutention réalisées directement sur les colis primaires (déchargement des emballages de transport, confection des colis de stockage…) ou de stockage (entreposage des colis, transfert et mise en alvéole de stockage…) qui sont automatisées et supervisées à distance depuis une salle de conduite centralisée ;
- les accès des cellules et locaux contenant des colis qui sont mécaniquement maintenus fermés par détection de présence d'un colis (balise d'ambiance). En présence de colis, le Contrôle-Commande n'autorise pas l'ouverture de la porte. Par ailleurs, l'ouverture des accès est conditionnée aux informations relatives au Débit De Dose ambiant régnant dans la cellule ;

- les voies de circulation des colis de déchets et du personnel qui sont séparées. Ainsi au niveau de la liaison surface-fond, les hottes contenant les colis de déchets circulent par la « descenderie colis » et le personnel utilise en priorité le puits d'exploitation de la zone puits et la « descenderie de service » lors des opérations de maintenance ou d'interventions, les deux descenderies étant espacées d'une soixantaine de mètres ;
- les opérations de maintenance qui sont réalisées en l'absence de termes sources d'exposition à proximité. De plus, la conception tend autant que possible à exclure ou à limiter la présence des équipements susceptibles de nécessiter une maintenance dans les zones à forte exposition. Si l'accès en cellule blindée est nécessaire (pour des opérations de maintenance par exemple), la cellule sera déclassée après vérification de l'absence de colis dans la cellule (et éventuellement les cellules attenantes si nécessaire) et d'une confirmation de l'impossibilité d'introduire un colis durant ces opérations de maintenance ;
- la conception fera que le traitement des situations incidentelles ou accidentelles ne devra pas nécessiter l'intervention des opérateurs ou du personnel de secours dans les locaux où l'exposition dépasse les seuils réglementaires (exemple: système d'extinction incendie déclenché à distance) ;
- le zonage radiologique permet de signaler et de caractériser le risque d'exposition et d'interdire la présence de personnel non exposé dans les zones réglementées ou spécialement réglementées ;
- une formation réglementaire et périodique permettra d'informer le personnel sur le risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

Pour l'exposition interne, les dispositions de prévention mises en œuvre sur Cigéo sont les suivantes :

- le confinement statique assuré par les emballages de transport, les colis primaires, les colis de stockage, les hottes de transfert MA-VL, les parois et ouvrants des locaux et des alvéoles de stockage MA-VL. Ces dispositifs permettent de disposer d'une ou plusieurs barrières de confinement qui assurent l'emprisonnement ou la captation des polluants ;
- les contrôles de contamination réalisés sur les emballages de transport, les colis primaires, les colis de stockage ainsi que sur les hottes permettent d'identifier la présence potentielle d'une contamination et, le cas échéant, de décider de la nécessité de réaliser une décontamination ;
- l'utilisation d'une ventilation nucléaire dans les locaux à risques de dissémination qui permet de réaliser un confinement dynamique. Ce confinement assure la captation des gaz et aérosols radioactifs, leur circulation dans des réseaux de ventilation dédiés et la filtration des aérosols avant rejets dans l'environnement ;
- la mise en œuvre d'un zonage déchets qui permet d'assurer la propreté radiologique, en séparant les zones à risque potentiel de contamination par rapport aux zones conventionnelles et en imposant des contrôles de non contamination aux sauts de zones. Il permet d'identifier et de signaler les locaux présentant un risque potentiel d'exposition interne.

Au stade actuel des études, les situations incidentelles ou accidentelles qui nécessitent une intervention de personnes sont prises en considération par la mise en œuvre des dispositions de prévention présentées ci-après.

Le zonage radiologique

Au stade actuel des études, le zonage de radioprotection prend en compte essentiellement le risque d'exposition externe. En fonctionnement normal, le risque d'exposition interne lié à la contamination surfacique résiduelle des colis est très faible.

Le zonage radiologique[54] mis en œuvre dans les installations est présenté dans le Tableau 2.1- pour l'installation de surface, dans le Tableau 2.1- pour les liaisons surface-fond et dans le

[54] La zone contrôlée rouge identifiée pour les cellules, couloirs, cellules de manutention et alvéoles est un zonage intermittent permettant un déclassement de la zone en l'absence de colis.

Tableau 2.1- pour l'installation souterraine. Les plans de zonages de l'installation de surface sont fournis en Annexes 2, 3 et 4.

Tableau 2.1-4 Zonage radiologique des locaux de l'installation de surface

Locaux	Classement
SAS entrée sortie en zone avant et zone arrière, et couloirs de circulation	Zone surveillée
Extrémité du local « tampon conteneur de stockage »	Zone surveillée
Zone avant des cellules	Zone contrôlée verte
Zone arrière porte bouchon des cellules	Zone contrôlée verte
Locaux techniques adjacents aux locaux procédés	Zone surveillée
Local ventilation nucléaire premier niveau de filtration, dernier niveau de filtration	Zone contrôlée verte
Local de spectrométrie	Zone surveillée
Laboratoire d'analyse	Zone surveillée
Ateliers chauds	Zone contrôlée verte
Locaux de traitement des déchets induits	Zone contrôlée jaune
Zone arrière chariot, Zone arrière transbordeur	Zone contrôlée jaune
Local d'entreposage des colis de déchets d'exploitation	Zone contrôlée jaune
Hall de réception des convois	Zone contrôlée verte
Passerelle du hall de réception des convois	Zone contrôlée jaune
Hall de réception des emballages de transport	Zone contrôlée jaune
Locaux de préparation et d'accostage des emballages de transport	Zone contrôlée jaune
SAS supérieurs	Zone contrôlée jaune
Monte-charges	Zone contrôlée jaune
Cellules et couloirs « procédé »	Zone contrôlée rouge
Cellule contrôle non-destructif	Zone contrôlée rouge
Tête de descenderie	Zone contrôlée verte

Tableau 2.1-5 Zonage radiologique des liaisons jour-fond

Locaux	Classement
Descenderie colis	Zone contrôlée verte
Descenderie de service, puits personnel et puits matériel	Zone surveillée

Tableau 2.1-6 Zonage radiologique des locaux de l'installation souterraine

Locaux	Classement
Pied de descenderie colis	Zone contrôlée verte
Pied de descenderie service	Zone surveillée
Galeries de liaison	Zone contrôlée verte
Galeries d'accès	Zone contrôlée verte
Zone d'accostage MA-VL	Zone contrôlée verte
Cellules de manutention	Zone contrôlée rouge
Alvéoles MA-VL	Zone contrôlée rouge
Locaux de filtration	Zone contrôlée verte
Galeries de retour d'air	Zone surveillée
Alvéoles HA0	Zone contrôlée rouge
Alvéoles HA1 /HA2	Zone contrôlée rouge
Zone de soutien logistique (ZSL) exploitation	Zone surveillée
Vestiaires chauds	Zone surveillée

L'évaluation dosimétrique préliminaire

Au stade actuel des études, l'évaluation préliminaire dosimétrique permet de vérifier que la conception des installations et le dimensionnement des protections radiologiques permettent de limiter la dose individuelle des personnes à une valeur inférieure à l'objectif de dose Andra de 5 mSv.an-1. Les postes de travail les plus dosant sont relatifs aux activités de réception et préparation des emballages de transport ainsi qu'aux postes de travail liés à la surveillance de l'installation souterraine. Ces postes de travail seront optimisés prioritairement dans le cadre de la démarche ALARA qui sera réalisée de manière itérative pour les différentes études réalisées ultérieurement. Il est à noter qu'à ce stade la localisation des équipements à surveiller n'est pas précise et que dans ce contexte on suppose, qu'au niveau des différents locaux, les équipements sont situés dans l'ambiance radiologique la plus importante.

2.1.1.4 Dispositions de surveillance

Contrôle des colis et du matériel

En complément de la surveillance qui sera menée sur les installations des producteurs, des spécifications d'acceptation, des contrôles de débit d'équivalent de dose au niveau de l'emballage de transport et des colis lors de leur déchargement sont prévus, à réception de chaque colis livré dans les installations de surface. De plus, dès leur réception, les emballages de transport puis les colis primaires ou de stockage font l'objet de contrôles de non contamination labile et de débit d'équivalent de dose (cf. volume II) afin de s'assurer de leur conformité.

Des contrôles statistiques seront également réalisés par échantillonnage sur les flux de colis livrés. Les paramètres contrôlés seront notamment le DED (débit d'équivalent de dose), la contamination surfacique, l'aspect extérieur du conteneur et des organes de préhension, l'intégrité du conteneur, la nature et la qualité des matériaux assurant le confinement, la nature des déchets radioactifs, etc.

Surveillance individuelle

En zone surveillée, le personnel est équipé *a minima* d'une dosimétrie passive et en zone contrôlée, il aura en plus une dosimétrie active.

Suivant le risque d'exposition lors d'interventions, en particulier pour des opérations de maintenance (par exemple sur les équipements présents dans les cellules des installations de surface en absence de colis…..), le personnel pourra être équipé de « petit matériel de radioprotection » comme des radiamètres (gamma ou neutron suivant le risque) ou des contaminamètres.

En sortie de zone à déchets nucléaires (zone à risque de contamination), des dispositifs de type contrôleur pieds-mains ou de type polyradiamètre avec sonde permettent de vérifier l'absence de contamination corporelle des intervenants. De plus, en sortie de zone réglementée, le personnel passera par un portique de détection qui contrôlera l'absence de contamination corporelle avant leur entrée dans le vestiaire chaud.

Surveillance collective

La surveillance collective de l'exposition aux rayonnements ionisants se fera par :

- des moniteurs à filtre continu pour la surveillance de la présence d'aérosols alpha et bêta dans l'air des ZAV et ZAR des cellules à risque potentiel de contamination des ateliers chauds et du local de traitement des déchets potentiellement radioactifs ;
- des balises pour la surveillance du tritium, du carbone 14 et des gaz rares dans les locaux contenant des colis de déchets émettant ces radioéléments ;
- des sondes gamma à très haut flux pour la surveillance de l'irradiation gamma dans les cellules blindées et les cellules de manutention ;
- des moniteurs à eau à comptage gamma total pour la surveillance continue de l'activité des effluents potentiellement contaminés collectés.

Les dispositifs de mesure d'ambiance (Débit De Dose et contamination dans l'air) sont couplés avec des alarmes (visuelle, sonore) permettant de prévenir le personnel d'une situation anormale.

Des Tableaux de Contrôle Radiologique (TCR) centraliseront les mesures nécessaires à la sûreté et au suivi radiologique de l'installation.

2.1.1.5 Dispositions de limitation des conséquences

Au stade actuel des études, les principales dispositions pour limiter les conséquences en termes d'exposition externe et interne sont :

- la conception des équipements de traitement des situations incidentelles et accidentelles ne nécessite pas l'intervention des opérateurs ou du personnel de secours dans les locaux où l'exposition dépasse les seuils réglementaires (exemple : système d'extinction incendie déclenché à distance) ;
- les moteurs et armoires électriques des cellules blindées des installations de surface, des façades d'accostage et des cellules de manutention dans l'installation souterraine sont autant que possible déportés à l'extérieur de ces locaux afin de permettre des interventions derrière des protections radiologiques ;
- le dimensionnement des protections radiologiques vis-à-vis des agressions internes et externes ;
- l'évacuation des termes sources radiologiques lors d'intervention ;
- l'utilisation de moyens télé-opérés ou robotisés pour permettre l'évacuation des termes sources ou le déblocage de mécanismes pour permettre leur évacuation par des moyens connexes (ponts, etc.) ;
- l'utilisation des dosimètres à alarme qui permettent de prévenir le personnel de toutes situations dangereuses ;
- le dimensionnement des locaux et équipements (systèmes de ventilation nucléaire) ayant une fonction de confinement contre les risques d'agressions interne et externe ;
- l'utilisation si nécessaire de protection des voies respiratoires pour le personnel vérifiant l'état radiologique des cellules potentiellement contaminée et de tenues ventilées en cas d'incident de contamination.

Pour prévenir toute exposition excessive du personnel, un certain nombre de dispositions sont aussi prises, telles que :

- le personnel est muni d'une tenue de travail adaptée au local dans lequel il intervient ;
- le personnel doit se soumettre à un contrôle médical régulier ;
- en cas de suspicion ou de détection d'une contamination d'un opérateur ou d'un équipement, le personnel fait immédiatement appel au service de radioprotection de Cigéo qui peut intervenir dans les minutes qui suivent ;
- en cas de suspicion ou de détection d'une dissémination de substances radioactives, le service radioprotection réalise une cartographie radiologique du local et peut, si besoin, faire réaliser une décontamination des équipements / locaux contaminés.

2.1.2 Dispersion de substances radioactives

2.1.2.1 Origine du risque

Le risque de dispersion de substances radioactives dans les installations de Cigéo découle de l'éventualité d'une migration des substances radioactives (particules et aérosols) contenues dans les colis de déchets lors des opérations de réception, de manutention, de conditionnement, de transfert et de mise en stockage ou de retrait de ces colis correspondant aux scénarios d'exploitation tels que définis dans le DORec.

En fonctionnement normal, le risque de dispersion de substances radioactives est principalement dû :

- à la contamination surfacique labile potentiellement présente sur les surfaces externe des colis primaires et des colis de stockage limitée à 4 Bq/cm² en radionucléides β γ et 0,4 Bq/cm² en radionucléides α
- aux déchets solides d'exploitation ainsi qu'aux effluents liquides aqueux ayant pu être en contact avec des colis contaminés.

Le Tableau 2.1- présente la localisation des substances radioactives au sein des installations de Cigéo.

En situations incidentelles ou accidentelles, les risques de dispersion sont liés, soit à une défaillance intrinsèque des colis de déchets (par exemple, vieillissement, écart à leur arrivée), soit à une agression d'origine interne ou externe (par exemple, chute, incendie, séisme…) susceptible de mobiliser a minima la contamination surfacique labile externe des colis de déchets, voire d'endommager les barrières de confinement des colis primaires et/ou des colis de stockage et conduire alors à une mobilisation de l'activité présente au sein même des colis. Les dispositions retenues pour la maîtrise des risques non nucléaires d'origine interne ou externe pouvant engendrer un risque de dispersion est présentée dans les chapitres dédiés à chacun des risques du présent volume.

Les autres situations incidentelles ou accidentelles concernent une mobilisation des substances radioactives déposées sur les surfaces des zones de transit ou des moyens de transfert ainsi que des déchets d'exploitation et effluents potentiellement issus des opérations de maintenance ou de décontamination des locaux et équipements.

Tableau 2.1-7 Localisation des substances radioactives dans les installations de Cigéo

	Colis de déchets	Équipements	Déchets d'exploitation	Effluents
Installation nucléaire de surface du procédé de traitement				
Halls 1/2/3 de réception et de préparation des emballages de transport jusqu'à l'accostage aux cellules	CP et CS-P en ET type B et type A	ET type B et type A	Poubelle frottis Gants, tenues jetables	-
Local de traitement des emballages de transport	CP et CS-P en ET type B et type A	ET type B et type A	Poubelle frottis Gants, tenues jetables, surbottes, cartouches	Décontamination surface ET NC
Cellules déchargement, contrôle et chargement des CP/CS-P et CS non confectionnés	CP, CS non confectionnés et CS-P	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination cellules[55]
Zone tampon CS non confectionnés	CS non confectionnés	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination cellules
Cellules conditionnement en CS	CS	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination cellules
Zone tampon CS	CS	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination cellules
Cellule de déconditionnement	CS non confectionnés et CS	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination cellules
Cellule de mise en hotte des CS	CS confectionnés	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination cellules
Parc à hotte et tête de descenderie colis	CS et CS-P en hotte MA-VL et HA	Parois hottes	Maintenance hottes	Décontamination hottes
Locaux de filtration THE des cellules	-	Filtres THE	Tenues jetables …	-
ZAR, sas supérieurs, ateliers et magasins chauds	-	Parois local équipements	Maintenance équipements	Décontamination local
Traitement déchets d'exploitation	-	-	Déchets d'exploitation	-
Cuves tampons effluents actifs et douteux	-	-	-	Effluents actifs et douteux
Installation nucléaire souterraine				
Descenderie et galeries de liaison et d'accès	CS et CS-P en hotte MA-VL et HA	Parois hottes	-	-
Alvéoles MA-VL et cellules de manutention	CS et CS-P MA-VL	Parois cellules équipements	Maintenance équipements	Décontamination. équipements
Alvéole HA	CS HA	-	-	-
Locaux de filtration THE alvéoles MA-VL	-	Filtres THE	Tenues jetables …	-
Traitement déchets d'exploitation ZSL	-	-	Déchets d'exploitation	-
Cuves tampons effluents douteux	-	-	-	Effluents douteux[56]

[55] La décontamination des cellules, locaux ou hottes reste occasionnelle et fera l'objet d'une planification dont la fréquence sera précisée dans les règles générales d'exploitation.

[56] : Effluents douteux provenant des eaux d'exhaure des descenderies, des galeries et des alvéoles de stockage HA.

2.1.2.2 Options retenues en termes de confinement

La conception des colis (primaires et de stockage), des installations et des processus d'exploitation doit permettre de maintenir un niveau de contamination aussi faible que possible dans les locaux de l'installation et limiter les rejets de substances radioactives à l'extérieur de l'installation afin d'assurer la protection du personnel, du public et de l'environnement pendant toutes les situations de fonctionnement de l'installation identifiées pendant l'exploitation.

La maîtrise du risque de dispersion consiste à interposer différentes barrières de confinement entre l'environnement et les substances radioactives (conformément à l'article 3.4 de l'arrêté du 7 février 2012 (16) L'objectif pour les installations de Cigéo est :

- de mettre en place deux barrières de confinement (statiques et/ou dynamiques) indépendantes pour les situations normales de fonctionnement ;
- de maintenir la permanence d'au moins une barrière de confinement (statique et/ou dynamique) pour les situations incidentelles et accidentelles.

Ces barrières sont organisées en systèmes de confinement.

Le Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (17) retient les dispositions suivantes : « Le colis (de stockage) devra présenter une capacité à confiner les substances nocives adaptée à la nature des déchets qu'il contient, compte tenu de l'environnement dans lequel il se trouve. Pour répondre à cet objectif, il est recommandé que le colis :

- empêche la dissémination d'activité dans les autres composants du système de stockage pendant une période donnée après sa mise en place dans l'installation.
  - ✓ Pour les déchets de haute activité massique et les combustibles usés, ce confinement sera notamment assuré pendant une période au terme de laquelle la température au contact des colis sera suffisamment faible pour que d'éventuels relâchements s'opèrent dans des conditions connues.
  - ✓ Pour les colis de déchets de moyenne activité, ce confinement concerne les substances radioactives non gazeuses. Il sera assuré au moins pendant la phase d'exploitation ».

2.1.2.3 Premier système de confinement

Les déchets seront reçus sur Cigéo sous forme de colis primaires (CP) et dans certains cas, de colis primaires déjà placés dans un conteneur de stockage par les producteurs (CS-P). Les déchets sont stockés en alvéole sous forme de colis de stockage (CS). Il s'agit d'un ou plusieurs colis primaires placés dans un conteneur de stockage. Le cas d'un colis primaire MA-VL stocké directement est également retenu.

<u>Déchets HA</u>

Pour les colis de déchets HA, le 1er système de confinement est assuré :

- avant sa mise en conteneur de stockage, par le colis primaire. Cette 1ère barrière de confinement est efficace en fonctionnement normal pendant toute l'exploitation et pour les situations incidentelles et accidentelles identifiées dans les installations de surface de Cigéo avant la mise en conteneur de stockage ;
- après sa mise en conteneur de stockage, de deux barrières de confinement :
  - ✓ le colis primaire ;
  - ✓ le conteneur de stockage en acier. Cette barrière est efficace pour toutes les situations de fonctionnement et ce, dans les installations de surface, lors des opérations de transfert des colis jusqu'aux alvéoles, une fois stockés dans les alvéoles de stockage HA et lors des opérations de retrait des colis.

<u>Déchets MA-VL</u>

Pour un colis primaire MA-VL destiné à être stocké sans conteneur de stockage, le premier système de confinement est assuré par ce seul colis primaire depuis sa réception dans l'installation de surface jusqu'à son stockage en alvéole.

Pour un colis primaire MA-VL destiné à être stocké en conteneur de stockage :

- avant sa mise en conteneur de stockage, le premier système de confinement est assuré par ce seul colis primaire ;
- après sa mise en conteneur de stockage, le premier système de confinement est assuré par le colis de stockage.

Compte tenu de la durée courte des opérations de mise en stockage, le colis primaire seul est suffisant pour assurer le 1er système de confinement jusqu'à la mise en alvéole de stockage.

Dans l'alvéole de stockage (cf. § 2.7.1), afin de pallier un comportement défectueux de certains colis primaires sur la durée d'exploitation de Cigéo, la fonction de confinement peut faire intervenir le conteneur de stockage comme barrière de confinement. Lorsque cette fonction est attribuée au conteneur de stockage, cela impliquera de mettre en place un dispositif complémentaire au niveau du colis de stockage (conteneur de stockage clavé avec ou sans immobilisation du colis primaire, appelé « renforcé vis-à-vis du confinement »).

Ainsi, à ce stade des études, trois solutions de stockage sont envisagées pour les différents types de colis MA-VL qui seront livrés à Cigéo afin de permettre leur stockage sûr :

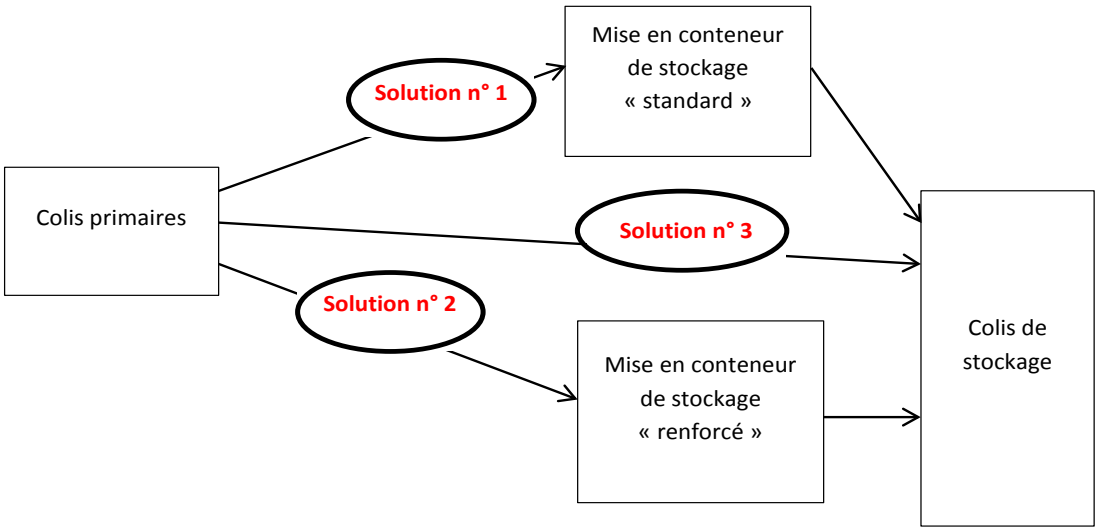


Figure 2.1-1 Solutions retenues pour la constitution des colis de stockage MA-VL

- solution n°1 : colis primaires placés dans un conteneur de stockage « standard » (vissé). Les colis de déchets MA-VL tels que conditionnés et livrés à Cigéo par le producteur se présentent sous la forme de colis primaires. Après avoir été réceptionnés dans l'installation de surface de Cigéo, un ou plusieurs colis primaires sont placés dans un conteneur de stockage, le tout constituant un colis de stockage prêt à être transféré et stocké dans les alvéoles de stockage. Les colis primaires sont confinants aux aérosols sur toute la phase d'exploitation en fonctionnement normal et en mode dégradé. Le conteneur de stockage MA-VL n'est pas confinant mais résiste à certaines agressions (chute, incendie) assurant ainsi une rétention de substances radioactives qui pourraient être remises en suspension pour les dites agressions (à ce stade, un facteur de rétention de 10^{-2} est retenu pour une chute inférieure à la hauteur de qualification du conteneur soit 2,3 m) ;
- solution n° 2 : colis primaires placés dans un conteneur de stockage « renforcé vis-à-vis du confinement ». Les colis livrés à Cigéo par le producteur se présentent sous la forme de colis primaires pour lesquels la fonction de confinement est assurée à sa réception sur Cigéo mais n'est pas garantie sur toute la durée d'exploitation. Les colis primaires réceptionnés sont placés dans un conteneur de stockage capable d'assurer le confinement des aérosols sur toute la phase d'exploitation en fonctionnement normal et en mode dégradé. Cet ensemble, colis primaires – conteneur de stockage ainsi constitué, est confinant aux aérosols sur toute la phase d'exploitation

en fonctionnement normal et en mode dégradé. Le conteneur de stockage « renforcé vis-à-vis du confinement » est également résistant aux mêmes agressions que le conteneur « standard » assurant ainsi une rétention de substances radioactives qui pourraient être remises en suspension pour les dites agressions (à ce stade, un facteur de rétention de 10^{-2} est retenu pour une chute inférieure à la hauteur de qualification du conteneur soit 2,3 m) ;

- solution n° 3 : colis primaires stockés directement. Les colis de déchets tels que conditionnés et livrés à Cigéo par le producteur se présentent sous la forme de colis primaires. Les colis primaires sont stockés tels quels sans être placés dans un conteneur de stockage. Les colis primaires sont alors considérés en l'état comme des colis de stockage. Ces colis doivent donc être confinants aux aérosols sur toute la phase d'exploitation en fonctionnement normal et en mode dégradé. Ils devront également être résistants aux agressions (chute, incendie) afin d'être compatibles avec les dispositions de conception des installations retenues pour assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses en situations incidentelles et accidentelles sur toute la phase d'exploitation.

Tableau 2.1-8 1er système de confinement retenu pour les colis de stockage MA-VL selon la solution de stockage et la phase de vie

<table>
<tr><th></th><th>CP en CtS « standard »</th><th>CP en CtS « renforcé »</th><th>CP en stockage direct</th></tr>
<tr><td>Opérations de mise en alvéole</td><td rowspan="3">1 barrière de confinement : colis primaire

Le CtS participe à la protection du colis primaire et à la rétention de substances radioactives en situation accidentelle</td><td>2 barrières de confinement : colis primaire + conteneur de stockage</td><td rowspan="3">1 barrière de confinement : colis primaire</td></tr>
<tr><td>Stockage en alvéole (durée de l'exploitation)</td><td>1 barrière de confinement : conteneur de stockage</td></tr>
<tr><td>Retrait exploitation (durée 1 an après mise en stockage)</td><td>2 barrières de confinement : colis primaire + conteneur de stockage</td></tr>
</table>

Pour les effluents liquides contaminés (effluents actifs) ou susceptibles de l'être (effluents douteux), le 1er système de confinement statique est constitué par les cuves et réseaux les collectant.

2.1.2.4 Deuxième système de confinement

Un deuxième système de confinement est mis en œuvre de façon à conserver au moins un des deux systèmes en situation incidentelle/accidentelle. Il limite le rejet de substances radioactives dans les locaux adjacents et dans l'environnement, en cas de perte du premier système de confinement.

Le deuxième système de confinement est constitué de barrières statiques et le cas échéant dynamique selon les zones de l'installation et les procédés mis en jeu.

Le confinement dynamique permet de pallier les défauts d'étanchéité du confinement statique constitué par les parois des volumes considérés. Il est assuré par le système de ventilation qui revêt deux aspects :

- une hiérarchie des pressions de manière à imposer un sens de circulation de l'air des volumes présentant un faible risque potentiel de contamination radioactive vers ceux présentant un risque potentiel élevé de contamination radioactive. Le confinement dynamique permet également de pouvoir circonscrire, traiter et surveiller la contamination au plus près de la source émettrice et donc de compléter les autres dispositions de protection des travailleurs contre le danger des rayonnements ionisants ;
- le maintien d'une dépression significative à l'intérieur des zones contrôlées présentant un risque potentiel de contamination radioactive, de manière à éviter les rejets incontrôlés vers l'extérieur et à faire converger les effluents gazeux vers des points de rejets identifiés et, le cas échéant, permettre l'épuration de ces effluents et leur contrôle.

Déchets HA

Jusqu'à la mise en conteneur de stockage des colis primaires, un 2ème système de confinement est mis en place et est assuré par le génie civil des locaux associée à une ventilation nucléaire (confinement dynamique).

Après conditionnement en colis de stockage et contrôle, un seul système de confinement constitué de deux barrières de confinement est suffisant pour assurer le confinement lors des opérations de transfert des colis jusqu'aux alvéoles et dans les micro-tunnels HA pour toutes les situations sans nécessiter d'ajouter un second système de confinement.

Par ailleurs, les solutions envisagées en matière de transfert (faible vitesse de déplacement) et de mise en place des colis de stockage (hauteur de manutention limitée, charge calorifique des équipements réduite...) visent à limiter les agressions potentielles du colis. Il sera vérifié d'ici la demande d'autorisation de création que la conception des colis de stockage HA permet effectivement de résister aux différentes agressions.

Déchets MA-VL

Nota : au regard des solutions de stockage envisagées (solution n° 2) ou envisageables pour lesquelles le premier système de confinement peut être constitué de deux barrières de confinement (colis primaire et conteneur de stockage portant une fonction de confinement), la nécessité de mise en place d'un second système de confinement sera à analyser au regard des situations de fonctionnement et des risques potentiels de mode commun de défaillance entre les différentes barrières du premier système de confinement, conformément à l'arrêté INB.

- Installation de surface

Dans les installations de surface, un 2ème système de confinement est retenu dans les différents locaux par lesquels transitent les colis MA-VL avant leur mise en hotte. Celui-ci est constitué d'une barrière de confinement assurée par le génie civil des locaux associé à une ventilation nucléaire (confinement dynamique). Ce 2ème système de confinement est efficace notamment en situations incidentelles et accidentelles identifiées dans les installations de surface.

Les systèmes de ventilation de l'installation de surface sont constitués par :

- un réseau conventionnel pour assurer la ventilation des locaux hors zone contrôlée (locaux techniques) ;
- un réseau I-C1 pour assurer la ventilation des zones contrôlées exemptes de toutes substances nucléaires ou au sein desquels les substances sont conditionnées dans des contenants robustes aux agressions et ne conduisant pas, en situations incidentelles ou accidentelles, à un risque de dispersion de ces substances radioactives (emballages de transport, hottes) ;
- un réseau IIA-C2, dont le soufflage est commun avec celui des cellules, pour assurer la ventilation des zones contrôlées exemptes de toutes substances nucléaires mais qui peuvent présenter des points de communication avec les cellules (zones avant) ;

- un réseau IIB-C3 ou IIIB-C4**, dont le soufflage est commun avec le précédent, pour assurer la ventilation des zones contrôlées comportant des substances nucléaires conditionnées dans des contenants et pour lesquelles des agressions pourraient conduire, en situations incidentelles ou accidentelles, à un risque de dispersion de ces substances radioactives. Au stade actuel des études, la cellule de déchargement des colis primaires des emballages de transport, du contrôle C5 et de mise en conteneur de stockage nécessiterait ce classement.

La conception des réseaux de ventilation ainsi que de leur alimentation électrique, en termes notamment de redondance d'équipements et de dimensionnement aux agressions est adaptée aux conséquences sur la sûreté de l'installation. Ils comportent deux ventilateurs au soufflage et à l'extraction (cf. Figure 3.3-34). En cas de perte de l'alimentation électrique normale ou d'un ventilateur, le procédé est arrêté et l'installation mise en état sûr. Le besoin d'une redondance sur le soufflage et l'extraction pour les réseaux IIB-C3 à IIIB-C4** (uniquement liés aux situations accidentelles) sera étudié d'ici la DAC.

Les infrastructures des installations de surface (cellules et bâtiments) sont dimensionnées stables au séisme et prennent en compte les scénarios d'agressions dans leur dimensionnement, notamment l'incendie et la chute d'une lourde charge.

Une fois le colis de stockage placé dans la hotte, celle-ci constitue le 2ème système de confinement. Sa description est présentée dans le § relatif à l'installation souterraine.

- Liaison surface-fond et installation souterraine

Lors des opérations de transfert des colis de déchets MA-VL dans la descenderie puis les galeries, le 2ème système de confinement retenu est constitué d'une barrière de confinement assurée par la hotte de transfert.

La performance de la hotte vis-à-vis du confinement est assurée par une enceinte en acier inoxydable en paroi interne du corps de la hotte et par sa porte, un jeu de joints entre la porte et son dormant permettant la mise en œuvre de contrôles d'étanchéité. Une isolation thermique permet de préserver les joints des conséquences d'un incendie. La rigidité de la structure la préserve des conséquences d'une chute, d'un choc ou d'une collision.

À l'accostage aux cellules de chargement des hottes ou aux cellules de manutention, un confinement statique est réalisé entre la porte de la façade d'accostage et la porte des hottes. En cas de défaillance du confinement statique, la dépression entre les deux locaux et un jeu calibré sur le pourtour de la zone d'accostage permet d'assurer un confinement dynamique.

La performance de la hotte permet de respecter l'objectif d'exploitation de la descenderie et des galeries de liaison et d'accès en classe de confinement C1. A ce stade des études, un taux de fuite normalisé de $1{,}3.10^{-3}$ $Pa.m^3/s$ est retenu.

Les hottes MA-VL sont conçues pour assurer leur rôle de 2ème système de confinement quels que soient les scénarios d'agressions envisagés dans le cadre de leur dimensionnement (chute, choc, collision, incendie, séisme,…) et préserver le colis de stockage qu'elles contiennent de toutes agressions mécaniques et thermiques qui pourraient conduire à la dégradation de son confinement (cf. Figure 3.3-21).

- Alvéoles MA-VL et locaux de filtration des alvéoles MA-VL

Dans les alvéoles de stockage MA-VL et les locaux de filtration des alvéoles MA-VL, le second système de confinement retenu est constitué d'une barrière de confinement assurée par le génie civil de l'alvéole associée à une ventilation nucléaire (confinement dynamique). Ce 2ème système de confinement doit être efficace notamment en situations incidentelles et accidentelles identifiées dans les alvéoles de stockage MA-VL, que ce soient pour les opérations de mise en place ou de retrait des colis de stockage.

Ce choix du deuxième système de confinement s'appuie sur la performance retenue à ce stade du premier système de confinement que constitue le colis de stockage MA-VL, à savoir :

- le domaine de fonctionnement normal de l'alvéole considère :
  - ✓ un dégagement possible de gaz radioactifs ;
  - ✓ une absence de dispersion d'aérosols radioactifs contenus dans les colis primaires. Le niveau de contamination surfacique labile des colis de stockage n'excède pas 4 Bq/cm² en radionucléides βγ et 0,4 Bq/cm² en radionucléides α. La dégradation d'un nombre limité de colis avec remise en suspension de particules dans l'alvéole est néanmoins envisagée. Compte tenu des exigences spécifiées aux colis primaires et aux conteneurs de stockage ainsi que des conditions d'environnement peu agressives, ce nombre et l'ampleur de la dégradation resteront très limités, de sorte que la classe de confinement visée pour le dimensionnement de la ventilation sera respectée ;
- en cas d'accident lors de la mise en place ou du retrait des colis de stockage en alvéole, le second système de confinement est conçu de manière à collecter les substances remises en suspension et permettre l'épuration de l'alvéole.

Pour répondre à ces principes et au regard du comportement des colis, l'option retenue est un système de ventilation des cellules de manutention et des alvéoles de stockage constitué par un réseau IIA-C2.

La ventilation générale de l'installation souterraine et donc des alvéoles MA-VL est de type « longitudinal » avec un balayage d'air frais en section courante des galeries souterraines. Dans la zone MA-VL, le retour d'air est assuré par une gaine de ventilation située dans une galerie dédiée. Les unités de ventilation principales sont disposées au niveau des têtes des puits et des descenderies, en surface.

Le système de ventilation est conçu avec une redondance au soufflage et à l'extraction. En cas de perte de l'alimentation électrique normale, l'alimentation des extracteurs du puits d'air vicié exploitation, des unités de filtration des alvéoles MA-VL et des locaux DNF ainsi que les capteurs en sortie d'alvéole MA-VL bascule sur des groupes électrogènes de secours situés en surface.

Le génie civil de l'alvéole et la ventilation sont dimensionnés pour résister aux agresseurs potentiels (notamment collision, séisme, montée en température..).

2.1.2.5 Dispositions de surveillance

Surveillance du 1er système de confinement

En complément de la surveillance qui sera menée par l'Andra sur les installations des producteurs, des contrôles colis en ligne sont mis en place au cours des différentes opérations réalisées dans l'installation de surface (cf. volume II § 4.5).

En particulier, les colis doivent respecter la limite fixée en termes de contamination exprimée dans les spécifications d'acceptation. Pour assurer la surveillance de ce critère et détecter au plus tôt une non-conformité, des opérations de contrôles sont intégrées dans le procédé, au déchargement de l'emballage de transport, lors du conditionnement des colis primaires en colis de stockage et avant mise en hotte.

Des colis de déchets HA et MA-VL placés dans des alvéoles témoins instrumentés et dans lesquels l'environnement hydrique, thermique, mécanique et autant que possible radiologique similaire à celui des alvéoles de stockage sera reconstitué, font également l'objet d'un suivi.

Dans l'installation souterraine, la surveillance du niveau de contamination dans l'alvéole MA-VL est réalisée par le biais d'un dispositif de surveillance placé en sortie de chaque alvéole de stockage.

En ce qui concerne les effluents liquides, les caniveaux et cuves de récupération sont équipés d'un détecteur de présence de liquide en points bas. Les cuves sont, de plus, équipées d'une mesure continue de niveau et d'alarmes de niveaux (seuils à déterminer ultérieurement).

Surveillance des conditions d'ambiance

Tous les locaux de l'installation de surface dans lesquels transitent ou sont entreposés les colis primaires et les colis de stockage sont ventilés.

La ventilation des alvéoles de stockage MA-VL permet notamment d'assurer les conditions d'ambiance de température et d'hygrométrie limitant les phénomènes de dégradation des colis de stockage.

Les alvéoles de stockage HA ne sont pas ventilées. Les causes d'endommagement des colis de stockage HA sont liées à des phénomènes de corrosion. La conception retenue permet d'exclure l'arrivée d'eau sur les déchets pendant la période thermique de ces derniers qui va bien au-delà de la période d'exploitation.

Surveillance de la contamination ambiante

D'un point de vue général, la contamination ambiante sera surveillée de façon permanente dans l'ensemble des installations de surface et souterraine. Il est prévu de mettre en place :

- une surveillance de la contamination atmosphérique dans les locaux en surface contenant temporairement ou en permanence des colis de déchets (cellules de déchargement, cellules de contrôles des colis, cellules de conditionnement / de déconditionnement, cellules de traitement des non conformités, zones tampon, locaux d'entreposage des effluents actifs et douteux) ;
- une surveillance de la contamination atmosphérique dans les zones de travail (zones avant et arrière des cellules, ateliers chauds, locaux DNF des alvéoles de stockage MA-VL lors des opérations de changement des filtres, zones tampon des déchets d'exploitation) et de circulation du personnel (balises aérosols placées à proximité du sas entrée/sortie pour vérifier l'absence de dispersion dans les voies de circulation où le personnel ne porte pas d'EPI) ;
- une surveillance de la contamination atmosphérique dans les cellules de manutention, dans le local tampon des colis de déchets de la ZSL exploitation et dans les alvéoles MA-VL ;
- une surveillance de l'activité des effluents liquides collectés.

Afin de surveiller les activités volumiques dans l'installation souterraine, des équipements de surveillance radiologique sont implantés :

- des balises fixes de surveillance de la contamination atmosphérique (aérosols) dans les locaux à risque de contamination incidentelle. Elles effectuent des prélèvements directement dans les locaux ou dans les gaines d'extraction de la ventilation afin d'obtenir une surveillance d'ensemble des locaux possédant des volumes importants mais sans poste de travail particulier. Les locaux couverts sont l'ensemble des locaux où circulent et stationnent les colis primaires et les colis de stockage ;
- des Appareils de Prélèvement de poussières Atmosphériques (APA) implantés afin de réaliser une surveillance en différé. La liste des locaux concernés par l'installation de ces équipements sont les cellules de manutention et les locaux de filtration DNF des alvéoles MA-VL.

Surveillance de la propreté radiologique

Des contrôles et des mesures de la contamination surfacique dans les différents locaux permettent d'établir une cartographie de la contamination. Les locaux présentant une radioactivité artificielle ajoutée sont dits « contaminés » et une signalisation appropriée est placée sur leurs accès. Une opération de décontamination est effectuée pour revenir à la situation définie au niveau du zonage.

La contamination des locaux, matériels, petits outillages et du personnel fait l'objet de dépistage systématique avant et après chaque intervention en zone.

Les sorties du personnel des zones contrôlées (essentiellement les cellules de manutention de l'installation souterraine) vers les zones surveillées se font via un contrôleur de contamination mains-pieds et/ou via un contaminamètre. Le dépistage de contamination surfacique sur les outillages ou matériels est effectué par le personnel à l'aide de frottis et de mesures à l'aide d'une sonde α ou $\beta\gamma$, ou de contaminamètres.

Les sorties du personnel des zones réglementées se font via un portique de contrôle. Les contrôles radiologiques par frottis des matériels se font dans un sas dédié. Les frottis sont comptés sur un banc de mesure.

Surveillance du 2ème système de confinement

La surveillance des systèmes de ventilation assurant le confinement dynamique comprend :

- le suivi des principaux paramètres de la ventilation (dépression en fonction de la classe de confinement du local, différentiel de pression entre les locaux relevant d'un classement différent, débits d'air pour assurer le confinement dynamique et le respect des cascades de dépression, débits d'air pour assurer une dilution et un écoulement turbulent afin de garantir l'absence d'atteinte du seuil de la LIE en présence d'hydrogène, débits d'air pour évacuer l'énergie dégagée par les colis ou le fonctionnement des équipements afin de garantir le respect des critères de température maximale admissible, consommation électrique des installations de ventilation, etc.) ;
- le suivi de l'ambiance des locaux via les balises atmosphériques de radioprotection ;
- le contrôle périodique de l'efficacité des filtres THE.

Dans l'objectif de limiter la fréquence de remplacement des filtres THE des alvéoles MA-VL vis-à-vis des relargages de poussières provenant du béton des colis de stockage et des ouvrages de l'alvéole, des filtres HE pourront être insérés avant les filtres THE (solution encore à l'étude à ce stade).

La surveillance du confinement de la hotte MA-VL est assurée par des contrôles (contrôle de la pression inter-joint, contrôle de la contamination volumique interne, contrôle de la contamination surfacique de la hotte).

En position d'accostage à une cellule, le confinement statique est prolongé à la cavité interne de la hotte et complété par le confinement dynamique de la cellule. La surveillance du confinement est assurée par un contrôle de la pression dans les joints gonflables de confinement ainsi que par une surveillance permanente des dépressions entre locaux avant et pendant l'accostage.

Surveillance des rejets

La surveillance radiologique de l'environnement se décompose en deux parties : un contrôle des rejets radioactifs, tant liquides que gazeux, aux points de rejets et un suivi dans le temps de l'impact de ces rejets. Les contrôles des rejets ont pour objectifs de vérifier le respect des limites d'autorisation qui seront fixées pour l'INB, et de prévenir toute situation anormale.

La surveillance au niveau du site et autour du site sera organisée dans un objectif de :

- de mesurer en continu les rejets potentiels atmosphériques au niveau des cheminées de ventilation, de la zone puits et de la zone descenderie (gaz, poussières et aérosols) ;
- de contrôler les effluents liquides qui seront collectés dans des bassins avant rejet ;
- de surveiller l'activité des eaux souterraines mesurées sur les sites de surface ;
- de surveiller l'environnement autour du site.

Les rejets liquides (principalement les eaux d'exhaure) sont, après contrôle radiologique, rejetés via la canalisation de rejets en rivière. Les éventuels effluents actifs sont entreposés en cuve et évacués vers une installation de traitement en camion-citerne.

Les effluents gazeux sont canalisés et rejetés dans l'atmosphère. Ils sont surveillés en permanence (en temps réel et/ou différé) au niveau des différents émissaires en zone puits et zone descenderies.

2.1.2.6 Dispositions de limitation des conséquences

La robustesse requise des colis HA et les exigences de dimensionnement associées permettent d'exclure la dégradation de la fonction confinement portée par les colis primaires et les colis de stockage lors des opérations de mise en stockage ou dans l'alvéole de stockage une fois le colis stocké jusqu'à la fin de l'exploitation.

Concernant les colis MA-VL, en cas de défaillance ou d'altération du premier système de confinement porté par les colis, la limitation des conséquences est assurée par un second système de confinement (parois ou portes des cellules, hottes MA-VL, parois de l'alvéole (et ses prolongements), ventilation nucléaire). Le second système de confinement étant essentiellement constitué de dispositifs statiques passifs (hottes de transfert MA-VL et infrastructures des cellules et alvéoles), les principales agressions susceptibles de les dégrader sont des agressions de type manutention, incendie et séisme. Des dispositions spécifiques sont mises en place vis-à-vis de ces risques :

- les hottes MA-VL continuent de jouer leur rôle de 2ème système de confinement quels que soient les scénarios d'agressions envisagés dans le cadre de leur dimensionnement (chute, choc, collision, incendie, séisme,…) et préservent le colis de stockage qu'elles contiennent de toutes agressions mécaniques et thermiques qui pourraient conduire à la dégradation de son confinement ;
- les infrastructures des installations prennent en compte dans leur dimensionnement les scénarios d'agressions, notamment le séisme, l'incendie et la chute d'une lourde charge.

Concernant les systèmes de ventilation des cellules et des alvéoles, la conception des réseaux de ventilation ainsi que de leur alimentation électrique, en termes notamment de redondance d'équipements et de dimensionnement aux agressions est adaptée aux conséquences sur la sûreté de l'installation.

2.1.3 Criticité

2.1.3.1 Origine du risque

Le risque de criticité est le risque d'occurrence d'une réaction de fission en chaîne divergente au sein d'un milieu fissile.

La masse moyenne de matières fissiles (Uranium et Plutonium) dans la plupart des colis de déchets est relativement limitée (de l'ordre de quelques dizaines de grammes). Il est à noter que les colis primaires de déchets reçus sur l'installation sont conçus et produits afin d'être sûrs du point de vue de la criticité de façon isolée ainsi que dans les conditions d'entreposage chez les producteurs.

2.1.3.2 Objectifs

Cette analyse a pour objectifs d'identifier les principales dispositions de sûreté liées au risque de criticité (relevant de la conception et/ou de l'exploitation) en vue du stockage géologique profond de colis de stockage.

2.1.3.3 Principes de sûreté-criticité

Les dispositions générales relatives à la maîtrise des réactions nucléaires en chaîne au sein de Cigéo sont définies dans le respect de l'arrêté du 20 novembre 2014 portant homologation de la décision n°2014-DC-0417 de l'autorité de sûreté nucléaire du 7 octobre 2014 relative à la maîtrise du risque de criticité dans les installations nucléaires de base.

Dans le cadre de la demande d'autorisation de création, cette installation fera l'objet d'une analyse détaillée permettant d'établir la maîtrise du risque de criticité en configurations normales et anormales retenues compte tenu des procédés mis en œuvre.

Conformément au principe de défense en profondeur, il est défini et mis en œuvre des dispositions matérielles ou organisationnelles et humaines permettant de prévenir le risque de criticité, de surveiller l'installation afin de détecter toute dérive susceptible de remettre en cause la maîtrise du risque et de limiter les conséquences en cas d'accident de criticité.

Au titre d'une démarche de conception prudente, le principe suivant est appliqué :

- un accident de criticité ne doit en aucun cas découler d'une seule anomalie ;
- si un accident de criticité peut découler de l'apparition concomitante de deux anomalies, il est alors démontré que :
  - ✓ les deux anomalies sont indépendantes ;
  - ✓ la probabilité d'occurrence de chacune des deux anomalies est suffisamment faible ;
  - ✓ chaque anomalie est mise en évidence à l'aide de moyens appropriés et fiables, permettant la réparation ou la mise en place de mesures compensatoires dans un délai adéquat.

Dans le cas où ce principe ne peut pas être appliqué, il est mis en œuvre des dispositions techniques et organisationnelles permettant de rendre les scénarios d'accidents concernés extrêmement improbables avec un haut degré de confiance.

En particulier, aucune situation accidentelle de dimensionnement ne doit conduire à un risque de criticité.

2.1.3.4 Hypothèses liées au procédé

Les emballages de transport sont déchargés à sec dans l'installation Cigéo verticalement ou horizontalement. Le(s) colis primaire(s) est (sont) ensuite contrôlé(s) puis inséré(s) dans un conteneur de stockage (contenant 1, 2 ou 4 colis primaire(s)).

Le colis de stockage (conteneur de stockage contenant le(s) colis primaire(s)) est chargé unitairement dans une hotte de transfert avant d'être acheminé jusqu'à l'alvéole de stockage.

A ce stade, l'analyse considère un découpage en unités fonctionnelles, formant chacune une « unité de criticité », correspondant aux étapes du procédé de l'installation Cigéo. Le procédé de l'installation est synthétisé au chapitre 1 du présent Volume.

2.1.3.5 Sûreté-criticité de l'installation Cigéo

<u>Milieu fissile de référence</u>

Les matières fissiles sont de type :

- Uranium ;
- Plutonium ;
- Mélange Uranium / Plutonium.

Leurs formes physico-chimiques sont de type :

- Métal (U, Pu, U+Pu) ;
- Oxyde (UO_2, PuO_2, $(U+Pu)O_2$) sous forme de poudre, d'éclats de pastilles…

De plus, les matières fissiles sont présentes sous différents vecteurs isotopiques.

A ce stade de la conception, et de manière pénalisante, le milieu fissile de référence retenu pour chaque famille de colis primaire est un mélange homogène $^{239}Pu_{métal}$ – CH_2.

La prise en compte d'un milieu à 100 % de ^{239}Pu permet de couvrir toutes les isotopies du plutonium susceptibles d'être rencontrées, ainsi que la présence de l'isotope ^{235}U. Dans le cadre d'un mode de contrôle par la masse : l'^{235}U présent est alors assimilé à du ^{239}Pu.

Il est retenu une condition de modération par du CH_2 de masse volumique couvrant la modération par de l'eau.

Ce milieu fissile de référence, très pénalisant, pourra être revu par la suite pour chaque famille de colis présents sur l'installation.

Milieux non fissiles

Les milieux non fissiles contenus au sein de l'installation Cigéo sont pris en compte pour l'analyse de sûreté-criticité, à partir du moment où ces matériaux peuvent impacter de façon significative la modération neutronique, la réflexion et les phénomènes d'absorption.

Mode de contrôle

A ce stade de la conception, le mode de contrôle retenu est la masse par colis associée à la géométrie (des colis, de la hotte et/ou des entreposages, des alvéoles de stockage selon la configuration).

Le processus d'acceptabilité permettra de s'assurer sur la base des déclarations et justifications des producteurs que les colis pris en charge respectent les spécifications d'acceptation sur Cigéo.

La prise en charge d'un nouveau colis est subordonnée au respect de la limite de masse autorisée.

D'autres modes de contrôle pourront être considérés (teneur en matières fissiles par exemple) lors des études détaillées de l'avant-projet détaillé pour certaines familles de colis.

Limites de criticité

Les limites de criticité sont définies de telle sorte que les facteurs de multiplication effectifs (keff), toutes incertitudes de calcul comprises, soient inférieurs à 1 avec une marge suffisante. Il est retenu de considérer un critère d'admissibilité de 0,95 pour les configurations normales (situations de fonctionnement normal et dégradé) et 0,97 pour les configurations anormales (situations incidentelle et accidentelle).

Dispositions de sûreté-criticité

- ***Fonctionnement normal***

En fonctionnement normal, le risque de criticité résulte principalement :

- de la mise en zones tampons de colis primaires et de stockage ;
- des opérations de transfert des colis ;
- du stockage des colis de stockage dans une alvéole.

Concernant les opérations associées à la réception et à la préparation des emballages de transport, préalables au déchargement des emballages, il est considéré que les conditions d'exploitation rencontrées sont couvertes par l'agrément de transport et le respect de ses exigences.

a) Zones tampons

Les colis primaires et de stockage sont entreposés dans des zones dédiées.

De façon préliminaire, au stade de l'APS, la réactivité d'un entreposage de 40 colis primaires au contact et disposés sur un même niveau contenant chacun 200 grammes de ^{239}Pu a été évaluée. Cette configuration présente un facteur de multiplication effectif (k_{eff}) inférieur à 0,90.

De même, la réactivité d'un réseau infini de colis de stockage au contact contenant des colis primaires avec 200 g de ^{239}Pu a été évaluée :

- pour des colis MA-VL, cette configuration présente un facteur de multiplication effectif (k_{eff}) inférieur à 0,90 ;
- pour des colis HA, cette configuration présente un facteur de multiplication effectif (k_{eff}) égal à 0,92.

En fonction du dimensionnement de ces zones tampons en phase APD, des évaluations complémentaires associées aux différentes configurations pourront être effectuées.

b) Transfert des colis

Les colis sont manutentionnés tout au long du procédé de l'installation Cigéo.

Les colis primaires et de stockage sont sûrs par conception. La manutention des colis de stockage dans une hotte fait l'objet de calculs spécifiques en considérant la géométrie des colis de stockage, des hottes et les conditions de réflexion particulières (ajout de l'épaisseur d'acier de la hotte).

De façon préliminaire, au stade de l'APS, la réactivité d'une hotte pleine a été évaluée dans la configuration du colis de stockage la plus pénalisante (200 grammes de ^{239}Pu par colis primaire, 2 colis primaires sur 2 niveaux dans le colis de stockage). Cette configuration présente un facteur de multiplication effectif (k_{eff}) égal à 0,93. Cette configuration respecte le critère d'admissibilité en fonctionnement normal.

c) Alvéoles de stockage

Les colis de stockage sont insérés unitairement dans les alvéoles de stockage.

Dans les alvéoles HA, les colis de stockage sont stockés les uns derrière les autres. Pour le déchargement, la hotte HA se positionne dans le prolongement de l'alvéole.

Dans les alvéoles MA-VL, les colis de stockage sont stockés suivant différents agencements en fonction du type de colis et sur une longueur d'alvéole de plusieurs centaines de mètres (cf. Volume II). La cellule de manutention ne peut prendre en charge qu'un seul colis de stockage et se situe dans l'alignement de l'alvéole.

De façon préliminaire, au stade de l'APS, la réactivité d'un stockage de longueur infinie a été évaluée :

- pour des colis MA-VL, la configuration la plus réactive (200 grammes de ^{239}Pu par colis primaire, 2 colis primaires sur 2 niveaux dans le colis de stockage, 2 niveaux de colis de stockage sur 3 rangées) présente un facteur de multiplication effectif (k_{eff}) égal à 0,93 ;
- pour des colis HA (ligne infinie), la configuration la plus réactive (200 grammes de ^{239}Pu par colis primaire, 2 colis primaires dans le colis de stockage) présente un facteur de multiplication effectif (k_{eff}) égal à 0,91.

- ***Situations d'incident et d'accident***

a) Risques liés à la manutention

Les scénarios retenus comme pouvant avoir des conséquences sur la sûreté-criticité sont la chute d'un colis primaire, d'un colis de stockage ou d'une hotte de transfert isolés ainsi que sur une zone tampon.

Colis primaire ou de stockage ou hotte de transfert isolés

La chute d'un colis primaire isolé ne remet pas en cause la sûreté-criticité de l'installation du fait de la quantité de matière fissile limitée dans ce dernier.

La chute d'un colis de stockage ou d'une hotte de transfert isolé n'est pas susceptible d'entraîner des déformations conduisant à une modification significative de sa géométrie.

Par conséquent, la sûreté-criticité de l'installation du fait d'une chute d'un colis primaire ou de stockage ou d'une hotte de transfert isolés n'est pas remise en cause.

Chute d'un colis primaire ou de stockage sur une zone tampon

Les conséquences de la chute d'un colis primaire ou de stockage sur une zone tampon ont été estimées. Cette situation ne remet pas en cause la sûreté-criticité de l'installation.

La constitution des déchets (présence d'une matrice de blocage, galettes compactées…), permet d'exclure un scénario de regroupement de la matière fissile.

b) Risques liés au séisme

Un séisme pourrait provoquer la chute d'un colis primaire, d'un colis de stockage ou des hottes de transfert ainsi que la modification de l'agencement des colis (zones tampons, alvéoles).

Les éléments indiqués au paragraphe précédent montrent que la sûreté-criticité de l'installation est garantie en cas de chute d'un colis primaire, d'un colis de stockage et des hottes de transfert.

Concernant la déformation de l'agencement des colis (zones tampons, alvéoles), les modélisations effectuées considèrent les colis au contact. Ces modélisations permettent de ne pas considérer de pas d'entreposage entre les colis.

Par conséquent, un séisme n'est pas susceptible de remettre en cause la sûreté-criticité de l'installation.

c) Risques liés à l'inondation

A ce jour, le mode de contrôle par la modération n'est pas retenu, les évaluations préliminaires prenant en compte la matière fissile à l'optimum de modération.

Les conditions de réflexion retenues dans le cadre des évaluations préliminaires couvrent une situation d'inondation.

Il est considéré que, du point de vue du risque de criticité, aucune disposition particulière n'est nécessaire.

d) Risques liés à l'incendie

Un incendie pourrait provoquer des dommages susceptibles de modifier des propriétés des matériaux et, dans le cas extrême, provoquer une déformation des colis.

Concernant le phénomène d'échauffement des bétons, une première évaluation effectuée dans le cadre de l'entreposage de colis de stockage dans l'installation de surface montre que la déshydratation du béton n'a pas d'impact significatif sur la réactivité de l'entreposage. Par rapport à cette problématique, du point de vue du risque de criticité, aucune disposition particulière n'est nécessaire.

Concernant le phénomène de déformation en cas d'incendie, ce dernier n'est pas susceptible d'entraîner une modification significative de sa géométrie. Des dispositions de conception peuvent être mises en œuvre comme le niveau de résistance au feu par exemple.

2.1.4 Thermique

2.1.4.1 Origine du risque

Le dégagement thermique des colis de déchets MA-VL et HA est lié aux substances radioactives contenues dans ces colis qui émettent des rayonnements conduisant à une production de chaleur. Les colis de déchets HA présentent une puissance thermique supérieure aux colis de déchets MA-VL (cf. Volume II § 1.6.3 : Les caractéristiques dimensionnantes).

Les risques potentiels associés à un dégagement thermique important sont :

- une dégradation des propriétés des déchets et/ou de leur matrice ;
- une dégradation du béton constituant les conteneurs de stockage MA-VL et du béton des parois des locaux contenant des colis de déchets ;
- une dégradation de matériaux constituant des équipements tels que les protections neutronique des hottes :
- une dégradation des performances de l'argilite ;
- une défaillance du fonctionnement d'équipements électroniques ;
- des conditions de travail dangereuses pour les personnes pouvant engendrer par exemple des brûlures par contact avec des parois chaudes.

Les locaux et équipements contenant des colis de déchets et les matériaux et équipements sensibles à un risque de dégagement thermiques dans les installations de Cigéo sont présentés dans le Tableau 2.1- suivant.

Tableau 2.1-9 Localisation des zones à risque thermique dans les installations de Cigéo

Zone	Colis de déchets	Local, équipement ou environnement
Installation nucléaire de surface		
Halls de réception et de préparation jusqu'à l'accostage aux cellules	CP et CS-P	Emballages de Transport type B (refroidissement passif) ou type A (non thermique)
Cellules déchargement des ET-V	CP et CS-P	Cellules (parois, hublots, traversées) équipements sensibles du procédé
Cellules déchargement des ET-H	CP et CS-P	Cellules (parois, hublots, traversées) équipements sensibles du procédé
Zones tampon des CP/CS-P et CS non confectionnés	CP, CS non confectionnés et CS-P	Cellules (parois, hublots, traversées) équipements sensibles du procédé
Zones tampon des CS-P et CS confectionnés	CS confectionnés et CS-P	Cellules (parois, hublots, traversées) équipements sensibles du procédé
Installation nucléaire souterraine du procédé de stockage		
Parc à hottes, descenderie et galeries	CS et CS-P en cours de transfert	Hottes de Transfert MA-VL et HA
Galeries MA-VL, HA0 et HA1/HA2	CS et CS-P stockés en alvéole	Équipements sensibles du procédé
Alvéoles MA-VL et cellules de manutention	CS et CS-P	Cellules et alvéoles (parois, traversées) équipements sensibles du procédé
Alvéoles HA0	CS et CS-P	Alvéoles HA (parois, traversées) équipements sensibles du procédé
Alvéoles HA1/HA2	CS et CS-P	Alvéoles HA (parois, traversées) équipements sensibles du procédé

2.1.4.2 Exigences de sûreté

Conformément au Référentiel de Sûreté appliqué à la conception de Cigéo pour la phase d'exploitation (22), au référentiel incendie pour la conception de Cigéo (31) et aux exigences imposées pour la conception au stade de l'APS, certains critères de température sont à respecter pour démontrer la sûreté de Cigéo.

Les objectifs à respecter en situation normale sont :

- la température des parois chaudes accessibles au personnel doit être limitée à 50°C ;
- la température ambiante de l'air dans les locaux contenant du matériel sensible assurant ou surveillant des fonctions de sûreté ne doit pas dépasser 50°C (voire des températures inférieures pour tenir compte de leur domaine d'utilisation) ;
- le maintien des propriétés mécaniques des bétons nécessite une température maintenue inférieure à 65°C en fonctionnement normal (permanent) ;
- la température limite à ne pas dépasser pour les colis primaires MA-VL d'enrobés bitumineux est de 30°C en situation normale d'exploitation (fonctionnement permanent) ;
- la température limite à ne pas dépasser pour les colis de déchets vitrifiés froids (MA-VL6) en situation normale est de 50°C ;
- la température limite admissible pour les colis primaires HA est de 450°C à cœur du verre en conditions normales d'exploitation ;
- la température limite à respecter pour la protection de l'argilite est de 90°C.

Les objectifs à respecter en situations incidentelles/accidentelles sont :

- Le maintien des propriétés mécaniques des bétons nécessite une température maintenue inférieure à 80°C en situation incidentelle ;
- La température limite à ne pas dépasser pour les colis primaires MA-VL d'enrobés bitumineux est de 50°C en situation incidentelle et de 180°C en situation d'incendie ;

- La température limite admissible pour les colis primaires HA est de 500°C en conditions incidentelles/ accidentelles.

2.1.4.3 Évaluations préliminaires du risque thermique lié aux colis de déchets

Dans les installations de surface, les évaluations préliminaires menées dans les différents locaux de l'installation avec des hypothèses pénalisantes montrent que les critères de température présentés dans la section précédente ne sont pas atteints en l'absence de ventilation.

Les principales hypothèses prises en compte pour la réalisation de ces évaluations préliminaires sont :

- Les valeurs de puissance thermique des colis de 100 W/CS pour les colis de déchets MA-VL et 500 W/CS pour les colis de déchets HA ;
- Les locaux sont considérés remplis au maximum de leur capacité par les colis ;
- La température extérieure considérée est la température chaude extrême en régime permanent de +35°C. Cette température est aussi considérée comme température ambiante des locaux adjacents aux zones tampon en cas d'arrêt de la ventilation ;
- En première approche, les apports autres que ceux des colis sont négligés (éclairage, équipements) devant la puissance thermique apportée par les colis ;
- La ventilation est à l'arrêt dans les locaux concernés et dans les locaux adjacents.

Ainsi, aucune disposition particulière n'est nécessaire dans les locaux des installations de surface pour assurer la maîtrise des risques liés au dégagement thermique des colis.

Dans l'installation souterraine, en tenant compte des hypothèses actuelles d'espacement entre alvéoles et d'agencement des colis dans les alvéoles, les évaluations préliminaires montrent que les critères de températures ne sont pas atteints.

Les évaluations préliminaires réalisées concernent :

- les alvéoles de stockage HA0 et HA1/HA2 pour lesquels les calculs montrent que le critère de 90°C au niveau de l'argilite n'est pas atteint ;
- les alvéoles de stockage MA-VL pour lesquels les calculs réalisés montrent que les critères de température sont respectés dans les alvéoles, sans considérer la présence de la ventilation. Les évaluations prennent en compte des valeurs de 15 W/CP et de 60 W/CS.

Lors du transfert des colis, les conséquences d'une élévation de température de la hotte ont été évaluées au regard de la puissance thermique enveloppe des colis transportés. L'hypothèse pénalisante retenue à ce stade est l'absence d'échanges thermiques de la hotte avec l'ambiance (adiabatique). Les critères analysés sont relatifs à la sensibilité de la protection neutronique des hottes HA et des critères relatifs aux colis de déchets MA-VL. Cette évaluation préliminaire montre que la durée maximale de transfert doit être inférieure à un mois pour éviter la détérioration de la protection neutronique et inférieure à 1,5 mois pour éviter une dégradation d'un composant des déchets MA-VL. Ces délais sont compatibles avec la mise en place de mesures de mise à l'état sûr.

2.1.4.4 Dispositions de prévention

Les dispositions de prévention actuelles pour la maîtrise du risque thermique sont :

- la connaissance et la limitation de la puissance thermique des colis reçus sur le site de stockage ;
- le respect de la conception et des matériaux utilisés pour les colis de stockage ainsi que pour les locaux contenant les colis de déchets et leurs équipements ;
- la conception des alvéoles permettant l'évacuation de la chaleur dégagée par les colis de déchets HA et MA-VL par conduction passive dans la formation du Callovo-Oxfordien, dès la mise en stockage des déchets et jusqu'à la fermeture des alvéoles ;
- le respect de l'agencement et du nombre de colis mis dans les alvéoles de stockage ;
- la mise en place de procédure pour limiter le temps de présence des colis dans les hottes de transfert en cas d'immobilisation de celles-ci.

2.1.4.5 Dispositions de surveillance

Surveillance des colis

En complément de la surveillance qui est menée en amont par l'Andra sur les installations des producteurs, le processus d'acceptation des colis en lien notamment avec la puissance maximale admissible fait partie des dispositions de surveillance.

Des contrôles statistiques sont également réalisés par prélèvement sur les flux de colis livrés.

Surveillance des locaux des installations nucléaires

Certains locaux contenant des colis de déchets sont équipés de capteurs pour la surveillance de la température ambiante. Des sondes thermiques sont ainsi mises en œuvre, elles surveillent la température et signalent les évolutions de cette dernière.

2.1.4.6 Dispositions de limitation de conséquences

Les dispositions de limitation des conséquences concernent essentiellement la ventilation mis en œuvre dans les différents locaux pour maîtriser d'autres risques que le risque thermique mais qui permet d'évacuer la puissance thermique des colis.

En cas d'arrêt des équipements de transfert des hottes contenant des colis de déchets, la conception des équipements permet la dépose de la hotte et la reprise de cette dernière par un autre équipement pour effectuer la fin du cycle d'exploitation et l'extraction du colis de la hotte.

2.1.5 Radiolyse des déchets

2.1.5.1 Origine du risque

Concernant les déchets HA, les colis primaires sont étanches aux gaz. De plus, le conteneur de stockage est fermé soudé étanche. Ainsi, le risque lié à la radiolyse des colis de déchets HA est écarté.

Le risque lié à la radiolyse des déchets provient de la présence de matières hydrogénées contenues dans les colis de déchets MA-VL qui, par l'effet des rayonnements ionisants peuvent produire des gaz de radiolyse. Les gaz produits sont majoritairement de l'hydrogène (mono et diatomique, pour plus de 90% du dégagement gazeux) et, à un moindre degré, du méthane, du monoxyde et du dioxyde de carbone.

La conséquence potentielle de ce dégagement d'hydrogène est la formation d'atmosphères explosives dans les locaux ou équipements où sont placés ces colis. Une explosion peut survenir, en présence d'une source d'ignition, si la concentration du gaz dépasse sa limite inférieure d'explosivité (LIE)[57].

Chaque zone/local dans laquelle transitent les colis de déchets MA-VL, quel que soit leur contenant, peut être le lieu d'un dégagement de gaz de radiolyse et de formation d'une atmosphère potentiellement dangereuse. Les locaux à risque sont ceux dans lesquels les colis sont regroupés en grande quantité avec un cumul des dégazages et ceux dans lesquels les colis sont confinés avec la possibilité d'accumulation d'hydrogène dans une cavité fermée étanche.

Dans la plupart des locaux de l'installation de surface, les colis sont manutentionnés unitairement. Les zones dans lesquelles des colis sont en nombre plus important sont les cellules de déchargement des emballages de transport et les zones tampon.

[57] La LIE est de 4 % pour l'hydrogène dans l'air

Au cours du transfert entre l'installation de surface jusqu'aux alvéoles de stockage, le nombre de colis de stockage transféré est unitaire. La quantité de gaz de radiolyse présente dans la descenderie et les galeries est donc très limitée. Toutefois, le colis est transféré dans ces zones dans un volume restreint et supposé étanche que représente la hotte de transfert. Le risque de formation d'atmosphère explosive par accumulation d'hydrogène dans la hotte de transfert est donc analysé.

Au fur et à mesure du remplissage de l'alvéole, le nombre de colis de stockage et ainsi la quantité de gaz de radiolyse relâchée au sein de l'alvéole augmentent en conséquence. Le risque de formation d'atmosphère explosive par accumulation d'hydrogène dans les alvéoles MA-VL est donc analysé.

Ainsi les zones potentielles présentant un risque de formation d'atmosphère explosive sont :

- les cellules de déchargement des emballages de transport ;
- la zone tampon des colis de stockage non confectionnés ;
- les zones tampon des colis de stockage confectionnés ;
- la hotte de transfert des colis MA-VL ;
- les alvéoles de stockage MA-VL.

Les taux de dégazage des colis MA-VL retenus pour les études sont présentés au chapitre 1 du volume II du présent document. La valeur retenue est de 40L/an et par colis de stockage avec une sensibilité à 100 L/an et par colis de stockage.

2.1.5.2 Démarche d'analyse

L'analyse du risque de radiolyse consiste à évaluer les dispositions à mettre en œuvre pour maîtriser le risque de formation d'une atmosphère explosive dans les locaux ou zones dans lesquelles sont présents des colis primaires ou de stockage et exclure, par la prise en compte de marges suffisantes, tout risque d'explosion dans les installations de Cigéo pour toutes les situations de fonctionnement.

Des évènements initiateurs d'origines interne et externe peuvent conduire à l'endommagement ou l'indisponibilité des systèmes, actifs ou passifs, permettant la gestion du risque de formation d'atmosphères explosives en situation normale de fonctionnement. Les situations incidentelles et accidentelles dépendent de la zone considérée et reposent essentiellement sur les variables que sont la présence d'une ventilation assurant l'évacuation et la dilution des gaz de radiolyse produits, et la durée pendant laquelle une accumulation de gaz de radiolyse est acceptable au sein d'une zone donnée.

Les options de sûreté retenues pour maîtriser le risque de formation d'une atmosphère explosive dans les locaux ou zones à risque sont présentées ci-après et sont déclinées par local/zone :

- limiter la quantité d'hydrogène produit. La prévention de l'apparition d'une accumulation d'hydrogène passe par la limitation de la quantité d'hydrogène à la source c'est-à-dire issue des colis primaires. Cette quantité maximale fait l'objet d'une exigence spécifiée dans les spécifications d'acceptation des colis sur Cigéo.
  Les colis primaires et les colis de stockage réceptionnés sur Cigéo, et les colis de stockage produits par l'Andra à partir des colis primaires réceptionnés, devront être conformes aux exigences prises en compte pour la définition des scénarios de dimensionnement retenus vis-à-vis du risque lié aux gaz de radiolyse dans les installations de surface, de transfert et de l'installation souterraine.
  Il est envisagé à ce stade des dispositions permettant d'accepter un nombre limité de colis de stockage dont la production d'hydrogène serait supérieure à la valeur spécifiée de manière générique. Ces colis feront l'objet d'une gestion au cas par cas avec la mise en place de mesures dérogatoires ;
- évacuer l'hydrogène produit. La mise en place d'une ventilation permet de favoriser le brassage, la dilution et l'évacuation des gaz de radiolyse ;
- éviter les zones d'accumulation d'hydrogène. Dans les alvéoles MA-VL, le maintien, en fonctionnement normal, d'un régime de ventilation turbulent permet d'éviter la création de zones mortes (zones potentielles d'accumulation d'hydrogène).

Afin de dégager des marges suffisantes par rapport au délai d'atteinte de la LIE dans les locaux identifiés à risque pour toutes les situations de fonctionnement de l'installation dans l'objectif d'exclure tout risque de formation d'une atmosphère explosive au sein de ces locaux, les exigences suivantes sont retenues :

- retenir une marge par rapport à la LIE (limite inférieure d'explosivité) pour la conception des dispositions nécessaires à la maîtrise du risque de formation d'une atmosphère explosive. Ainsi, les objectifs de conception suivants ont été retenus : Rester toujours inférieur à :
  - ✓ 25 % de la LIE dans l'ensemble des installations (soit 1 % d'hydrogène) en fonctionnement normal et dégradé ;
  - ✓ 75 % de la LIE (soit 3 % d'hydrogène) en situations incidentelles et accidentelles (en prenant en compte la possibilité d'atteindre 25 % de la LIE en fonctionnement normal) ;
- retenir un taux de dégazage enveloppe par colis de stockage quelle que soit la zone étudiée.

2.1.5.3 Locaux des installations de surface de la zone descenderie

Les locaux des installations de surface de la zone descenderie concernés potentiellement par le risque de radiolyse sont :

- les cellules de déchargement des emballages de transport (ET-H et ET-V) ;
- la zone tampon des colis de stockage non confectionnés ;
- la zone tampon des colis de stockage confectionnés côté Ouest ;
- la zone tampon des colis de stockage confectionnés côté Est.

En fonctionnement normal, les locaux sont ventilés de manière à favoriser le brassage et la dilution des gaz de radiolyse afin d'éviter la création de zones mortes et évacuer les gaz de radiolyse. Cette hypothèse sert de base à la définition des conditions minimales de ventilation des alvéoles.

Les premières évaluations montrent que les débits de ventilation prévus à la conception dans les locaux à risque sont nettement supérieurs aux débits minimaux permettant de garantir une concentration volumique dans l'air en H_2 inférieure à 1% (facteur de l'ordre de 106). A ce stade, l'aéraulique des locaux n'a pas été étudiée dans le détail. Cependant, la marge par rapport au débit prévu est suffisamment importante pour que la prise en compte de l'aéraulique ne remette pas en cause le dimensionnement actuel de la ventilation.

En cas d'arrêt du fonctionnement des systèmes de ventilation, les gaz de radiolyse peuvent s'accumuler dans les locaux identifiés à risque. Il faut donc évaluer le délai de formation d'une atmosphère explosive, le critère retenu est l'atteinte d'une concentration fixée à 3 % d' H_2 en supposant de manière pénalisante qu'en fonctionnement normal la limite acceptable de 1 % d'H_2 est atteinte.

Pour les évaluations, un débit de 40 L/colis de stockage/an est retenu quel que soit le colis de stockage. Les locaux sont supposés accueillir le nombre maximal de colis. Les locaux sont supposés hermétiques. Il est considéré l'accumulation de la totalité des gaz produits dans le volume des locaux. En l'absence de ventilation de ces locaux, il est considéré, de manière pénalisante, que les gaz s'accumulent au droit de la zone contenant les sources d'émission sur une hauteur de 10 cm sur la totalité de la surface concernée.

Sur la base de ces hypothèses, les délais d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2 dans les locaux retenus en cas de perte de ventilation sont présentés dans le Tableau 2.1-.

Tableau 2.1-10 Délai d'atteinte d'une concentration de 3 % en H_2 pour les locaux des installations de surface

Local	**Délai d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2 pour 40 L/CS/an** *(semaines)*
Cellule de déchargement des ET-H	90
Cellule de déchargement des ET-V	23
Zone tampon des colis de stockage non confectionnés	46
Zone tampon des colis de stockage confectionnés côté Ouest	65
Zone tampon des colis de stockage confectionnés côté Est	51

Dans le cas le plus pénalisant (cas de la cellule de déchargement des emballages ET-V), le délai d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2 est obtenu au bout d'environ 23 semaines de perte de ventilation.

Pour un débit de 100 L/CS /an, le délai d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2 est obtenu au bout d'environ 9 semaines de perte de ventilation.

Dispositions retenues

Des dispositions de conception de la ventilation permettant d'éviter les zones d'accumulation d'hydrogène au sein des locaux sont à retenir (positionnement des bouches de soufflage et d'extraction dans les locaux).

Les dispositions de surveillance sont mises en place afin de vérifier le fonctionnement de la ventilation (débit de ventilation).

Compte tenu des délais d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2, le risque de formation d'une atmosphère explosive en cas de panne de la ventilation dans les locaux de l'installation de surface de la zone descenderie identifiés à risque est exclu.

2.1.5.4 Hottes MA-VL

En fonctionnement normal, la hotte assure le transfert d'un colis de stockage MA-VL de la surface jusqu'aux alvéoles de stockage. Compte tenu des vitesses des engins de transfert, des temps alloués aux différentes opérations de manutention, le temps de cycle entre le chargement du colis dans la hotte en surface et son déchargement en alvéole est estimé à environ 3 h. Afin de prendre en compte d'éventuelles contraintes d'exploitation, un délai de 48 h est retenu.

La concentration en H_2 à l'intérieur de la hotte (hotte considérée étanche aux gaz) est estimée à environ 0,18 % au bout de 48 heures en considérant une accumulation dans la partie supérieure de la hotte, valeur inférieure à l'atteinte des limites définies au § 2.1.5.2.

Pour une situation correspondant à un arrêt de la chaine de manutention des colis et conduisant à une immobilisation de la hotte de transfert, le colis de stockage est considéré dans la hotte. L'hydrogène s'accumule dans la hotte.

Pour les évaluations, un débit de 40 L/colis de stockage/an est retenu quel que soit le colis de stockage. Il est considéré que la hotte est étanche et que les gaz s'accumulent selon deux répartitions : (i) une dilution homogène du gaz dans la cavité ou (ii) une stratification en partie supérieure du contenant.

Sur la base de ces hypothèses, les délais d'atteinte d'une concentration en H_2 de 3 % dans une hotte considérée étanche contenant un colis de stockage, en supposant de manière pénalisante qu'en fonctionnement normal, la limite acceptable de 1 % d'H_2 a été atteinte, sont présentés dans le Tableau 2.1-.

Tableau 2.1-11 Délais d'atteinte de la concentration en H_2 de de 3 % dans une hotte

	Hypothèses de répartition	Délai d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2 pour 40 L/CS/an (semaines)
Hotte	Accumulation homogène	32
	Accumulation en partie haute	3

Pour un débit de 100 L/CS/an, le délai d'une concentration de 3 % en H_2 est atteint au bout d'environ 9 jours suite à une immobilisation de la hotte en supposant une accumulation de l'hydrogène en partie haute. Ce délai est ramené à 13 semaines en supposant une accumulation homogène de l'hydrogène.

Dispositions retenues

Les dispositions vis à vis du risque d'accumulation d'hydrogène dans la hotte reposent sur :

- les dispositions sur les équipements de manutention qui permettent :
  - ✓ de limiter l'occurrence d'une panne des équipements ;
  - ✓ de remettre en service l'équipement défaillant ;
  - ✓ d'affaler la hotte ;
  - ✓ de dégager l'engin bloqué, et de reprendre la hotte au moyen d'un autre engin ;
- les dispositions matérielles mises en place sur la hotte : deux orifices équipés dans la hotte permettent d'effectuer un balayage de l'atmosphère intérieure de la hotte.

Ainsi, au regard des délais disponibles avant l'atteinte des critères de concentration d'hydrogène, les dispositions retenues, telles que la réparation des équipements de manutention en cas de panne, l'évacuation de la hotte ou la mise en œuvre d'un balayage de l'atmosphère de la hotte, le risque de formation d'une atmosphère explosive dans la hotte en fonctionnement normal ainsi qu'en cas d'événements d'origines interne ou externe conduisant à une immobilisation de la hotte, est exclu.

2.1.5.5 Alvéoles MA-VL

En fonctionnement normal, les alvéoles MA-VL sont ventilés de manière à favoriser le brassage et la dilution des gaz de radiolyse afin d'éviter la création de zones mortes et évacuer les gaz de radiolyse. Cette hypothèse sert de base à la définition des conditions minimales de ventilation des alvéoles et conduit :

- à la mise en place d'un régime de ventilation turbulent dans les alvéoles MA-VL qui permet de prévenir la formation de poche de gaz dans les zones mortes ;
- à des débits de ventilation en alvéole MA-VL permettant d'assurer correctement l'évacuation des gaz de radiolyse produits par les colis de stockage et respecter une concentration d'hydrogène inférieure à 1 %, évalués à ce stade des études entre 1620 m^3/h à 4500 m^3/h selon le type d'alvéoles.

En fonctionnement normal, le dimensionnement de la ventilation des alvéoles MA-VL permet ainsi une dilution et une évacuation efficaces des gaz de radiolyse.

En cas d'arrêt du fonctionnement de la ventilation dans un alvéole MA-VL, les gaz de radiolyse peuvent s'accumuler dans l'alvéole. Il est donc évalué le délai de formation d'une atmosphère explosive dans cette zone, le critère retenu étant l'atteinte d'une concentration fixée à 3% d'H_2 en supposant de manière pénalisante qu'en fonctionnement normal la limite acceptable de 1 % d'H_2 a été atteinte.

Pour les évaluations, un débit de 40 L/colis de stockage/an est retenu quel que soit le colis de stockage. Les alvéoles sont supposés accueillir le nombre maximal de colis. Il est considéré l'accumulation de la totalité des gaz produits dans le volume (alvéoles hermétiques). En l'absence de ventilation des alvéoles, il est considéré que les gaz s'accumulent au droit de la zone contenant les sources d'émission sur une hauteur de 17 cm sur la totalité de la surface concernée.

Sur la base de ces hypothèses, la concentration en H_2 de 3% est atteinte au bout d'environ 5 semaines en cas de perte de ventilation.

Pour un débit de 100 L/CS /an, le délai d'atteinte d'une concentration de 3 % en H_2 est obtenu au bout d'environ 2 semaines en cas de perte de ventilation.

Dispositions retenues

Les dispositions vis à vis du risque du risque de formation d'atmosphère explosive en alvéole MA-VL reposent sur :

- la mise en place de dispositions permettant la maîtrise d'une perte de la ventilation des alvéoles MA-VL :
  - ✓ la conception des alvéoles MA-VL « passants » :
    - suppression du mode commun d'absence simultanée de l'entrée et de la sortie d'air de la ventilation suite, par exemple, à un effondrement ou à une perte d'alimentation électrique ;
    - accès facilité pour la maintenance des gaines et composants du système de ventilation ;
  - ✓ la conception de la ventilation et des équipements de surveillance :
    - maintien d'un certain niveau d'extraction en cas d'agressions interne et externe ;
    - rétablissement de la ventilation post-agressions dans un délai compatible avec le délai de formation d'une atmosphère explosive ;
    - redondance des moyens d'alimentation et de contrôle-commande de la ventilation ;
  - ✓ la présence de ventilateurs supplémentaires stockés en surface ;
- la surveillance de la concentration en hydrogène au niveau des filtres THE dans les alvéoles.

Ainsi, au regard des délais disponibles avant l'atteinte des critères de concentration d'hydrogène, des dispositions retenues pour assurer une fiabilisation de la ventilation des alvéoles, le risque de formation d'une atmosphère explosive dans les alvéoles MA-VL en fonctionnement normal ainsi qu'en situations de perte de la ventilation, est exclu.

2.2 Agressions internes

2.2.1 Risques liés aux opérations de manutention

2.2.1.1 Origine du risque

Présentation des moyens de manutention

Le risque de manutention concerne toutes les charges manutentionnées, mais dans le cadre de la présente étude, l'analyse se focalise sur les charges contenant des substances radioactives.

L'ensemble du procédé nucléaire de Cigéo est concentré sur l'installation de surface de la zone descenderie, la descenderie de transfert des colis et l'installation souterraine.

Au cours du procédé, depuis la réception des emballages de transport jusqu'à la mise en alvéole des colis de stockage, les charges radioactives manutentionnées se présentent sous les formes suivantes :

- des emballages de transport (ET) contenant les colis primaires (CP) et/ou potentiellement des colis de stockage confectionnés chez les producteurs (CS-P) ;
- des colis de déchets primaires ;
- des colis de stockage non confectionnés, c'est-à-dire des colis de stockage dont le couvercle du conteneur de stockage est posé mais non vissé ;

- des colis de stockage ;
- des hottes de transfert contenant des colis de stockage (CS).

Ces charges sont manutentionnées au moyen de différents types d'équipements qui permettent principalement des opérations de levage et de transfert. Ces équipements sont les suivants :

- les équipements de levage, qui comprennent :
  - ✓ les « ponts roulants » (dont portiques) ;
  - ✓ les tables élévatrices et les élévateurs ;
- les équipements de transfert guidés sur rails, qui comprennent :
  - ✓ les équipements permettant des transferts sur des grandes distances tels que les chariots et les navettes circulant dans l'installation souterraine ;
  - ✓ les équipements réalisant des transferts sur des courtes distances tels que les chariots et les tables de transfert en surface, les transbordeurs… ;
  - ✓ les équipements réalisant des transferts avec une précision de positionnement tels que la table d'accostage ;
- le transfert incliné;
- les autres équipements spécifiques tels que les tables tournantes, le robot pousseur pour les alvéoles HA, le chariot stockeur et le pont stockeur pour les alvéoles MA-VL ;
- les accessoires (châssis support, basculeur, façade d'accostage…).

Les tableaux ci-après présentent les équipements manutentionnant des charges radioactives utilisés au cours du procédé depuis l'installation de surface jusqu'aux alvéoles de stockage. Ces tableaux ont pour objet d'aider à l'identification des risques en précisant notamment les objets manutentionnés, l'ordre de grandeur des vitesses maximales de transfert (Vm) et des hauteurs de manutention (Hm) retenues à ce stade.

Tableau 2.2-1 Liste des équipements de manutention utilisés pour la réception des emballages de transport (ET)

Local	Équipement de manutention	Fonction de l'équipement	Objet	V_{m} *(m/min)*	H_{m} *(m)*
Hall de (dé)chargement des convois	Pont portique	Déchargement des ET des convois ferroviaire ou routier et dépose sur Lorry	ET-V, ET-H	ADU	2
Hall de (dé)chargement des convois Hall 1 de réception ET-V Hall 3 de réception ET-H Local de traitement ET NC	Lorry	Acheminement des ET vers les différents halls	ET-V, ET-H, ET-NC	15	S.O.
	Tables tournantes	Orientation du lorry	ET-V	S.O.	S.O.
	Châssis support des ET	Interface entre le lorry et les ET	ET-V, ET-H	S.O.	S.O.
Hall 2 de réception ET-V	Pont roulant	Basculement (ET H/V), levage et transfert des ET-V sur le chariot de transfert en position verticale	ET-V	ADU	< 6
Hall 3 de réception ET-H	Pont roulant	Transbordement des ET-H sur le poste de contrôle C3 et sur le chariot du sas de préparation	ET-H	ADU	< 2
Couloir d'accès chariot Circulation transbordeur Locaux de préparation et d'accostage des ET-V Local de préparation et de contrôle C4	Transbordeur pour ET-V	Transfert des ET-V vers les différents locaux	ET-V	5	S.O.
	Chariot pour ET-V	Transfert des ET-V entre les postes de préparation et élévation pour déchargement	ET-V	10	<3,5
	Châssis d'accostage des ET-V	Adaptateur pour déchargement de tous les types d'ET-V	ET-V	S.O.	S.O.
Interface Hall 3 de réception des ET-H et sas de préparation des ET-H	Chariot de transfert ET-H	Transfert d'un ET-H du hall de déchargement au sas de préparation	ET-H	10	S.O.

Tableau 2.2-2 Liste des équipements de manutention utilisés pour le déchargement des colis primaires (CP) et leur mise en conteneur de stockage (Cts)

Local	Équipement de manutention	Fonction de l'équipement	Objet	V_{m} *(m/min)*	H_{m} *(m)*
Cellule de déchargement des ET-V	Pont roulant	Chargement / déchargement des CP des ET-V	CP CS-P	S.O.	< 6
Cellule de déchargement des ET-V Cellule de contrôle C5	Chariot de transfert	Transfert des CP de la cellule de déchargement vers la cellule de contrôle C5	CP CS-P	1	S.O.
Cellule de contrôle C5	Pont roulant	Transfert des CP du plateau des chariots vers les postes de contrôle C5	CP CS-P	ADU	< 1,5
Cellule de mise des CP en CS	Pont roulant	Chargement des CP en CtS	CP CS-P	ADU	< 1,5
Cellule de déchargement des ET-H Cellule de contrôle C5	Chariot à fourches sur rails	Chargement / déchargement des CP des ET-H	CP CS-P	ADU	ADU
	Pont roulant	Chargement des CP en CtS	CP CS-P	ADU	< 1,5
	Tables tournantes	Changement de direction des chariots	S.O.	S.O.	S.O.

Tableau 2.2-3 Liste des équipements de manutention utilisés pour le conditionnement des colis de stockage (CS)

Local	Équipement de manutention	Fonction de l'équipement	Objet	V_m *(m/min)*	H_m *(m)*
Couloirs de circulation procédée Cellule de mise des CP en CS Zone tampon CS non confectionnés Zone tampon CS confectionnés Cellule de conditionnement CS MA-VL Cellules de contrôle C7 et de mise en hotte (MA-VL et HA)	Transbordeur et chariot de transfert des CS	Transfert des CS confectionnés ou non dans les différents locaux au cours de leur conditionnement	CS	10	< 0,5
Cellule de mise des CP en CS	Tables élévatrices de transfert des CS non confectionnés	Translation verticale d'un CtS vide depuis le niveau 0 vers le niveau 6 m puis sa descente une fois rempli du niveau 6 m vers le niveau 0	CS	ADU	< 6
Cellule de conditionnement des CS MA-VL	Pont roulant	Manutention des couvercles de CS MA-VL et des équipements des procédés de conditionnement des CS MA-VL	CS	ADU	< 0,3
Cellule de conditionnement des CS HA	Pont roulant	Manutention des CS HA non confectionnés (sans couvercle) en nacelle/panier vers les différents postes de conditionnement des CS HA	CS	ADU	< 0,3

Tableau 2.2-4 Tableau des équipements de manutention utilisés pour la zone tampon des colis de stockage et leur mise en hotte

Local	Équipement de manutention	Fonction de l'équipement	Objet	V_m (m/min)	H_m (m)
Cellule de contrôle C7 et de mise en hotte MA-VL	Élévateur	Dépose du CS sur la table de chargement MA-VL	CS MA-VL	2	< 1,2
	Table de chargement des CS MA-VL	Introduction du CS dans la hotte MA-VL	CS MA-VL	5	< 0,3
Cellule de contrôle C7 et de mise en hotte HA	Pont roulant	Dépose du CS sur le basculeur HA	CS HA	ADU	< 0,3
	Basculeur HA	Basculement du CS HA	CS HA	S.O.	ADU
Parc à hottes	Machine à levage limité MLL	Manutention des hottes MA-VL et HA dans le parc à hottes	Hottes HA Hottes MA-VL	20	< 0,3
Parc à hottes Galerie de raccordement à la tête de descenderie	Navettes de surface	Transfert des hottes MA-VL et HA entre la gare haute de la descenderie et le parc à hottes	Hottes HA Hottes MA-VL	30	< 0,3
Parc à hottes Galerie de raccordement à la tête de descenderie	Tables tournantes des navettes de surface et MLL	Changement d'orientation des hottes et de la navette	S.O.	S.O.	S.O.
	Chariot de transfert pour CS	Introduction en cellules de contrôle C7 des CS MA-VL et CS HA	CS MA-VL CS HA	10	< 0,3
	Façade d'accostage MA-VL/HA	Passage du CS de la cellule de mise en hotte vers la hotte accostée côté parc à hottes	S.O.	S.O.	S.O.

Tableau 2.2-5 Liste des équipements de manutention utilisés pour l'acheminement des hottes depuis la surface jusqu'aux galeries d'accès

Local	Équipement de manutention	Fonction de l'équipement	Objet	V_m (m/min)	H_m (m)
Tête de descenderie colis	Transfert incliné (funiculaire)	Transfert des hottes de l'installation de surface vers l'installation souterraine	Hottes HA Hottes MA-VL	150	S.O.
Gare aval Galeries de liaison Intersections galeries de liaison et galerie d'accès	Chariot de transfert fond	Transfert des hottes MA-VL et HA dans les galeries de liaison depuis la gare aval jusqu'aux intersections avec les galeries d'accès MA-VL et HA	Hottes HA Hottes MA-VL	170	< 0,3
Galeries de liaison	Tables tournantes des chariots de transfert fond	Orientation des chariots	S.O.	S.O.	S.O.

Tableau 2.2-6 Liste des équipements de manutention utilisés pour la mise en alvéole des colis de stockage MA-VL et HA

Local	Équipement de manutention	Fonction de l'équipement	Objet	V_m (m/min)	H_m (m)
Intersection galerie de liaison et galerie d'accès	Tables tournantes des voies	Orientation des rails	S.O.	S.O.	S.O.
Galerie d'accès MA-VL	Navette MA-VL en fond	Reprise et transfert de la hotte MA-VL vers la table d'accostage	Hottes MA-VL	30	< 0,3
Galerie d'accès HA	Navette HA en fond	Reprise et transfert de la hotte HA vers l'alvéole HA.	Hotte HA	170	< 0,3
Interface Galerie d'accès MA-VL et Cellule de manutention MA-VL	Table d'accostage	Approche sécurisée et accouplement précis de la hotte avec la porte de la cellule de manutention	Hottes MA-VL	5	S.O.
Interface galerie d'accès MA-VL et cellule de manutention MA-VL	Façade d'accostage	Passage du colis de stockage MA-VL de la galerie d'accès MA-VL vers la cellule de manutention MA-VL	S.O.	S.O.	S.O.
Cellule de manutention MA-VL	Table de réception	Transfert des colis depuis la hotte vers l'élévateur	CS MA-VL	5	< 0,3
	Elévateur	Reprise du colis de stockage MA-VL posé sur la table de réception et élévation à la hauteur adéquate pour sa prise par le pont stockeur ou le chariot stockeur	CS MA-VL	5 pour CS6 et 7 2 pour CS1 à CS5	< 4
Cellule de manutention et alvéole MA-VL	Pont stockeur (CS1 à 5)	Prise en charge d'un colis de stockage MA-VL sur l'élévateur au moyen de fourches et acheminement jusqu'à sa position de stockage en alvéole	CS MA-VL	20	< 0,3
	Chariot stockeur (CS6 et CS7)	Prise en charge d'un colis de stockage MA-VL sur l'élévateur au moyen de fourches et acheminement jusqu'à sa position de stockage en alvéole	CS MA-VL	20	< 0,5
Alvéole HA	Robot pousseur	Positionnement du colis de stockage HA préalablement disposé en tête d'alvéole par la hotte HA et remise en place du bouchon d'alvéole	CS HA	20	S.O.

Nota : Les opérations de manutention des colis peuvent être réalisées en sens inverse, à l'exception du retrait des colis HA d'un alvéole qui nécessite l'utilisation d'un robot tracteur.

Identification des risques

La manutention des charges, contenant ou non des substances radioactives, par les différents équipements de manutention de l'installation Cigéo (ponts roulants, chariot, transbordeur…) peut générer des risques provenant :

- des équipements de manutention ;
- des interfaces entre les différents équipements de manutention : par exemple lorsqu'un colis manutentionné par un équipement doit être repris par un autre.

La manutention des charges, contenant ou non des substances radioactives, par les différents équipements de manutention de l'installation Cigéo (ponts roulants, chariot, transbordeur…) est susceptible d'entraîner une chute de la charge manutentionnée, cette charge étant susceptible d'impacter une cible de sûreté ou étant elle-même une cible de sûreté.

Le transfert des charges peut également entraîner des risques de collision entre deux charges manutentionnées ou entre une charge manutentionnée et un équipement statique ou une paroi.

Le risque de manutention concerne toutes les charges manutentionnées mais dans le cadre de la présente étude, l'analyse se focalise sur les charges contenant des substances radioactives.

La chute d'une charge ou la collision entre plusieurs éléments peuvent entraîner :

- une dispersion de substances radioactives en cas de rupture de barrières de confinement (la charge elle-même ou un élément assurant le confinement impacté par la chute d'une charge), avec impact potentiel sur l'environnement ;
- une exposition externe du personnel en cas de dégradation des protections radiologiques ;
- une perte d'un équipement assurant une fonction de sûreté de l'installation.

Par ailleurs, l'analyse porte également sur le risque d'interruption du procédé ou de blocage de la chaîne cinématique afin de s'assurer que ces situations ne conduisent pas à engendrer des risques supplémentaires au sein des installations.

- ***Risques associés aux équipements de levage***

Le principal risque associé aux équipements de type « ponts » est la chute de la charge manutentionnée, susceptible d'être endommagée ou d'agresser un équipement important pour la protection. La chute de charge peut avoir plusieurs causes, notamment :

- l'inadéquation entre la charge et l'engin de manutention, y compris lorsque l'opération est réalisée par un opérateur ;
- la rupture d'une pièce constituant la chaîne cinématique de manutention.

Une défaillance lors de l'utilisation de ponts peut également engendrer une collision et ainsi endommager la charge manutentionnée ou endommager l'objet collisionné. La collision peut avoir plusieurs causes, notamment :

- l'erreur humaine, qui conduirait la charge manutentionnée à sortir de son cheminement lorsque la manutention est réalisée par un opérateur ;
- la présence intempestive d'un objet sur le cheminement du pont ;
- la défaillance des capteurs (fins de course, erreur de cartographie,…).

De par la conception des tables élévatrices, le risque de chute d'une charge manutentionnée est écarté, les principaux risques envisagés sont :

- l'affaissement lent d'une table élévatrice ;
- l'endommagement d'un équipement ou plancher suite à un mauvais positionnement de la table élévatrice ou une trop grande amplitude de son mouvement.

- ***Risques associés aux équipements de transfert guidés sur rails***

Pour rappel, les équipements de transfert sur rails (chariots, navettes, tables de transfert…) sont utilisés tout au long du procédé pour permettre la réalisation de transferts à de faibles hauteurs. Les vitesses de transfert peuvent atteindre 20 m/min pour les équipements des installations de surface et 170 m/min pour les équipements de l'installation souterraine.

Le choix de retenir un guidage sur rails limite les risques de collision (notamment suite à un changement de trajectoire). Les risques suivants sont toutefois envisagés :

- la collision de l'équipement de transfert avec un objet situé sur son cheminement ;
- la collision de l'équipement de transfert avec un autre équipement situé sur sa voie de roulement ;
- le déraillement de l'équipement ;
- le renversement de la charge suite à une survitesse, un freinage intempestif ou un choc.

- ***Risques associés au transfert incliné (transfert guidé à traction par câble)***

Pour rappel, le chariot de transfert incliné permet le transfert des hottes contenant un colis de stockage vers les ouvrages souterrains ainsi que la remontée des hottes vides ou lors d'opérations potentielles de retrait. Il circule en ligne droite sur des rails, un câble permettant la traction de l'équipement. Sa vitesse est d'environ 150 m/min.

Les principaux risques associés sont :

- la survitesse du transfert incliné lors de son transfert vers le fond ;
- la collision du transfert incliné avec un objet situé sur son cheminement ;
- l'arrêt brutal du transfert incliné qui pourrait conduire à la désolidarisation de la hotte.

- ***Risques associés aux équipements spécifiques***

Pour rappel, les tables tournantes permettent le changement de direction d'un équipement de transfert ou le changement de l'orientation des rails pour permettre l'approche d'un autre équipement de transfert destiné à reprendre la charge. Le principal risque associé à une table tournante est sa mauvaise orientation lors de l'approche d'une navette ou d'un chariot. Une défaillance à l'interface entre la table tournante et l'équipement de transfert pourrait constituer un risque de déraillement de l'équipement.

Le pont stockeur, ainsi que le chariot stockeur, associés au procédé de mise en stockage (stockage par couches et monocouche) sont conçus de manière à limiter les risques de chute et leurs conséquences. Un risque de collision est aussi retenu.

Le robot pousseur présente principalement des risques de collisions (entre colis).

- ***Risques associés aux accessoires***

Les principaux risques associés à ces équipements sont :

- les risques aux interfaces, en particulier pour les châssis supports et les façades d'accostage ;
- le risque de chute lié à une défaillance du basculeur HA lors de l'introduction d'un colis de stockage HA dans la hotte.

- ***Risque de blocage de la chaîne cinématique de manutention des colis***

Le blocage de la chaîne cinématique de manutention peut avoir pour causes la défaillance d'un équipement ou d'une opération, ou bien la perte de l'alimentation électrique. Les conséquences sont principalement un impact sur l'exploitation et la disponibilité de l'installation.

Le blocage de la chaîne cinématique de manutention peut conduire à différentes situations dont les principales sont :

- le blocage d'un équipement dans une position transitoire susceptible de conduire à une chute d'une charge ou un renversement : cette situation concerne les équipements de type pont (y compris le pont stockeur), les tables élévatrices et le funiculaire. Pour les équipements de transfert sur rails, il n'existe aucune perte de stabilité en cas de blocage. Les situations transitoires sont donc sûres, le risque est exclu. Les principaux exemples pour illustrer ces situations sont :
  - ✓ lors d'une opération de déchargement des colis primaires en cellule de déchargement des emballages, une rupture de la chaîne cinématique lors d'une manutention au pont pourrait engendrer un risque de chute supplémentaire ;
  - ✓ lors des interfaces entre les différents équipements, en particulier pour les phases de (dé)chargement de la hotte de transfert, le blocage du déroulement des opérations pourrait conduire au blocage d'un colis dans une position transitoire ;
- le blocage du procédé lors des opérations de mise en stockage des colis de stockage HA en alvéole par le robot pousseur. Cette situation ne présente pas de risque pour la sûreté de l'installation ;
- le blocage prolongé de la chaîne cinématique susceptible de conduire à de risques liés à la thermique ou à la radiolyse. Le blocage prolongé d'un colis dans la hotte, compte tenu du volume restreint de cette dernière, pourrait conduire à :
  - ✓ une accumulation d'hydrogène ;
  - ✓ une élévation de la température susceptible de dégrader les composants de la hotte (protection neutronique).

Ces risques sont traités respectivement dans les paragraphes 2.1.1, 2.1.4 et 2.1.5 pour les locaux « procédé » ou les installations de stockage.

2.2.1.2 Dispositions de prévention

Dispositions génériques pour tous les équipements

Afin de prévenir les risques liés à la manutention, la conception et le dimensionnement des installations et des équipements prennent en compte des règles de conception et de dimensionnement :

- le respect de la règlementation en vigueur ;
- l'utilisation de codes de conception intégrant des marges ;
- la prise en compte de l'environnement irradiant par des choix de matériaux et matériels robustes à un environnement irradiant ;
- l'application du critère de défaillance unique en particulier sur les systèmes de freinage et les chaînes de levage des équipements de levage ;
- la prise en compte de situations hors fonctionnement normal (pertes d'utilités, séisme, etc.) ;
- l'intégration du retour d'expérience de l'industrie nucléaire.

En mode de fonctionnement normal, le pilotage de la manutention est adapté aux types d'engins de manutention. Le caractère irradiant d'une grande partie des colis de déchets conduit à privilégier une manutention et des interventions automatiques ou commandées à distance. Des dispositions prises au niveau de la conception du contrôle-commande permettent de prévenir les risques de manutention. Les opérations nécessitant des interventions humaines seront réalisées par du personnel d'exploitation disposant d'une formation et d'une qualification adaptée.

Dispositions génériques pour les équipements de levage

La liste des dispositions génériques retenues est présentée ci-après. Les dispositions sont à adapter aux engins et aux risques associés.

- les chaînes de levage sont redondées et équipées de freins à sécurité positive ;

- les équipements assurant l'arrimage de la charge sont conçus pour assurer un verrouillage mécanique de la charge pour empêcher tout lâcher de charge :
  - ✓ sur les palonniers, des systèmes mécanique permettent le verrouillage des charges manutentionnées (dispositif à sécurité positive sur la MLL (machine à levage limité)) ;
  - ✓ la motorisation des systèmes d'ouverture/fermeture des palonniers ne peut être entrainée que lorsque le colis est posé. Ainsi, l'ouverture intempestive est impossible lorsque le colis est en prise à un palonnier durant les phases de manutention ;
  - ✓ l'utilisation du palonnier adapté au colis est assurée par un système d'encodage lors de sa connexion au pont roulant ;
  - ✓ pour les manutentions aux ponts, une mise en tension de la chaîne de levage permet de s'assurer du bon arrimage de la charge ;
- les déplacements des équipements sont circonscrits dans des zones d'évolution définies (fins de course, butées) avec réduction de la vitesse dans les zones à risques ;
- la logique de commande n'autorise qu'un seul mouvement à la fois ;
- les zones de transfert et de pose des colis de déchets en cellules sont identifiées afin de prévenir les risques d'entrechoquement entre un colis manutentionné et un obstacle ;
- sur détection d'anomalies (survitesse, obstacle, …), un arrêt du mouvement est déclenché ;
- les vitesses de levage, de translation ou de basculement sont faibles ;
- les ponts roulants sont équipés si nécessaire de systèmes anti-soulèvement et de systèmes anti-déraillement ;
- les hauteurs de levage sont limitées autant que possible aux hauteurs de qualification des charges manutentionnées. A ce stade de la conception, l'option retenue est de ne pas soulever les colis primaires et les colis de stockage, autant que faire se peut, au-delà de 1,2 m. Les tableaux présentés ci-avant présentent les hauteurs de levage des différentes charges manutentionnées ;
- le survol d'équipements importants pour la protection est exclu et le survol d'autres colis de stockage est écarté.

<u>Dispositions pour le pont stockeur</u>

De par sa conception, le pont stockeur limite les risques d'une chute de colis de stockage. Vis-à-vis des risques de collision, des dispositions identiques aux ponts sont retenues :

- les chaînes de levage sont redondées et équipées de freins à sécurité positive ;
- les déplacements des équipements sont circonscrits dans des zones d'évolution définies (fins de course, butées) avec réduction de la vitesse dans les zones à risques ;
- la logique de commande n'autorise qu'un seul mouvement à la fois ;
- les zones de transfert et de pose des colis de déchets sont identifiées afin de prévenir les risques d'entrechoquement entre un colis manutentionné et un obstacle ;
- sur détection d'anomalies (survitesse, obstacle, …), un arrêt du mouvement est déclenché ;
- les vitesses de levage, de translation ou de basculement sont faibles ;
- les hauteurs de levage sont limitées à environ 30 cm.

<u>Dispositions génériques pour les équipements de transfert sur rails</u>

Concernant les équipements de transfert, les risques de chute, renversement et de collision sont maîtrisés par les dispositions suivantes :

- le cheminement guidé sur rails constitue une disposition de prévention vis-à-vis d'une collision suite à un changement de trajectoire ;
- des vitesses de transfert faibles et dépendant des charges manutentionnées ;
- les moyens de transfert guidés disposant si nécessaire d'un système anti-soulèvement et anti-déraillement (type griffes anti-envol) ;
- les équipements de transfert sont maintenus en position sécurisée par des freins à sécurité positive : frein de service, frein de secours ;
- les charges manutentionnées sont maintenues sur l'équipement de transfert par un système de verrouillage ;

- les systèmes de freinage sont redondés et asservis à des dispositifs d'arrêt automatique sur détection d'anomalie (survitesse, obstacle, etc.) ;
- les systèmes de freinage sont dimensionnés de manière à ce que la distance d'arrêt soit compatible avec la détection et induise une décélération maximale compatible avec le dimensionnement des systèmes de verrouillage des charges manutentionnées ;
- au sein des ouvrages souterrains, le cantonnement de l'alimentation électrique des voies de circulation permet de prévenir la présence simultanée de deux chariots ou deux navettes au sein du même secteur ;
- au franchissement des portes, un inter-verrouillage entre l'équipement de transfert et la porte permet la prévention du risque de collision ;
- les zones de transfert, de dépose et d'entreposage des colis de déchets sont identifiées afin de prévenir les risques de collision. Une attention particulière est portée sur le dégagement des voies de manutention ;
- les dispositions supplémentaires pour le transfert incliné :
  - ✓ le système d'entraînement par câble du véhicule dans la descenderie est redondé par deux poulies motrices en boucle mouflée (entraînement possible avec une seule poulie motrice) ;
  - ✓ le freinage machinerie des poulies motrices est assuré par des freins de service et des freins de secours à sécurité positive ;
  - ✓ en cas de dysfonctionnement du freinage machinerie, voire d'une éventuelle rupture du câble, le freinage du véhicule est assuré par deux types de freins à sécurité positive indépendants du freinage machinerie et sans modes communs : le frein d'arrêt d'urgence (FAU : freins à mâchoires) et le frein d'arrêt d'ultime secours (AUS : freins par affaissement).

<u>Dispositions relatives aux interfaces entre les équipements</u>

La prévention des risques aux interfaces repose essentiellement sur l'asservissement du contrôle commande à différents capteurs de positions intégrés sur les équipements pour vérifier leur bon positionnement :

- toutes les tables tournantes sont équipées d'un système de retaquage et d'inter-verrouillage entre la table tournante et le moyen de transfert associé permettant ainsi de prévenir le risque de mauvais positionnement d'une table lors de la phase d'approche d'un équipement de transfert ;
- les châssis support sont conçus de manière à écarter le risque d'introduire un emballage de transport sur un châssis non adapté. Ces dispositions relèvent notamment de la gestion du facteur organisationnel et humain ;
- un dispositif de cantonnement de l'alimentation électrique permet de prévenir le déplacement du chariot de fond ou de la navette de surface lorsque le transfert incliné n'est pas positionné correctement en gare haute ou basse ;
- lors de l'introduction et de l'extraction des colis de stockage dans les hottes au travers des façades d'accostage, des guides permettent, en plus d'assurer le maintien des objets manutentionnés, d'écarter tout risque de mauvaise interface entre les différents équipements ;
- lors de la récupération par le pont stockeur du colis de stockage posé sur l'élévateur, des guides latéraux et anti basculement permettent le maintien du colis de stockage dans la cage de l'élévateur ;
- les tables élévatrices ont des capteurs de position et des courses réduites de manière à assurer un bon positionnement entre les équipements mis en jeu ainsi que de limiter le risque d'écrasement en cas de mauvais positionnement.

<u>Dispositions relatives au risque de blocage</u>

Des programmes de maintenance préventive des équipements sont mis en place.

En cas de perte des alimentations électriques, les équipements impliquant un risque de blocage disposent d'une fiabilité d'alimentation électrique adaptée, présentée au chapitre 2.2.4.

Un programme d'essais avant la mise en service et en mode dégradé permettra de vérifier le fonctionnement normal des équipements de l'installation, notamment au niveau des interfaces.

2.2.1.3 Dispositions de surveillance

Des dispositifs de surveillance sont installés sur les équipements de manutention afin de s'assurer qu'ils fonctionnent dans des conditions normales et de surveiller la survenue de défaillances conduisant l'installation en situation dégradée :

- des capteurs de vitesses ;
- des capteurs anticollision ;
- des fins de course ;
- particularités du transfert incliné :
  - ✓ le transfert incliné dispose d'un panel de capteurs permettant de vérifier que les opérations se déroulent dans les conditions de fonctionnement normales. En particulier, les vitesses sont mesurées à partir de deux systèmes indépendants et sans modes commun : un système électrique et un système mécanique. Par ailleurs, des capteurs présents sur les axes dynamométriques des poulies de synchronisation du transfert incliné permettent de mesurer un éventuel mou voire une rupture hypothétique de câble ;
  - ✓ un contrôle magnétoscopique du câble permet de vérifier son état (facilité par la boucle mouflée).

Les dispositions de suivi de production permettent de connaître la localisation des colis de déchets.

Les opérations de manutention sont supervisées depuis la salle de conduite. Cette surveillance assure le bon déroulement des opérations et permet d'identifier les éventuelles défaillances du procédé (mauvais positionnement, erreur d'arrimage, etc.) avant qu'elles ne conduisent à sortir du fonctionnement normal. Pour les opérations réalisées au contact par des opérateurs, une vérification systématique préalable du bon arrimage des charges avant levage permet de limiter la survenue d'une erreur.

Les équipements de manutention sont soumis à un programme de maintenance et de surveillance.

L'utilisation d'équipement de l'industrie courante notamment pour les ponts roulants en surface permettra de collecter un retour d'expérience d'exploitation, et ainsi d'assurer le suivi des maintenances curatives permettant d'anticiper les éventuelles pannes pouvant survenir sur les équipements de mêmes types.

2.2.1.4 Dispositions de limitation des conséquences

<u>Dispositions génériques retenues</u>

Vis-à-vis du risque de chute, les emballages de transport et les colis primaires disposent de résistances mécaniques spécifiques à la chute. Les hottes de transfert et les conteneurs de stockage sont conçus et dimensionnés au risque de chute, de choc ou de collision identifié dans les installations de Cigéo. De plus, les hottes sont munies de pieds et peuvent être ainsi déposées à tout moment en toute stabilité.

La majorité des colis primaires résistent et garantissent le confinement des substances radioactives *a minima* à une chute de 1,2 m (cf. section 1.6 du Volume II). Les hottes de transfert sont dimensionnées pour résister à une chute sur leurs pieds. Les conteneurs de stockage sont dimensionnés pour rester intègres mécaniquement à une chute de 2,3 m et ainsi assurer une rétention des substances radioactives (cf. § 1.4.3 du volume II).

Les hauteurs de levage des charges sont limitées autant que possible en deçà de leur hauteur de qualification à la chute (cf. tableaux précédents). En cas d'impossibilité, des matelas amortisseurs sont mis en place pour prévenir les conséquences d'une chute (par exemple, au niveau de la manutention d'un emballage de transport sans ses capots de protection et de la manutention d'un colis de stockage par l'élévateur dans la cellule de manutention).

Le remplissage des alvéoles de stockage MA-VL par couches à l'aide du pont stockeur limite ainsi le levage des colis de stockage à moins de 15 cm.

Le basculeur HA est équipé d'un panier de maintien adaptable à tous les colis de stockage et prévenant tout risque de chute.

Vis-à-vis des risques de collision, pour l'ensemble des équipements de manutention (incluant ponts roulants et équipements de transferts guidés), les vitesses de déplacement des charges sont limitées et des rampes de décélération sont configurées sur le contrôle commande des équipements à l'approche des différentes zones d'arrêt. Pour exemple, les équipements de transfert ont des vitesses de translation limitées de l'ordre de :

- 15 m/min maximum pour les équipements transportant des emballages de transport ;
- 10 m/min pour les équipements transportant des colis primaires ou colis de stockages non confectionné ;
- 150 m/min (9 km/h) pour le funiculaire.
- 170 m/min pour les navettes transportant des hottes dans les ouvrages souterrains ;

Pour les équipements dont les vitesses nominales sont plus importantes :

- des vérins amortisseurs entre les hottes MA-VL ou HA et les chariots de transfert de fond permettent de limiter les conséquences d'une collision contre un obstacle rigide présent sur les voies ;
- la présence de butoirs en fin de voie sur le transfert incliné permet d'amortir un éventuel choc à son arrivée en gare ;

Pour les équipements de transfert guidé, les vitesses d'impact potentielles avec un obstacle rigide produisent des chocs dont les énergies sont inférieures à une chute de hauteur de 1,2 m.

Les hottes sont dimensionnées à une décélération de 1g.

Les équipements de transfert ainsi que les dispositions mises en place pour prévenir le risque de renversement (solidarisation des ensembles rails ; équipement ; charge) sont dimensionnés aux efforts consécutifs à une collision afin d'en limiter les conséquences.

Des dispositifs de calage dans la hotte MA-VL permettent de maintenir les colis en position stable en cas de collision ou d'arrêt brutal des engins de transfert.

<u>Dispositions vis-à-vis du risque de blocage</u>

En cas de blocage, tous les équipements disposent d'une fonction d'affalage de la charge en mode manuel. Cette fonction est déportée pour les équipements opérant dans des cellules où les débits de dose ne permettent pas d'intervention humaine. La démarche mise en place suite à la détection d'une panne est de permettre :

1. La finalisation du transfert en mode dégradé ou la mise en sûreté de la charge par affalage.
   Pour le cas particulier du funiculaire, en cas de survenue d'une panne, des dispositions sont mises en place pour terminer le cycle de transfert, tant sur le plan de l'alimentation électrique que sur le plan des défaillances d'équipements ;
2. Le remplacement de l'équipement de transfert, notamment pour les chariots et navettes de l'installation souterraine pour finalisation de l'opération en cas de défaillance technique de l'équipement ;
3. La réparation de l'équipement de transfert si nécessaire, le dimensionnement des hottes permettant une atténuation suffisante du débit de dose pour permettre l'intervention d'opérateurs ;
4. Concernant une panne sur un équipement manutentionnant une hotte, le dégazage éventuel de la hotte MA-VL en cas de panne prolongée (cf. section 2.1.5).

Le choix de conception étant porté sur des équipements de l'industrie courante, l'exploitation disposera d'un retour d'expérience sur les principales pannes et en cas de maintenance curative de disposer de jeux de pièces de rechange nécessaires.

Dans le cas du blocage dans une position transitoire lors d'une manutention, les dispositions mises en œuvre pour la gestion des risques de chutes ou de renversement constituent les dispositions de limitation de conséquence.

2.2.1.5 Identification des situations de fonctionnement

Sur la base de l'analyse des risques associés aux opérations de manutention et des dispositions de défense en profondeur mises en œuvre, des scénarios relevant des différentes situations de fonctionnement sont identifiés et présentés dans les tableaux ci-après.

Les scénarios sont classés au regard des dispositions de défense en profondeur (ou barrières) qu'il est nécessaire d'effacer pour provoquer l'évènement non-souhaité selon la méthodologie présentée dans le Volume I.

Tableau 2.2-7 Situation incidentelles liées au risque de manutention

	Local/zone	**Scénario**	**Principales dispositions de défense en profondeur**	
			Niveaux 1 & 2	**Niveau 3**
Surface	Hall de déchargement des convois	Chute de 2 m d'un emballage de transport contenant des colis primaires suite à une erreur humaine lors de son arrimage au pont portique	Formation et qualification des opérateurs pour les opérations à réaliser	Qualification des emballages type B à une chute. Nota : Les emballages type A ne sont pas tous qualifiés à une telle chute Qualification des colis primaires à une chute
	Hall de réception des emballages de transport à déchargement horizontal	Chute de 1,2 m d'un emballage de transport contenant des colis primaires suite à une erreur humaine lors de son arrimage au pont portique		
	Parc a hottes	Collision d'une hotte HA ou MA-VL	Système de freinage sur détection d'obstacle Anti-déraillement	Vitesses de transfert faibles. Dimensionnement des hottes aux collisions et renversement
Fond	Zone de soutien logistique			

Tableau 2.2-8 Situation accidentelles liées au risque de manutention

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur	
			Niveaux 1 & 2	Niveau 3
Surface	Hall de réception des emballages de transport à déchargement vertical	Chute < 6 m d'un emballage de transport de type B sans capots amortisseur suite à la défaillance du système de préhension du pont roulant	Conception du pont roulant et des moyens de préhension : • Critère de défaillance unique sur les ponts roulants • Frein à sécurité positive • Verrouillage mécanique de la charge Formation et qualification des opérateurs pour les opérations à réaliser + procédure de double contrôle et de mise en tension progressive lors du levage	Dispositif amortisseur Robustesse des emballages type B à une chute
	Cellule de déchargement des emballages de transport à déchargement vertical	Chute de 6 m d'un colis primaire HA ou MA-VL lors de son déchargement de l'emballage de transport sur un autre CP suite à la défaillance du système de préhension du pont roulant	Conception du pont roulant et des moyens de préhension : Critère de défaillance unique sur les ponts roulants Frein à sécurité positive Verrouillage mécanique de la charge	Ventilation nucléaire
	Cellule de mise en hotte MA-VL	Chute de 1,2 m d'un colis de stockage MA-VL suite à la défaillance du système de préhension du pont roulant	Verrouillage mécanique de la charge	Hauteurs de levage limitées Qualification des colis de stockage à une chute Ventilation nucléaire
	Cellule de mise en hotte HA	Chute (environ 3 m) ou collision d'un colis de stockage HA suite à la défaillance du système de préhension du pont roulant	Verrouillage mécanique de la charge	Qualification des colis de stockage HA à une chute Dispositif antichute sur le basculeur (cage) Ventilation nucléaire
	Gare haute transfert incliné	Collision d'une hotte HA ou MA-VL à l'interface navette/ transfert incliné suite à un mauvais alignement entre le transfert incliné et la navette	Conception de la navette : détection d'obstacle, freins à sécurité positive, anti-soulèvement, anti-déraillement Conception du transfert incliné : rails rabattants, capteurs de positionnement redondants, interverrouillage entre alimentation des voies et détection présence de la navette ou du chariot	Qualification au choc de la hotte et du verrouillage hotte/funiculaire
	Gare basse transfert incliné	Collision du transfert incliné en gare basse à petite vitesse	Conception du transfert incliné : freins de service et de secours, détection d'obstacle, contrôle-commande redondé, automate de déclenchement des freins de machinerie et de coupure de la traction	Butoirs amortisseurs Qualification des colis de stockage et de la hotte et du verrouillage hotte/transfert incliné à un à choc

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur	
			Niveaux 1 & 2	Niveau 3
Fond	Alvéole MA-VL	Chute d'un colis de stockage en cellule de manutention suite à la défaillance de l'élévateur	Conception de l'élévateur : guides anti-chutes, sécurité positive	Dispositif amortisseur Qualification des colis de stockage à une chute Ventilation nucléaire
		Collision d'un colis de stockage en cours de stockage avec un autre colis dans l'alvéole		

Tableau 2.2-9 Situation de dimensionnement du PUI liées au risque de manutention

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur
Surface	Hall de réception des emballages de transport à déchargement vertical	Chute de 6 m d'un emballage de transport de type B sans capots amortisseur suite à la défaillance du système de préhension du pont roulant cumulé à la défaillance du dispositif amortisseur	Cf. scénario accidentel correspondant
	Gare basse transfert incliné	Collision du transfert incliné en gare basse à petite vitesse cumulée à la défaillance des butoirs amortisseurs	Cf. scénario accidentel correspondant
Fond	Alvéole MA-VL	Chute d'un colis de stockage en cellule de manutention suite à la défaillance de l'élévateur cumulé à la défaillance de l'amortisseur	Cf. scénario accidentel correspondant

Tableau 2.2-10 Principales situations exclues liées au risque de manutention

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de prévention
Liaison surface /fond	Descenderie colis	Basculement d'une hotte transportée sur le transfert incliné suite à un déclenchement intempestif d'un système de freinage ou d'un déraillement	Impossibilité physique pour une hotte de basculer en descenderie (gabarit de la descenderie/gabarit hotte + funiculaire) Redondance du verrouillage des hottes sur le transfert incliné (4 pieds)
	Gares haute et basse	Chute de la navette de surface ou du chariot de fond sans la présence du funiculaire	Conception du transfert incliné : interverrouillage entre alimentation des voies et détection présence de la navette ou du chariot rendant l'approche de la navette impossible en l'absence du funiculaire
	Gare basse	Emballement du transfert incliné suite à une défaillance matérielle conduisant à une collision à grande vitesse en gare basse	Conception du câble (multibrins) Conception transfert incliné : freins de service et de secours, AUS, FAU Automate de déclenchement des freins de machinerie et de coupure de la traction Contrôle-commande redondé

2.2.2 Risque incendie

L'occurrence d'un incendie nécessite la présence simultanée de matériaux combustibles, d'une source d'ignition et de comburant en quantité suffisante. Un incendie peut entrainer, sous certaines conditions, la dégradation voire la perte d'une fonction de sûreté.

La maîtrise du risque incendie repose sur la mise en œuvre d'une démarche de conception incluant l'optimisation des installations. Cette conception respecte les textes réglementaires en vigueur pour les installations nucléaires de base. Il s'agit notamment de respecter les arrêtés du 7 février 2012 (16) et du 20 mars 2014 (32) portant homologation de la décision incendie n°2014-DC-0417. Pour tenir compte de la spécificité de Cigéo (liaisons surface/fond et installation souterraine), à savoir la survenue d'un incendie en milieu souterrain et confiné (dépendant des conditions de ventilation), des spécificités des conditions d'intervention des services de secours, l'Andra a élaboré un référentiel incendie[58] pour la conception de Cigéo (31) qui décline les objectifs de sûreté incendie, les exigences associées et la démarche d'analyse à mettre en œuvre.

2.2.2.1 Démarche et méthodologie

La démarche pour atteindre les objectifs précités s'appuie sur le principe de défense en profondeur afin de proposer des dispositifs techniques et organisationnels qui visent :

- la prévention des départs de feu ;
- la détection et l'extinction rapide des départs de feu pour, d'une part, empêcher que ceux-ci ne conduisent à un incendie et, d'autre part, rétablir une situation de fonctionnement normal ou, à défaut, atteindre puis maintenir un état sûr de l'installation ;
- la limitation de l'aggravation et de la propagation d'un incendie qui n'aurait pas pu être maîtrisé afin de minimiser son impact sur la sûreté nucléaire et de permettre l'atteinte ou le maintien d'un état sûr de l'installation ;
- la gestion de situations d'accident résultant d'un incendie n'ayant pu être maîtrisé de façon à limiter les conséquences pour les personnes et l'environnement.

Les différents niveaux successifs de défense doivent être aussi indépendants que possible, la robustesse de la conception étant basée sur l'efficacité et la complémentarité de ces lignes de défense.

La démarche d'analyse de risques liés à l'incendie consiste à :

- identifier les sources de dangers et les cibles au regard des objectifs visés,
- déterminer les dispositions de prévention et de protection adaptées aux enjeux,
- établir les scénarios qui doivent permettre de justifier du caractère suffisant des dispositions de protection contre l'incendie (DPCI) retenues,
- prendre en compte la défaillance interne la plus défavorable d'un EIP sollicité par l'incident ou l'accident, indépendante de l'événement déclencheur considéré.

Cette analyse s'appuie notamment sur une des approches suivantes :

- une approche par feux conventionnels qui fournit la température dans le compartiment en fonction du temps. La courbe de feu conventionnel ISO 834 est utilisée.
- une approche par feux réels (à partir d'un recensement des matériaux combustibles). Quelle que soit la forme de la courbe de débit calorifique, elle représente thermiquement le terme source ce qui permet d'évaluer réellement le risque thermique sur le local ou sur une cible positionnée à côté du foyer.

[58] Ce référentiel à fait l'objet d'une instruction en 2014 par l'IRSN suivi d'un avis de l'ASN (cf. courrier CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015)

2.2.2.2 Origine du risque

La maîtrise du risque incendie repose sur l'identification des principales sources de danger d'incendie présentes dans les installations et les principales cibles à protéger des effets d'un incendie. Elle nécessite l'identification des principaux équipements nécessaires à l'exploitation (équipements liés aux contrôles des emballages de transport et des colis, à la constitution des colis de stockage, à leur transfert et mise en stockage) et une évaluation quantifiée de leur charge calorifique.

Sources de danger d'incendie

Les sources de danger d'incendie présentes dans les différents locaux et zones des installations sont listées ci-dessous :

- Installations de surface de la zone descenderie :
  - ✓ terminal ferroviaire : le locotracteur utilisé pour la manœuvre des convois ferroviaires ;
  - ✓ hall de chargement et de déchargement des convois : les tracteurs routiers et leurs remorques, le pont, les chariots de transfert des emballages de transport ;
  - ✓ hall de réception des emballages de transport : les chariots de transfert et les tracteurs routiers et leurs remorques ;
  - ✓ autres locaux : les équipements et moyens de manutention nécessaires au procédé nucléaire de contrôles des emballages de transport, des colis primaires et des colis de stockage, de mise en conteneur de stockage, de chargement des colis en hotte et de transfert des colis ;
  - ✓ locaux électriques.
- Liaisons surface/fond :
  - ✓ Descenderie colis :
    - le véhicule transfert incliné ;
    - les câbles cheminant dans le radier ou dans la section utile en cheminement protégé et les coffrets électriques ;
  - ✓ Descenderie de service/secours :
    - les véhicules d'intervention ;
    - les engins de transfert dédiés aux fonctions de la descenderie de service ;
    - les câbles cheminant dans le radier ou dans la section utile en cheminement protégé et les coffrets électriques ;
  - ✓ Recoupes entre descenderie colis et descenderie service/secours : les équipements des locaux techniques électriques ;
  - ✓ Puits air frais (VFE) entre la surface et ZSL exploitation : les équipements combustibles des cabines ascenseurs, et les équipements combustibles divers pour la visite du puits (éclairage par exemple). Aucun cheminement électrique de puissance n'est prévu dans ce puits ;
  - ✓ Puits air vicié (VVE) entre la ZSL exploitation et l'usine de ventilation située en surface dans la zone des puits. Aucune charge calorifique ne sera présente en permanence. Seule la nacelle de contrôle et maintenance du puits sera présente lors de période de maintenance.
- Installation souterraine :
  - ✓ Galeries de liaison, d'accès et de retour d'air :
    - les chariots de fond, les hottes HA en cours de transfert, les tables tournantes,
    - les véhicules de service et maintenance, les véhicules de secours ;
    - les câbles cheminant dans le radier ou dans la section utile en cheminement protégé et les coffrets électriques ;
    - les équipements électriques des locaux techniques situés en galerie d'accès MA-VL ;
    - les équipements au niveau des façades d'accostage des hottes MA-VL et HA ;
  - ✓ Recoupes entre galeries : les équipements des locaux techniques électriques et les câbles électriques ;
  - ✓ Alvéoles MA-VL :
    - les équipements du procédé de la cellule de manutention : table élévatrice, ponts, chariots ;
    - le pont stockeur ou le chariot pour le stockage des colis MA-VL ;

- ✓ Local de filtration de l'alvéole MA-VL :
  - les filtres THE et autres équipements de filtration ;
  - les équipements et câbles électriques ;
- ✓ Zone de Soutien Logistique Exploitation :
  - les équipements dédiés aux fonctions des locaux (locaux électriques, locaux techniques, bureaux, entreposage déchets…) ;
  - les câbles cheminant dans le radier ou dans la section utile en cheminement protégé et les coffrets électriques ;
  - les véhicules de service - maintenance et de secours.

Identification des cibles

Les principales cibles à protéger en situation d'incendie sont :

- colis primaire ;
- conteneurs de stockage ;
- hottes ;
- conteneur de stockage en alvéole ;
- filtres THE, ventilateurs d'extraction et systèmes supports associés ;
- alimentation électrique ;
- Environnement ;
- homme.

Identification des risques

La démarche retenue pour identifier les risques liés à l'incendie consiste à postuler de manière plausible un départ de feu au niveau des sources de danger d'incendie présentes dans les différentes zones de l'installation. L'analyse du risque de développement en incendie de ce départ de feu postulé et de sa propagation permet d'identifier les mesures de maîtrise des risques à mettre en œuvre pour protéger les cibles identifiées de l'installation.

Un incendie impliquant un colis de déchets lors de sa réception en emballage de transport, son conditionnement en colis de stockage et son transfert en alvéole de stockage peut entrainer une perte de fonction de sûreté suite à une dégradation d'équipements, du génie civil ou du colis lui-même par atteinte directe par les flammes ou par élévation de température. Ces dégradations sont susceptibles d'entrainer potentiellement :

- une dispersion de substances radioactives en cas de défaillance du 1er système de confinement qu'est le colis ou d'une disposition impactée par le feu (hotte, local…) ;
- une exposition externe du personnel en cas de détérioration des protections radiologiques ;
- une déformation d'équipements ou de composants dont le mode de contrôle de la criticité est la géométrie ;
- une perte d'équipement assurant une fonction de sûreté.

Les principaux risques identifiés sont présentés ci-après.

- ***Risques associés aux engins de transfert et de déchargement des emballages de transport***

L'arrivée des emballages de transport se fait soit par train soit par camion. Ces équipements peuvent générer des incendies d'intensité importante dont la cause peut être un départ de feu :

- sur le tracteur routier en lien avec la présence d'une motorisation thermique, d'huiles et de pneumatiques ;
- sur la locomotive au niveau de la motorisation.

Ces incendies sont susceptibles d'endommager les emballages sans qualification au feu et de soumettre les colis à une élévation de température.

Après déchargement des emballages sur le lorry de transfert en vue du déchargement de leur contenu dans le local de déchargement, l'incendie dont l'origine est un départ de feu sur un coffret électrique est d'une intensité limitée.

- ***Risques associés aux engins de transfert des colis dans les installations***

Les engins de transfert des colis sont des chariots ou navettes sur rail avec un frotteur d'alimentation, ce qui permet de limiter fortement le potentiel calorifique. L'incendie potentiel résiduel correspond à un départ de feu sur :

- une armoire électrique ;
- une armoire hydraulique ;
- les motoréducteurs (présence d'huile en petite quantité),

Susceptible d'endommager :

- directement le colis lors de son déchargement des emballages de transport, son contrôle ou sa mise en conteneur de stockage ainsi que dans l'installation souterraine lors de la mise en alvéole de stockage,
- la hotte de transfert depuis le poste de chargement du colis en hotte jusqu'à son accostage en tête des alvéoles HA et MA-VL.

- ***Risques associés aux équipements nécessaires au procédé de mise en conteneur de stockage, de mise en hotte et de déchargement des colis en alvéole***

Le principal risque associé aux équipements de type ponts et tables élévatrices est un départ de feu sur un coffret électrique ou un moteur. Ces incendies, d'intensité limitée, peuvent être à l'origine d'une défaillance de l'équipement pouvant conduire à une chute de la charge manutentionnée ou l'effondrement de la table élévatrice lors de la manipulation d'un colis.

- ***Risques associés aux locaux électriques***

Les locaux techniques nécessaires au procédé sont implantés dans les installations de surface et dans l'installation souterraine, notamment dans les recoupes entre les descenderies et les galeries. Il s'agit de locaux sectorisés accueillant TGBT, HTA, HTB, transformateurs, onduleurs et CFI. Ces locaux présentent des risques de départ de feu qui peuvent conduire à la perte d'équipements importants pour la protection.

2.2.2.3 Dispositions de prévention des départs de feu

Un des principes fondamentaux du référentiel incendie applicable à la conception de Cigéo repose sur la limitation de la charge calorifique dans les installations, l'utilisation de matériaux, équipements et câbles en tenant compte de leur classe de réaction au feu, la limitation voire l'interdiction d'utiliser des produits à cinétique rapide, la conception des moyens de manutention.

<u>Matériaux de construction et d'aménagement</u>

Des dispositions usuelles sont retenues en ce qui concerne les matériaux de construction et d'aménagement, avec des classes de performances élevées en matière de réaction au feu. Dans les galeries souterraines, les éventuels revêtements de parois sont a minima de classe A ou B.

Parmi les dispositions prises en compte, sont à signaler : le recours au matériau béton, l'absence de bois ou palette bois, l'absence de matériaux à cinétique rapide, etc.

<u>Prévention des risques d'origine électrique ou électrique statique</u>

Les conducteurs et câbles électriques d'alimentation de l'installation présentent des caractéristiques de réaction au feu équivalente à « C1 ne dégageant pas de composés halogénés » .

Gestion des matières combustibles

La gestion des matières combustibles s'appuie sur des dispositions de limitation de charge calorifique, de ségrégation et d'isolement de ces charges. Les principaux points suivants sont pris en compte :

- Par rapport à la limitation de la charge calorifique :
  - ✓ le transfert incliné de par sa conception limite intrinsèquement la charge calorifique en descenderie. Sa charge calorifique embarquée est déportée vers la machinerie du transfert incliné en surface – elle-même réduite par emploi d'un moteur à entraînement direct sans réducteur à bain d'huile) ;
  - ✓ l'emploi de chariots automoteurs électriques sur rails limite intrinsèquement la charge calorifique dans les galeries de liaison et d'accès. Les chariots et navettes présentent des dispositions de limitation et ségrégation des charges calorifiques, principalement avec le recours à des huiles difficilement inflammables, voire non combustibles lorsque cela est possible, l'éloignement des coffrets et armoires électriques et le renforcement du système de fermeture de ces derniers permettent également la limitation de l'incendie ;
  - ✓ les hottes MA-VL ont une charge calorifique très faible. Les hottes HA et robots-pousseurs HA apportent une charge calorifique faible et maîtrisée ;
  - ✓ l'usine de ventilation est située en surface ; aucun ventilateur n'est présent dans les galeries souterraines en exploitation ;
  - ✓ la charge calorifique dans les puits est réduite.

Une première estimation des charges calorifique des principaux équipements, effectuée au stade de l'APS, est présentée dans le Tableau 2.2- ci-dessous.

Tableau 2.2-11 Ordre de grandeur de charge calorifique des principaux équipements du procédé de manutention des hottes MA-VL et HA

Equipements	Charge calorifique
Table tournante	1 650 MJ
Chariot de fond	7 450 MJ
Navette HA	5 720 MJ
Hotte HA	3 650 MJ
Hotte robot pousseur	8 350 MJ
Robot pousseur	1 700 MJ
Navette MA-VL	4 200 MJ
Hotte MA-VL	Proche de 0 MJ
Façade d'accostage MA-VL	1 000 MJ
Table d'accostage MA-VL	1 000 MJ

- Par rapport à l'isolement des charges calorifiques :
  - ✓ dans l'installation de surface, au niveau des halls de déchargement des emballages de transport de l'installation de surface, les tracteurs des véhicules de transport sont dételés et sortis de la zone dans la mesure du possible ;
  - ✓ les zones souterraines en exploitation sont isolées et indépendantes des zones souterraines en travaux ;
  - ✓ les locaux électriques sont isolés des zones procédés de l'installation nucléaire de surface. Dans la partie souterraine, les locaux électriques sont dans des recoupes ou dans des niches dédiées. Aucune armoire électrique n'est présente dans les galeries souterraines ;
  - ✓ dans les descenderies et galeries souterraines, les conducteurs électriques sont positionnés dans des fourreaux dans le radier. Lorsque des chemins de câbles sont présents en section utile des galeries et descenderies, et si un enjeu de sûreté est associé aux câbles considérés, ils sont isolés et protégés du feu ;

- ✓ la machinerie traction du transfert incliné et les équipements pour sa maintenance sont situés en surface (tête de descenderie) et isolés de la gare haute (fermeture de cantonnement de fumées, tenant compte de la difficulté inhérente au passage du câble du funiculaire) ;
- ✓ les différents équipements de manutention des hottes et les robots pousseurs HA conservent un éloignement relatif en exploitation et en stationnement permettant de ne pas cumuler leurs charges calorifiques pour les scénarios incendie de référence ;
- ✓ la cellule de manutention est isolée de la partie utile du stockage MA-VL par une porte de radioprotection qui est fermée, hormis pendant le laps de temps nécessaire au passage du pont ou du chariot stockeur. Bien que cette porte blindée ne soit pas étanche aux fumées, elle constitue néanmoins un écran thermique entre la cellule de manutention et la partie utile du stockage ;
- ✓ les équipements de manutention des colis de stockage MA-VL en fond présentent des dispositions de limitation et d'éloignement des charges calorifiques par rapport aux colis. La charge calorifique du pont stockeur est située au-dessus des colis réduisant ainsi l'impact en cas de sinistre.

2.2.2.4 Dispositions de détection et d'intervention contre l'incendie

Conformément au principe de défense en profondeur et à la réglementation, une surveillance des installations est prévue afin de détecter au plus tôt un départ de feu, d'être en mesure de limiter son développement et d'intervenir rapidement pour l'éteindre.

<u>Détection incendie et dispositifs de sécurité associés</u>

Elle repose sur :

- des systèmes de détection automatique d'incendie en ambiance des locaux ou galeries et implantés au plus près des sources potentielles d'incendie, par exemples les armoires électriques sensibles ;
- des dispositifs complémentaires de détection incendie implantés si besoin dans les armoires électriques des équipements participant au procédé nucléaire pour le conditionnement des colis, le transfert et la mise en stockage des colis, y compris les équipements mobiles (chariots, navettes, pont stockeur) ;
- la vigilance du personnel d'exploitation et de maintenance qui sera sensibilisé et formé ;
- un système de sécurité incendie apte à remonter les alarmes feu au poste central de sécurité et en salle de conduite ;
- des dispositifs de communication phonique avec le poste central de sécurité et la salle de conduite sont présents dans les zones nucléaires en exploitation (surface et fond) ;
- un système de vidéo-surveillance permet un contrôle visuel dans les zones en alarme feu, en amont du processus de levée de doute, engagé par les équipes d'intervention de secours et par du personnel d'exploitation formé à cette mission ;
- un équipement d'alarme permet de diffuser un message d'évacuation ou de sécurité pour le personnel.

Au niveau des alvéoles MA-VL la détection est assurée :

- dans les équipements du pont stockeur ou du chariot stockeur ;
- en amont de la filtration THE ;
- dans l'ambiance de la cellule de manutention et si besoin dans les équipements de la cellule de manutention.

<u>Moyen d'intervention et de lutte incendie</u>

Pour limiter les conséquences, les moyens d'intervention et de lutte incendie sont :

- des moyens de secours portatifs mobiles (extincteurs…) appropriés aux risques ;
- des systèmes d'extinction fixes ou embarqués ;
- un groupe d'intervention de secours avec une organisation opérationnelle de la lutte contre l'incendie formé et entrainé ;
- des réseaux incendie en surface et en souterrain ;

- des véhicules d'intervention incendie ;
- des systèmes de récupération des agents d'extinction.

Les systèmes d'extinction fixes ou embarqués prévus sont les suivants :

- dans l'installation nucléaire de surface :
  - ✓ les zones de stationnement des camions lors du déchargement des emballages de transport sont protégées par un moyen de secours adapté si la solution qui consiste à dételer le tracteur et le sortir du hall n'est pas retenue ;
  - ✓ en cellules blindées : présence de système fixe d'extinction ou bien de diffuseurs alimentés par les services de secours ;
  - ✓ la salle de conduite, la salle informatique et les locaux participant au traitement de l'information sont protégés par un système d'extinction.
- dans les descenderies et galeries de liaison et d'accès :
  - ✓ les armoires et coffrets électriques ou hydrauliques embarqués sur les équipements de manutention et de transfert présentant une charge calorifique importante reçoivent un système d'extinction automatique autonome. Cette disposition concerne en particulier le funiculaire, les chariots et navettes de transfert des hottes.
  - ✓ les armoires électriques sont situées dans des locaux techniques dédiés. Un système d'extinction automatique protège chaque armoire électrique le nécessitant voire le volume du local électrique, y compris faux-plancher et faux-plafond.
- dans les cellules de manutention et alvéoles MA-VL :
  - ✓ un système fixe d'extinction à mousse haut-foisonnement est prévu en cellule de manutention, avec une possibilité de réalimentation depuis la galerie d'accès.
  - ✓ les armoires et coffrets des ponts et chariots stockeur reçoivent un système d'extinction autonome.

Equipes d'intervention de secours et organisation opérationnelle de la lutte contre l'incendie

Le site est doté d'équipes d'intervention de secours et de lutte contre l'incendie dont la caserne est située dans le bâtiment 194 situé en zone descenderie.

Des équipiers de première et seconde intervention sont mobilisés dès l'alerte.

Les équipes d'intervention interviennent sur l'ensemble du périmètre INB. Son effectif permet une garde 24h/24.

Les échelons suivants des opérations de secours sont assurés par des renforts en interne site, puis par l'engagement des moyens extérieurs des SDIS 55 et 52.

Lors de l'extension des quartiers de stockage, pour assurer une levée de doute en cas d'alarme feu, des équipiers de première et seconde intervention (personnel de l'exploitation principalement) seront formés à la levée de doute. Lorsque du personnel d'exploitation est présent au fond, la mobilisation de ces équipiers d'exploitation par le Poste Central de Sécurité en parallèle de l'équipe d'intervention de secours pourra dans certains cas permettre de réduire le délai de levée de doute ou de première intervention.

- ***Réseaux incendie***

Cigéo dispose de réseaux incendie : un réseau en zone descenderie et un réseau en zone puits. Chaque réseau incendie site est constitué de trois bâches d'un minimum de 120 m3 et de trois surpresseurs à alimentation électrique normale et secourue par un groupe thermique. Un volume de rétention de 240 m3 est retenu pour tenir compte d'une bâche ou d'un surpresseur en maintenance.

La périphérie d'EP1 et la périphérie des émergences de la zone puits sont maillés avec des hydrants judicieusement positionnés notamment à proximité des accès de secours.

Des colonnes sèches desservent l'intérieur de l'installation nucléaire de surface EP1 avec des prises d'incendie à l'intérieur de l'installation et des raccords d'alimentation à l'extérieur au niveau des voies engins.

Le réseau site descenderie, alimente la zone en exploitation nucléaire souterraine. Il s'agit d'un réseau maillé déployé à partir de chacune des descenderies colis et service. Le réseau incendie souterrain assure un débit simultanée de 120 m3/h pendant 2 h.

Des moyens de secours sont prévus au sein de l'installation. Ces moyens sont à disposition des équipes d'intervention.

- ***Véhicule incendie***

Un véhicule incendie Cigéo est en cours de définition. Il couvre les besoins de l'ensemble du site et intègre les spécificités de l'intervention en milieu souterrain. Les fonctions associées à ce véhicule incendie sont le transport du personnel d'intervention avec leur équipement et matériel d'intervention. Le gabarit du véhicule et son rayon de braquage sont définis en cohérence avec les dimensions des galeries et des recoupes qu'il peut emprunter. Un garage dédié au stationnement de ce véhicule est prévu en ZSL exploitation.

- ***Récupération des agents d'extinction***

Les eaux d'extinction incendie sont gérées et collectées au plus proche du sinistre.

Dans EP1, un système de collecte et de rétention des eaux d'extinction est prévu par local.

Dans les descenderies, les eaux d'extinction sont collectées par gravité et stockées en pied de descenderies (caniveau de collecte pour la descenderie service et capacité tampon pour la descenderie colis).

Les galeries souterraines et la ZSL intègrent au niveau du radier un caniveau de collecte. Des avaloirs sont présents tous les 10 à 12 mètres pour collecter les eaux d'extinction d'incendie. Il est prévu un accès pour insérer une pompe de relevage en partie basse de chaque tronçon de caniveau.

En cellule de manutention de l'alvéole MA-VL, les agents d'extinction sont collectés et stockés par gravité puis relevés.

<u>Voies d'accès et de circulation</u>

L'installation nucléaire de surface EP1 est desservies sur trois façades et par des accès en toiture.

Des poteaux d'incendie sont implantés à proximité des accès des équipes de secours et des moyens de secours sont prévus au sein de l'installation (dans les escaliers et circulations). Ces dispositions permettent aux équipes d'intervention dans le bâtiment d'avoir accès à des moyens de secours.

Les aires de circulation et de manœuvre nécessaires à l'accès des services d'incendie et de secours et à la mise en œuvre des moyens d'intervention sont conçues et aménagées pour que les engins de ces services puissent évoluer sans difficulté. À cet effet, les voies concernées auront les caractéristiques suivantes :

- largeur minimale, bandes réservées au stationnement exclues : 3,50 mètres ;
- rayon intérieur de giration : 11 mètres avec, dans les virages de rayon intérieur R inférieur à 50 mètres, une surlargeur de voies définie par la relation : S = 15/R ;
- hauteur libre : 3,50 mètres ;
- pente maximale : 15 % ;
- force portante : calculée pour un véhicule de 130 kilonewtons (dont 40 kilonewtons sur l'essieu avant et 90 kilonewtons sur l'essieu arrière, ceux-ci étant distants de 4,50 mètres).

La zone souterraine présente différentes dispositions spécifiques :

- les principaux aménagements sont des recoupes entre tubes qui permettent au personnel de se mettre à l'abri des fumées et aux secours d'intervenir depuis une zone protégée, chaque galerie disposant d'un cheminement piéton ; en cas de monotube, ils sont équipés de cheminements protégés ;
- en termes d'intervention, l'accès des véhicules se fait en circulant dans les différentes galeries et en utilisant lorsque nécessaire les recoupes franchissables par un véhicule incendie ;
  l'intervention en zone d'exploitation souterraine est réalisée depuis la ZSL exploitation et ne nécessite pas de connexion avec la zone travaux (séparation physique).

- ***Descenderies***

Les descenderies colis et de service sont recoupées à inter-distance maximale de 400 m par des recoupes à l'abri des fumées. La descenderie colis dispose d'un cheminement piéton. La descenderie de service dispose également d'un cheminement piéton et d'une voie carrossable pour le véhicule incendie.

- ***ZSL Exploitation***

Les ascenseurs des puits sont utilisables pour l'intervention (dispositif d'appel prioritaire) et pour l'évacuation du personnel. Une niche de secours permet le rassemblement et la mise à l'abri du personnel. Cette niche de secours est accessible par un réseau maillé depuis le puits VFE, les quartiers HA et MA-VL, la ZSL travaux et la descenderie de service via un sas.

- ***Galeries de liaison des quartiers HA0 et HA1/HA2***

Les galeries de liaison des quartiers HA0 et HA1/HA2 constituent trois tubes en parallèle. Les galeries de liaison exploitation disposent d'un cheminement piéton permettant d'évacuer dans les deux sens. Les galeries de liaison évacuation/secours et galeries de liaison sont recoupées à inter-distance. La galerie de liaison évacuation/secours et les recoupes sont à l'abri des fumées par la mise en surpression par rapport aux galeries de liaison. Du fait de la présence d'une galerie de liaison évacuation/secours, les galeries de liaison HA0 et HA1/HA2 ne présentent pas de vulnérabilité particulière vis-à-vis de l'évacuation et de l'intervention.

- ***Galeries d'accès des quartiers HA0 et HA1/HA2***

Les galeries d'accès aux quartiers HA0 et HA1/HA2 en bitube sont recoupées à inter-distance par des recoupes à l'abri des fumées. Ces recoupes sont toutes franchissables par le véhicule incendie.

Ces galeries disposent d'un cheminement piéton permettant l'évacuation dans les deux sens, y compris en présence d'une navette et de sa hotte.

L'accès du véhicule incendie depuis la galerie de liaison évacuation/secours jusqu'à la zone en alarme feu nécessite des contraintes d'exploitation telles qu'un éloignement suffisant entre les équipements présents en même temps dans chaque tube et la possibilité de commander le déplacement d'une navette dans le tube non sinistré. Ces exigences permettent ainsi au véhicule incendie d'emprunter les recoupes pour accéder à la zone en feu.

- ***Galeries de liaison MA-VL***

Ces galeries en bitube sont recoupées à inter-distance par des recoupes à l'abri des fumées. Ces recoupes sont toutes franchissables par le véhicule incendie.

Ces galeries disposent d'un cheminement piéton permettant l'évacuation dans les deux sens, y compris lors de la présence d'une hotte. Des sas (avec fonction de refuge) sont présents au niveau des deux interfaces exploitation/travaux en bout de galerie de liaison.

L'accès du véhicule incendie depuis la ZSL exploitation jusqu'à la zone en alarme feu nécessite de libérer l'accès à la zone en feu en utilisant selon les cas une recoupe. Pour cela, des dispositions sont prises pour qu'un chariot puisse se déplacer après le déclenchement d'une alarme feu et libérer les accès.

- ***Galerie d'accès MA-VL***

Ces galeries de faible longueur permettent l'accès à la paroi d'accostage et à la cellule de manutention. Elles sont accessibles par les galeries de liaison. Elles disposent d'un refuge situé en bout de galerie au niveau de la paroi d'accostage.

- ***Cellule de manutention et alvéole MA-VL***

Les cellules de manutention et alvéoles MA-VL sont classées en zone interdite au titre de la radioprotection dès qu'un colis de stockage est présent. Dans les cellules de manutention, des opérations de maintenance courante sont nécessaires. En cas d'incendie, le refuge situé en galerie d'accès est accessible si l'évacuation n'est pas possible.

- ***Galerie de retour d'air MA-VL***

Les galeries de retour d'air sont des monotubes. Elles disposent d'un cheminement protégé intégré au monotube permettant un cheminement piéton à l'abri des fumées. Des portes donnant accès au cheminement protégé sont présentes à inter-distance et sont placées à proximité des locaux de filtration et électricité.

Des sas (avec fonction de refuge) sont présents au niveau des interfaces exploitation/travaux des galeries de retour d'air.

2.2.2.5 Dispositions visant à éviter la propagation d'un incendie et à limiter ses conséquences

L'organisation du paragraphe reprend celle du titre IV de l'arrêté du 20 mars 2014 relatif à la maîtrise des risques liés à l'incendie en INB (32).

Sectorisation

Les dispositions relatives à la sectorisation sont détaillées ci-après. Dans cette optique, l'incendie conventionnel retenu correspond au feu cellulosique issu de la norme NF EN 13501 (anciennement ISO 834). Il est également retenu pour le dimensionnement thermique des équipements.

Des mesures de sectorisation sont retenues en première approche sur l'identification de locaux ou groupes de locaux contenant un potentiel calorifique mobilisable important et susceptible d'agresser des substances dangereuses et / ou des matières radioactives et / ou des éléments importants pour la protection (EIP).

Ces locaux ou groupes de locaux sensibles feront l'objet en phase APD d'études plus approfondies pour affiner les dispositions spécifiques de détection, de prévention et de protection.

Tous les secteurs de feu assurent a minima une durée de sectorisation REI 120.

- ***Installation nucléaire de surface***

Les locaux techniques conventionnels présentant des sources importantes de départ de feu et/ou contenant un potentiel calorifique mobilisable important (par exemple des locaux électriques, galeries techniques, local de maintenance des hottes et le local « machineries » du transfert incliné) sont sectorisés

Les locaux contenant des substances dangereuses et/ ou des matières radioactives mobilisables par un incendie et susceptibles de provoquer un rejet et contenant un potentiel calorifique mobilisable important sont classés secteurs de feu. En fonction des conséquences potentielles, un ou des secteurs de confinement pourront le cas échéant être mis en place au pourtour dudit local ou groupes de locaux.

Au regard des études et des scénarios incendie étudiés, les sectorisations envisagées à ce stade des études sont présentées dans le Tableau 2.2-.

Tableau 2.2-12 Sectorisation au feu envisagé dans les locaux de l'installation nucléaire de surface

Local / Zone géographique	Identification du risque	Options de sectorisation envisagées
Locaux techniques	Sources d'ignition importantes et un potentiel calorifique mobilisable élevé	Secteurs de feu
Déchargement des convois et locaux de réception des emballages de transport		Zone de feu
Déchargement des ET-V / contrôle C5 / mise en CtS	Substances dangereuses et/ ou des matières radioactives mobilisables par un incendie et susceptibles de provoquer un rejet	Cellule blindée traitée en Zone de Feu. Zones Avant/Arrière traitées en Secteur de Confinement.
zones tampon de l'installation de conditionnement des colis		Local en structure béton. Pour les CP MAVL sensibles à l'élévation en température, une performance au feu est portée par les CtS MAVL non scellés (couvercle posé).
Cellule de conditionnement des CS MAVL		Cellule blindée traitée en Zone de Feu. Zones Avant/Arrière traitées en Secteur de Confinement.
Cellule de conditionnement des CS HA		Cellule blindée traitée en Secteur de Feu englobant les Zones Avant/Arrière
Cellules de déconditionnement MAVL		La cellule blindée est traitée en Secteur de Feu englobant les Zones Avant/Arrière Un secteur de confinement englobe le Secteur de Feu.
Cellules de déconditionnement HA		La cellule blindée est traitée en Secteur de Feu englobant les Zones Avant/Arrière.
Parc à hottes et couloirs procédés vers bâtiment tête de descenderie colis		Local en structure béton. Une performance au feu est portée par les hottes MAVL et HA.

- ***Hottes MA-VL et HA***

Les enveloppes des hottes sont protégées des effets d'un incendie par la présence de protections thermiques au niveau de l'enceinte et de la porte permettant d'atteindre la performance EI 120.

- ***Descenderies***

Les recoupes, niches et locaux électriques dans les recoupes entre la descenderie colis et de service sont des secteurs de feu. La qualification au feu REI 120 (norme NF EN 13501) porte sur l'étanchéité au feu, l'isolation thermique au feu, mais également l'étanchéité aux fumées.

- ***Gare haute***

La gare haute est isolée de l'installation de surface par un sas dont la qualification au feu est a minima REI 120 (norme NF EN 13501). La machinerie traction du transfert incliné et les locaux de service (maintenance, locaux électriques, etc.) sont également isolés de la descenderie colis en situation normale de fonctionnement par une porte de cantonnement des fumées.

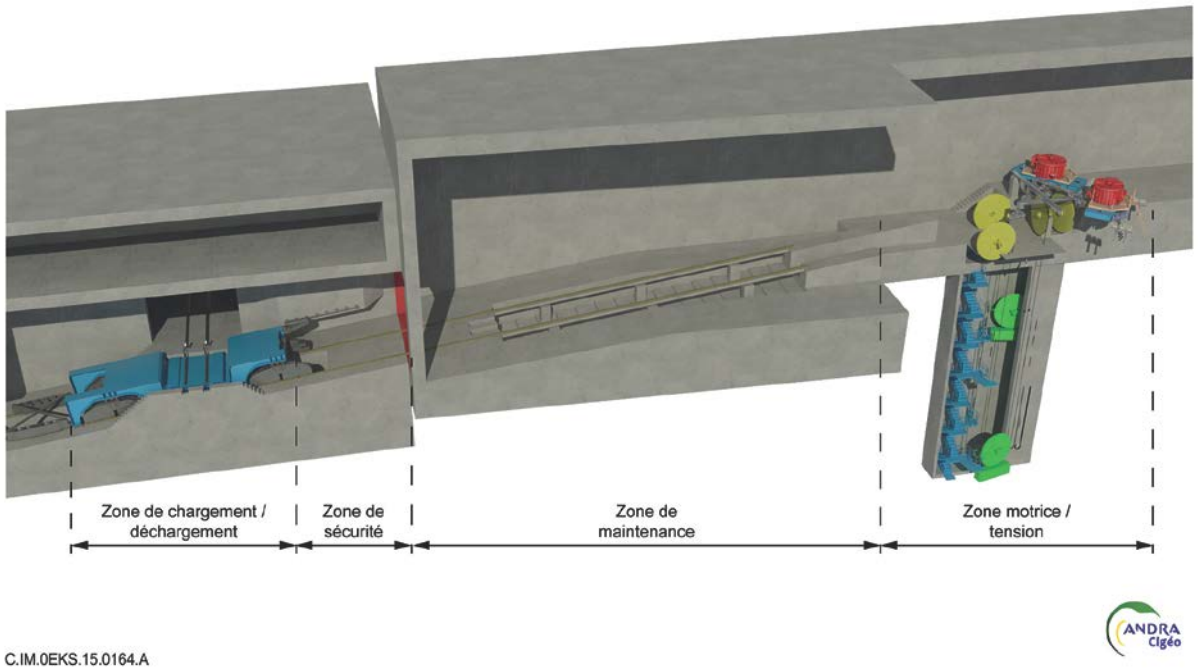


Figure 2.2-1 Aménagement de la gare haute

- ***Gare basse***

La gare basse du transfert incliné dispose d'un rideau de cantonnement des fumées mobiles qui permet ainsi de limiter la propagation des fumées en cas d'incendie en gare basse dans le reste du linéaire de la descenderie colis.

- ***ZSL exploitation***

Les locaux de la ZSL Exploitation sont des secteurs de feu (cf. Tableau 2.2-).

Tableau 2.2-13 Sectorisation au feu envisagé dans la ZSL exploitation

Locaux	Sectorisation feu a minima REI 120 sous incendie conventionnel
Local véhicules	Présence de charge calorifique importante liée aux véhicules Protection des locaux ayant des fonctions importantes pour l'évacuation des personnes et l'intervention des services de secours
Poste de Commandement Avancé	Protection du local ayant des fonctions importantes pour l'évacuation des personnes et l'intervention des services de secours.
Niche de secours	La niche de secours est considérée comme un refuge et à ce titre est caractérisée par une résistance au feu
Locaux technique en support au procédé (stockage matériel, entreposage hotte, déchets d'exploitation…)	L'ensemble de ces locaux sont sectorisés.

- ***Galeries de liaison et d'accès MA-VL et HA***

Les recoupes, niches et locaux électriques sont des secteurs de feu.

Les dispositifs d'obturation des alvéoles HA sont traités avec une performance au feu EI 120.

Au titre de la limitation du risque de propagation des fumées dans l'installation souterraine, les galeries sont compartimentées sur une longueur maximale de 800 m. Ce compartimentage (RE 120 pour les structures et EI 60 pour les portes) est appliqué à l'ensemble des galeries, y compris les deux galeries de retour d'air MA-VL. La présence de ce compartimentage permet une évacuation des personnes dans de bonnes conditions au regard des feux plausibles en lien avec la nature et les charges calorifiques des véhicules présents dans ces zones.

- ***Alvéoles MA-VL***

Les ensembles « cellule de manutention + alvéole MA-VL » et le local de filtration sont traités en tant que secteur de feu, de performance à minima REI 120.

La performance en termes de débit de fuite au niveau de la paroi d'accostage associée au feu de référence dans la cellule de manutention ou l'alvéole et au bon comportement du colis de stockage au feu permettant de s'affranchir de la mise en place d'un secteur de confinement côté galerie d'accès sera définie ultérieurement..

- ***Interfaces avec la zone travaux***

La présence de séparations physiques entre la zone en exploitation et la zone travaux au niveau des galeries de liaison MA-VL et HA et des galeries de retour d'air MA-VL permet d'avoir une indépendance de ces zones en situations normale et accidentelle de fonctionnement. En cas d'incendie, ces séparations ont pour fonction qu'il ne se propage d'une zone vers l'autre (cf. § 2.5 sur la coactivité). Les séparations physiques assurent à minima une sectorisation EI 120 sous HCM.

Résistance au feu des structures

- ***Installation nucléaire de surface EP1***

La structure du hall de déchargement des convois est de type métallique. Afin d'éviter tout scénario incendie pouvant conduire à une ruine de cette structure sur des emballages de transport pleins en phase d'attente ou de déchargement, le locotracteur et les tracteurs des convois routiers n'accèdent pas sous cette structure.

Les structures porteuses d'EP1 sont en béton armé. Elles sont stables au feu sous incendie conventionnel (R 120) et les dalles sont stables au feu et coupe-feu (REI 120).

- ***Descenderies et galeries souterraines***

Le génie civil des galeries est stable au feu R 120 sous incendie conventionnel, y compris la gaine sous voûte. Cette disposition permet de limiter le risque de ruine du revêtement de paroi des galeries sur les hottes ou les équipes d'intervention de secours ; elle est appliquée dans l'ensemble de l'installation souterraine en exploitation, y compris les descenderies.

- ***Hottes***

Les pieds et le châssis des hottes MA-VL et HA sont R 120 sous incendie conventionnel.

Le châssis du véhicule du transfert incliné fait partie des éléments assurant la stabilité des hottes. Le châssis est affalé sur les rails en situation incidentelle. Par conception, il interfère peu sur la stabilité et le verrouillage de la hotte. Une justification de résistance au feu sera apportée en situation d'incendie.

- ***Alvéoles MA-VL***

Le génie civil est stable au feu R 120 sous incendie conventionnel.

Ventilation – Désenfumage

- ***Gestion de la ventilation dans l'installation de surface (EP1)***

Les dispositions relatives à la gestion de la ventilation en situation d'incendie respectent les pratiques des INB. Pour les secteurs de feu des cellules blindées, le pilotage de la ventilation en situation d'incendie suit les principes suivants :

- arrêt du soufflage par fermeture du clapet au soufflage dans le local en feu ;
- maintien de l'extraction de ce local aussi longtemps que possible avec surveillance de l'extraction, notamment au niveau de la filtration du local ;
- en cas de dépassement des critères de tenue de l'extraction du local (température en amont de la filtration, différence de pression aux bornes des filtres), arrêt de l'extraction du local et passage en confinement statique ;
- maintien de la ventilation des zones adjacentes au local en feu.

Les escaliers sont mis à l'abri des fumées par mise en surpression.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie en descenderie***

Les descenderies sont ventilées mécaniquement dans le sens ascendant en situation nominale. Afin de faciliter les opérations d'évacuation et d'intervention, les options suivantes sont retenues :

- mise en œuvre d'une ventilation ascendante pour la gestion des fumées en cas d'incendie avec extraction réalisée au niveau de la tête descenderie ;
- maintien d'une vitesse d'air en pleine section égale à la vitesse critique de manière à s'assurer de l'absence de nappe de retour de fumée en amont du feu dans le sens de l'air ;
- régime de ventilation de chaque descenderie identique entre la situation nominale et la situation incendie.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie en gare haute***

La gare haute est ventilée mécaniquement à partir de la descenderie colis (les descenderies sont ventilées mécaniquement dans le sens ascendant en situation nominale).

Afin de faciliter les opérations d'évacuation et d'intervention, les options suivantes sont retenues :

- fermeture des portes entre le bâtiment EP1 et la gare haute empêchant ainsi le passage des fumées ;
- extraction des fumées réalisée au niveau de la tête descenderie.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie en gare basse***

La gare basse est ventilée mécaniquement à partir de la ventilation des galeries souterraines.

Afin de faciliter les opérations d'évacuation et d'intervention, les options suivantes sont retenues :

- fermeture des portes entre la ZSL exploitation, les galeries de liaison et la gare basse empêchant ainsi le passage des fumées ;
- mise en œuvre d'un réseau d'extraction des fumées au niveau de la gare basse.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une galerie souterraine (quartiers HA et MA-VL et ZSL Exploitation)***

Les galeries souterraines présentent une vulnérabilité liée au risque de développement d'un incendie sous-ventilé avec propagation de fumées particulièrement toxiques et un risque de phénomène thermique lié à une combustion incomplète.

Un incendie dans des galeries de l'installation souterraine est géré par la fermeture des portes réparties dans chaque zone pour créer un compartiment et par la mise en œuvre d'un système d'extraction des fumées associé à ce compartiment.

Ce dernier est compatible avec la classe de confinement des galeries souterraines de type I/C1. Il ne nécessite pas d'inversion de sens de flux d'air. La conduite de la ventilation relève d'actions de pilotage à opérer en salle de conduite et au PCS.

Des principes de conduite des systèmes de ventilation simples et robustes sont privilégiés. Les options retenues pour la ventilation des galeries souterraines sont :

- le maintien des cascades de dépression présentes dans les installations ;
- la limitation des actions et des modifications à mener lors du basculement de la ventilation entre la situation nominale et la situation incendie via :
  - ✓ l'absence de modification du point de fonctionnement des surpresseurs des recoupes entre la situation nominale et incidentelle ;
  - ✓ la mise en place de clapet de surpression au niveau des parois des recoupes afin de garantir de manière passive la régulation de la surpression des recoupes et des cheminements protégés dans le cas où les portes sont fermées ;
  - ✓ la mise en place d'un by-pass entre les puits d'amenée et de retour d'air permettant de ne pas modifier les points de fonctionnement des ventilateurs entre le régime nominal et incidentel.
- la mise en surpression des recoupes adjacentes en cas de feu en galerie ;
- Le cantonnement des fumées par la mise en place de dispositif de compartimentage d'une longueur maximale de 800 m dans les galeries de liaison et d'accès du quartier HA et les galeries de liaison MA-VL ;
- la mise en place d'un système de gestion des fumées à l'aide de trappes espacées en moyenne tous les 100 mètres le long du linéaire des différentes galeries de liaison et d'accès disposant de compartiments ;
- la réalisation d'un apport d'air frais longitudinal au sein du compartiment en feu à l'aide d'une baie de transfert implantée au niveau de chaque porte de compartimentage. Cette baie de transfert peut être refermée si les conditions opérationnelles le justifient ;

- la limitation des modifications sur le régime de fonctionnement de la ventilation pour passer en régime de fonctionnement incidentel / acccidentel, afin d'augmenter la fiabilité et la robustesse du système de ventilation.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une galerie de liaison MA-VL***

En cas de départ de feu en galerie de liaison MA-VL, les actions liées au pilotage de la ventilation sont les suivantes :

- fermeture admission d'air de l'ensemble des alvéoles MA-VL par la fermeture des CCF situés au niveau de l'amenée d'air neuf des cellules de manutention ;
- vérification de l'état fermé de la façade d'accostage, et du sas d'accès en cellule de manutention ;
- ouverture du bypass entre le puits d'amenée d'air et le puits de retour d'air pour récupérer le débit lié à l'alimentation des alvéoles MA-VL pour lesquelles l'admission d'air est stoppée ;
- fermeture de l'extraction des alvéoles MA-VL via la commande de fermeture des CCF situés à l'extraction de chaque alvéole ;
- pour toutes les recoupes des galeries de liaison MA-VL : arrêt des surpresseurs aspirant l'air depuis la galerie sinistrée et mise en marche des surpresseurs situés du côté de la galerie saine exempte de fumée ;
- fermeture des portes de compartimentage du compartiment en feu ;
- ouverture des trappes de contrôle des fumées dans le compartiment en feu ;
- fermeture des trappes/registres situés à l'extrémité de la galerie de liaison ;
- ouverture de la baie de transfert située au niveau de la porte de compartimentage positionnée en amont du compartiment en feu.

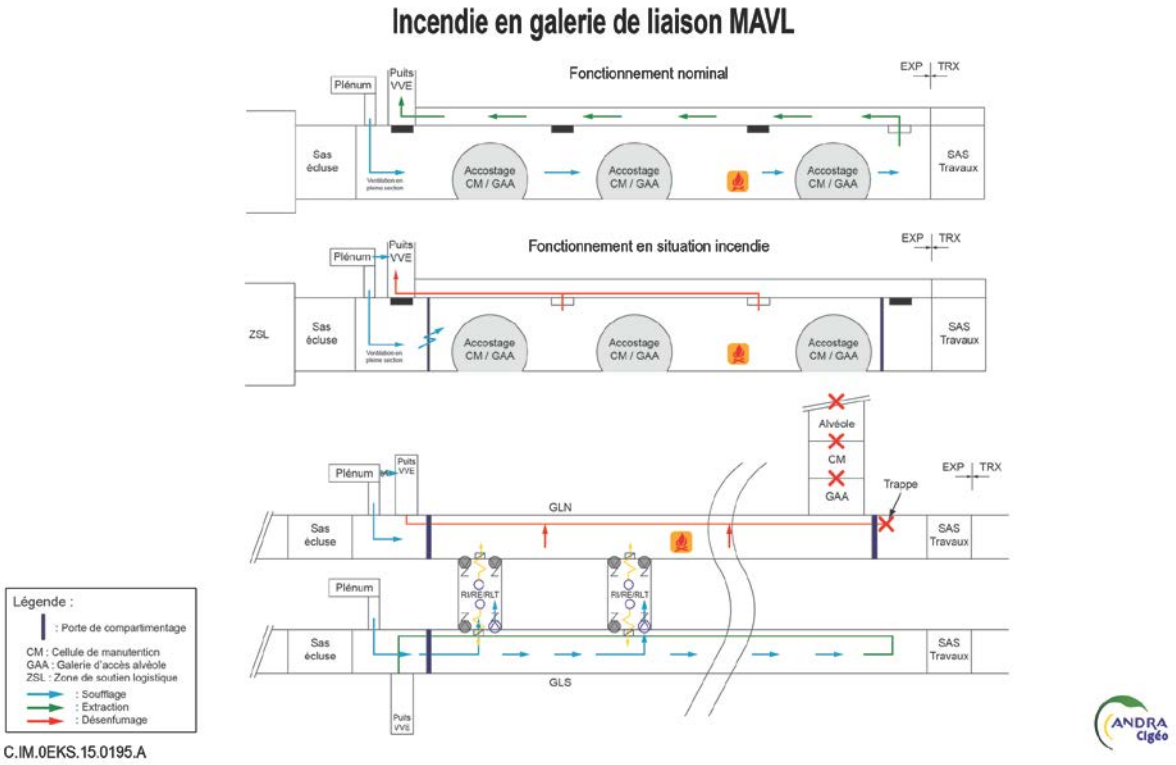


Figure 2.2-2 Gestion d'un incendie potentiel en galerie de liaison MA-VL

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une galerie d'accès MA-VL***

Compte tenu de leur faible longueur par rapport aux galeries de liaison, les galeries d'accès MA-VL ne nécessitent pas de compartimentages ni d'un système de ventilation spécifique. La gestion d'un incendie dans cette galerie est similaire à celle retenue dans la galerie de liaison. Les trappes des galeries de liaison assurent l'extraction des fumées d'un incendie potentiel en galerie d'accès.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une cellule de manutention ou l'alvéole MA-VL***

La gestion d'un incendie en cellule de manutention ou l'alvéole MA-VL est différente de la gestion d'un incendie dans une galerie du fait de la présence de colis de stockage non protégés dans une hotte. Pour ces locaux, sont privilégiés l'arrêt du soufflage et le maintien de l'extraction tant que l'intégrité des filtres THE en fond d'alvéole le permet.

Suite à une détection de départ de feu en cellule de manutention ou en alvéole MA-VL, les actions de pilotage de la ventilation sont par ordre chronologique :

- fermeture de la façade d'accostage si celle-ci n'est pas déjà fermée ;
- fermeture de la porte blindée entre la cellule et l'alvéole si celle-ci n'est pas déjà fermée ;
- fermeture du/des clapets coupe-feu situé(s) à l'admission d'air de la cellule de manutention via une action automatique ou commandée ;
- surveillance des paramètres associés aux filtres THE de l'alvéole (colmatage filtre, température amont filtre, détection fumée aval filtre) ;
- fermeture du clapet coupe-feu à l'extraction sur :
  - ✓ atteinte température élevée en amont des filtres,
  - ✓ atteinte seuil colmatage des filtres,
  - ✓ détection de fumée en aval des filtres.
- mise en confinement statique de l'alvéole.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une galerie de retour d'air MA-VL***

Les principes généraux de gestion de la ventilation en cas d'incendie sont identiques à ceux mentionnés en cas de feu au sein d'une galerie de liaison MA-VL.

Une gaine distincte du collecteur de retour MA-VL et dédiée à l'extraction des fumées est prévue en galerie de retour d'air.

Les spécificités des galeries de retour d'air concernent :

- la présence d'un cheminement protégé au sein de la galerie de retour d'air ;
- la présence de locaux de filtration (locaux DNF des alvéoles) contenant les caissons de filtrations des alvéoles MA-VL ;
- la présence de recoupes d'évacuation et d'intervention/secours en interface entre la zone travaux et la zone en exploitation.

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une galerie de liaison HA***

Les principes généraux sont similaires à ceux présentés pour la gestion d'un incendie dans les galeries de liaison MA-VL.

Les spécificités dans les galeries de liaison HA sont :

- la présence d'une galerie évacuation secours en surpression par rapport à la galerie de liaison ;
- la présence de recoupe permettant le passage de la hotte des galeries d'accès HA Ouest vers les galeries d'accès HA Est.

En cas de départ de feu en galerie de liaison HA, les actions liées au pilotage de la ventilation sont les suivantes :

- fermeture des portes de compartimentage des galeries d'accès HA ;
- fermeture de l'extraction des galeries d'accès HA situées en amont du feu dans le sens de l'air via les volets d'extraction situés en fond de galerie ;
- pour les recoupes implantées entre la galerie d'évacuation secours et le compartiment sinistré, ouverture des registres d'isolements motorisés situés entre la recoupe et la galerie d'évacuation secours ;
- fermeture des portes de compartimentage du compartiment en feu ;
- ouverture des trappes de contrôle des fumées dans le compartiment en feu ;
- Fermeture de la trappe/registre d'extraction des galeries d'accès HA situées dans le sens de l'air en aval du compartiment sinistré ;
- ouverture baie de transfert au niveau de la porte de compartimentage située en amont du feu.

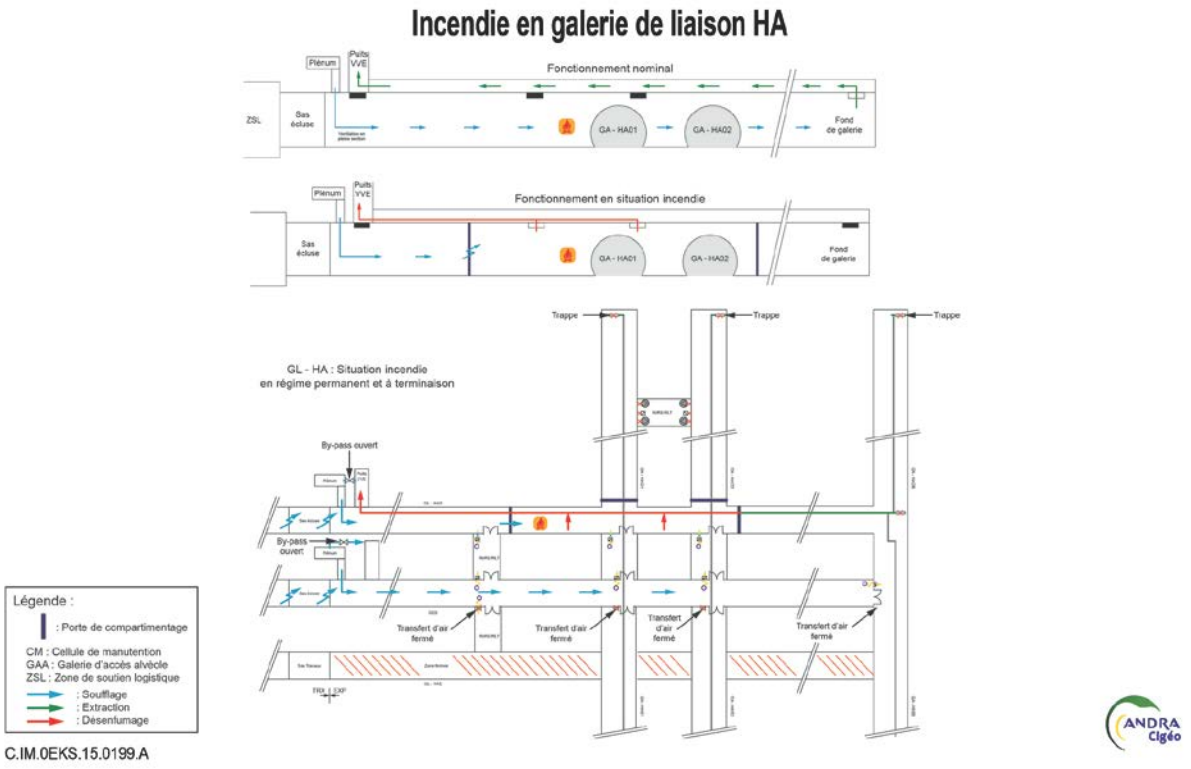


Figure 2.2-3 Gestion d'un incendie potentiel en galerie de liaison HA

- ***Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une galerie d'accès HA***

Les principes généraux sont similaires à ceux présentés pour la gestion d'un incendie dans les galeries de liaison HA.

En cas de départ de feu en galerie d'accès HA, les actions liées au pilotage de la ventilation sont les suivantes :

- fermeture des portes de compartimentage du compartiment en feu ;
- pour les recoupes implantées au sein du compartiment sinistré, arrêt des surpresseurs aspirant l'air depuis la galerie sinistrée et mise en marche des surpresseurs situés du côté de la galerie saine exempte de fumée ;
- ouverture des trappes de contrôle des fumées situées dans le compartiment en feu ;
- fermeture de la trappe/registre d'extraction située à l'extrémité de la galerie d'accès saine puis sinistrée ;

- ouverture baie de transfert au niveau de la porte de compartimentage située en amont du feu dans le sens de l'air.

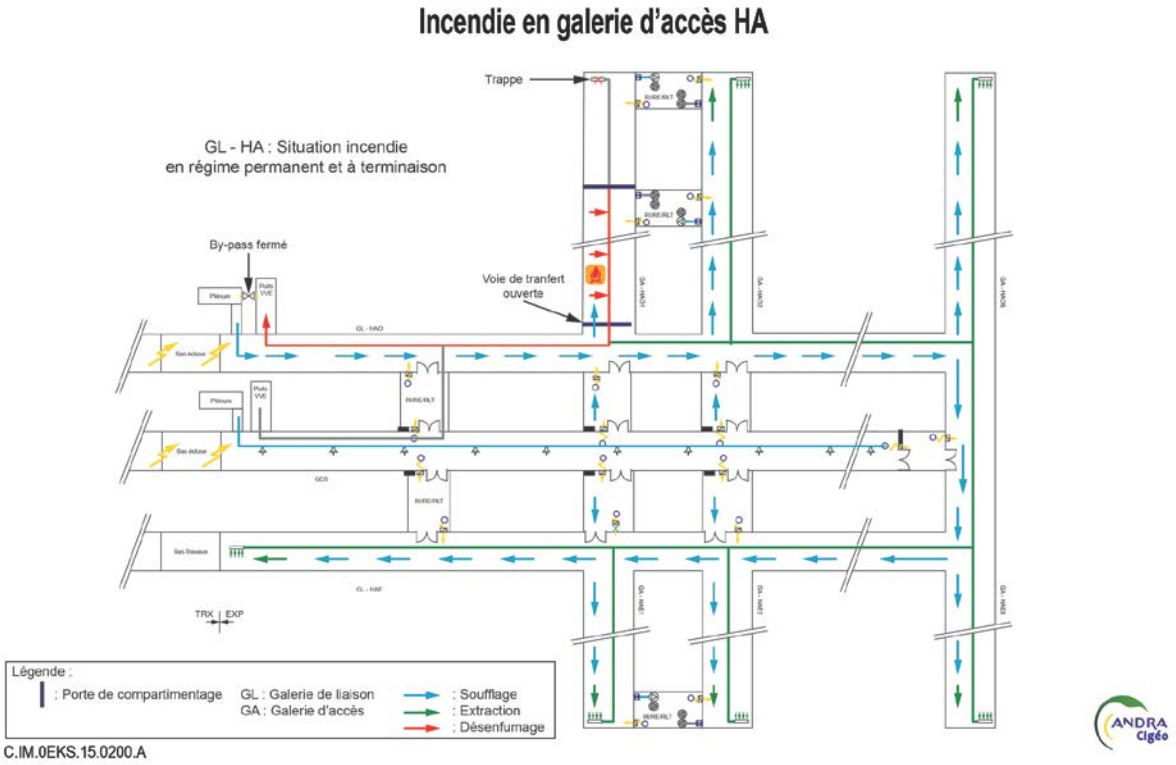


Figure 2.2-4 Gestion d'un incendie potentiel en galerie d'accès HA

- **Gestion de la ventilation en situation d'incendie dans une recoupe ou un local technique**

Les actions liées au pilotage de la ventilation sont les suivantes :

- fermeture des CCF situés au soufflage et à l'extraction du local par l'intermédiaire du CMSI ou d'un fusible thermique ;
- fermeture des portes du local ou de la recoupe ;
- arrêt le cas échéant du ventilateur relais.

En cas d'incendie dans une galerie de liaison ou d'accès, la ventilation des recoupes et locaux techniques situés dans les recoupes est arrêtée et les clapets coupe-feu associés sont fermés.

Dispositifs de manœuvre

Dans l'installation nucléaire de surface, les dispositifs de manœuvre sont télécommandés depuis le PCS sur le CMSI, avec une possibilité de manœuvre manuelle accessible au niveau des équipements.

Dans les galeries souterraines, les portes des sas, compartiments et recoupes sont télécommandées pour permettre le passage du véhicule incendie. Une manœuvre manuelle est également possible.

En lien avec le PCS, il est prévu de pouvoir commander depuis la salle de conduite le déplacement d'une navette HA ou d'un chariot dans le tube non sinistré en amont de l'intervention.

Les commandes des clapets sont accessibles et manœuvrables par les secours (en complément de la télécommande depuis le PCS).

2.2.2.6 Identification des situations de fonctionnement

Sur la base de l'analyse des risques d'incendie et des dispositions de défense en profondeur mises en œuvre, des scénarios relevant des différentes situations de fonctionnement sont identifiés et présentés dans les tableaux ci-après.

Les scénarios sont classés au regard des dispositions de défense en profondeur (ou barrières) qu'il est nécessaire d'effacer pour provoquer l'évènement non-souhaité selon la méthodologie présentée dans le Volume I.

Situations incidentelles

Les situations incidentelles concernent un départ de feu postulé qui est détecté (automatiquement ou humainement) et pour lequel une action (extinction automatique, intervention de niveau 1) permet son extinction et l'absence de propagation.

Situations accidentelles de dimensionnement

Tableau 2.2-14 Situations accidentelles de dimensionnement liées au risque d'incendie

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur	
			Niveaux 1 & 2	Niveau 3
Surface	Hall de déchargement des convois	Incendie du locotracteur ou du camion ou du lorry impliquant un ET	Contrôle et essais périodiques Pas de stationnement du locotracteur et du tracteur routier dans le hall Eloignement du locotracteur et de l'ET Limitation des charges calorifiques dans le hall DAI sur le lieu de déchargement	Obligation de dételer la remorque du tracteur routier ou à défaut mise en place d'un moyen de secours adapté Qualification[59] au feu d'un ET de type B (800°C, 30min) Intervention des équipes de secours site
	Hall de réception n°3 pour emballages de transport à déchargement horizontal	Incendie du camion ou du lorry impliquant un ET	Contrôle et essais périodiques Pas de stationnement du tracteur routier dans le hall Présence de DAI et EAI sur le lorry DAI dans le local	Obligation de dételer la remorque du tracteur routier ou à défaut mise en place d'un moyen de secours adapté Intervention des équipes de secours site
	Hall de réception des emballages de transport a déchargement vertical	Incendie du lorry impliquant un ET	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le lorry DAI dans le local	Qualification au feu d'un ET de type B (800°C, 30min) Confinement statique du local Intervention des équipes de secours site
	Hall de préparation et d'accostage des ET, couloir transbordeur	Incendie du chariot, du transbordeur impliquant l'ET	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Qualification au feu d'un ET de type B (800°C, 30min) Confinement statique du local Sectorisation incendie Intervention des équipes de secours site
	Cellule de déchargement des colis des emballages de transport	Incendie du chariot transportant le colis primaire	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Intervention des équipes de secours site
	Cellule de contrôle des CP	Incendie du chariot et des équipements de contrôle du colis primaire	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Intervention des équipes de secours site
	Cellule de mise en conteneur de stockage du CP	Incendie de l'équipement supportant le colis de stockage	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Intervention des équipes de secours site
	Cellule de conditionnement MA-VL ou HA	Incendie du chariot et des équipements d'un poste conditionnement avec un colis de stockage non-confectionné	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Intervention des équipes de secours site
	Couloirs de circulation	Incendie du chariot, du	Contrôle et essais périodiques	Sectorisation incendie

[59] Disposition issue de la réglementation transport

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur	
			Niveaux 1 & 2	Niveau 3
	« procédé »	transbordeur avec le colis primaire ou le colis de stockage	Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Confinement dynamique et statique du local Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
	Cellule de mise en hotte HA ou MA-VL	Incendie de la navette, de la table tournante et de la MLL impliquant la hotte	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert DAI dans le local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
	Gare haute transfert incliné	Incendie de la navette et du chariot de transfert incliné impliquant la hotte	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert et le funiculaire DAI dans le local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique du local Tenue au feu de la hotte Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
LSF	Descenderie colis	Incendie du chariot de transfert incliné impliquant la hotte	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot du transfert incliné DAI dans la descenderie	Tenue au feu de la hotte Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Conduite de la ventilation Intervention des équipes de secours site
	Descenderie de service	Incendie des véhicules de maintenance ou des équipements de transfert dédiés	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur les véhicules DAI dans la descenderie	Conduite de la ventilation Intervention des équipes de secours site
	Recoupes	Incendie dans un local technique	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques DAI et moyens de secours dans la recoupe	Sectorisation incendie Confinement statique du local Intervention des équipes de secours site
Fond	Gare basse transfert incliné	Incendie du chariot de fond et du chariot de transfert incliné impliquant la hotte	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert et le funiculaire DAI dans le local	Sectorisation incendie Conduite de la ventilation Tenue au feu de la hotte Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
	Galeries de liaison	Incendie du chariot de fond et de la table tournante impliquant la hotte	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de fond DAI dans les galeries	Sectorisation incendie (compartimentage) Confinement dynamique et statique du local Tenue au feu de la hotte Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site

Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur	
		Niveaux 1 & 2	Niveau 3
Galeries d'accès	Incendie de la navette de fond impliquant la hotte	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI sur le chariot de transfert et le funiculaire DAI dans les galeries	Sectorisation incendie (compartimentage) Confinement dynamique et statique du local Tenue au feu de la hotte Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
Recoupes entre galeries	Incendie dans un local technique	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques DAI et moyens de secours dans la recoupe	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique du local Intervention des équipes de secours site
ZSL exploitation	Incendie d'un local technique, d'un véhicule de maintenance	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et moyens de secours	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique du local Intervention des équipes de secours site
Cellule de manutention MA-VL	Incendie des équipements de la cellule (table élévatrice, pont stockeur…) impliquant un colis de stockage	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI dans cellule de manutention MA-VL DAI dans le local Système fixe d'extinction	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique du local Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
Alvéole MA-VL	Incendie du pont stockeur lors du transfert d'un colis de stockage	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Présence de DAI et EAI dans cellule de manutention MA-VL	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique du local Comportement au feu des Colis / qualification au feu des conteneurs CS4 Intervention des équipes de secours site
Alvéole	Incendie du vérin pousseur lors du transfert du colis de stockage	Contrôle et essais périodiques Limitation des charges calorifiques Surveillance défauts depuis SCC	Comportement au feu des Colis

Situations accidentelles de dimensionnement du PUI

Tableau 2.2-15 Situations de dimensionnement du PUI liées au risque d'incendie

	Local/zone	Scénario	Principales dispositions de défense en profondeur
Surface	Cellule de déchargement, de contrôle C5 et de mise en conteneur de stockage	Incendie du chariot et des équipements du poste de contrôle C5 impliquant un colis primaire avec défaillance du système de détection et d'extinction embarqué cumulée à la défaillance du système d'extinction automatique du local	Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Secteur de confinement Intervention des équipes de secours site
Fond	Alvéole MA-VL	Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage avec défaillance du système d'extinction embarqué cumulée à une défaillance du conteneur de stockage	Performance du conteneur de stockage Sectorisation incendie Confinement dynamique et statique de la cellule Stabilité au feu du pont et de la structure de l'alvéole

Situations exclues

Tableau 2.2-16 Principales situations exclues liées au risque d'incendie

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur
Surface	Hall de déchargement des convois	Incendie du locotracteur ou du camion dans le hall impactant les colis présents dans l'ET	Interdiction d'accès du locotracteur dans le hall Eloignement du locotracteur et de l'ET Obligation de dételer la remorque du camion ou à défaut mise en place d'un moyen de secours adapté
	Hall de réception n°3 pour emballages de transport à déchargement horizontal	Incendie du camion dans le hall impactant les colis présents dans l'ET	Interdiction d'accès du tracteur dans le hall Obligation de dételer la remorque du camion ou à défaut mise en place d'un moyen de secours adapté

	Local/zone	Scénario	Principales disposition de défense en profondeur
	Cellule de déchargement, contrôle C5 et mise en CtS	Incendie du pont roulant dû à un épanchement d'huile enflammée des réducteurs et motoréducteurs au poste de déchargement des ET ou au poste de mise en conteneur de stockage avec agression du colis	Conception des réducteurs et motoréducteur empêchant l'écoulement d'huile Rétentions sous réducteurs et motoréducteurs du pont
LSF	Puits air vicié (VVE)	Incendie dans le puits	Absence de charge calorifique

2.2.3 Risque d'explosion

A l'instar du risque d'incendie et du risque lié à la radiolyse des déchets produisant de l'hydrogène, le risque d'explosion nécessite la présence d'un produit explosible, d'un comburant et d'une source d'ignition.

2.2.3.1 Origine du risque

Les risques potentiels d'explosion sur Cigéo sont liés à :

- l'hydrogène produit par les batteries des systèmes de transport à énergie électrique ;
- la présence de produits combustibles nécessaires pour certaines opérations. Ces opérations ne sont pas définies précisément à ce stade. A ce stade de la conception, il est envisagé l'utilisation de bouteilles d'acétylène pour les soudures et de solvants organiques pour les besoins du laboratoire d'analyse ou du procédé d'exploitation.

Les locaux des différentes installations pouvant présenter sur la base des solutions envisagées à ce stade, des risques potentiels d'émission de gaz explosifs sont présentés dans le Tableau 2.2-.

Tableau 2.2-17 Localisation des locaux /équipements pouvant présenter un risque d'explosion dans les différentes installations de Cigéo au stade actuel des études

Localisation	Identification des équipements présentant un risque d'explosion
Installation de surface	Laboratoire d'analyses : explosion suite à une fuite de solvant organique (type acétone ou éther)
	Procédé d'exploitation : • Explosion suite à une fuite sur une bouteille d'acétylène pendant les opérations de soudure ou de découpe • Explosion suite à une fuite de solvant organique (type acétone) ou de détergent (diluant) utilisés dans les ateliers de maintenance
Installation de transfert surface-fond	Recoupes techniques (locaux de charge des batteries) : explosion d'un nuage d'hydrogène lors du rechargement des batteries
	Descenderie de service : explosion de batterie du véhicule suite à l'ignition du dégagement d'hydrogène
	Gare amont/ gare aval : explosion des batteries du véhicule suite à l'ignition du dégagement d'hydrogène
	Locaux hottes en tête de descenderie : explosion de produits combustibles/bouteilles de gaz soudure
Installation souterraine	Cellule de manutention : Explosion de produits combustibles
	Galerie d'accès MA-VL : explosion de produits combustibles/bouteilles de gaz

2.2.3.2 Dispositions de prévention

Les dispositions de prévention mise en œuvre contre le risque d'explosion consistent essentiellement à contrôler au moins une des conditions (quantité de substances combustibles mises en jeu, concentration du combustible dans l'air, source d'ignition) nécessaires à l'occurrence d'une explosion.

La principale disposition identifiée au stade actuel des études concerne :

Pour les risques d'explosion liés au gaz hydrogène dégagé par les batteries, les dispositions mise en œuvre sur le site de Cigéo sont :

- le choix de batteries à recombinaison ou ayant un faible dégagement d'hydrogène ;
- la réalisation d'une analyse ATEX selon la réglementation en vigueur et la mise en place du zonage ATEX le cas échéant ;
- le coffrage des batteries sur les véhicules, afin de les éloigner et de les isoler par rapport aux sources d'ignition ;
- la ventilation qui permet de limiter la concentration de vapeurs ou gaz combustibles dans l'air des locaux de l'installation de surface ou souterraine en deçà des limites d'explosivité.

Pour les risques d'explosion liés aux solvants et produits explosibles, les dispositions mises en œuvre sont :

- le choix de produits privilégiant les produits non ou peu explosifs et la limitation des quantités utilisées ;
- la mise en place d'un zonage ATEX ;
- la ventilation qui permet de limiter la concentration de vapeurs ou gaz combustibles dans l'air.

2.2.3.3 Dispositions de surveillance

Les dispositions de surveillance associées aux risques d'explosion identifiés sont essentiellement le suivi des évolutions potentielles du zonage ATEX du site au travers de la mise à jour a minima annuelle du document relatif à la protection contre les risques d'explosion, la mise en œuvre de détecteurs d'hydrogène notamment dans les locaux utilisés pour recharger les batteries des différents engins.

2.2.3.4 Limitation des conséquences

La principale disposition de limitation des conséquences d'une explosion est l'éloignement des zones à risques d'explosion par rapport aux cibles identifiées à protéger, notamment les colis de déchets afin d'éviter un risque de dissémination, et les équipements assurant une fonction de sûreté de manière générale. Le cas échéant, ces cibles sont à protéger par l'ajout d'une protection résistante à une explosion.

2.2.4 Risques liés à la perte de l'alimentation électrique

2.2.4.1 Origine du risque

La perte de l'alimentation électrique peut être due à :

- des défaillances internes de l'alimentation électrique (défaillance des équipements de distribution…) ;
- des agressions externes (séisme, inondation, conditions climatiques, chute d'avion…) ;
- des agressions internes (incendie, manutention…).

Les conséquences liées à la perte de l'alimentation électrique sont :

- la perte directe de la fonction assurée par un récepteur (ventilation, surveillance, etc...) ;
- la réponse inappropriée d'un récepteur (ouverture intempestive d'une porte, lâché d'une charge, etc...).

La perte de l'alimentation électrique est ainsi susceptible de générer des risques dans l'installation (risques de manutention, incendie…) ainsi que la perte de fonctions de protection. La présente analyse se focalise sur l'analyse des conséquences de la perte d'alimentation électrique sur les différents récepteurs et la définition de dispositions à mettre en place pour maintenir l'installation dans un état sûr en cas de perte d'alimentation électrique.

2.2.4.2 Fonctions impactées par la perte d'alimentation électrique

Les analyses des risques (cf. notamment § 2.1, 2.2.1et 2.2.2) ont permis d'identifier les principales fonctions et systèmes/équipements impactés par une perte de l'alimentation électrique, à savoir :

- les systèmes de ventilation assurant notamment :
  - ✓ le confinement dynamique ;
  - ✓ l'évacuation des gaz de radiolyse émis par les colis dans les alvéoles MA-VL ;
  - ✓ le conditionnement de l'atmosphère des locaux ;
  - ✓ l'assainissement des locaux/cellules ;
  - ✓ le contrôle des fumées dans les galeries souterraines en cas d'incendie ;
- les moyens de manutention qui doivent principalement :
  - ✓ assurer le maintien de la charge ;
  - ✓ écarter tout mouvement intempestif ;
  - ✓ limiter les décélérations ;
- les systèmes/équipements participant au confinement statique y compris la sectorisation incendie (ouvrants, dispositif d'accostage, clapets…) ;
- les équipements de surveillance, en particulier :
  - ✓ la surveillance radiologique des locaux et en sortie d'émissaire ;
  - ✓ la surveillance de la température dans les locaux ;
  - ✓ la surveillance de la concentration en hydrogène ;
  - ✓ la surveillance des pertes de charge des filtres ;
  - ✓ la détection incendie ;
- le système d'extinction automatique incendie ;
- l'éclairage de sécurité en particulier les cheminements d'évacuation (refuges, niches de sécurité, etc.).

2.2.4.3 Dispositions de prévention

La prévention du risque de perte de l'alimentation électrique repose sur une architecture de distribution permettant différents niveaux de fiabilité d'alimentation adaptés à la fonction assurée par les différents récepteurs.

A ce stade des études, la conception de l'alimentation des installations est basée sur ;

- une alimentation normale fournie par le réseau RTE et composée de deux voies d'alimentation indépendantes et redondées a minima jusqu'au niveau des postes de transformation 90 kV/20 kV (réseau normal) ;
- une alimentation de secours assurée par des groupes électrogènes (réseau normal secouru) ;
- des onduleurs capables de maintenir l'alimentation en permanence de certains récepteurs.

Les systèmes/équipements pour lesquels la perte de l'alimentation électrique peut conduire à des réponses inappropriées ne nécessitent pas obligatoirement de fiabiliser l'alimentation électrique. Des dispositions constructives sont mises en place afin de limiter les risques (par exemple, pour limiter le risque d'ouverture intempestive d'une porte de radioprotection ou d'un lâché de charge, un verrouillage mécanique est mis en place…).

La conception et le dimensionnement de la distribution électrique prennent en compte :

- la conformité aux normes en vigueur ;
- la mise en place de protections électriques des lignes d'alimentation et des équipements ;
- la maintenance des équipements ;

- la redondance et l'indépendance (physiquement et électriquement) des principaux équipements du réseau électrique (les transformateurs, les jeux de barre, les armoires électriques, les câbles d'alimentation, a minima lorsqu'ils sont placés sur le réseau secouru ;
- l'indépendance des voies d'alimentation redondées écartant ainsi les modes communs en cas d'agression ou de défaut électrique, au travers d'une séparation électrique et/ou physique.

En cas de perte de l'alimentation normale, l'alimentation de secours permet d'assurer la permanence de l'alimentation électrique pour les systèmes/équipements suivants :

- le système de ventilation, notamment pour les alvéoles de stockage MA-VL ;
- le système de surveillance, en particulier :
  - ✓ la surveillance en sortie d'émissaire ;
  - ✓ la surveillance de la concentration d'hydrogène ;
  - ✓ la surveillance des pertes de charge des filtres ;
- le système de détection et d'extinction automatique incendie ;
- l'éclairage de sécurité ;
- les principaux ponts roulants.

2.2.4.4 Dispositions de surveillance

La surveillance des défauts des différents réseaux électriques s'effectue à l'aide d'un système permettant :

- le monitoring des sources, des départs, des défauts d'isolement ;
- le contrôle des réseaux électriques ;
- la gestion des sources d'alimentation ;
- les informations des consommations ;
- les mesures des tensions ;
- la transmission des alarmes en temps réel vers la supervision ;
- la sauvegarde des alarmes ;
- le diagnostic ;
- la continuité de services.

2.2.4.5 Dispositions de limitation des conséquences

En cas de perte totale de l'alimentation électrique (normale et secourue) :

- les moyens de manutention ont des dispositions de conception qui permettent la mise à l'arrêt du procédé dans un état sûr, à savoir :
  - ✓ la mise en place de dispositifs à sécurité positive tels que les freins à manque de courant (MLL, navettes, chariots, transfert incliné) et les systèmes de levage irréversible (MLL, navette, chariot, pont/chariot stockeur) ;
  - ✓ les freins mis en place sur les différents équipements sont conçus pour écarter toute décélération supérieure à 1g ;
  - ✓ les équipements de levage assurent le maintien de la charge et disposent d'une fonction d'affalage manuel des charges ;
  - ✓ les ouvrants et hottes sont conçus pour écarter tout mouvement ou toute fermeture intempestive ;
- l'arrêt de la ventilation n'a pas d'impact sur le maintien en état sûr de l'installation. Dans cette situation :
  - ✓ le confinement des cellules et locaux reste assuré par un confinement statique ;
  - ✓ vis-à-vis de l'évacuation des gaz de radiolyse, le risque reste maîtrisé pendant un délai de 5 semaines (cf. § 2.1.5) ;
  - ✓ il n'y a pas d'impact sur la maîtrise du risque lié aux dégagements thermiques (cf. § 2.1.4).
  - ✓ la surveillance de l'installation est assurée (cf. § 2.2.4.2) car les systèmes de détection et d'alarme restent alimentés par des onduleurs le temps de rétablissement de l'alimentation électrique.

A ce stade des études, les dispositions retenues en cas de perte de l'alimentation électrique permettent d'exclure tout risque de perdre une fonction importante pour la protection.

2.2.5 Risques liés à la perte des fluides

2.2.5.1 Perte de l'air comprimé

La perte d'alimentation en air comprimé peut être due à une défaillance des compresseurs ou une agression des circuits d'alimentation (séisme notamment).

Au niveau de la façade d'accostage MA-VL

L'air comprimé sert au gonflage des joints qui assurent la continuité du confinement statique lorsque la hotte est accostée à la façade d'accostage MA-VL.

La perte de l'air comprimé au niveau de la façade d'accostage MA-VL se traduit par l'impossibilité :

- de gonfler les joints de la façade d'accostage MA-VL, c'est-à-dire de faire une étanchéité entre la hotte et la façade ou entre la porte de la façade et celle-ci ou encore entre la porte de la hotte et la porte de la façade ;
- d'actionner les motorisations pneumatiques de la hotte accostée à la façade d'accostage MA-VL, c'est-à-dire de verrouiller ou de déverrouiller la porte de la hotte.

En cas de perte d'alimentation en air au niveau de la façade d'accostage MA-VL, celle-ci est bloquée en position hotte accostée ou hotte non-accostée. Toutefois, il n'y a pas de perte de confinement.

Des dispositions sont prises pour rétablir la situation normale de fonctionnement :

- si une hotte est accostée, le déchargement de celle-ci et la mise en place du colis de stockage dans l'alvéole peuvent être réalisés avant intervention pour la remise en état de l'alimentation en air comprimé de la façade ;
- si la perte d'alimentation survient lors de l'accostage de la hotte, celle-ci peut être retirée de la façade afin de réaliser les opérations de maintenance corrective. Par ailleurs, le verrouillage et le déverrouillage de la hotte peuvent être réalisés manuellement.

Des capteurs de pression sont installés au niveau des piquages pour la façade d'accostage. Des contrôles périodiques de ces équipements sont à effectuer afin de prévenir le risque de défaillance lors de l'exécution du procédé.

Au niveau de l'alvéole HA

L'air comprimé sert au gonflage des élastomères au niveau du robot pousseur pour prendre appui sur l'alvéole HA.

La perte au niveau du robot pousseur se traduit par la perte d'adhérence des élastomères sur l'alvéole HA et donc à l'arrêt du fonctionnement du robot. Cette perte ne remet pas en cause la sûreté de l'installation et n'a pas d'impact sur les fonctions de sûreté.

En cas de perte d'alimentation en air comprimé au niveau du robot pousseur, le robot pousseur est extrait de l'alvéole. Le bouchon d'exploitation est alors remis en place par la hotte robot pousseur (cette action ne nécessitant pas l'utilisation d'air comprimé) sans intervention humaine à proximité de l'ouverture. Pendant ces opérations, le colis de stockage HA en cours de stockage reste en position dans l'alvéole. L'opération de stockage pourra reprendre lorsque les conditions normales d'exploitation seront rétablies.

Des capteurs de pression sont installés au niveau du compresseur pour le robot pousseur. Des contrôles périodiques de ces équipements sont à effectuer afin de prévenir le risque de défaillance lors de l'exécution du procédé.

2.2.5.2 Perte de l'approvisionnement en eau

L'utilité « réserve en eau incendie » est nécessaire pour la lutte contre l'incendie susceptible de se produire sur l'installation. Les réserves d'eau incendie sont constituées de plusieurs réservoirs d'eau (principal, de secours…). Ils peuvent être alimentés par deux sources (eau concessionnaires et eau recyclée).

Les moyens de lutte comprennent entres autres deux réseaux incendie qui sont interconnectés. Ils desservent les installations de surface de la zone descenderie et de la zone puits, les liaisons surface-fond et l'installation souterraine. La fourniture de la pression et du débit dans l'installation souterraine est assurée par gravité.

En cas de perte de l'alimentation en eau d'une réserve ou d'un réseau, les autres moyens d'alimentation, réserves et réseau permettent de maintenir la fonction.

2.2.6 Risques liés à la perte de la ventilation

2.2.6.1 Origine du risque

Le réseau de ventilation est composé de ventilateurs de soufflage et d'extraction, de gaines, de filtres dont le dernier niveau de filtration (DNF) et de clapets anti retours.

La perte de la ventilation ou la réduction de ses performances peut être consécutive à :

- des défaillances internes du réseau de ventilation, notamment la défaillance des équipements de soufflage et d'extraction ;
- des agressions externes ou internes pouvant conduire à la défaillance d'équipements ou la dégradation de leurs performances (par exemple, l'obstruction partielle des prises d'air, l'endommagement équipements du réseau).

La ventilation participe à l'accomplissement (de manière directe ou indirecte) de fonctions de sûreté de l'installation, notamment :

- le confinement dynamique de certains locaux en assurant une hiérarchie des pressions ;
- le conditionnement de l'atmosphère de manière à réguler la température par l'apport d'air frais et assurer le maintien des conditions ambiantes compatibles avec le bon fonctionnement des équipements requis au titre de la sûreté ;
- l'évacuation les gaz de radiolyse dans les alvéoles MA-VL.

La ventilation nucléaire dans l'installation souterraine assure également une fonction de confort pour le personnel.

2.2.6.2 Fonctions impactées par la perte de la ventilation

Les analyses des risques (cf. § 2.1.1) ont permis d'identifier les principales fonctions et systèmes/équipements impactés par une perte de ventilation.

<u>Conséquences de la perte de la ventilation vis-à-vis des risques de dispersion de substances radioactives</u>

En fonctionnement normal, aucune contamination n'est attendue dans tous les locaux/zones de Cigéo. Seul le domaine de fonctionnement de l'alvéole MA-VL prend en compte l'éventualité d'une contamination limitée. La ventilation nucléaire mise en place assure un confinement dynamique pour les situations de fonctionnement accidentelles (en cas de rupture du confinement des colis). Elle permet de limiter le risque de dispersion et d'assurer une épuration des locaux par collecte de substances radioactives mises en suspension.

En cas de perte de la ventilation en fonctionnement normal, un confinement statique assuré par les parois des locaux et les filtre THE du réseau de ventilation suffit à maintenir l'installation dans un état y compris dans les alvéoles de stockage MA-VL.

Conséquences de la perte de la ventilation vis-à-vis des risques liés à la thermique des colis

En fonctionnement normal, la ventilation n'a aucun rôle de sûreté vis-à-vis de l'évacuation de la puissance thermique dégagée par les colis (cf. § 2.1.4.3). Ainsi, la perte de la ventilation, au regard du risque lié à la thermique des colis, n'a pas de conséquences sur la sûreté tant pour l'installation de surface que pour l'installation souterraine. La ventilation dans l'installation souterraine, en particulier pour la zone HA, assure une fonction de confort pour le personnel (maintien d'une température de l'air ambiant compatible avec des conditions de travail).

Conséquences de la perte de la ventilation vis-à-vis de la radiolyse

L'analyse du risque lié à la radiolyse des déchets a identifié les délais d'atteinte d'une concentration de 3 % en H_2 (75% de la LIE) pour les locaux sensibles en cas perte de la ventilation (cf. §2.1.5.3) :

- 23 semaines pour la cellule de déchargement des ET-V (local dont le délai est minimal dans les installations de surface) ;
- 5 semaines pour les alvéoles de stockage MA-VL.

Compte tenu du délai d'atteinte d'une concentration de 3% en H_2 dans l'installation de surface, la perte de ventilation n'a pas de conséquences sur la sûreté de l'installation.

Pour les alvéoles de stockage MA-VL, en cas de perte de la ventilation, des dispositions seront être mises en place afin de rétablir la ventilation avant 5 semaines. Ce délai permet de conserver une marge par rapport au risque d'explosion lié à la radiolyse (atteint à une concentration de 4% en hydrogène).

2.2.6.3 Dispositions de prévention

De manière générale, les dispositions génériques suivantes sont appliquées à la conception et à l'exploitation du réseau de ventilation :

- respect des normes de conception des différents équipements de ventilation ;
- qualité de conception des équipements ;
- maintenance préventive des équipements de ventilation.

Les réseaux de ventilation de l'installation de surface et de l'installation souterraine sont distincts et indépendants. A noter que la zone travaux dispose également d'une ventilation indépendante.

Les architectures des réseaux de ventilation sont conçues en fonction des conséquences liées à la perte de la ventilation, notamment au travers des dispositions suivantes :

- la redondance et l'indépendance de certains équipements (extracteurs, filtres THE dont DNF) ;
- la redondance de l'alimentation électrique ;
- le dimensionnement au séisme et aux autres agressions externes en tant que de besoin ;
- la protection au feu de certains équipements du réseau de ventilation.

Par ailleurs, des dispositions constructives sont retenues pour assurer un bon fonctionnement du système de ventilation, notamment au regard des agressions externes :

- la protection de la prise d'air frais contre les conditions climatiques extrêmes ;
- l'implantation et l'orientation des admissions d'air de façon à se prémunir du risque d'incendie externe et des tornades / vents forts ;
- l'implantation des équipements de ventilation hors sol (élévation) et position haute des prises d'air neuf (par rapport au risque d'inondation).

2.2.6.4 Dispositions de surveillance

Les dispositions de surveillance mises en place permettent de contrôler le bon fonctionnement du système de ventilation et de suivre l'évolution des paramètres liés à la ventilation, notamment :

- surveillance de la prise d'air ;
- surveillance des cascades de dépression ;
- surveillance du débit d'air dans différents endroits de l'installation ;

- surveillance des positions des clapets coupe-feu et des clapets anti-retours ;
- détection d'arrêt ou de défaut des équipements.

2.2.6.5 Disposition de limitation des conséquences

En fonctionnement normal, la perte de la ventilation ne conduit pas à une remise en cause de la sûreté de l'installation. La maîtrise de la fonction confinement sera assurée par l'arrêt et la mise en situation sûre du procédé, des clapets permettent l'isolation des locaux et donc le maintien du confinement statique.

La présence sur site de ventilateurs mobiles de secours permet d'assurer la reconfiguration du système de ventilation dans un délai défini, en particulier pour les alvéoles MA-VL vis-à-vis du risque lié à la radiolyse. Ainsi, une perte prolongée de la ventilation des alvéoles MA-VL supérieure à 5 semaines est exclue (redondance et dimensionnement aux agressions internes et externes de la ventilation, dispositifs de surveillance, maintenance préventive et ventilateurs mobiles d'ultime secours).

Compte tenu des dispositions prises, en cas de perte de la ventilation, les fonctions de protection sont maîtrisées.

2.2.7 Risques liés à la perte de la surveillance

2.2.7.1 Origine du risque

La surveillance radiologique est assurée par différents équipements installés sur l'ensemble de l'installation permettant :

- d'une part de contrôler les niveaux d'irradiation et de contamination atmosphérique dans les locaux ; ces contrôles donnent des informations aux travailleurs et peuvent constituer des données d'asservissement pour l'accès à certains locaux (portes blindées) ;
- d'autre part de surveiller les rejets dans l'environnement au travers de différents prélèvements, notamment au niveau des émissaires ; ces contrôles peuvent être en temps réel (avec remontée au tableau de contrôle des rayonnements) ou différés avec examen périodique.

La surveillance radiologique jouant un rôle prépondérant dans la défense en profondeur de l'installation, sa perte pourrait constituer un risque :

- de dépassement des seuils de rayonnement (irradiation ou contamination), par manque d'informations pour les travailleurs en cas ;
- de perte du suivi des rejets atmosphériques.

La perte de la surveillance peut être causée par :

- une défaillance interne des équipements de surveillance radiologique ;
- une perte d'alimentation électrique ;
- une perte du contrôle commande des équipements ;
- une agression interne ou externe des équipements.

2.2.7.2 Dispositions de prévention

De manière générale, les dispositions de prévention associées aux risques liés à la perte de la surveillance sont :

- la redondance des principaux équipements de mesure et des réseaux permettant la remontée de l'information ;
- l'alimentation électrique des équipements par des onduleurs permettant une permanence d'alimentation en cas de perte d'alimentation électrique ;
- l'implantation des équipements sensibles dans des secteurs feu de l'installation.

2.2.7.3 Dispositions de surveillance

Un tableau de contrôle des rayonnements au poste de contrôle central (et lorsque nécessaire déporté dans les postes de contrôle locaux) permet la remontée de tous les signaux relatifs aux différents

équipements de surveillance, ainsi la perte d'un équipement est signalée immédiatement par sa mise en défaut.

Ces alarmes permettent d'enclencher les actions adéquates lors de l'identification d'un écart au fonctionnement normal.

Par ailleurs, en local, les balises de radioprotection sont munies de codes couleurs permettant d'identifier leur état de bon fonctionnement.

2.2.7.4 Dispositions de limitation des conséquences

Les limitations de conséquences relatives à la perte des fonctions de surveillance radiologique relèvent de la mise en place d'actions spécifiques :

- dès l'identification du non fonctionnement d'une balise de radioprotection, des actions d'évacuation du personnel et de consignation physique des locaux concernés sont mises en place avec arrêt du procédé ;
- en cas de perte de surveillance des rejets, le procédé est arrêté le temps de remise en service de la fonction.

2.2.8 Risques liés à la perte du contrôle commande

2.2.8.1 Origine du risque

De manière générale, le risque de perte du contrôle commande concerne la perte ou la défaillance du système d'information industriel de Cigéo décrit au chapitre 3.6 du Volume II qui constitue une architecture réseau permettant d'assurer notamment :

- les fonctions de contrôle commande du procédé nucléaire qui intègre les équipements de manutention des colis primaires et de stockage ;
- les fonctions des différents systèmes de courants faibles industriels intégrant notamment la radioprotection, la ventilation nucléaire, les systèmes de sécurité incendie et la gestion des matières nucléaires.

Les risques liés à la perte du contrôle commande sont la perte de la remontée d'information ou la perte du contrôle de certaines fonctions qui pourraient générer des risques pour la sûreté :

- soit par perte directe de la fonction assurée par l'équipement (par exemple la perte de la ventilation en cas de perte d'un équipement du contrôle commande de la ventilation comme un automate),
- soit par la réaction inadaptée d'un composant ou d'une application logicielle (par exemple l'ouverture intempestive ou inadéquate d'une porte blindée).

La perte du contrôle commande peut être liée :

- à une défaillance interne des équipements constituant du système d'information industriel (réseau, automates, serveurs, etc.) ;
- à une perte d'alimentation électrique ;
- à une agression interne ou externe de ces équipements.

2.2.8.2 Dispositions de prévention

De manière générale, les dispositions prises sur le système d'information industriel permettant d'éviter toute perte du contrôle commande sur le procédé nucléaire et plus généralement sur les différents systèmes de courant faibles industriels sont :

- l'utilisation d'un réseau de haute disponibilité et à forte résilience ;
- l'utilisation d'automate de sécurité pour les fonctions sensibles pour la sûreté de l'installation ;
- la redondance de certains constituants de l'infrastructure tels que :
  - ✓ les serveurs qui constituent des moyens communs aux différentes fonctions ;
  - ✓ les postes de commande avec l'implantation, dans certain cas, de postes de commande locaux ;

- ✓ les moyens de communication utilisant dans certains cas des technologies sans fil ;
- ✓ les automates pour les équipements dont le contrôle commande est sensible pour la sûreté de l'installation (ventilation nucléaire, transfert incliné, ...) ;

- la robustesse des équipements constituant l'infrastructure réseau à différentes agressions notamment la résistance au feu, l'étanchéité, la résistance aux niveaux de radiations locales pour des durées de vie adaptées à l'exploitation de Cigéo ;
- l'intégration de programmes d'essais et la qualification des fonctions liées au contrôle-commande, également lors de la mise en service progressive des différentes tranches de l'installation souterraine ;
- l'implantation de moyens spécifiques pour former les opérateurs à l'utilisation du système d'information industriel.

2.2.8.3 Dispositions de surveillance

Différentes alarmes au niveau des automates de contrôle des équipements et plus généralement à différents niveaux de l'infrastructure réseau permettent la remontée d'information lors de la perte d'un équipement du système d'information industriel.

Ces alarmes permettent d'enclencher les actions adéquates lors de l'identification d'un écart au fonctionnement normal.

2.2.8.4 Dispositions de limitation de conséquences

En cas de perte effective du contrôle commande, les dispositions mises en œuvre afin de limiter les conséquences, sont selon le type d'équipement :

- l'implantation d'une logique câblée permettant, pour les automates pilotant des équipements sensibles, de conserver les fonctions nécessaires à la mise à l'état sûr des équipements ;
- l'implantation de dispositifs mécaniques actifs ou passifs permettant la mise en sécurité lors de la perte du contrôle commande (freins à sécurité positive, verrouillages mécanique de certains palonniers, etc.).

2.2.9 Risques liés à une inondation interne

2.2.9.1 Origine du risque

Les risques d'inondation interne sont liés à la présence, dans le périmètre des installations nucléaires, de réseaux d'alimentation en eaux, de réseaux de collecte d'effluents liquides et des fluides hydrauliques contenus dans les équipements. Ce risque peut également provenir des effluents liquides issus des systèmes d'extinction incendie ainsi que des réservoirs et bassins du réseau d'extinction incendie.

Une défaillance ou une agression de ces réseaux ou équipements peut conduire à l'occurrence d'une fuite, d'un débordement ou d'une rupture de capacités pouvant induire une inondation interne qui peut rester localisée en cas de fuite ou d'épandage intervenant sur un réseau fermé (capacité limitée) ou être généralisée en cas d'agression intervenant sur un réseau ouvert (capacité non limitée) ou suite à une agression de grande ampleur (séisme…) pouvant impliquer simultanément plusieurs réseaux distincts.

Les principales sources identifiées à ce stade des études susceptibles d'engendrer une inondation interne sont :

- Les réseaux d'alimentation en eaux :
  - ✓ réseaux d'eau chaude chauffage, d'eau glacée et d'eau déminéralisée (installation de surface) ;
  - ✓ réseau d'eau incendie (installation souterraine[60]) ;
  - ✓ réseau de refroidissement (installation souterraine). ;
- Les réseaux de collecte des effluents liquides :
  - ✓ collecte des eaux d'exhaure (installation souterraine) ;
  - ✓ collecte des effluents potentiellement contaminés (installations de surface) ;
  - ✓ collecte des eaux d'extinction incendie (installations de surface et souterraine).

2.2.9.2 Dispositions de prévention

Les principales dispositions de prévention retenues à l'égard du risque d'inondation interne sont les suivantes :

- dimensionnement des réseaux à l'égard des caractéristiques physico-chimiques des fluides contenues (température, acidité, pression…) complété par un programme de contrôles périodiques et de maintenance préventive ;
- cheminement et/ou protection des réseaux permettant de limiter les risques d'agression mécanique.

2.2.9.3 Dispositions de surveillance

Les principales dispositions de surveillance retenues à l'égard du risque d'inondation interne sont les suivantes :

- des détecteurs de pression ou de débit sont installés sur les réseaux de fluides ;
- des sondes inondation sont placées au niveau des puisards ou des rétentions et des mesures de niveaux sont installées sur les cuves ;
- des rondes périodiques de surveillance par des opérateurs.

2.2.9.4 Dispositions de limitation des conséquences

Les principales dispositions de limitation des conséquences retenues à l'égard du risque d'inondation interne sont les suivantes :

- implantation de vannes de sectionnement des réseaux pilotables sur détection de variation brutale de pression ou de débit,
- placement des cuves dans des rétentions adaptées à leur volume,
- caniveaux servant à récupérer d'éventuels effluents avec puisards dimensionnés au volume maximale d'effluents pouvant fuités.

2.2.10 Risques liés à des émissions de substances dangereuses

Une émission de substances dangereuses, à savoir chimiques et/ou toxiques, au sein de l'INB serait susceptible de conduire à un endommagement d'équipements (corrosion) et/ou à des rejets toxiques à l'extérieur de l'INB.

À ce stade des études, la démarche d'analyse des risques d'émission de substances dangereuses n'a pas identifié de risque pouvant mettre en jeu la sûreté des installations. En effet, les sources identifiées au sein des installations nucléaires ne sont pas susceptibles de générer des émissions pouvant avoir un impact sur les cibles de Sûreté, ainsi que l'Homme ou l'environnement.

Le principe retenu à ce stade est qu'aucun produit chimique toxique, nocif ou corrosif ne sera présent dans l'environnement immédiat des colis de déchets (les opérations où sont mises en jeu ces produits étant réalisées en l'absence de tout colis de déchet).

[60] Pour l'installation de surface, le réseau d'eau incendie est composé de colonnes sèches à l'intérieur du bâtiment.

2.2.11 Risques liés à des émissions de projectiles et aux équipements sous pression

L'émission de projectiles peut être la conséquence d'une défaillance d'un élément tournant à grande vitesse, d'un élément sous pression ou d'une explosion.

2.2.11.1 Origine du risque

Les équipements présentant un risque d'émission de projectiles sont :

- les moteurs électriques et thermiques utilisés par exemple pour les ponts de manutention ;
- les machines-outils tournantes (type tourets….) équipés de protection matérielle ;
- les galets de guidage du câble du transfert incliné ;
- les ventilateurs.

Les équipements présentant un risque de défaillance d'un équipement sous pression sont :

- les centrales hydrauliques utilisées par exemple pour remonter vers la surface les liquides présents dans l'installation souterraine ;
- les extincteurs ;
- les accumulateurs des centrales des freins de sécurité pour le transfert incliné ;
- les amortisseurs des hottes ;
- les tuyauteries « haute pression » pour la distribution de l'air comprimé nécessaires au fonctionnement d'outils utilisés dans les ateliers mécaniques.

Au stade actuel de la conception, les locaux contenant des équipements dont la défaillance présente un risque potentiel d'émission de projectiles sont présentés dans le Tableau 2.2-.

Tableau 2.2-18 Localisation au niveau des installations de Cigéo des équipements sous pression ou des équipements pouvant induire un risque d'"émission de projectiles au stade actuel des études

Localisation	Equipements sous pression et/ou équipements dont la défaillance peut induire un risque d'émission de projectiles
Installation de surface	Eclatement d'extincteur.
	Local ventilateurs : émission de projectiles suite à une rupture de pale
	Atelier de maintenance : émission de projectiles suite à une défaillance sur une machine tournante (tourets, perceuses…).
	Local pompes : émission de projectiles suite à une défaillance d'équipement en mouvement au niveau d'une pompe.
Installation de transfert surface-fond des colis de déchets	- Eclatement d'extincteur, - Rupture de galet de guidage du câble du funiculaire, - Eclatement de système d'extinction embarqué sur les équipements de transfert, - Eclatement de circuit hydraulique mis en œuvre sur les systèmes de transfert, - Rupture de tuyauterie/canalisation sous pression au niveau de la descenderie, des recoupes ou des gares amont et ava de la descenderie colis.
Installation souterraine	Eclatement d'extincteur.
	Rupture d'une tuyauterie/canalisation sous pression au niveau des galeries de liaison et d'accès MA-VL et HA, des recoupes techniques ou des galeries de retour d'air.
	Local de stockage de l'air comprimé en ZLS : rupture d'un réservoir ou d'une bouteille d'air comprimé.

2.2.11.2 Dispositions de prévention

A ce stade, les dispositions de prévention présentées sont génériques. Ces dispositions évolueront lorsque les équipements et leur localisation seront définis de manière plus précise dans le cadre de

l'APD. Les dispositions concernent essentiellement l'application des normes en vigueur pour la conception et le dimensionnement des équipements.

2.2.11.3 Dispositions de surveillance

Les principales dispositions concernent la surveillance des paramètres de fonctionnement des équipements (par exemple, la puissance des ventilateurs) et l'inspection visuelle des équipements notamment lors des opérations de maintenance.

2.2.11.4 Dispositions de limitation des conséquences

Au stade actuel des études, les principales dispositions de protection vis-à-vis des risques d'émission de projectiles et de défaillance d'équipements sous pression sont génériques. Elles seront adaptées lorsque la conception des équipements et leur localisation seront définies plus précisément. Ces dispositions génériques concernent :

- l'éloignement par rapport aux colis, hottes et emballages de transport des éléments tournants tels que les ventilateurs ;
- la présence d'un rattrape galet au niveau des équipements du transfert incliné ;
- la présence de dispositifs d'anti-fouettement au niveau des tuyauteries sous pression présentant un risque pour le personnel ou les équipements de sûreté ;
- la mise en place de protection sur les parties tournantes d'équipements (moteur des ventilateurs…) pour éviter leur projection ;
- le port d'équipements de protection en cas d'intervention à proximité.

2.2.12 Risques liés au vieillissement[61]

2.2.12.1 Origine du risque

Le vieillissement est la transformation ou la modification que subit un ouvrage ou un équipement par le simple effet du temps ou par l'effet des conditions auxquelles il est soumis. C'est un phénomène normal et inéluctable, qui peut se traduire notamment par des dysfonctionnements ou défaillances de plus en plus fréquentes d'un matériel, voire une panne empêchant son fonctionnement.

Les moyens mis en œuvre pour maîtriser le vieillissement sont une combinaison de solutions technique et organisationnelle :

- dispositifs/équipements ou matériaux adaptés à l'usure ou à l'environnement ;
- opérations de maintenance / jouvence.

Le retour d'expérience montre qu'environ une cinquantaine d'accidents se sont produits depuis 1990 dans différents domaines industriels d'après le BARPI. Un avis technique du CSIN (33) propose une gestion du vieillissement des installations du cycle du combustible. Les principes de gestion de ce phénomène ainsi que les bonnes pratiques indiquées dans cet avis technique sont appliqués à Cigéo et présentés dans la section suivante.

2.2.12.2 Principes de gestion du vieillissement

Les grands principes mis en œuvre pour la gestion du vieillissement des équipements sont présentés dans cette section. Trois phases de vie sont distinguées.

<u>Lors de la conception</u>

La stratégie mise en place lors de la conception d'une nouvelle installation consiste à mettre en place un programme de gestion du vieillissement au moment où l'on identifie les structures, systèmes et composants (SSC) importants pour la sûreté ainsi que leurs rôles et performances exigés.

[61] La durée de l'exploitation de Cigéo étant d'ordre séculaire, le dimensionnement de certains équipements/structures prend en compte cette dimension temporelle importante. .

Dès la conception, l'altération des SSC due, en particulier, aux mécanismes de vieillissement physique doit être anticipée et leurs conséquences réduites, en distinguant notamment les spécificités associées aux installations de surface, aux ouvrages souterrains et aux zones accessibles ou non. Pour cela, les étapes suivantes sont mises en œuvre :

- appliquer une méthode rigoureuse et structurée afin de traiter les problèmes de vieillissement en tenant compte de toutes les informations disponibles ; à ce stade, le retour d'expérience pertinent d'installations et les données issues de programmes de recherche sont largement utilisés dans l'élaboration des concepts et la proposition des dispositions mises en œuvre ;
- identifier, évaluer et prendre en compte tous les mécanismes potentiels de vieillissement des équipements, actifs ou passifs ;
- veiller à utiliser des matériaux présentant une meilleure résistance aux effets physiques prévisibles du vieillissement (matériaux ayant une forte résistance à la fragilisation sous rayonnements, matériaux les moins sensibles à l'eau, à la température…) ;
- prévoir des marges de sûreté suffisantes dans la conception de façon à tenir compte des effets du vieillissement ;
- s'assurer que la conception et la disposition des équipements facilitent les opérations de décontamination, les essais périodiques, les inspections, la maintenance ou les remplacements afin que le principe ALARA puisse être respecté pendant les interventions du personnel et la production de déchets réduite au minimum ;
- réduire au strict minimum le nombre d'équipements qu'il n'est pas possible de soumettre à des contrôles et des essais périodiques ou d'entretenir ;
- s'assurer que la conception de l'installation respecte le principe de la défense en profondeur en définissant des barrières de sûreté capables d'atténuer les conséquences des événements prévus ;
- s'assurer que l'organisation de l'exploitant permet de documenter le programme de gestion du vieillissement.

Lors de la fabrication, la construction et la mise en service

Au cours de ces trois phases, la stratégie comprendra :

- la fourniture aux fabricants des équipements d'informations pertinentes sur les facteurs liés à la gestion du vieillissement et notamment les limites de fonctionnement et les conditions de service ;
- des inspections destinées à vérifier que les équipements fabriqués sont conformes aux caractéristiques de sûreté définies pendant la conception en fonction du vieillissement ;
- la mise en place d'une gestion de la documentation technique comprenant des enregistrements ayant trait à l'assurance de la qualité et des justifications de la sûreté ;
- les paramètres susceptibles d'influer sur la dégradation due au vieillissement doivent être identifiés au moment où l'installation est mise en service (par exemple, l'intensité des rayonnements ionisants) avec les critères d'acceptation correspondants, puis suivis sur toute la durée de vie de l'installation.

Pendant l'exploitation

La stratégie à suivre pendant l'exploitation repose sur la mise en œuvre d'un programme de gestion du vieillissement.

Cette stratégie de gestion du vieillissement se divise en trois catégories :

- une maintenance, de préférence préventive (ce qui permet d'éviter la défaillance de matériels) ou une procédure périodique de détection précoce des défaillances peuvent être mises en œuvre pour traiter le problème du vieillissement des équipements pouvant être remplacés facilement ;
- la mise en œuvre d'un programme de gestion du vieillissement (avec identification des caractéristiques limitant la durée de vie) pour les équipements non conçus pour être remplacés (exemple : le génie civil, caniveaux, équipements en alvéole) ;
- la mise en place de mesures pour s'assurer la disponibilité des pièces de rechange pour les équipements se périmant rapidement (exemple : le contrôle commande, petit équipement électrique et électronique).

Un programme d'essais périodiques et de maintenance des équipements sera établi et mis en œuvre conformément au dossier de sûreté (rapport de sûreté, limites et conditions de fonctionnement). Il conviendra d'adopter une démarche proactive de façon à privilégier la maintenance préventive plutôt que la maintenance corrective des équipements.

La gestion du vieillissement des contrôles-commandes inclut le vieillissement physique mais le principal problème est celui de l'obsolescence des matériels et logiciels. Quelques exemples de bonnes pratiques sont :

- identifier systématiquement la durée de vie utile et l'obsolescence prévue ;
- préparer un projet de modification pour le remplacement des équipements périmés ;
- se procurer des pièces de rechange pour la durée de vie de l'exploitation prévue ou trouver de nouveaux fournisseurs ;
- établir une documentation complète et précise en prévision de l'entretien et du remplacement des équipements ;
- veiller à la conformité avec les normes et règles ;
- envisager le cas échéant de modifier les équipements importants pour la protection.

La gestion du vieillissement des installations recouvre aussi des aspects non techniques comme :

- les facteurs organisationnels et humains (gestion des connaissances par la formation et le renouvellement du personnel),
- la collecte des données et l'archivage (gestion documentaire),
- l'évaluation des moyens de management du vieillissement ainsi que les moyens nécessaires (ressources humaines, moyens financiers, outils et équipements et ressources externes).

Ainsi, gérer le vieillissement d'une installation consiste à s'assurer que le temps n'a pas de conséquences sur le niveau de sûreté de l'installation pendant toute sa durée de vie. Cela exige de préserver les fonctions de sûreté en maîtrisant le vieillissement technique et de gérer les aspects humains et organisationnels.

2.2.12.3 Dispositions de prévention

Les exigences de conception doivent permettre de prévenir le risque de vieillissement des structures génie civil notamment des installations nucléaires de surface, des liaisons surfaces-fond et des ouvrages souterrains. Elles constituent la principale barrière pour prévenir les risques liés au vieillissement. Il s'agit de :

- préserver l'intégrité des ouvrages et des installations de transfert, notamment pour permettre le retrait des colis de stockage dans le cadre de la réversibilité,
- limiter la déformation et la détérioration des interfaces nécessaires à la remise en exploitation des ouvrages de stockage,
- préserver les jeux fonctionnels entre les ouvrages de stockage et les colis de stockage en vue des opérations de retrait.

Afin de prévenir le vieillissement prématuré de l'installation et de ses composants, les matériaux et leur protection sont spécifiquement choisis lors de la conception. Des matériaux résistants à la corrosion, des systèmes électriques robustes (pour éviter les défauts d'isolement et les courts circuits), des revêtements particuliers (peinture, …) sont privilégiés.

En complément, un programme de maintenance et de surveillance adapté aux équipements conçus sera défini sur la base des données capitalisées lors de la conception et consolidé pendant l'exploitation : taux de défaillance, durée de vie moyenne, mécanismes de dégradation prévisibles jusqu'à la défaillance, enjeux.

<u>Installation nucléaire de surface</u>

Compte-tenu de l'hypothèse actuelle de durée d'exploitation des installations nucléaires de surface, deux installations successives sont prévues en lien notamment avec la gestion du vieillissement : une installation dénommée EP1 (de durée de vie de l'ordre de 60/70 ans) et une autre EP2 (environ la

même durée de vie). Sur cette base, il n'est pas prévu de jouvence à 60 ans sur le génie civil de ces bâtiments.

Les INB étant soumises à une révision décennale, la première périodicité considérée des jouvences est de 10 ans. Des travaux de jouvences plus importantes, fonction de la durée de vie des principaux équipements, sont également considérés à ce stade :

- 20 ans pour la Jouvence du contrôle-commande et les équipements électriques et électroniques évolués ;
- 30 ans pour les équipements particulièrement sollicités mécaniquement ou thermiquement (poste de colisage HA, etc.) ;
- 40 ans pour les gros équipements comme les chariots, les ventilateurs, etc.

Le second œuvre susceptible de donner lieu à des travaux de jouvence concerne la peinture et les faux-plafonds tous les 10 ans, les menuiseries, serrurerie, étanchéité, revêtement de sol et signalétique tous les 20 ans.

Ouvrages souterrains et équipements accessibles

Pour l'installation nucléaire souterraine, la périodicité des jouvences est similaire à celle présentée ci-avant pour les installations de surface.

Les descenderies et galeries de l'installation souterraine sont ventilées en permanence ce qui permet de conserver des conditions qui ne dégradent pas le béton des ouvrages. Des opérations de maintenance préventive et de remplacement sont notamment prévues sur les équipements suivants : équipements mécaniques, portes, tuyauteries, matériels électrique et d'automatisme.

Ouvrages et équipements non accessibles

Les ouvrages et équipements non accessibles concernent les zones dans lesquelles une présence permanente et définitive de déchets radioactifs est prévue : essentiellement les alvéoles de stockage et les conteneurs de stockage, les locaux de l'installation de surface pouvant être libérés des colis pour des opérations de jouvence. Ces ouvrages et équipements non accessibles font et/ou feront l'objet d'une conception avec des marges de dimensionnement permettant d'atteindre un haut de degré de confiance quant à leur fiabilité sur la période d'exploitation envisagée.

Le vieillissement des rails de roulement et de leurs supports dans les alvéoles de stockage MA-VL est maîtrisé par le dimensionnement initial (choix du matériau, traitement anti-corrosion, surépaisseur en lien avec l'usure…) et le maintien de conditions d'ambiance favorable en alvéole (absence d'agressions externes).

Equipements du procédé nucléaire de transfert et mise en stockage des colis

Les équipements du procédé nucléaire de manutention et de transfert des colis font l'objet de maintenance préventive afin de maintenir leurs fonctions opérationnelles.

A titre d'exemple et sans exhaustivité à ce stade, des fréquences et des opérations de remplacement des équipements susceptibles d'être sujet à des effets du vieillissement sont présentées ci-dessous :

- la porte blindée des alvéoles MA-VL fait l'objet d'un contrôle une fois par an (poulies, câble, galets…) avec un remplacement des pièces selon l'usure ;
- les organes des façades d'accostages bénéficient d'un contrôle tous les ans et d'opérations de maintenance préventives selon l'usure ; les joints de la porte de la cellule sont changés tous les ans ;
- la maintenance préventive des tables tournantes, des voies de roulement et du transfert incliné varie selon les organes :
  - ✓ contrôle annuel de l'état général des rails et de l'ensemble du système de transfert incliné, de la structure des tables tournantes, de l'écartement des rails, de l'état des rails électriques, des câbles rayonnants et des platelages ;
  - ✓ contrôle annuel des couples de serrage des crapauds, de l'absence de fuite au niveau des moyens d'extinction, des motoréducteurs et des capacités hydrauliques ;

- ✓ contrôle du profil des rails et des soudures tous les deux ans ;
- ✓ contrôle de l'état visuel et des soudures des longrines et relevé topographique des rails tous les cinq ans.

2.2.12.4 Dispositions de surveillance

En complément des jouvences planifiées et des contrôles réalisés dans le cadre de la maintenance préventive (voir section précédente), des dispositions de surveillance sont mises en place pour détecter tout vieillissement précoce des matériaux et équipements nécessaires au bon fonctionnement des installations.

De plus, dès le début de l'exploitation, des fiches d'analyse du suivi du vieillissement des équipements seront établies en se basant sur la durée de vie de l'équipement fournie par le fabricant. L'observation de la croissance du taux de défaillance est un indicateur de vieillissement qui va alimenter ces fiches d'analyse et permettre d'optimiser la maintenance préventive. Un relevé systématique de l'usure doit également être réalisé sur les composants et organes essentiels à la sûreté et à la fiabilité.

Dans la suite de cette section sont présentés les contrôles spécifiques complémentaires prévus dans les installations et sur les équipements accessibles et non accessibles. Par ailleurs, les équipements assurant ou participant à des fonctions de sûreté font l'objet d'un suivi particulier au travers de la gestion des EIP et de dispositifs de surveillance présentés dans le dernier paragraphe.

Installation nucléaire de surface, ouvrages souterrains et équipements accessibles

La dégradation du béton des différents ouvrages (notamment des galeries souterraines) est détectée visuellement au cours des visites décennales.

Le câble du transfert incliné est suivi de manière périodique à l'aide de contrôles magnétoscopiques sur toute sa longueur.

Ouvrages et équipements non accessibles

La dégradation du béton des différents ouvrages non accessibles (essentiellement les alvéoles MA-VL) est détectée visuellement au cours des visites décennales, notamment à l'aide d'un équipement vidéo robotisé permettant le contrôle de l'intégrité du génie civil.

Concernant les alvéoles HA non accessible en présence d'un colis de stockage, l'évolution de l'intérieur du chemisage peut être aussi surveillée à l'aide d'un équipement vidéo robotisé.

En complément, le programme de surveillance mis en place au niveau des alvéoles des quartiers MA-VL et HA permet de détecter toute évolution telle que des déformations, de la corrosion… ; ces indicateurs capitalisant toutes les évolutions attendues ou non sont le reflet du vieillissement des composants.

La surveillance de l'évolution des colis de stockage pourra être réalisée soit visuellement à l'aide de moyens robotisés introduits dans les alvéoles de stockage ou après leur retrait de l'alvéole, soit au moyen de piquages dans le système de ventilation situés en aval de l'alvéole MA-VL, soit après collecte au niveau de la galerie d'accès de l'atmosphère de l'alvéole HA.

Concernant les équipements tels que les rails du pont stockeur et leurs supports situés dans l'alvéole MA-VL, ils sont contrôlés visuellement à l'aide d'un équipement vidéo robotisé au cours des visites décennales. Cette fréquence pourrait être réduite en fonction du résultat des contrôles annuels réalisés sur les équipements similaires situés dans la cellule de manutention (voir section précédente).

Détection des défaillances du confinement et des protections radiologiques

Le phénomène de vieillissement peut se traduire par une dégradation du confinement entre deux classes de confinement différentes, entraînant un risque de dissémination de substances radioactives. En ce qui concerne les façades d'accostage des hottes (en surface et au fond), il s'agirait d'une dégradation du confinement entre une zone C2 et une zone C1. Les zones les plus sensibles concernent celles en interface avec la cellule de déchargement des colis des emballages de transport qui est une classe de confinement C4. Ce risque est surveillé par la chaîne de surveillance radiologique mise en place, et notamment vis-à-vis de la dissémination, par la présence de balises aérosols.

Ce phénomène peut aussi conduire à une dégradation des protections radiologiques au niveau des façades d'accostage, des traversées des cellules et des hottes. Ce risque est surveillé par la chaîne de surveillance radiologique mise en place, et notamment pour la surveillance de l'exposition externe, par la présence de balises gamma.

2.2.12.5 Dispositions de limitation des conséquences

Le maintien de conditions d'ambiance favorables et avec des variations limitées permet de limiter le risque de vieillissement anticipé des ouvrages, équipements et composants. De plus, dès la conception, les équipements sensibles à l'influence des rayonnements ionisants sont protégés (éloignement, écran…) afin de limiter leurs effets sur ces équipements et réduire le risque de vieillissement prématuré.

Afin de limiter les effets du vieillissement, en complément des programmes de surveillance, de maintenance préventive et de jouvence, une organisation performante (personnel formé, procédures, pièces de rechange, …) sera mise en place afin d'assurer une intervention de qualité et dans les meilleurs délais pour réaliser les opérations de maintenance corrective à la suite d'une panne d'équipement, d'un défaut ou d'une anomalie.

La redondance dans le procédé (par exemple les chaînes cinématiques de levage, les deux voies d'alimentation électrique et le réseau secouru…), notamment pour les éléments importants pour la protection, est également un moyen efficace de se prémunir des conséquences de défaillances aléatoires du matériel dues au vieillissement.

2.3 Agressions externes

2.3.1 Risques liés aux chutes d'avions

2.3.1.1 Origine du risque

L'analyse de l'environnement aérien montre que le risque lié aux chutes d'avions est à prendre en compte. Conformément à la RFS-I.1.a, l'analyse est réalisée pour l'aviation générale, commerciale ou militaire. Les types d'avion retenus sont :

- le CESSNA 210 de demi-envergure 0,5 m, et le LEAR JET 23 de demi-envergure 5,5 m pour l'aviation générale ;
- l'AIRBUS A380 de demi-envergure 25 m pour l'aviation commerciale ;
- le RAFALE de demi-envergure 5,5 m pour l'aviation militaire.

Par ailleurs, compte tenu de la présence d'un héliport sur le site, une analyse du risque de chute d'un hélicoptère est également réalisée.

Les conséquences d'une chute d'avion sont essentiellement la destruction plus ou moins localisée du génie civil des installations de surface pouvant entraîner une perte potentielle du deuxième système de confinement ou affecter les fonctions de sûreté ainsi que le développement d'un incendie lié à la présence de kérosène dans les réservoirs.

Les cibles à retenir sont celles pouvant remettre en cause la fonction de sûreté « confiner les substances radioactives de manière à se prémunir contre le risque de dispersion de ces substances » (cf. RFS I.1.a), à savoir :

- les bâtiments contenant des substances radioactives ;
- les locaux et équipements assurant ou participant au maintien du confinement des substances radioactives.

Ainsi, les cibles retenues pour l'analyse sont :

- le bâtiment procédé de surface, contenant en particulier les colis de déchets ;
- le puits d'extraction d'air vicié de la zone exploitation, au regard de la disponibilité de la ventilation nucléaire des alvéoles MA-VL ;

- les réservoirs d'eau incendie de la zone descenderie et de la zone puits, au regard de la gestion du risque incendie.

L'application de la RFS I.1.a conduit à réaliser une évaluation de la probabilité de chute sur chacune des cibles identifiées pour chacune des familles d'aviation et de comparer les résultats aux objectifs définis dans la RFSI.1.a à savoir :

« *L'objectif retenu est que la probabilité globale qu'un atelier puisse être à l'origine de rejets inacceptables ne dépasse pas 10^{-6} par an.*

Il convient de considérer qu'une famille de sources d'agressions provenant d'une des trois familles d'avions (…) doit être prise en compte dans le dimensionnement de l'atelier si la probabilité qu'elle puisse conduire à des rejets inacceptables est supérieure à 10^{-7} par an. »

Les résultats des calculs de probabilité de chute d'avions sont présentés dans le Tableau 2.3- ci-après.

Tableau 2.3-1 Probabilités de chute d'avion par famille sur les installations de surface de Cigéo

Probabilité de chute (par an)	Bâtiment procédé des installations de surface	Puits extraction air vicié de la zone exploitation	Réservoir d'eau incendie zone descenderie	Réservoir d'eau incendie zone puits
Aviation générale	8,5E-06	1E-07	2,5E-07	9E-08
Aviation commerciale	6E-08	5E-09	3E-09	3E-09
Aviation militaire	1,5E-06	9E-08	5E-08	5E-08
Total 3 familles	**1E-05**	**2E-07**	**3E-07**	**1,5E-07**

Concernant le risque de chute d'hélicoptère sur les cibles identifiées, la démarche retenue prend en compte :

- de manière enveloppe, un temps de survol maximum pour chacune des cibles de 10 secondes à chaque trajet ;
- un trajet par mois (donc 24 décollages et atterrissages par an) ;
- un coefficient de sécurité de 0,1 du fait de la réactivité du pilote à diriger l'hélicoptère accidenté en zone hors risque.

Ainsi, la probabilité enveloppe de chute par an est présentée dans le Tableau 2.3- ci-après.

Tableau 2.3-2 Probabilité enveloppe de chute par an pour l'hélicoptère pour chacune des cibles

Probabilité de chute (par heure de vol)	Temps de survol (en h)	Nombre de trajet par an par héliport	Coefficient de sécurité	**Probabilité de chute par an**
3,27E-05	2,78E-03	2,4E+01	1,00E-01	**2E-07**

Au regard des évaluations :

- les objectifs probabilistes de la RFS-I.1.a sont respectés pour l'aviation commerciale pour l'ensemble des cibles, aucune disposition n'est donc à retenir vis-à-vis de ce type d'aviation ;
- pour l'aviation générale, les objectifs probabilistes sont respectés pour le réservoir d'eau incendie de la zone puits. Par contre, les probabilités obtenues montrent que le risque ne peut pas être exclu pour le bâtiment procédé des installations de surface, le puits d'extraction d'air vicié de la zone exploitation et le réservoir d'eau incendie de la zone descenderie. Des dispositions sont retenues pour ces cibles vis-à-vis de ce type d'aviation ;
- pour l'aviation militaire, les probabilités obtenues montrent que le risque ne peut pas être exclu pour le bâtiment procédé uniquement. Pour ce bâtiment des dispositions sont donc retenues vis-à-vis de ce type d'aviation. Pour les autres cibles, aucune disposition n'est donc à retenir ;
- au vu des objectifs probabilistes de la RFS-I.1.a, le dimensionnement à la chute d'un hélicoptère de l'ensemble des cibles est à prendre en compte. Néanmoins, le dimensionnement prévu pour l'aviation générale permet de couvrir les conséquences éventuelles d'une chute d'hélicoptère en termes de sûreté.

Ainsi, des dispositions sont prévues en termes de conception pour :

- le bâtiment procédé des installations nucléaires de surface vis-à-vis d'une chute d'un avion militaire ;
- le puits d'extraction d'air vicié de la zone exploitation (VVE) vis-à-vis d'une chute d'un avion de l'aviation générale ;
- le réservoir d'eau incendie de la zone descenderie vis-à-vis d'une chute d'un avion de l'aviation générale ;
- par ailleurs, des dispositions de conception sont prévues sur l'installation par mesure de protection physique vis-à-vis d'agressions faisant intervenir un avion commercial.

2.3.1.2 Dispositions retenues

Pour le bâtiment procédé des installations nucléaires de surface, les dispositions suivantes sont retenues :

- le dimensionnement à l'aviation militaire (Type Rafale) des voiles et dalles béton extérieurs ;
- la mise en place d'un merlonnage et d'une couverture (pour une architecture enterrée des installations, par mesure de protection physique) ;
- l'interdiction d'entreposage des emballages de transport, des colis primaires et des colis de stockage en périphérie du bâtiment procédé ;
- l'existence d'un niveau supplémentaire (appelé « espace de confinement ») au-dessus des secteurs « Contrôle C5 » et « Déchargement emballages » ;
- la présence de locaux au-dessus des locaux procédés assurant un confinement supplémentaire en cas de chute d'avion ;
- l'interdiction d'ancrage des EIP sur la dalle supérieure et les voiles extérieurs du bâtiment.

Pour le puits d'extraction d'air vicié, les dispositions suivantes sont retenues :

- le dimensionnement des voiles et dalles béton à la chute d'avion de type Cessna et/ou Learjet (aviation générale) ;
- la mise à disposition de ventilateurs mobiles en surface pour une reconfiguration « d'urgence » de la ventilation d'extraction des alvéoles MA-VL et des débits associés.

En cas de chute d'un avion militaire sur l'installation de surface, la maîtrise du non écoulement de kérosène, via les fissures traversant créées potentiellement par l'impact est assurée par le dimensionnement mécanique des structures du génie civil garantissant l'absence de phénomène de tunnelage. En APD, une attention particulière sera portée au niveau des joints de dilatation dans la zone procédés.

Concernant les réservoirs d'eau incendie de la zone descenderie, les trois réservoirs envisagés, assurant chacun une redondance fonctionnelle, sont éloignés et non alignés afin de garantir l'intégrité d'au moins un réservoir en cas de chute d'avion.

2.3.2 Risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication

2.3.2.1 Origine du risque

L'identification et l'évaluation des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication sont réalisées conformément aux recommandations de la Règle Fondamentale de Sûreté I1.b.

Les installations industrielles et voies de communication qui peuvent présenter des risques pour l'INB sont :

- les installations à proximité des sites ;
- les réseaux fluides ou électriques ;
- les voies de communication terrestre, ferroviaires ou navigable.

Au regard de la description des activités aux alentours du site (voir volume II, chapitre 2.7) et de la très faible industrialisation de la région, les sources de danger présentant des risques pour l'INB sont limitées :

- Les ICPE :
  - ✓ la plateforme Syndièse (qui est une ICPE soumise à déclaration pour la production de biocarburant) est située au Nord-Ouest de Saudron à environ 2 km de la zone descenderie et 4,5 km de la zone puits ;
  - ✓ les autres ICPE se situent à plus de 25 kilomètres ;
- Les routes départementales, situées à plus de 500 m des installations nucléaires :
  - ✓ D960 (reliant les communes de Saudron et de Mandres-en-Barois) traverse actuellement la zone descenderie. Sa déviation, au nord du site de la zone descenderie est prévue ;
  - ✓ D175, à l'ouest de la zone Descenderie (reliant les communes de Saudron et de Gillaumé).

Le choix du site d'implantation du projet Syndièse a été réalisé en connaissance du site d'implantation potentiel du projet Cigéo. La distance de 2 km est suffisante pour écarter tout impact significatif d'un accident sur Syndièse par rapport aux installations de Cigéo.

2.3.2.2 Evaluation des risques et dispositions retenues

Concernant les voies de communication, les risques identifiés à ce stade sont essentiellement liés à la circulation sur les deux axes cités précédemment (routes départementales D960 et D175) de camions citernes pouvant contenir des produits inflammables (GPL, essences…). Ces axes se situant à proximité de Saudron, seules les installations de la zone descenderie peuvent être impactées. Le potentiel de danger retenu est un camion de GPL de capacité 20 tonnes.

Les deux scénarios d'accident retenus sont les suivants :

- un accident mettant en jeu un camion-citerne contenant du GPL, pouvant conduire au BLEVE du camion-citerne ;
- une fuite sur un camion-citerne de GPL entrainant la formation d'un nuage de gaz inflammable puis son inflammation (UVCE).

A ce stade de la conception, les cibles à protéger des effets de tels accidents sont les voiles extérieurs des bâtiments situés sur les zones descenderies et puits qui abritent des éléments importants pour la protection.

<u>Scénario d'accident avec BLEVE d'un camion-citerne</u>

La quantification des effets du BLEVE a été réalisée en se référant à la circulaire du 10 mai 2010 (34) récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques

(PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 (35) et l'arrêté du 29 septembre 2005 (24) relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation et elle est présentée dans les tableaux suivants.

Tableau 2.3-3 Distance des effets thermiques du BLEVE

Flux thermique	600 $(kW/m^2)^{4/3}.s$ 3 kW/m^2 (effets irréversibles sur l'homme)	1 000 $(kW/m^2)^{4/3}.s$ 5 kW/m^2 (premiers effets létaux, premiers impacts significatifs sur les structures, seuil de destruction de vitres)	1 800 $(kW/m^2)^{4/3}.s$ 8 kW/m^2 (effets létaux significatifs, apparition de dégâts graves sur les structures)
Distance	**210 m**	**170 m**	**120 m**

Tableau 2.3-4 Distance des effets de surpression du BLEVE

Surpression	300 mbar (Dégâts très graves sur les structures)	200 mbar (Seuil des effets dominos) (Effets létaux significatifs sur l'homme)	140 mbar (Dégâts graves sur les structures) (Premiers effets létaux sur l'homme)	50 mbar (Dégâts légers sur les structures) (Effets irréversibles sur l'homme)	20 mbar (Seuil de destruction significative des vitres)
Distance	**35 m**	**45 m**	**65 m**	**130 m**	**260 m**

Par rapport aux cibles de sûreté (barrières de confinement principalement) à protéger des effets d'un tel accident, le seuil de 5 kW/m^2 (ou 1000 $(kW/m^2)4/3.s$) correspondant à des premiers dégâts sur les structures et le seuil de 50 mbar correspondant à des dégâts légers sur les structures sont retenus.

Les distances d'effet évaluées sont bien inférieures aux distances de 500 m entre les axes routiers considérés et les cibles (installations de surface de Cigéo).

Scénario de fuite sur un camion-citerne de GPL entrainant la formation d'un nuage de gaz inflammable et son inflammation (UVCE)

Le cas d'une fuite sur un camion-citerne de GPL entrainant la formation d'un nuage de gaz inflammable (propane, cas majorant) puis son inflammation a été considéré.

Les hypothèses considérées sont les suivantes :

- camion de GPL de 20 tonnes (volume de la citerne : 47 m3 avec un taux de remplissage de 85 %) ;
- fuite résultant de la rupture d'un piquage (diamètre 80 mm) ;
- hauteur de rejet considérée à 1 m de hauteur ;
- pression du propane égale à sa pression de vapeur saturante, à une température de 15°C (température ambiante).

La quantification des effets de l'UVCE sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 2.3-5 Distance des effets thermiques de l'UVCE

Flux thermique	600 $(kW/m^2)^{4/3}$.s ou 3 kW/m^2 (effets irréversibles sur l'homme)	1 000 $(kW/m^2)^{4/3}$.s ou 5 kW/m^2 (premiers effets létaux, premiers impacts significatifs sur les structures, seuil de destruction de vitres)
Distance	**225 m**	**205 m**

Le scénario de dispersion du nuage et d'explosion a été modélisé avec le logiciel Phast (version 7.0), les résultats étant présentés dans le Tableau 2.3-.

Tableau 2.3-6 Distance des effets de surpression de l'UVCE

Conditions météorologiques (vitesse du vent et stabilité atmosphérique)	Conditions 3F (nuit) 3 m/s Très stable	Conditions 5D (journée) 6 m/s neutre
Distance maximale à laquelle le seuil de surpression de 20 mbar (bris de vitres) pourrait être dépassé (m)	**450 m**	**370 m**
Distance maximale à laquelle le seuil de surpression de 50 mbar pourrait être dépassé (m)	**300 m**	**240 m**

Ces distances d'effets sont inférieures aux distances entre les axes routiers considérés et les cibles (installations de surface de Cigéo). Aucun effet de surpression ne peut atteindre les installations.

Les résultats de l'analyse de ces scénarios d'accidents routiers permettent de conclure à l'absence d'impact des accidents routiers sur les installations de Cigéo. Aucune disposition spécifique n'est retenue.

2.3.3 Risques liés au séisme

2.3.3.1 Présentation du risque

Outre la détérioration des bâtiments et ouvrages, le séisme peut être la cause de la dégradation ou de la perte d'équipements qui participent à la réalisation de Fonctions de Sûreté, soit par destruction directe de ces équipements soit par des agressions induites (création de projectiles, perte d'alimentation électrique, chute de charge, perte du refroidissement, incendie…).

Ainsi, un séisme est susceptible d'entraîner :

- la rupture de barrières de confinement, pouvant conduire à la dispersion de substances radioactives ;
- la rupture de protection radiologique pouvant conduire à l'exposition du personnel ou de l'environnement ;
- le non-maintien de conditions sous-critiques, notamment par la déformation d'équipements sûrs par la géométrie ;
- la mauvaise évacuation de la puissance thermique dans les locaux abritant des sources fortement exothermiques (zones tampon de CP, de CS et de hottes, emballage de transport) ;
- la mauvaise évacuation des gaz de radiolyse dans les locaux abritant des CP ou des CS MA-VL pouvant conduire à une explosion.

2.3.3.2 Méthode de définition des besoins de dimensionnement

La prise en compte du séisme conduit à définir des exigences de dimensionnement sismique pour certains composants des installations de manière à ce que les conséquences pour l'environnement soient les plus faibles possibles.

Les calculs de conception des matériels et systèmes des installations prennent en compte un Séisme Majoré de Sécurité (SMS) défini comme la sollicitation sismique conventionnelle extrême propre au site d'implantation (cf. §2.3.5 du volume II), voire le Séisme Maximal de Physiquement Possible (SMPP) pour les installations participant à la sûreté après fermeture (cf. §2.3.5 du volume II).

Seront donc dimensionnés au séisme, les composants dont la défaillance en cas de SMS pourrait entraîner un impact significatif sur les personnes et l'environnement, c'est-à-dire ceux :

- dont la défaillance ou la chute pourraient entraîner des conséquences inacceptables pour la sûreté (perte des Fonctions de Sûreté (FS)) ;
- qui, par leur détérioration ou leur chute, pourraient entraîner la dégradation d'équipements qui participent à l'accomplissement d'une Fonction de Sûreté (FS).

Suivant la fonction à réaliser après séisme, les critères de dimensionnement au SMS de ces composants portent sur :

- l'étanchéité ;
- La résistance du composant ;
- Le fonctionnement du composant.

Ces critères se déclinent en exigences à retenir pour les composants vis-à-vis du comportement au séisme :

- la stabilité : le composant ne doit pas devenir projectile sur les cibles dont l'intégrité et/ou la tenue fonctionnelle pendant et/ou après séisme sont requises.
- l'intégrité : le composant doit conserver une fonction passive :
  - ✓ conservation de la localisation ;
  - ✓ conservation de la géométrie ;
  - ✓ conservation de l'étanchéité ;
  - ✓ conservation du degré coupe-feu ;
  - ✓ maintien de la charge manutentionnée.

La tenue fonctionnelle : le composant doit conserver une fonction active :

- ✓ après séisme ;
- ✓ pendant et après séisme.

La stabilité et l'intégrité d'un composant consistent à assurer le bon dimensionnement du supportage et de ses ancrages et le non dépassement des contraintes admissibles au niveau de sa structure.

La tenue fonctionnelle d'un composant consiste à assurer son fonctionnement correct ou sa disponibilité lorsqu'il est soumis aux contraintes vibratoires extrêmes engendrées par le séisme. Cela dépend du niveau d'exigence requis après séisme (redémarrage du procédé ou non par exemple).

Les composants participant à des fonctions de sûreté, dont la fonctionnalité est requise pendant et après séisme, sont systématiquement qualifiés au séisme. La qualification apporte la preuve de la tenue des équipements dans des conditions identifiées ou normées.

Dans le cas particulier des éléments du génie civil, les exigences de sûreté se traduisent par les critères sismiques suivants :

- la structure concernée assure une fonction de supportage et de protection d'un composant dimensionné au SMS. Elle doit rester stable sous séisme.
- la structure ne crée pas d'interaction susceptible de menacer l'intégrité des ouvrages qui doivent rester stables sous séisme (exemple d'un bâtiment situé à proximité d'un bâtiment dimensionné au SMS.

2.3.3.3 Dispositions retenues

Les dispositions envisageables vis-à-vis des fonctions de sûreté sont les suivantes :

- vis-à-vis des risques de dispersion de substances radioactives :
  - ✓ dimensionnement au SMS des locaux et des façades/parois d'accostage (y compris lors de l'accostage des hottes et des emballages de transport) assurant une fonction de confinement ;
  - ✓ dimensionnement au SMS de la structure porteuse des hottes de transfert MA-VL ;
  - ✓ maintien d'un niveau d'extraction en cas de séisme de niveau SMS de la ventilation nucléaire ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des dispositifs de surveillance de la contamination atmosphérique de certains locaux et des rejets à l'émissaire pour permettre leur bon fonctionnement après séisme.
- vis-à-vis des risques d'exposition externe :
  - ✓ dimensionnement au SMS des équipements (parois, hublots, façades d'accostage, traversées, portes…) assurant une fonction de protection radiologique ;
- vis-à-vis des risques liés aux dégagements de gaz de radiolyse :
  - ✓ maintien d'un certain niveau d'extraction en cas de séisme de niveau SMS de la zone MA-VL et rétablissement de l'extraction dans un délai compatible avec le délai de formation d'une atmosphère explosive ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des dispositions permettant de rétablir la surveillance de la concentration en hydrogène de l'alvéole MA-VL après séisme ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des procédés et du génie civil pour permettre un délai d'intervention après séisme compatible avec le délai de formation d'une atmosphère explosive (évacuation possible de la hotte ou mise en œuvre du balayage de son atmosphère)..

Les dispositions retenues vis-à-vis des fonctions supports sont les suivantes :

- vis-à-vis des risques liés à la perte de la fourniture en énergie :
  - ✓ dimensionnement au SMS des réseaux d'alimentation électrique devant assurer un fonctionnement post sismique (câbles électriques, équipements électriques tels que tablettes, armoires, baies électroniques…) ;
  - ✓ dimensionnement au SMS de la centrale de production de l'alimentation secourue via les groupes électrogènes ;
- Vis-à-vis des risques liés à la perte de la surveillance :
  - ✓ dimensionnement au SMS de certains équipements de surveillance des fonctions de protection dans les installations ;
- Vis-à-vis des risques liés à la perte du contrôle commande :
  - ✓ dimensionnement au SMS du contrôle commande des équipements dont le fonctionnement doit être assuré pendant et/ou après séisme.

Les dispositions retenues vis-à-vis des fonctions de protection contre les agressions sont les suivantes :

- vis-à-vis des risques liés à un incendie :
  - ✓ dimensionnement au SMS des systèmes de détection incendie pour assurer leur fonctionnement pendant et après séisme ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des systèmes d'extinction fixes des cellules procédés et des cellules de manutention pour assurer leur fonctionnement pendant et après séisme ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des clapets coupe-feu des locaux possédant un inventaire radiologique permettant leur fermeture après séisme ;

- ✓ dimensionnement au SMS des parois, portes et traversées assurant un compartimentage ou une sectorisation incendie (secteur de feu, chemin d'évacuation ou accès des secours), avec fonctionnement des portes après séisme ;
- ✓ dimensionnement au SMS des systèmes de ventilation (ventilateurs, gaines, filtres) permettant après séisme l'extraction des fumées des secteurs de feu, des secteurs de confinement et des zones compartimentées ;

- vis-à-vis des risques d'inondation :
  - ✓ dimensionnement au SMS du réseau d'eau incendie de l'installation de surface, et du réseau d'eau incendie des liaisons surface/fond et de l'installation souterraine ainsi que des réseaux de collecte des eaux d'extinction incendie ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des cuves ou des rétentions associées aux réseaux de collecte des effluents potentiellement contaminés ;
  - ✓ dimensionnement au SMS du réseau et des capacités de collecte des eaux d'exhaure de la zone d'exploitation souterraine ;
- vis-à-vis des risques liés aux procédés de réception des colis, de conditionnement, de transfert, d'accostage et de mise en stockage :
  - ✓ dimensionnement au SMS des équipements susceptibles de devenir projectile et d'endommager des cibles de sûreté ;
  - ✓ dimensionnement au SMS des lorries, ponts, portiques, tables élévatrice, tournante et d'accostage, télémanipulateurs, machine à Levage Limité (MLL), chariot de transfert, navette, robots pousseur et tracteur, mobile du transfert incliné afin maintenir la charge (colis, hotte) manutentionnée ou transférée;
  - ✓ dimensionnement au SMS des voies de roulement pour conserver leur géométrie ;
  - ✓ dimensionnement au SMS pour conserver le fonctionnement après séisme :
    - des équipements de transfert des CP/CS (chariot, navette, transfert incliné…) ;
    - des chariots et ponts stockeur, de la table élévatrice et de transfert situés au niveau de l'alvéole MA-VL ;
- Vis-à-vis des risques liés à la coactivité :
  - ✓ dimensionnement au SMS des sas de séparation entre la zone travaux et la zone exploitation.

Les autres dispositions constructives retenues sont les suivantes :

- vis-à-vis des éléments du Génie Civil :
  - ✓ dimensionnement à minima au SMS des bâtiments EP1, têtes de descenderie et tête des puits de la zone exploitation, des descenderies, des puits et de la ZSL exploitation, des galeries de liaison, des galeries d'accès, des galeries de retour d'air et des recoupes, ainsi que des alvéoles ;
  - ✓ dimensionnement au SMPP des ouvrages souterrains (y compris liaison surface-fond) assurant des fonctions de protection pour la phase après-fermeture ;
- vis-à-vis des piles de colis de stockage :
  - ✓ dimensionnement des colis pour que leur empilement reste stable lors d'un séisme de niveau SMS (absence de chute d'un colis, chocs entre colis ne remettant pas en cause leurs fonctions, limitation du déplacement des colis) ;
  - ✓ dimensionnement de l'empilement des colis et des alvéoles pour que les mouvements des piles de colis sous séisme (SMS) n'endommagent pas les murs de radioprotection de la cellule de manutention.

Au regard des dispositions retenues, aucune conséquence sur les fonctions de sûreté de l'installation n'est à retenir suite à un séisme de niveau SMS. Une situation de dimensionnement du PUI consistant à vérifier la robustesse de l'installation pour un niveau de séisme légèrement supérieur au SMS est identifiée et sera étudiée en APD.

2.3.4 Risque d'inondation externe

2.3.4.1 Présentation du risque

Les risques d'inondation externe pour les installations nucléaires de surface sont liés à la présence d'eau (pluies, crues, tempêtes, rupture de tuyauteries extérieures…) autour de l'INB. La présence de cette eau et les agressions aux installations nucléaires qu'elle est potentiellement susceptible de conduire à des risques de dispersion de substances radioactives dans l'installation et dans l'environnement (l'eau servant de vecteur de transfert), des risques de perte d'alimentation électrique, de perte des fluides et utilités (noyage des équipements), des risques d'incendie induit par l'occurrence de court-circuit suite à la projection ou à l'écoulement d'eau sur un équipement électrique.

Les risques d'inondation externe pour l'installation souterraine sont liés à des entrées d'eau dans les descenderies et les puits à partir des installations de surface, d'infiltrations non prévues ou dépassant les hypothèses de dimensionnement dans les liaisons surface-fond provenant du sous-sol, notamment lors du passage dans les principaux terrains aquifères ainsi qu'à des infiltrations au niveau des galeries souterraines.

La prise en compte de ces risques pour le dimensionnement des installations permet d'assurer la maîtrise des risques induits par les conditions climatiques que sont les fortes pluies, l'écoulement de bassins versants, la remontée de nappe phréatique et le débordement de rivières. Le risque d'inondation peut également être induit par la présence de bassins, de canalisations ou de réservoirs à proximité des installations nucléaires dont la défaillance ou l'agression peut conduire à libérer de grandes quantités d'eau qui pourraient venir agresser les ouvrages ou équipements importants des installations.

2.3.4.2 Exigences de sûreté

Les composants et équipements qui assurent des fonctions de sûreté dans les installations de surface de Cigéo sont dimensionnés contre les inondations d'origine externe conformément à la démarche et aux recommandations présentées dans le Guide ASN n° 13 relatif à la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes.

2.3.4.3 Installations de surface

Situations de référence pour le risque inondation

Conformément au guide de l'ASN, les situations de référence à prendre en compte pour analyser le risque inondation (SRI) sur le site de Cigéo sont les suivantes :

- SRI « pluies locales »,
- SRI « crue sur petit bassin versant »,
- SRI « remontée de nappes phréatiques »,
- SRI « dégradation ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements »,
- SRI « intumescence »,
- SRI « pluies locales »

La gestion des effluents (dont les eaux pluviales) au niveau des installations de surface est décrite au Volume II.

Conformément aux exigences du guide de l'ASN, la définition du niveau d'aléa pour les pluies de référence est définie par la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % des pluies centennales calculées à partir des données d'une station météorologique représentative des conditions du site.

Les principales dispositions retenues à l'égard de la SRI « pluies locales » sont les suivantes :

- les réseaux d'évacuation des eaux pluviales sont dimensionnés afin d'éviter une saturation des réseaux qui pourraient conduire à une entrée d'eau dans les bâtiments contenant des équipements importants pour la protection. De plus, l'installation devra faire face à un scénario de ruissellement de surface en considérant indisponibles les accès au réseau local d'évacuation des eaux pluviales.

Les réseaux d'évacuations d'eaux pluviales feront l'objet d'un suivi périodique afin de s'assurer de l'absence d'obstruction ;

- les dispositifs d'évacuation d'eau de pluie en provenance des toitures cheminent à l'extérieur des bâtiments ;
- les ouvertures des locaux périphériques des installations nucléaires de surface donnant sur l'extérieur sont protégées contre les entrées d'eau et les intempéries. Les accès aux bâtiments disposent par ailleurs de caniveaux et de seuils pour prévenir les intrusions d'eau dans les installations.

SRI « crue sur petit bassin versant »

Le réseau hydrographique autour du site de Cigéo (zone descenderies et zones puits) est au Volume II.

La principale zone concernée par le risque inondation en Meuse est la vallée de l'Ornain entre Abainville et Menaucourt. En complément, les observations ont montré des zones inondées correspondant à une partie de la vallée de l'Ormançon en amont de Mandres en Barrois, une grande partie de la vallée de l'Orge et une partie de la vallée de la Saulx, en amont d'Ecurey.

L'altimétrie du cours d'eau le plus proche (L'Orge) de la zone descenderie des installations de surface est d'environ 325 m NGF pour une implantation de la plateforme du bâtiment EP1 à 358 m NGF (face supérieure du radier). Concernant la zone puits, l'altimétrie du cours d'eau le plus proche (L'Ormançon) est d'environ 330 m NGF pour une implantation des émergences à 365 m NGF.

L'altitude d'implantation des installations tant du côté descenderies que du côté puits permet d'exclure le risque d'inondation externe du fait d'une crue des cours d'eau situés à proximité.

SRI « remontées de nappes phréatiques »

Le présent paragraphe traite du risque de remontée de nappes phréatiques au niveau du bâtiment EP1 des installations de surface. Le risque d'inondation au niveau des descenderies et des puits est traité dans la SRI « infiltrations provenant des aquifères » pour l'installation souterraine (§ 2.3.4.4)

Des points de mesures du niveau des eaux sont disponibles à proximité de la zone descenderies et de la zone puits. Les données disponibles sont issues de forages effectuées entre 1996 et 2010. On constate sur tous les ouvrages, à des degrés divers, une nette corrélation entre les fluctuations piézométriques enregistrées et la pluviométrie. Ces fluctuations peuvent être de quelques décimètres à plusieurs mètres. La réaction à un événement pluviométrique intense se produit moins de 24 h après le début des pluies, et dès l'épisode pluvieux passé le niveau piézométrique revient plus ou moins rapidement à une cote proche de sa cote de départ. En nappe libre, de telles réactions dites karstiques traduisent à la fois une forte perméabilité des conduits karstiques, une relativement faible porosité de la matrice et une absence de stockage des eaux infiltrées.

A ce stade des études, l'analyse des données piézométriques a permis de définir un niveau des eaux fréquentes (niveau susceptible d'être dépassé 1% du temps) au droit des installations de la zone descenderie à environ 359 m NGF. De plus, une première analyse basée sur les recommandations du guide ASN a permis de définir un niveau de SRI de référence d'environ 363 m NGF (niveau associé à une période de retour centennale en retenant la borne supérieure de l'intervalle de confiance de 95 %). L'ensemble de ces valeurs feront l'objet d'évaluations complémentaires dans le dossier de demande d'autorisation de création.

Au stade de l'APS, et au regard du besoin de disposer d'une installation enterrée par mesure de protection physique (cf section 2.3.1.1), la face supérieure du radier du niveau + 0 m du bâtiment EP1 est implantée à 358 m NGF. Par conséquent, un système d'étanchéité/drainage sous radier et contre les voiles périphériques a été défini afin de maîtriser le risque d'inondation externe provenant d'une remontée de nappe phréatique. Ce système permet de collecter et contrôler l'eau avant rejet vers le milieu naturel. Il sera conçu pour être fonctionnel pendant toute la durée de vie de l'installation ainsi que pour faciliter son contrôle et sa maintenance. Il est à noter que d'autres solutions techniques sont encore à l'étude et que des évolutions sont donc possible au stade la demande d'autorisation de création.

SRI « dégradation ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements »

Le risque d'inondation externe peut provenir d'ouvrages, de circuits et équipements implantés en dehors ou sur le site, à l'extérieur des bâtiments recevant des EIP.

A ce stade de la conception, les éléments identifiés comme à analyser à l'égard de ce risque sont les suivants :

- les réseaux d'alimentation en eaux distribués par le site ainsi que les réservoirs associés (eau potable, eau sanitaire et eau recyclée, eau chaude chauffage et eau glacée, eau incendie) ;
- les bassins de collecte des eaux pluviales ;
- les réserves d'eau incendie.

Concernant les réservoirs associés aux réseaux d'eau (eau potable, eaux recyclées), les bassins de collecte des eaux pluviales et les réserves d'eau incendie, leur altimétrie d'implantation permet de garantir qu'une défaillance n'est pas susceptible d'agresser les installations nucléaires qui sont situées à une altitude supérieure.

Compte tenu des plus faibles enjeux associés, l'analyse du risque d'inondation externe du fait d'une rupture d'un réseau d'alimentation en eaux sera effectuée dans le cadre de la demande d'autorisation de création. L'objectif de l'analyse sera, conformément à l'approche précisée dans le guide ASN, de s'assurer que les dispositions de conception prises permettent de garantir qu'une rupture simple ou multiple de ces réseaux à l'extérieur d'un bâtiment contenant des EIP ne conduise pas à une entrée d'eau dans ces bâtiments.

SRI « intumescence »

L'intumescence est une onde résultant d'une variation rapide du débit dans un ouvrage hydraulique à ciel ouvert, implanté sur le site ou en amont ou en aval de celui-ci. Elle est caractérisée par son intensité (débit maximal de déversement, hauteur d'eau maximale correspondante sur le site, volume déversé) et sa durée (en tenant compte des différentes dynamiques associées à l'onde principale et aux effets accompagnant cette onde principale).

Les bassins de régulation mis en place sur le réseau de collecte et d'évacuation des eaux pluviales sont situés à des niveaux bien inférieurs aux plateformes d'implantation des installations nucléaires de surface. A ce stade de la conception, la dénivellation est d'environ 10 m entre les bassins et la plateforme d'EP1 côté descenderie ou les émergences côté Puits). Ainsi, compte tenu des altimétries mises en jeu, une éventuelle intumescence au niveau des bassins ne serait pas susceptible de conduire à un risque d'inondation externe.

2.3.4.4 Installation souterraine

Le risque d'infiltration d'eau provenant des aquifères traversés par les liaisons surface fond, descenderies (y compris la tête de descenderie) et les puits, est à prendre en compte. La description du système hydrogéologique au droit du site est effectuée au § 2.4 du volume II du présent dossier.

Pour la conception des descenderies, il est prévu à ce stade un revêtement étanche dans les calcaires du Barrois et drainant hors du Barrois, ainsi qu'une conception drainante des recoupes entre descenderies dans le Kimméridgien et l'Oxfordien. Le système drainant à l'extrados des voussoirs (gravette) comporte des ouvertures / déverses régulières pour le rabattement des eaux drainées vers des collecteurs latéraux intérieurs. Ces dispositions drainantes sont appliquées jusqu'au toit du COX. A la traversée des aquifères, un étanchement périphérique est mis en œuvre dans l'objectif de limiter les entrées d'eau en service et d'éviter la mise en communication des aquifères. Des caniveaux de récupération des eaux d'exhaure dans les deux descenderies permettent d'évacuer, de façon gravitaire, ces eaux vers deux rétentions positionnées dans une recoupe en pied de descenderies. Ces deux rétentions sont connectées entre elles en partie haute, afin d'assurer la fonction de trop plein. Les eaux contenues dans ces rétentions sont renvoyées en continu en surface pour analyse et traitement via le réseau de renvoi des eaux d'exhaure.

Pour la conception des puits, il est prévu à ce stade :

- un revêtement étanche sur toute la hauteur du puits VVE.,
- un revêtement étanche dans l'aquifère du Barrois et un revêtement permettant de résister à la pression hydrostatique sans nécessité de mise en œuvre de système de drainage dans les autres formations de couverture. Des systèmes de récupération des eaux d'infiltration en pieds de puits permettent de les collecter et de les renvoyer en surface pour analyse et traitement via le réseau de renvoi des eaux d'exhaure.

Les hypothèses de pression hydraulique à appliquer sur les ouvrages de conception étanche, à la base de chacune des formations.

Au niveau de l'installation souterraine, dans le COX, l'extrados des voussoirs est rempli de béton et compte tenu d'une vitesse d'écoulement de l'eau extrêmement faible, il peut être considéré que l'eau à l'état liquide ne pénètrera pas à court et moyen terme à l'intérieur des ouvrages.

Une infiltration d'eau pourrait se produire au niveau des alvéoles HA (non ventilés) durant les phases de remplissage. Les alvéoles sont conçus avec une inclinaison de 2% vers l'entrée de l'alvéole. L'eau qui pourrait ainsi s'infiltrer est reprise par un réseau de collecte situé à l'entrée des alvéoles et des capacités tampon situées en point bas des quartiers.

2.3.5 Risques liés aux conditions météorologiques ou climatiques extrêmes

2.3.5.1 Présentation des risques

Les conditions climatiques extrêmes prises en compte dans l'analyse de risques sont :

- les fortes pluies pouvant entraîner une inondation externe de l'Installation. Ce risque est analysé dans le chapitre relatif au risque d'inondation externe ;
- les températures extrêmes (maximales et minimales) entraînant des difficultés de maintien des températures acceptables au sein de l'INB et de risque de dysfonctionnement de certains systèmes et équipements ;
- les vents forts pouvant aller jusqu'à une tornade et susceptibles de provoquer un dysfonctionnement de certains systèmes et équipements (systèmes de ventilation, de surveillance), ainsi que la dégradation de structures ;
- des fortes chutes de neige pouvant entraîner un endommagement de structures et d'équipements.

2.3.5.2 Températures extrêmes

Les températures extrêmes de l'air extérieur prises en compte pour le dimensionnement des installations sont présentées dans le volume II §2.5.1.1 et rappelées dans le Tableau 2.3-. Les températures retenues couvrent des élévations de température envisageables consécutives au dérèglement du climat.

Tableau 2.3-7 Températures extrêmes retenues pour le dimensionnement de Cigéo

Température minimale/maximale longue durée (sur au moins 7 jours) avec une période de retour de cinquante ans (Θ7j). Elle représente les conditions de température pouvant survenir fréquemment et pouvant être considérées comme relevant du régime normal et permanent, sur toute la durée d'exploitation. Le domaine de température de fonctionnement normal retenu couvre les températures susceptibles d'arriver suivant les différents climats envisageables et les scénarios établis dans le cadre du réchauffement climatique global.	-15°C/+35°C Sur la base de la synthèse des données météorologiques du site de 2003 à 2011 et scénario CR selon la classification de Köppen.
Température minimale/maximale courte durée (24 heures) avec une période de retour de 100 ans (Θ24h). Elle est représentative d'une température ne pouvant survenir que pour des périodes limitées à la fois dans le temps et en termes de fréquence. Pour le dimensionnement, cette température peut être majorée en fonction des enjeux (sensibilité des installations, évolution climatique sur la durée d'exploitation) et est considérée sur une durée de 7 jours.	-20°C/+40°C Sur la base de la synthèse des données météorologiques du site de 2003 à 2011.
Température minimale/maximale instantanée élaborée à partir de valeurs centennales (Θ6h). Pour les calculs de dimensionnement, cette température est définie par l'application forfaitaire de +/- 5°C forfaitaires par rapport à Θ24h. Les valeurs obtenues majorent les températures extrêmes jamais enregistrées à St Dizier et à Epinal.	-25°C/+45°C En appliquant de manière forfaitaire +/- 5°C à Θ24h.

Le principal risque lié aux températures extrêmes sur Cigéo est un risque de dysfonctionnement de la ventilation des installations de surface et souterraine suite à une défaillance de l'alimentation électrique, des équipements de ventilation ou des moyens de surveillance, qui peut être causé en particulier par l'amenée d'air chaud en cas d'épisode de grand chaud ou le givrage des prises d'air en cas d'épisode de grand froid. Un dysfonctionnement de la ventilation est susceptible d'entrainer des difficultés :

- de maintien des températures acceptables au sein des installations et particulièrement de remettre en cause la fonction d'évacuation de la puissance thermique dégagée par les colis ;
- d'assurer l'évacuation des gaz de radiolyse produits par les colis.

Les installations de Cigéo sont toutefois peu sensibles aux températures extrêmes (pas de fonction de refroidissement et grande inertie thermique).

Néanmoins, vis-à-vis de ces risques, les dispositions suivantes sont retenues :

- le dimensionnement de la ventilation des installations de surface à Θ 7j ;
- la mise en place d'un dispositif antigivre sur la prise d'air neuf ;
- le dimensionnement des différents équipements liés au fonctionnement de l'extraction de l'air vicié de l'installation souterraine à Θ24h et Θ6h afin d'assurer l'évacuation de la puissance thermique des colis de stockage HA dans l'installation souterraine et l'évacuation des gaz de radiolyse dans les alvéoles MA-VL ;
- la surveillance de la température extérieure et intérieure pour certains locaux avec la possibilité d'ajuster la température de soufflage ;
- la possibilité, si nécessaire, de mettre une alerte Météo France pour une mise en sécurité de l'installation (interruption momentanée de la ventilation par exemple).

2.3.5.3 Vents forts et tornades

Les risques liés aux vents forts et aux tornades sur Cigéo sont principalement :

- une surcharge mécanique induite par le vent susceptible d'entrainer la dégradation d'équipements ou d'infrastructures, en particulier, le hall de déchargement des convois et l'émergence des puits de ventilation de l'installation souterraine ;
- des fortes variations de pression susceptibles d'entrainer un dysfonctionnement de la ventilation des installations de surface et souterraine (perturbations aérauliques voire destruction d'équipements) ;
- la mise en mouvement d'objets (« missiles ») susceptible d'entrainer la dégradation d'équipements ou d'infrastructures.

Ces risques peuvent impacter les fonctions de protection « évacuation de la puissance thermique des colis », « évacuation des gaz de radiolyse » et « confinement ».

Vis-à-vis de ces risques, les dispositions retenues sont celles classiquement mises en place, à savoir :

- le dimensionnement des installations :
  - ✓ les installations nucléaires de surface, les galeries de raccordement, la tête de descenderie colis, les installations conventionnelles de surface contenant des EIP et les têtes de puits font l'objet d'un dimensionnement à une catégorie de tornade de niveau EF3 sur l'échelle de Fujita (soit des vitesses de vent comprises entre 219 et 266 km/h), dont notamment :
    - les halls de préparation et d'accostage des emballages ;
    - les couloirs et cellules blindées du procédé nucléaire contenant les colis primaires et de stockage ;
    - les galeries de raccordement et la tête de descenderie colis ;
    - les têtes de puits dédiées à l'apport d'air frais et au retour d'air vicié de l'installation souterraine ;
  - ✓ le hall de chargement / déchargement des convois ferroviaires et routiers est dimensionné à une catégorie de tornade EF2 sur l'échelle de Fujita (soit des vitesses de vent comprises entre 179 et 218 km/h). Dans ce hall, les colis sont placés dans les emballages de transport

robustes leur conférant une résistance mécanique permettant de faire face à un effondrement de structures légères ou de projections de petits objets ;

- la redondance et la ségrégation géographique des ventilateurs de soufflage et d'extraction de la ventilation de l'installation souterraine ainsi que des groupes électrogènes ;
- le dimensionnement de la ventilation nucléaire des installations de surface et souterraine en tenant compte des pertes de charges dû à des vents extrêmes ;
- l'orientation des prises d'air et des émissaires de rejet en fonction du sens des vents dominants sur le site ;
- la mise en place d'anémomètres ;
- la possibilité, si nécessaire, de mettre une alerte Météo France pour une mise en sécurité de l'installation (interruption momentanée de la ventilation par exemple).

2.3.5.4 Chutes de neige

Les principaux risques liés aux chutes de neige pour les installations de Cigéo sont :

- les charges mécaniques induites par le poids de la neige sur les infrastructures ou équipements susceptibles d'entrainer leur endommagement voire leur effondrement ;
- l'obturation des prises d'air de la ventilation des installations.

Ils sont susceptibles de remettre en cause les fonctions de protection « évacuation de la puissance thermique des colis », « évacuation des gaz de radiolyse » et « confinement ».

Les caractéristiques de la zone neige dans laquelle se situent les installations de Cigéo sont les suivantes :

- charge de neige normale : 35 daN/m² ;
- charge de neige extrême : 60 daN/m².

Vis-à-vis de ces risques, les dispositions retenues sont celles classiquement mises en place, à savoir :

- le dimensionnement des installations de surface (y compris le hall de chargement / déchargement des convois), galeries de raccordement, tête de descenderie colis, installations conventionnelles contenant des EIP, et émergences des puits dédiées à l'apport d'air frais et au retour d'air vicié de l'installation souterraine à une charge de 60 daN/m² ;
- la possibilité, si nécessaire, de mettre une alerte Météo France pour une mise en sécurité de l'installation (interruption momentanée de la ventilation par exemple) ;
- une procédure de déneigement (puits, toitures).

2.3.6 Risques liés à la foudre et aux interférences électromagnétiques

2.3.6.1 Foudre

La foudre, par ses effets directs, peut être à l'origine de dommages (incendie, dégradation voire destruction) sur les structures assurant des fonctions de sûreté ou sur des équipements nécessaires à la mise et au maintien à l'état sûr des installations. Par ses effets indirects, la foudre peut être à l'origine de surtensions d'origines atmosphériques qui peuvent endommager les équipements importants pour la protection mettant en œuvre des matériels électroniques, informatiques ou électrotechniques. Le risque foudre concerne les installations de surface ainsi que l'installation souterraine

L'approche définie dans l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre (36) pour les installations classées pour l'environnement (ICPE) est retenue pour le traitement du risque foudre sur les installations nucléaires de Cigéo.

En application de la réglementation associée, une analyse du risque foudre sera réalisée, dans le cadre de la demande d'autorisation de création) selon les recommandations de la norme NF EN 62305 relative à la protection contre la foudre (36). Cette analyse permettra d'identifier les équipements et installations dont une protection doit être assurée et définira un niveau de protection associée. En fonction des résultats de l'analyse du risque foudre, une étude technique sera réalisée afin de définir précisément les mesures de prévention et les dispositifs de protection, le lieu de leur implantation,

ainsi que les modalités de leur vérification et de leur maintenance. L'analyse de risques liés à la foudre et l'étude technique associée sont réalisées par des organismes compétents.

A ce stade de la conception, les principales dispositions retenues à l'égard du risque foudre sont les suivantes :

- dispositifs de capture de la foudre (pointes captrices avec maillage et conducteurs de descente) ;
- réseau de prises de terre (incluant le ferraillage des murs relié au réseau de prise de terre) ;
- limitation des surtensions et des surintensités sur les réseaux de distribution par la mise en place de parafoudres.

2.3.6.2 Interférences électromagnétiques

Une interférence électromagnétique (IEM) est un signal ou une émission, véhiculé(e) dans l'espace libre ou par des conducteurs électriques ou de signaux, qui peut mettre en danger le fonctionnement d'un système, notamment un système de sûreté. A titre d'exemple, des conséquences potentielles pour la sûreté de Cigéo sont des signaux erronés pouvant conduire à des arrêts ou des déclenchements intempestifs des moyens de manutention, des pertes de capteurs de surveillance (rejets, débit, dépression…).

Afin de prévenir ces risques, le dimensionnement de l'installation est réalisé en conformité avec la norme CEI 61000 qui fournit des principes généraux à suivre pour protéger les installations contre les interférences électromagnétiques. Cette norme sera appliquée à l'ensemble de l'installation.

A ce stade de la conception, les principales dispositions retenues à l'égard des risques liés aux interférences électromagnétiques sont les suivantes :

- réseau de mise à la masse et protection électrique des lignes d'alimentation et des équipements électriques ;
- mise à la masse des câbles blindés et des équipements électriques et mécaniques inertes ;
- limitation des couplages par séparation des chemins de câble de puissance des câbles faible puissance, et par l'utilisation de chemins de câbles métalliques reliés au réseau de terre ;
- mise en place de filtres sur les liaisons électriques en interface avec un tableau, coffret ou équipement sensible ;
- protection des équipements sensibles par des para-surtenseurs, des ferrites et des transformateurs.

2.3.7 Risques liés à un incendie externe

2.3.7.1 Origine du risque

L'environnement du site, naturel et industriel, est à prendre en compte vis à vis des conséquences d'un incendie externe à proximité de l'INB.

L'environnement naturel est composé de forêt et d'espaces de verdure. Un risque d'incendie peut se produire en zone descenderie et en zone puits.

L'environnement industriel concerne :

- les installations fixes de réserves de carburant ou de fioul ;
- les véhicules du personnel ou nécessaires à l'exploitation ;
- les installations de chantiers de la zone travaux, notamment les zones d'entreposage de produits dangereux et de déchets de chantier (bennes ou conteneurs).

2.3.7.2 Dispositions de prévention

Les dispositions de prévention reposent principalement sur des mesures visant à maîtriser l'occurrence d'un feu à proximité des installations situées en surface dans la zone puits et la zone descenderie, en limitant les sources de dangers à proximité.

Pour l'environnement naturel, compte tenu du type de végétation au niveau de l'implantation de l'INB et du climat de la région Alsace Lorraine Champagne Ardenne, le risque de feu de forêt n'est pas identifié comme un risque majeur selon le plan de prévention des risques naturels (PPRN). D'autre part, un débroussaillage et un déboisement sont mis en œuvre à proximité de l'INB au moment de sa construction et un entretien des espaces verts lors de l'exploitation est prévu.

Vis-à-vis d'un départ de feu dû à l'environnement naturel, les exigences suivantes aux abords de l'INB sont prises en comptes :

- distance libre d'au moins 50 mètres autour des bâtiments (débroussaillage/déforestation) ;
- distance débroussaillée d'au moins 80 mètres de part et d'autres de la clôture des installations nucléaires de surface.

La végétalisation de l'installation semi enterrée EP1 est dimensionnée pour ne pas impacter les émergences en cas de feu de végétaux.

Pour l'environnement industriel, afin de prévenir un départ de feu impliquant une réserve de carburant ou de fioul, une interdiction de stockage de produit inflammable à proximité de l'INB est instaurée. Plus généralement, pour éviter tout impact d'un incendie externe sur l'INB, une distance minimum est déterminée relativement aux propriétés physico-chimiques des équipements et produits présents ainsi qu'aux volumes concernés. Tableau 2.3- présente les distances d'éloignement à l'INB des bâtiments présents en surface.

Tableau 2.3-8 Distances d'éloignement des bâtiments à l'INB

Zone descenderie	**Distance à l'INB**
Bâtiment de production des utilités	50 m
Bâtiment de tri des déchets conventionnels	>100 m
Poste de livraison électrique (90 kV)	30 m
Poste de transformation (90 à 20 kV)	30 m
Station-Service Carburants	35 m
Zone puits	**Distance à l'INB**
Bâtiment de production des utilités	> 40 m
Bâtiment de tri des déchets conventionnels	> 40 m
Poste de livraison électrique (90 kV)	> 40 m
Poste de transformation (90 à 20 kV)	> 80 m
Station-Service Carburants	> 100 m

En complément, le stationnement libre est interdit et des zones de parking sont implantées afin de délimiter les zones de stationnement autorisées. Aux abords de l'INB, des dispositions techniques de stationnement sont mises en place afin d'empêcher un possible stationnement à moins de 10 mètres de distance des bâtiments nucléaires.

Enfin, l'implantation de tout autre bâtiment à proximité des installations de surface de l'INB est suffisamment éloignée afin de ne pas avoir un effet domino et une propagation d'un départ de feu au sein de ces bâtiments.

2.3.7.3 Dispositions de limitation des conséquences

Les équipements et l'organisation mis en place au sein de l'INB pour la maîtrise des risques d'incendie, notamment internes, permettront d'intervenir efficacement contre ce risque.

2.4 Cumuls d'agressions

Un cumul[62] entre deux agressions est retenu lorsqu'une dépendance est avérée ou présumée entre les évènements associés ou bien lorsqu'un risque de concomitance est identifié au regard de la durée et de la fréquence de l'un ou l'autre des évènements.

Les évènements déclencheurs (agresseurs ou défaillances) susceptibles de conduire aux conséquences les plus importantes sont identifiés dans les analyses dédiées à chaque type de risque. L'analyse des situations de cumuls consiste à identifier :

- si l'occurrence du cumul d'un risque supplémentaire vis-à-vis d'un évènement redouté déjà identifié peut conduire à une aggravation des conséquences potentielles de cet évènement ;
- si deux évènements redoutés déjà identifiés peuvent se cumuler et ainsi conduire à une aggravation des conséquences potentielles de chacun de ces deux évènements.

La matrice suivante présente les situations plausibles de cumuls d'agressions envisagés.

[62] Les effets induits ne sont pas concernés par ce paragraphe.

Tableau 2.4-1 Matrice sur les cumuls plausibles des agressions (par effet domino inclus)

	Agressions de faible probabilité d'occurrence et/ou ayant des effets potentiels de courte durée									**Agressions de forte probabilité d'occurrence et/ou ayant des effets potentiels de longue durée**			
Agression initiale / Agressions cumulées	Projectiles et ESP	Chutes collision	Incendie	Explosion	Inondation interne	Foudre et IEM	Indus. voies com.	Substances dangereuses	Séisme	Climats extrêmes	Inondation externe	Perte alimentation électrique	Perte des utilités
Emissions de projectiles et ESP		✔	✔	✔		✔			✔	✔ / X	✔		
Collisions et chutes de charges	✔		✔	✔		✔			✔	X	[63]	✔	
Incendie	✔		[64]	✔		✔	✔		✔	✔ / X	X	X	X
Explosion	✔	✔	✔			✔	✔	✔	✔	✔ / X	X	X	X
Inondation interne	✔	✔	✔	✔					✔	✔ / X	✔ / X	X	X
Foudre et IEM										✔	✔		
Activités et voies de communication										X	X		
Emissions de substances dangereuses	✔	✔	✔	✔	✔		✔		✔	✔ / X	✔ / X		
Séisme										X	X		
Conditions climatiques extrêmes											X	X	X
Inondation externe									ECS	X		X	X
Perte alimentation électrique	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔		✔	✔ / X	✔ / X		X
Perte alimentations en fluides et utilités	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔		✔	✔ / X	✔ / X	✔ / X	

Légende :

- cumuls plausibles dépendants (effets domino) : ✔
- cumuls plausibles concomitants : X

À ce stade des études, les options de sûreté associées au cumul d'agressions sont essentiellement axées sur le dimensionnement de l'installation et des moyens la constituant aux agressions externes de type : séisme, incendie externe, chute d'avion, conditions climatiques susceptibles de générer un incident/accident dans l'installation de type incendie interne, perte d'utilités, défaillance d'un moyen de manutention.

[63] : En cas d'occurrence d'une inondation externe pouvant porter atteinte aux installations, il est postulé que l'exploitation est interrompue durant cette période, de sorte que le risque de collision et de chutes de charge n'est pas cumulable.

[64] : Compte tenu de l'ampleur du site de Cigéo, un scénario complémentaire visant à postuler l'occurrence simultanée et indépendante de deux départs de feu sur les installations pourra être pris en compte. Les effets pourraient être une indisponibilité d'intervention des moyens de secours dans les délais escomptés, de sorte qu'un incendie serait susceptible de se développer au-delà des durées actuellement prises en compte pour le dimensionnement des locaux pour lesquels la démonstration de sûreté valorise l'intervention des secours.

Les situations de cumuls plausibles concomitants identifiés à ce stade et qui feront l'objet d'études ultérieurement sont les suivantes :

- cumul d'une chute ou d'une collision lors d'un épisode climatique extrême ;
- cumul d'un incendie lors d'une inondation externe ;
- cumul d'un incendie et d'une chute ou d'une collision ;
- cumul d'un incendie et d'une perte de l'alimentation électrique ;
- cumul d'une agression de type activités industrielles et voies de communication lors d'un épisode climatique extrême ;
- cumul d'une agression de type activités industrielles et voies de communication lors d'une inondation externe ;
- cumul d'un séisme et d'un incendie ;
- cumul d'un séisme et d'une perte de l'alimentation électrique ;
- cumul d'une inondation externe lors d'un épisode climatique extrême ;
- cumul d'une perte de l'alimentation électrique lors d'un épisode climatique extrême.

2.5 Risques liés à la coactivité

2.5.1 Origine du risque

Les risques liés à la coactivité résultent de la réalisation d'opérations simultanées ou successives dans une même zone géographique ou faisant appel à des utilités ou à des services communs. Les différentes opérations et les interférences entre elles sont susceptibles d'importer ou d'exporter des potentiels de dangers d'une zone vers une autre, ou d'une activité à une autre.

2.5.1.1 Situations de coactivité

La coactivité peut être « directe » lorsque plusieurs activités interfèrent de manière évidente entre elles, ou « indirecte » lorsque l'interaction entre les différentes activités passe par l'intermédiaire d'une interface commune, comme par exemple par l'utilisation d'une servitude ou d'un service commun.

Plusieurs modes de coactivité sont distingués :

La coactivité « par enchaînement », c'est-à-dire due à un enchaînement d'activités qui ont un lien prédécesseur/successeur ;

- la coactivité « géographique » qui est la proximité d'activités simultanées ;
- la coactivité « matérielle », c'est-à-dire le partage de ressources matérielles communes entre plusieurs activités simultanées ;
- la coactivité « fonctionnelle » qui se caractérise par l'utilisation de fonctions communes entre plusieurs activités.

Les spécificités du projet Cigéo sont les suivantes :

- un déploiement progressif des installations dans l'espace et au cours du temps : la construction des ouvrages de stockage est prévue au fur et à mesure de l'exploitation du centre de stockage. La mise en exploitation des ouvrages est donc réalisée de manière discontinue et progressive ;
- une activité principale de l'installation en exploitation qui consiste en des opérations de manutention et de transfert interne de colis de substances radioactives. Les activités périphériques ou périodiques de l'installation telles que par exemple les métiers supports, la maintenance ou la surveillance, doivent par conséquent coexister en permanence avec les sources de « danger mobiles » que sont d'une part les emballages de transport en surface et d'autre part les colis de stockage sous hotte de transfert en souterrain ;
- un démantèlement et une fermeture par étapes des installations.

Dès le début de la conception, quatre types de coactivité spécifiques au projet Cigéo sont étudiés. Il s'agit :

- de la réalisation simultanée d'activités d'exploitation nucléaire et de construction d'ouvrages, notamment dans l'installation souterraine, c'est-à-dire une coactivité Exploitation/Travaux, y compris dans les aspects dus à l'enchaînement des activités dans une zone donnée, c'est-à-dire :
  - ✓ le creusement et la construction de nouveaux alvéoles et quartiers ;
  - ✓ le basculement/transfert des nouveaux alvéoles et quartiers de la « Zone Travaux » vers la « Zone Exploitation », après la mise en place des équipements, la réalisation des essais et l'autorisation du basculement/transfert délivrée après vérification du bon déroulement du processus technique décrit au § 2.5.2.1,
  - ✓ l'exploitation de ces nouveaux quartiers ;
- de la réalisation d'activités simultanées d'exploitation nucléaire et d'opérations de maintenance, c'est-à-dire une coactivité Exploitation/Maintenance ;
- de la réalisation d'activités simultanées d'exploitation nucléaire et d'opérations de réfections et de maintenance lourde, c'est-à-dire une coactivité Exploitation/Jouvence ;
- de la réalisation d'activités simultanées d'exploitation nucléaire et de fermeture des alvéoles de stockage, c'est-à-dire de la coactivité Exploitation/Fermeture (cf. Volume IV).

Certains types de coactivité tels que la coordination SPS au sein d'une même zone, ou encore le déploiement et la fermeture des installations conventionnelles et nucléaires de surface ne sont pas présentés à ce stade du projet. Des dispositions classiques sont retenues telles que la mise en place de plans de prévention en lien avec la coordination SPS et la réalisation d'opérations de construction, de jouvence et de déconstruction de bâtiments en surface effectuées en chantiers clos et indépendants.

A ce stade et compte tenu des enjeux, l'analyse est focalisée sur l'installation souterraine.

Les principales situations de coactivité identifiées dans les ouvrages souterrains sont récapitulées dans le Tableau 2.5- ci-dessous.

Tableau 2.5-1 Situation de coactivité spécifique à l'installation souterraine

Principales situations de coactivité	Modes de coactivité
Coexistence dans l'installation souterraine d'une zone en travaux et d'une zone en exploitation	Par enchaînement, géographique, matérielle, ou fonctionnelle.
Basculement de nouveaux quartiers creusés de ZT en ZEXP	Par enchaînement, géographique, matérielle, ou fonctionnelle.
Coactivité entre les métiers supports (maintenance, surveillance, etc.) et l'activité principale (transfert de hottes) en ZEXP	Matérielle, géographique.
Coactivité entre les activités de jouvence et l'exploitation souterraine (transfert de hottes)	Par enchaînement, géographique, matérielle, ou fonctionnelle.

2.5.1.2 Identification des risques liés à la coactivité

Deux grandes catégories de risques potentiels sont identifiées :

- des risques résultant des activités de creusement, d'équipement et de soutien d'une zone en chantier vers une zone en exploitation, et principalement :
  - ✓ un incendie dû à des opérations avec points chauds sur les chantiers et à la présence d'engins contenant du carburant et des pneumatiques, susceptible de se propager et d'agresser les séparations des zones situées à proximité ;

- ✓ les projectiles suite à une explosion liée à la présence de zones ATEX (entreposage de liquides inflammables, présence de bouteilles sous pression, de locaux de charge des batteries) ;
- ✓ les inondations notamment suite à une défaillance d'une installation, infrastructure, activité, utilité propre aux chantiers (eau industrielle, eau potable, eau incendie, etc.) ;
- ✓ la chute d'équipements ou des collisions d'engins de chantiers pouvant dégrader la performance des séparations présentes entre les différentes zones ;
- ✓ les pertes d'utilités, de ventilation ou des réseaux de détection et de surveillance lors d'installations, d'essais ou de mises en service de nouveaux équipements (zone de basculement ZT/ZEXP) ;

- des risques propres aux activités d'exploitation concomitantes avec d'autres activités périphériques ou supports au procédé principal de manutention de colis de déchets (maintenance, jouvence). Les principaux risques sont relatifs au maintien du confinement des substances radioactives et à la radioprotection des travailleurs, il s'agit :
  - ✓ des risques de dissémination de substances radioactives vers la zone travaux suite à un accident dans la zone nucléaire (incendie, collision ;
  - ✓ des risques d'exposition externe de personnel de la zone travaux suite à un accident dans la zone nucléaire (incendie, collision…) ou à une dégradation d'une protection radiologique à proximité de la zone travaux ;
  - ✓ des risques de collision ou de blocage du procédé nucléaire qui sont liés au croisement de flux en ZSL et en galeries de liaisons lors d'opérations de maintenance ou de phases de jouvence ;
  - ✓ la chute d'équipements ainsi que la collision d'engins utilisés pour les opérations en zone exploitation pouvant impacter le confinement statique ou dynamique de la zone en exploitation, les protections radiologiques et autres éléments de sécurité (portes, secteurs de feu, clapets coupe-feu…) situés aux interfaces avec la zone travaux ;
  - ✓ les risques FSOH générés par la circulation des matériels et personnes à proximité des interfaces entre les zones, notamment en lien avec les essais nécessaires lors du basculement d'une zone en travaux vers une zone en exploitation.

Les principaux risques situés aux interfaces entre la zone en exploitation et la zone travaux dans l'installation souterraine sont présentés dans le Tableau 2.5- ci-dessous.

Tableau 2.5-2 Risques spécifiques à l'interface entre ZEXP et ZT

Description des principaux risques liés aux interfaces	Risques principaux
Chocs et collisions d'engins et de matériels de chantier présents côté ZT (projectiles, chocs) pouvant dégrader les performances des éléments séparant les deux zones	Collisions / projectiles
Incendie de véhicules ou d'engins à pneus contenant du carburant en ZT pouvant dégrader les performances des éléments séparant les deux zones	Incendie
Inondation en ZT, notamment en cas de rupture d'une canalisation ou en lien avec la présence des eaux d'exhaures	Inondation
Présence de bouteilles sous pression dans les zones de maintenance et d'entreposage des ZSL exploitation et travaux	Explosion
Passage de la hotte de transfert chargée d'un colis dans la ZEXP à proximité de la ZT	Risque d'exposition externe
Perte de barrières de confinement en situation accidentelle (hotte, colis de stockage, alvéole MA-VL) dans la ZEXP à proximité de la ZT	Risques de dispersion de substances radioactives et d'exposition externe et interne
Basculement d'une zone travaux vers une zone en exploitation	Perte alimentation électrique, contrôle-commande, ventilation
Perte d'utilités ou d'un sous-ensemble fonctionnel dans une zone d'essai (lors d'une phase de basculement de ZT vers ZEXP de nouveaux alvéoles et quartiers souterrains)	Perte utilités, fluides, énergie, contrôle-commande ou moyens de surveillance

2.5.2 Dispositions de prévention

Les principes généraux de prévention des risques liés aux situations de coactivité spécifiques à Cigéo (Travaux/Exploitation, Exploitation/Jouvence et Exploitation/maintenance) sont les suivants :

- une barrière robuste entre la ZEXP et la ZT en souterrain : la conception de l'installation souterraine repose sur le principe de la mise en place de séparations physiques robustes et de l'indépendance totale entre la partie « exploitation » (la ZEXP) et la partie « travaux » (la ZT) de l'installation souterraine. Ces séparations sont dimensionnées selon les différents types d'agressions susceptibles de se produire. Chaque zone possède des réseaux d'utilités, de moyens de surveillance, de moyens de secours et d'évacuation qui lui sont propres. Par conception, les travaux de creusement, de construction et d'équipement sont par conséquent réalisés au sein d'un chantier clos et indépendant de l'installation nucléaire.
- un phasage des périodes de jouvence. Si la maintenance périodique est réalisée en cours d'exploitation, le phasage des opérations de jouvence ou de maintenance lourde, prévues tous les 10, 20 et 40 ans, permet de réaliser les opérations de réfection et de rénovation en interrompant le procédé principal de conditionnement et de transfert des colis de stockage.

En cours d'exploitation, le transfert d'équipements destiné à la maintenance courante emprunte la Descenderie de Service. Les déchets produits lors de ces opérations de maintenance remontent via la Descenderie Colis. Ces derniers (issus principalement de la maintenance de la ventilation nucléaire) sont essentiellement produits lors de la phase d'arrêt annuel de l'installation et peuvent être remontés en dehors des opérations de mise en stockage afin de ne pas interférer avec le flux des hottes. Les situations de coactivité sont par conséquent très limitées.

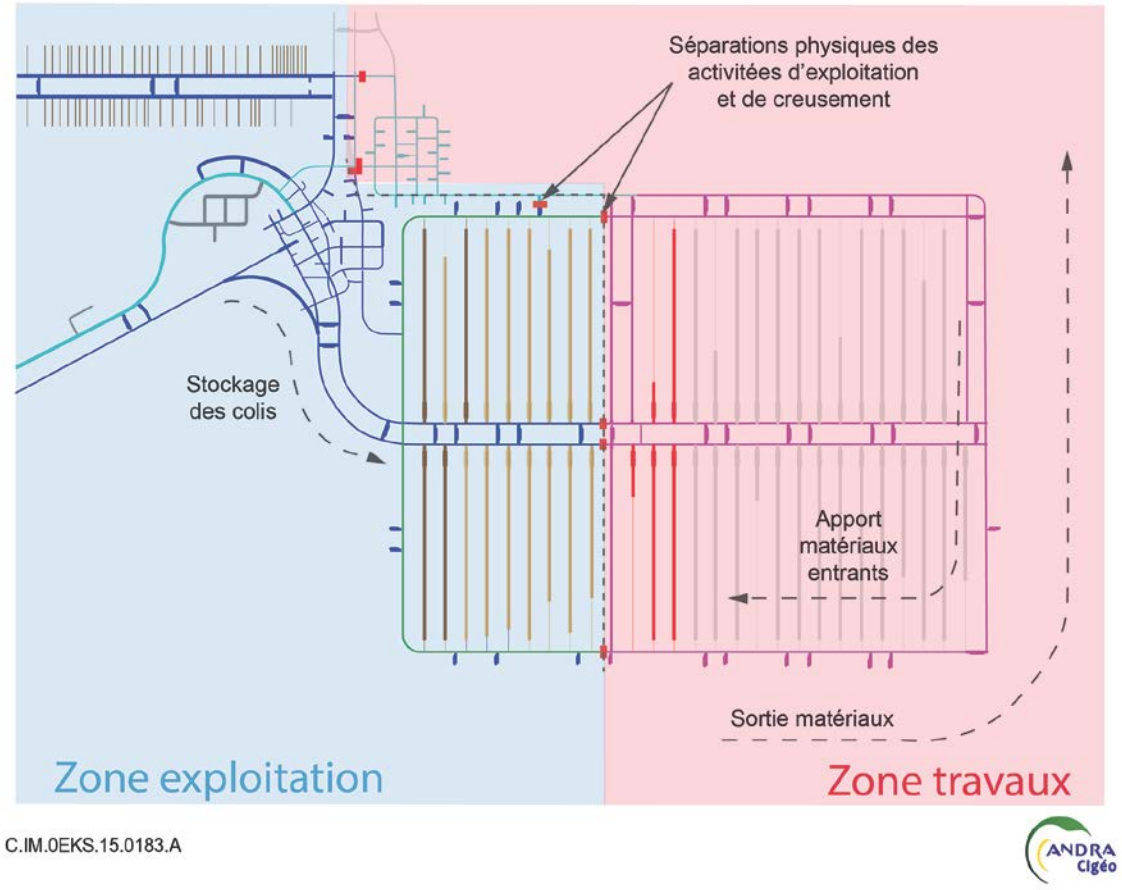


Figure 2.5-1 *Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine*

Les dispositions de prévention associées à ces principes sont développées ci-après.

2.5.2.1 Coactivité exploitation / travaux

La séparation des activités

Les séparations physiques entre la zone exploitation et la zone travaux sont représentées sur la Figure 2.5-1 .ci-avant (respectivement en bleu et en rose). De plus, la conception « bitube » des galeries de liaison permet d'affecter la première galerie de liaison aux flux entrants et la seconde aux flux sortants.

Un maximum d'infrastructures est réalisé préalablement à l'exploitation nucléaire, afin de limiter les travaux importants pouvant survenir pendant l'exploitation. Les premières galeries de liaison et alvéoles sont construites et mises en service avant le démarrage des activités d'exploitation nucléaire.

Durant l'exploitation, la séparation de la zone nucléaire et de la zone en travaux est réalisée par des parois constituant des « sas ». Ces sas contribuent à la délimitation des volumes ventilés par les réseaux de la ventilation nucléaire (galeries en exploitation) et de la ventilation conventionnelle (galeries en travaux). Les niveaux de surpression dans les sas assurent la fonction de secteurs protégés (refuges pour le personnel en situation accidentelle), en permettant de garantir un sens d'air privilégié de l'intérieur du sas de refuge vers l'extérieur.

La descenderie colis est dédiée au transfert des colis de déchets en hottes placées sur le funiculaire, ainsi qu'à la remontée de déchets nucléaires issus de la maintenance (principalement de la ventilation nucléaire). La descenderie de service est dédiée aux autres fonctions d'exploitation (véhicules et services et de secours, évacuation de secours, approvisionnement en matériel de maintenance).

La réalisation de l'installation avec une architecture en boucle comprenant des accès séparés (accès exploitation et accès travaux) facilite la séparation des deux zones et des flux associés.

A l'intérieur d'une même zone, le risque de coactivité induit par les flux du personnel, des matériels ou des matériaux est également limité par une répartition des flux dans les LSF avec une séparation par activité et notamment :

- deux puits pour la zone exploitation implantés en ZEXP :
  - ✓ le puits VFE (PN 064) dédié au transfert du personnel « exploitation » et à l'apport d'air frais ;
  - ✓ le puits VVE (PN 071) dédié au retour d'air vicié de la zone exploitation ;
- Trois puits pour la zone travaux implantés en ZPTV :
  - ✓ le puits VFT (PT 065) dédié au transfert du personnel « travaux » et à l'apport d'air frais ;
  - ✓ le puits MMT (PT 069) dédié à l'apport et à l'évacuation des matériels et de matériaux de construction ;
  - ✓ le puits VVT (PT 070) dédié au retour d'air vicié de la zone travaux.

Deux zones de soutien logistique distinctes sont conçues, selon le même principe de séparation physique : une zone de soutien logistique « travaux » dans la zone travaux et une zone de soutien logistique « exploitation » dans la zone exploitation (Cf. Figure 2.5-2). Les travaux de construction des deux ZSL et leur mise en service sont réalisés avant le démarrage des activités nucléaires.

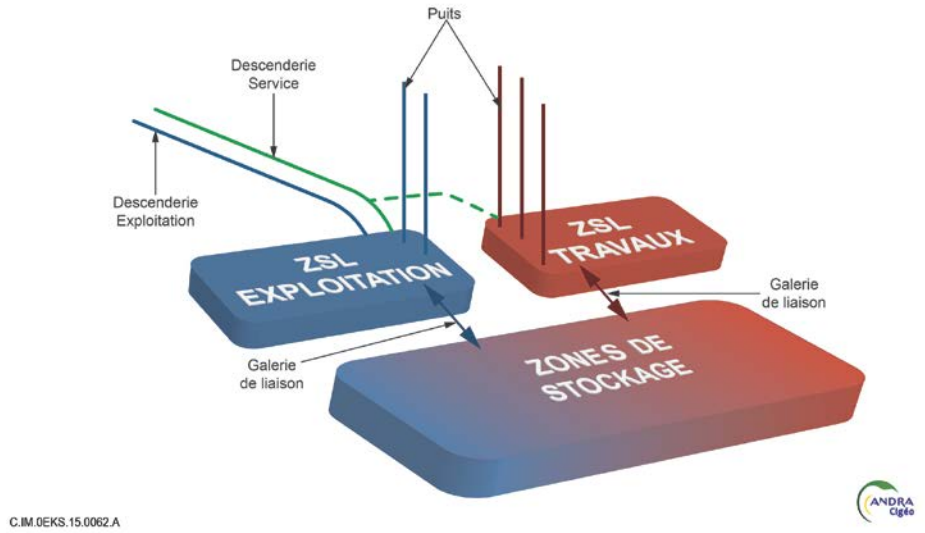


Figure 2.5-2 Organisation des zones de soutien logistique Exploitation et Travaux

Les galeries de recoupe, les galeries de liaison et d'accès HA et MA-VL ainsi que les galeries de retour d'air MA-VL en travaux sont séparées des galeries en exploitation par des parois (cf. Figure 2.5-2) et, en tant que de besoin, des sas dimensionnés pour prévenir toutes interférences mutuelles entre zones, notamment en termes de circulation ainsi que du risque de propagation d'un incendie pouvant intervenir en zone travaux sur la zone nucléaire, et réciproquement.

Le déploiement de la construction des ouvrages

Lors du déploiement des installations, les séparations physiques sont déplacées au fur et à mesure de l'avancement des travaux (activités conventionnelles) et de l'exploitation (activité nucléaire). Ce déploiement est effectué par tranches (T1 à TU). Durant les phases de déploiement et de basculement d'une phase travaux en une phase Exploitation, la coactivité travaux/exploitation ne peut alors pas être évitée au niveau de ces interfaces.

Le déploiement progressif des ouvrages au cours du temps pour chaque nouveau quartier ou alvéole comprend les phases suivantes :

- une phase de construction ;
- une phase d'installations d'équipements, de raccordement aux réseaux de l'exploitation et d'essais ;
- une phase d'exploitation.

A ce stade, les principales dispositions techniques et organisationnelles (voir chapitre 3.6 du volume II) prévues pour la conception et le déploiement de l'architecture souterraine concernent :

- les sas de séparations entre la ZT et la ZEXP ;
- la phase de basculement d'un nouveau quartier de la ZT vers la ZEXP.

- ***Les « sas » de séparation entre la ZT et la ZEXP***

Les positions des séparations physiques et des sas associés entre la zone en exploitation et la zone en travaux évoluent au fur et à mesure du déploiement de l'installation souterraine :

- sept positions successives différentes des séparations lors des sept phases de déploiement du quartier MA-VL (cf. Figure 2.5-3 et Figure 2.5-4) illustrant l'évolution du nombre de séparations et leur positionnement respectivement en 2031 et 2069) ;

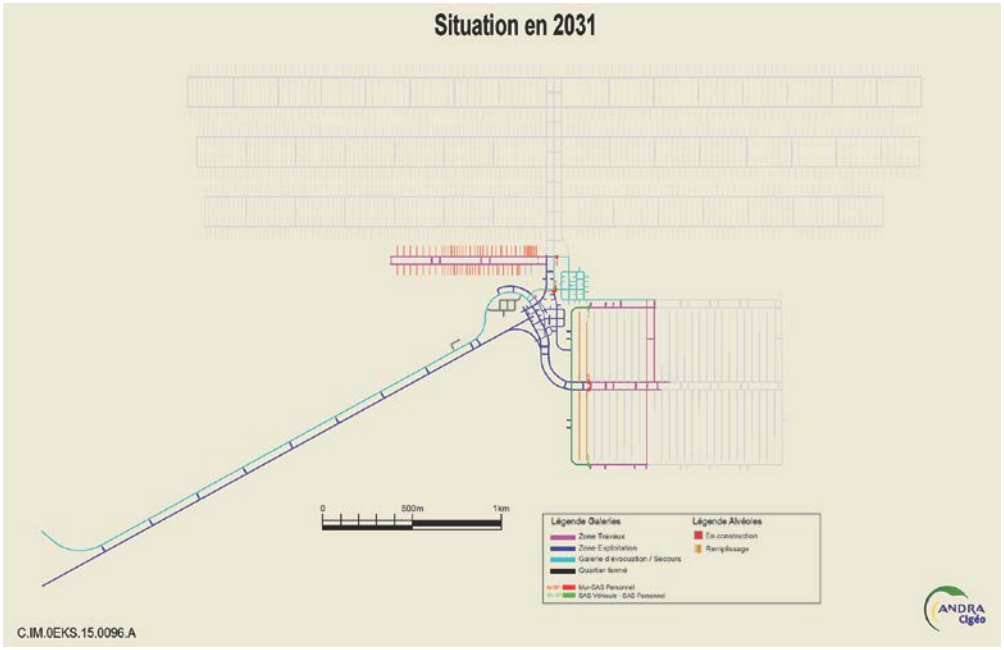


Figure 2.5-3 *Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine*

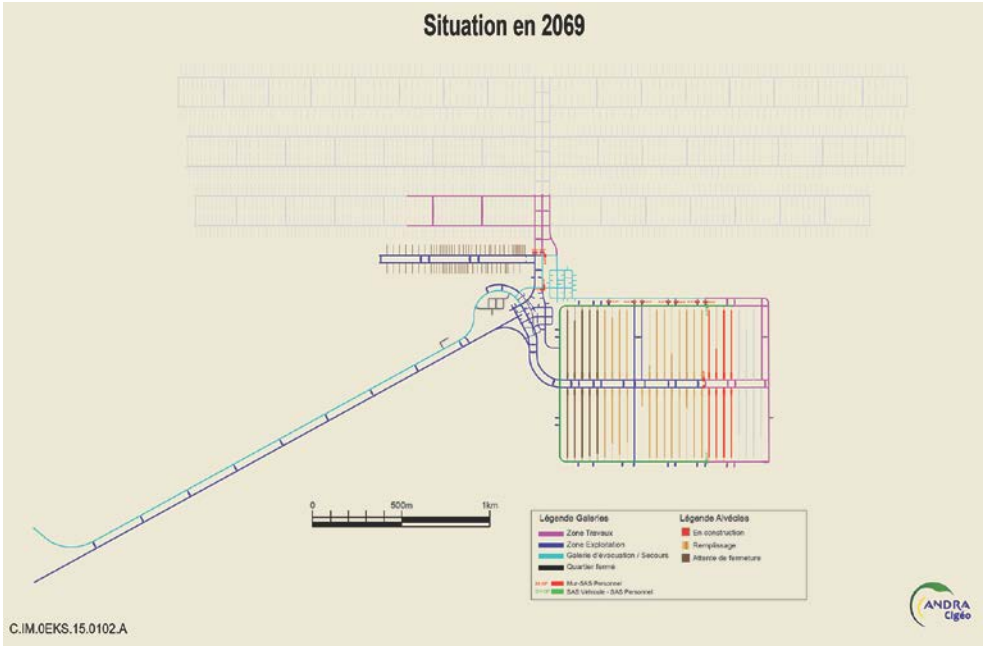


Figure 2.5-4 *Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine*

- sept positions successives différentes lors de la construction des six quartiers HA1/HA2 :
  - ✓ une première position jusqu'en 2069 (cf. Figure 2.5-4) entre le quartier HA0 et la construction du premier quartier HA1/HA2 ;
  - ✓ et enfin, six positions successives lors de la construction des cinq quartiers HA1/HA2 suivants jusqu'à leur mise en service (cf. Figure 2.5-5) illustrant l'évolution du nombre de séparations et leur positionnement en 2113).

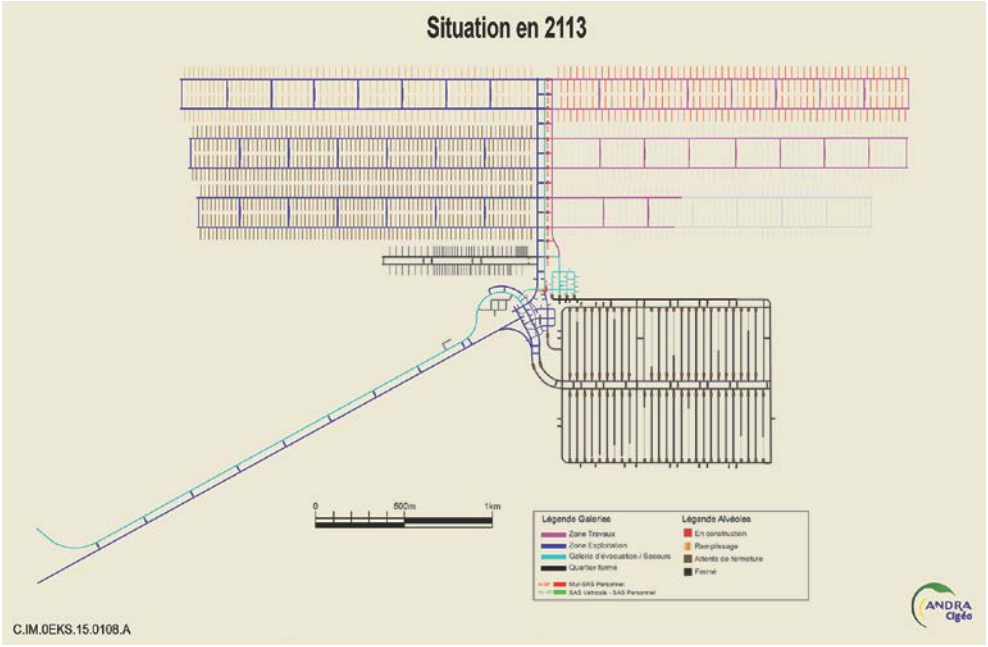


Figure 2.5-5 *Schéma de principe montrant les séparations physiques des activités d'exploitation et de creusement au sein de l'installation souterraine*

Deux types de séparation physique aux interfaces ZEXP/ZT sont proposés au regard de leurs fonctions en situation normale et en situations incidentelles/accidentelles :

- pour les configurations de galeries en bitubes (GLI MA-VL, HA0 et HA1/HA2, GA HA0 et HA1/HA2), l'interface comprend une séparation physique plus un sas pour le personnel avec respect des exigences de protection physique (seuls les services de secours sont en mesure d'accéder aux galeries d'exploitation depuis une galerie en Zone Travaux ou d'évacuation de secours) (Cf. Figure 2.5-6) ;
- pour les configurations monotubes (GRA Sud et Nord), l'interface comporte une séparation physique plus un sas personnel franchissable par un véhicule de secours, ce qui permet de respecter l'exigence de disposer de deux points d'accès pour les équipes d'intervention en transitant soit par la zone exploitation soit par la zone travaux (Cf Figure 2.5-7). Cette séparation doit respecter les exigences de protection physique.

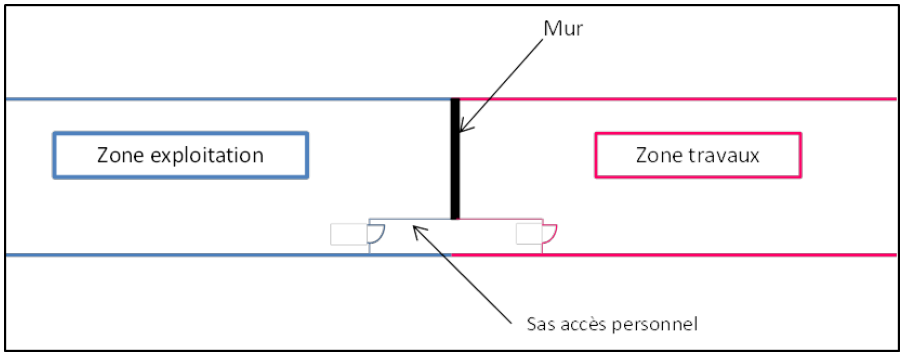


Figure 2.5-6 Représentation graphique de l'interface exploitation/travaux –

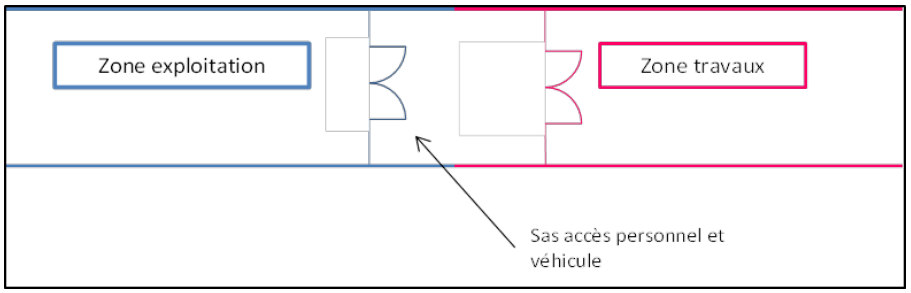


Figure 2.5-7 Représentation graphique de l'interface exploitation/travaux - Configuration monotube (GRA-MA-VL)

Ces séparations physiques répondent aux principales exigences suivantes :

- présenter une résistance et une réaction au feu REI 120. La suffisance de ce dimensionnement sera confortée en APD au regard des engins utilisés à proximité ;
- être étanches pour empêcher la propagation d'eau d'une zone à l'autre en cas d'inondations d'origine interne;
- être protégées contre les chocs et collisions d'engins ou de véhicules utilisés comme moyens de manutention, par exemple par la mise en place de glissières en béton armé en pied de chaque côté ;
- être déconstructible pour permettre l'extension de la zone exploitée après les essais de qualification.

▪ ***La phase de basculement de ZT en ZEXP***

Chaque phase de ce déploiement s'effectue en plusieurs étapes, chacune d'entre elles se déroulant avec les objectifs suivants :

- maintenir une séparation des activités d'exploitation et de travaux ;
- limiter l'influence des opérations à réaliser notamment sur la zone en exploitation ;
- prévenir les situations incidentelles conduisant à des perturbations de la ventilation, de l'alimentation électrique, du contrôle-commande ;
- prévenir les situations accidentelles qui pourraient agresser les cibles situées à proximité : les personnes à leur poste de travail, les séparations physiques voire les hottes de transfert des colis.

Pendant la phase de basculement, l'extension de la Zone d'Exploitation présente trois états distincts :

- l'état initial qui correspond à la délimitation ZEXP/ZT initiale avant la nouvelle phase de déploiement de l'exploitation ;
- l'état intermédiaire qui correspond à la construction des séparations suivantes, délimitant ainsi une zone intermédiaire entre la ZEXP et la ZT appelée « Zone d'Essais » ;
- l'état final qui correspond à la nouvelle délimitation ZEXP/ZT une fois la Zone d'Essais transférée du côté de la ZEXP et les anciennes séparations démantelées.

Les dispositions prévues pour l'extension de la zone en exploitation depuis l'état initial vers son état final sont un enchaînement d'opérations selon le processus suivant :

- construction du génie civil des ouvrages de la phase à déployer en présence des séparations physiques décrites précédemment ;
- acheminement des équipements via la zone travaux, mise en place et essais statiques de phase 1[65] ;
- des dispositifs d'isolement (ex. vannes, tapes, registres), éventuellement doublés de part et d'autre de la cloison, sont prévus pour garantir l'indépendance des systèmes entre zones jusqu'au basculement ;
- raccordement du réseau HTA (sous station électrique) sur le réseau principal en exploitation via des fourreaux placés en attente dans le radier des galeries ;
- mise sous tension des équipements et raccordement sur le réseau « développement et essais » (CFI-CC) ; la plateforme de développement et d'essais (PDE) est une installation CFI-CC « miroir » du contrôle commande de la zone exploitée (serveurs, applicatifs…) qui permet de réaliser les essais dans la zone travaux/essais en « mode isolé » sans impact sur l'exploitation ;
- réalisation des essais et qualifications de phase 2[66] en mode isolé grâce à la PDE. Les équipements sont alimentés en BT depuis les réseaux d'alimentation définitifs (issus de la zone en exploitation). Le principe de sélectivité totale des installations électriques en BT et en HTA permet de s'affranchir de tout impact sur l'exploitation en cas de défaut électrique en cours d'essais ;
- basculement de la zone d'essais vers l'exploitation avec :
  - ✓ la construction, depuis la zone travaux, des séparations physiques en limite des zones essais / travaux (état intermédiaire) ;
  - ✓ les opérations de dépose des dispositifs provisoires, de raccordement des nouveaux tronçons de réseau (ventilation, fluides, CFI…), de migration logicielle des nouveaux équipements de la zone d'exploitation étendue en salle de conduite et de dépose des séparations physiques en limite des zones essais / exploitation (état final) ; ces opérations pourront être réalisées avec arrêt de l'exploitation (à confirmer lors des phases ultérieures) ;
- réalisation des essais de phase 3[67] qui consistent aux essais de fonctionnement global de l'installation en configuration définitive en inactif. Il est envisagé à ce stade de réaliser ces essais sans coactivité avec l'exploitation, c'est-à-dire sans opérations de mise en stockage de colis dans la zone déployée.

2.5.2.2 Coactivité en exploitation/maintenance

Maintenance préventive

Les opérations de contrôles réglementaires, d'essais périodiques et de maintenance préventive sont planifiées à l'avance.

Les vérifications réglementaires de périodicités mensuelle et trimestrielle sont réalisées en dehors des heures d'exploitation et le weekend.

[65] Les essais de phase 1 consistent aux vérifications de fin de montage.
[66] Les essais de phase 2 sont des essais de bon fonctionnement des composants et sous système.
[67] Les essais phase 3 sont des essais de bon fonctionnement global de l'installation.

Les opérations de périodicité semestrielle et annuelle ont lieu pendant les semaines d'arrêt de fonctionnement des installations. Elles concernent notamment des équipements importants pour la protection tels que les circuits de lutte contre l'incendie, les installations électriques, les appareils de levage et de manutention, les appareils à pression de gaz et de vapeur. Les flux entrants d'emballages de transport et les flux de stockage de colis en alvéole sont arrêtés. L'ensemble du procédé nucléaire est à l'arrêt et les colis de stockage sont en attente dans les locaux dédiés des installations de surface.

Maintenance curative

Les interventions de maintenance corrective (diagnostic de la cause d'une panne d'équipements, remplacement des pièces défaillantes, réglages et remise en service…) sont imprévisibles et entrainent dans certains cas l'arrêt de l'exploitation (par exemple pour le funiculaire). Une analyse des risques spécifiques sera réalisée avant chaque intervention afin de procéder à la mise en place de mesures de prévention et de protection adéquates.

Dans l'installation souterraine, lorsque les opérations de maintenance préventives ou curatives sont réalisées sans interrompre l'exploitation, les flux de personnes et d'équipements pour la maintenance peuvent emprunter le même trajet que les colis de stockage (galeries de liaison et d'accès) et que le personnel d'exploitation (galerie de retour d'air MA-VL pour accéder aux locaux de filtration à l'arrière des alvéoles). Les dispositions de prévention des risques associées sont les suivantes :

- la vitesse des navettes et chariots de fond sont limitées et leurs positions connues en permanence en salle de conduite ;
- les hottes sont équipées d'un dispositif de géolocalisation, ainsi que d'une signalisation visuelle et sonore afin d'avertir le personnel de la présence d'un colis de stockage en cours de transfert ;
- la circulation du personnel est organisée par la présence, soit de marquages au sol, soit de cheminements séparés et protégés ;
- la descenderie de service, dédiée au matériel de maintenance et aux services de secours, est séparée et indépendante de la descenderie colis dédiée au procédé nucléaire.

2.5.2.3 Coactivité en exploitation/jouvence

Les opérations de maintenance lourde ou de jouvence ont lieu périodiquement environ tous les 10 ans, 20 ans et 40 ans. Elles nécessitent l'arrêt du procédé lors du remplacement d'équipements de cellules des installations nucléaires de surface (cellules de déchargement, de conditionnement et de contrôle) ou d'équipements de transferts et de manutention des hottes, ce qui limite de fait les risques liés à la coactivité.

Afin de limiter les arrêts d'exploitation, ces opérations sont planifiées entre les différentes parties de l'installation (installation nucléaire de surface, descenderie colis, puits d'exploitation et ZEXP de l'installation souterraine).

2.5.3 Dispositions de surveillance

Les coactivités exploitation/maintenance et exploitation/jouvence ne nécessitent pas de dispositions de surveillance supplémentaires à celles déjà présentes dans l'installation vis-à-vis de la maîtrise des risques.

Concernant la coactivité exploitation/travaux, des dispositions de surveillance sont mises en place pour la détection rapide d'événements pouvant notamment dégrader les performances des séparations physiques entre la zone en exploitation et la zone en travaux et remettre en cause l'exigence de chantier clos et indépendant retenue.

Les principales dispositions au regard des risques identifiés sont :

- une détection incendie mise en place dans l'ambiance de part et d'autre des séparations, celle-ci venant en complément des détections incendie embarquées sur les engins et de la détection humaine liée à la présence du personnel d'exploitation ;
- une détection de l'ambiance radiologique de part et d'autre des séparations ;
- une détection de présence d'eau de part et d'autre des séparations.

2.5.4 Dispositions de limitation des conséquences

Cette section se focalise sur la limitation des conséquences associée à la coactivité exploitation/travaux.

La conception et la gestion des séparations physiques (parois et sas) entre la zone en exploitation et la zone travaux assurent une protection vis-à-vis des scénarios accidentels pouvant survenir de part et d'autre. Les principales dispositions associées sont présentées ci-après.

2.5.4.1 Dispositions vis-à-vis du risque d'incendie

Sectorisation/ résistance au feu

Les dispositions constructives (sas/ mur de séparation des zones travaux/ conventionnelles de la zone nucléaire), la limitation des puissances thermiques des engins/équipements proches de la zone en interface et la distance d'éloignement de ces engins/équipements par rapport au sas ou mur d'au moins 30 mètres (mise en place de barrières physiques) empêchent la propagation de l'incendie d'une zone à l'autre et permettent de limiter les effets d'un incendie en zones travaux/conventionnelles sur la zone nucléaire.

Les sas/ murs présenteront a minima des performances en résistance au feu REI ou EI 120 (sous incendie conventionnel). Le dimensionnement à la courbe HCM du sas situé côté chantier pourrait être envisagé le cas échéant pour disposer d'une qualification complémentaire si la distance d'éloignement de l'incendie par rapport au sas/ mur s'avérait trop contraignant par ailleurs.

Evacuation du personnel

Compte tenu du nombre important de personnel pour les travaux en fond au regard des voies d'évacuation vers la surface, aucune évacuation directe vers la surface n'est autorisée dès le déclenchement d'alerte.

L'évacuation consiste donc à la mise à l'abri du personnel, dans l'attente des consignes ultérieures ou de l'intervention des équipes de secours pour une évacuation organisée et accompagnée vers la surface. Le personnel se réunit en des points de rassemblement situés dans un endroit permettant un comptage rapide des personnes évacuées, sans gêner l'arrivée et l'intervention des secours.

En situation d'incendie, chaque zone dispose de ses propres cheminements d'évacuation du personnel. L'évacuation du personnel se déroule au sein de la zone sinistrée (en ZEXP ou en ZT) indépendamment de l'autre zone et ne s'appuient pas sur le franchissement des séparations situées aux interfaces. Cependant, dans le cas d'une situation d'incendie ne permettant pas de réaliser l'évacuation du personnel de manière sécurisée dans sa propre zone, les séparations physiques sont dimensionnées de sorte qu'à titre exceptionnel, l'évacuation du personnel de la zone exploitation par la zone travaux (et inversement) soit possible par l'utilisation de sas personnel situés aux interfaces exploitation/travaux. Ces sas devront respecter les principes de protection physique.

Intervention et lutte contre l'incendie

Tout véhicule présentant un potentiel calorifique significatif sera équipé d'une extinction automatique incendie embarquée couplée à une détection incendie. Dans tous les cas, les véhicules sont équipés d'extincteurs portatifs en nombre suffisant.

Des extincteurs sont mis en place non seulement pour la sauvegarde de la vie humaine mais également pour la limitation des conséquences sur les cibles de sûreté. Ainsi, en complément des séparations physiques entre les zones travaux/ conventionnelles et la zone nucléaire, la mise en œuvre de moyens de secours portatifs mobiles (extincteurs…) à disposition des opérateurs permet de limiter le développement et la montée en puissance d'un départ de feu.

Les moyens d'intervention et de lutte contre l'incendie sont :

- des systèmes d'extinction fixes (côté travaux, ces systèmes doivent être facilement déplaçables et démontables et sont complétés de moyens mobiles) ;
- un groupe d'intervention de secours avec une organisation opérationnelle de la lutte contre l'incendie adaptée au milieu souterrain ;
- des réseaux incendie en souterrain ; un réseau humide est préféré à un réseau sec au regard de la disponibilité immédiate en eau permettant une rapidité d'intervention et de lutte incendie essentielle pour maîtriser un incendie (retour d'expériences de lutte incendie dans les tunnels) ;
- des véhicules d'intervention incendie ;
- des systèmes de récupération des agents d'extinction.

Le choix des agents extincteurs doit privilégier leur efficacité et la réduction de la quantité d'eau utilisée (brouillard d'eau, mousse…).

L'organisation opérationnelle de l'intervention suit les grands principes suivants :

- les équipiers d'intervention font partie intégrante du personnel d'exploitation et de travaux. En fonction du sinistre et en cas d'échec de la première intervention, l'équipe de seconde intervention s'assure de la mise à l'abri des personnes et attaque le sinistre en attendant l'arrivée des services de secours ;
- les services de secours arrivent en renfort pour prendre le relais de l'équipe de seconde intervention qui leur transmet les informations de la phase de reconnaissance.

Afin d'assurer une rapidité d'intervention dans l'installation souterraine, des armoires de sécurité permettant de stocker du matériel de protection et de lutte incendie sont implantées au niveau des recoupes/refuges/niches.

En configuration bitube, les équipes d'intervention et les services de secours empruntent la galerie saine puis passent par le sas d'une recoupe pour atteindre la zone sinistrée. Dans la zone travaux, les recoupes prévues pour garantir la configuration bitube des galeries sont à réaliser dès que possible. Les véhicules d'intervention peuvent passer dans les recoupes d'évacuation/secours.

Pour les configurations monotube, les portes pare-fumées (compartimentage) sont mises en œuvre sur commande manuelle ou automatique pour limiter la propagation d'un incendie et des fumées dans l'ouvrage souterrain et faciliter ainsi l'approche des équipes d'intervention et des services de secours sur le lieu sinistré.

Le cheminement des véhicules d'intervention dans la zone travaux ne doit pas être gêné par la présence d'obstacles. Les solutions envisagées pour répondre à cette exigence sont les suivantes :

- géolocalisation des engins et communication avec les conducteurs afin de leur indiquer la marche à suivre en cas d'incendie permettant une circulation des véhicules d'intervention ;
- stationnement des engins autorisée d'un seul côté ;
- limitation du nombre de refuges mobiles aux zones proches du front de creusement ;
- limitation des zones de stockage temporaire dans les recoupes et délimitation de ces zones pour ne pas devenir un obstacle ;
- plan de circulation pour restreindre au maximum les demi-tours et les croisements de flux.

En situation d'incendie, l'intervention des secours se déroule au sein de la zone sinistrée (en ZEXP ou en ZT) indépendamment de l'autre zone et ne s'appuient pas sur le franchissement des séparations situées aux interfaces. Dans le cas de galeries monotubes, l'intervention des services de secours doit pouvoir être réalisée de part et d'autre de la zone accidentée en empruntant les sas avec leur véhicule entre les zones travaux et exploitation. Ces sas devront respecter les exigences liées à la protection physique.

2.5.4.2 Dispositions vis-à-vis des risques nucléaires

Les dispositions prises vis-à-vis de la dispersion de substances radioactives ont conduit à classer les galeries en exploitation en famille I-C1 (concentration très faible en situation accidentelle). Ces galeries sont les seules en interface avec les galeries de la zone travaux. Elles sont séparées physiquement et indépendantes d'un point de vue ventilation ce qui supprime tout risque de contamination de la zone travaux.

Vis-à-vis de l'exposition externe, le transfert des colis au sein de hottes ayant une fonction de radioprotection limite le débit de dose à 1 mètre de la hotte. L'épaisseur des séparations physiques couplée à l'éloignement de la hotte en cours de transfert par rapport à cette séparation permettent d'écarter tout effet sur le personnel situé dans la zone travaux.

2.5.4.3 Dispositions vis-à-vis de l'inondation

En complément des dispositions retenues pour prévenir une inondation dans l'installation souterraine, les dispositions suivantes sont retenues pour en limiter les effets :

- les séparations physiques sont étanches pour éviter que l'eau en provenance des travaux ne perturbe la zone en exploitation et inversement ;
- un système gravitaire de récupération des eaux équipé de détecteurs en point bas et de pompes de relevage.

2.5.4.4 Dispositions vis-à-vis du séisme

Les séparations physiques de la zone en exploitation et de la zone travaux sont dimensionnées au séisme SMS afin de rester stables sous séisme. Les équipements situés à proximité des séparations sont aussi dimensionnés au séisme SMS pour ne pas devenir des projectiles susceptibles de les agresser.

2.6 Risques de malveillance

Les risques de malveillance sont liés aux agressions volontaires qui pourraient impacter la sûreté de l'installation au cours de la phase d'exploitation par des individus internes ou externes à l'organisation de Cigéo. Les menaces prises en considération pour les risques de malveillance sont :

- le vol ou le détournement de matières nucléaires à des fins notamment de fabrication d'engin à dégagement d'énergie nucléaire (EDEN) ;
- les actes de sabotage ou d'agression pouvant porter atteinte à la santé des personnes ou à l'environnement par dissémination de substances radioactives, irradiation ou rejets toxiques associés aux activités nucléaires ;
- les actes pouvant empêcher le fonctionnement des installations et porter atteinte au potentiel économique de la Nation.

L'installation Cigéo, en tant qu'installation nucléaire présente potentiellement des risques liés à la malveillance et, est ainsi soumise à la réglementation sur la protection et le contrôle des matières nucléaires de leur installation et de leur transport.

Les cibles des actes de malveillances peuvent être les matières radioactives (ou matières nucléaires) ou les équipements dont la perte pourrait conduire à des impacts radiologiques sur le public.

De manière générale, la gestion du risque de malveillance se fait au travers de la mise en œuvre d'un dispositif de protection physique et d'un dispositif de gestion et de suivi des matières nucléaires. Ils sont établis d'une part au regard de la règlementation encadrant ces sujets et d'autre part au regard de la nature des matières, de leur conditionnement et du procédé de mise en stockage.

Les principaux textes règlementaires auxquels l'organisation de Cigéo est soumise au titre des risques de malveillances sont :

- le traité de non-prolifération EURATOM ;
- la convention sur la protection physique des matières nucléaires ;
- le code de la défense au titre III : défense économique dans ses articles L. 1332-1 et suivants (regroupés au chapitre 2 : protection des installations d'importance vitale) et L. 1333-1 et suivants (regroupés au chapitre 3 : matières et installations nucléaires).

Par ailleurs, les principaux éléments de défense intégrés au dispositif de protection physique sont :

- la restriction des accès à du personnel habilité ; les niveaux d'habilitation pourront différer que ce soit pour l'accès au site de manière générale ou pour l'accès à des zones sensibles de l'installation ;
- Ces zones sont définies sur la base des recommandations de l'arrêté du 10 juin 2011 relatif à la protection physique (37) ;
- la réalisation des travaux de creusement, de construction et d'équipement au sein d'un chantier clos et indépendant de l'installation nucléaire ;
- la classification de certaines données relatives à la protection physique et à la sûreté de l'installation ;
- la mise en œuvre de dispositions de surveillance permettant de prévenir, détecter et alerter le personnel de sécurité de toute anomalie relative aux risques de malveillance ;
- la mise en place d'une série de barrières successives séparant les cibles de l'extérieur de l'installation et permettant un renforcement progressif de la protection vis-à-vis des risques de malveillance ;
- la mise en place d'une organisation mobilisant aussi bien le personnel de sécurité de Cigéo que les pouvoirs publics afin de permettre les actions de réaction en cas d'agression avérée ;
- le respect de la réglementation en matière de protection physique et de suivi et comptabilité des matières nucléaires.

Le dispositif de protection physique fera l'objet d'une analyse de sa robustesse au travers d'une étude de sécurité, qui permettra de vérifier son efficience au regard d'une série de scénarios de malveillances prédéfinis.

2.7 Risques liés aux alvéoles « pleins » en attente de fermeture

2.7.1 Alvéole MA-VL

2.7.1.1 Rappel des phases de vie de l'alvéole

Au cours de l'exploitation, à l'issue de l'APS, deux principales phases de vie sont identifiées pour les alvéoles MA-VL (cf. PDE(7)) :

- une phase ventilée de la mise en service de l'alvéole jusqu'à la fermeture du quartier MA-VL (soit une durée d'environ 70 ans). Durant cette phase, un débit de ventilation constant et égal à celui mis en œuvre pendant la phase de remplissage est maintenu ;
- une phase non ventilée jusqu'à la fin de l'exploitation (soit une durée d'environ 50 ans).

2.7.1.2 Conséquences vis-à-vis des principaux risques

Vis-à-vis du risque de dispersion

Les principes de confinement présentés au § 2.1.2 sont valables pour l'alvéole MA-VL pendant toute la durée de l'exploitation.

Lorsque l'alvéole est ventilé, les systèmes de confinement sont les mêmes que pour les opérations de mise en stockage (cf. § 2.1.2), à savoir les colis de stockage comme 1er système de confinement et le génie civil de l'alvéole associé à une ventilation nucléaire comme 2ème système de confinement.

Lorsque l'alvéole n'est plus ventilé, les deux systèmes de confinement mis en place sont :

- les colis de stockage comme 1er système de confinement ;
- le génie civil de l'alvéole associé à un ouvrage de fermeture (confinement statique de l'alvéole) comme 2ème système de confinement.

Le domaine de fonctionnement normal de l'alvéole considère :

- un dégagement possible de gaz radioactifs ;
- une absence de dispersion d'aérosols radioactifs contenus dans les colis de stockage.

Une fois l'alvéole MA-VL rempli et qu'aucune opération n'est effectuée, compte tenu de la conception des colis de stockage et des conditions d'ambiance favorables dans les alvéoles MA-VL, la perte de confinement d'un nombre important de colis de stockage en alvéole de stockage MA-VL avant la fin de l'exploitation est exclue. La dégradation d'un nombre limité de colis de stockage avec remise en suspension de particules dans l'alvéole est toutefois envisagée. Une situation qui engendrerait une contamination atmosphérique dans l'alvéole MA-VL supérieure à 1 LDCA pourrait toutefois être gérée par la ventilation de l'alvéole qui continue de remplir son rôle de confinement dynamique (classe C2) puis, lorsque l'alvéole n'est plus ventilé, par le confinement statique porté par l'alvéole associé à un ouvrage de fermeture. Des dispositions plus spécifiques, encore à l'étude à ce stade, pourront également être prises si les études ultérieures en établissent la nécessité, par exemple : mise en place d'une filtration amont sur la gaine donnant sur la cellule voire un renforcement et/ou une sécurisation de la filtration en aval dans le local DNF, dispositions pour assurer le maintien du confinement dynamique, retrait de ce(s) colis selon un mode opératoire spécifique.

Le retrait d'un ou plusieurs colis présentant une dégradation de leur propriété de confinement peut s'effectuer à l'aide de la hotte de transfert qui contribue alors à assurer le confinement des substances radioactives. Le taux de fuite de la hotte est alors compatible avec le transfert du colis jusqu'à un niveau maximum de contamination surfacique labile. Si nécessaire, des dispositions spécifiques, encore à l'étude à ce stade, pourront être mises en place préalablement à la sortie du colis hors de la cellule de manutention (fixation de la contamination…).

Vis-à-vis du risque d'exposition externe

L'alvéole une fois rempli comporte une protection radiologique constituée d'un mur de blocs de béton placé en tête de la partie utile de l'alvéole entre la dernière rangée de colis et la porte de protection de la cellule de manutention. Cette protection est dimensionnée sur la base du zonage radiologique retenu pour les opérations d'obturation des alvéoles et de récupération des colis. Elle permet notamment de réaliser les opérations de démantèlement de la porte de radioprotection et de ses équipements associés dès la fin des opérations de stockage dans l'alvéole.

En fond d'alvéole, un mur de protection radiologique est également mis en place.

Vis-à-vis du risque lié à la radiolyse des déchets

Pendant la phase ventilée, la ventilation nucléaire continue d'assurer l'évacuation des gaz de radiolyse produits par les colis.

Pendant la phase non ventilée, des dispositions seront retenues telles que l'inertage afin de s'affranchir d'un risque de formation d'une atmosphère explosive.

Vis-à-vis du risque lié à la thermique

La ventilation ne portant pas de fonction d'évacuation de la puissance des déchets, le passage en phase non ventilée n'a pas d'impact sur cette fonction de protection.

2.7.2 Alvéole HA

Dès la fin du remplissage d'un alvéole, un bouchon de radioprotection de fermeture définitif est placé à l'intérieur du chemisage de l'alvéole au plus près des colis stockés. Celui-ci est laissé en place jusqu'au passage de l'alvéole au niveau III et reste en place lors de l'obturation de l'alvéole. Il est dimensionné sur la base du zonage radiologique retenu pour les opérations d'obturation des alvéoles et de récupération de colis ainsi que pour le respect des objectifs de débit de dose en galerie d'accès aux alvéoles HA.

Le dispositif d'extraction de l'eau et, le cas échéant, des produits de corrosion reste opérationnel jusqu'à la mise en place du bouchon argileux (passage au niveau III).

2.8 Risques liés aux opérations de retrait d'exploitation

Les scénarios de retrait d'exploitation correspondent à des scénarios de retrait de certains colis juste stockés, ou en cours de mise en stockage, considérés comme utiles pour l'exploitation de Cigéo et faisant partie intégrante de cette exploitation (cf. DOREC (8)). Les opérations élémentaires nécessaires à la mise en œuvre des scénarios de retrait d'exploitation correspondent à des situations de fonctionnement normal de l'installation.

Ces scénarios de retrait sont mis en œuvre ponctuellement, sur un nombre limité de colis, dans des alvéoles dans lesquels l'ensemble des équipements de manutention sont opérationnels, c'est-à-dire qu'ils sont, soit en cours de remplissage, soit, après leur remplissage, dans la phase d'attente de mise sous cocon ou de démontage de leurs équipements de manutention. Cette dernière phase est prévue pour durer environ 1 an après la fin du remplissage.

Pour cette catégorie de scénarios de retrait, l'évaluation de sûreté est équivalente à celle des opérations de stockage des colis. A ce stade du projet, les options de sûreté des opérations correspondantes décrites dans ce volume couvrent également les opérations des scénarios de retrait d'exploitation.

2.8.1 Retrait d'un colis de stockage remonté en surface

Ce scénario considère la prise en charge d'un colis de stockage MA-VL ou HA0 dans l'alvéole, sa remontée en surface et son introduction dans la cellule de déconditionnement.

2.8.1.1 Colis de stockage MA-VL

Tous les équipements de manutention et de surveillance nécessaires sont opérationnels. L'alvéole en exploitation est accessible sans disposition particulière.

Tous les systèmes de manutention entrant dans le cycle de retrait du colis de stockage sont ceux utilisés pour la mise en stockage.

Le colis de stockage est considéré comme accessible, ne présentant pas de détérioration qui risquerait de remettre en cause sa préhension et son transfert par les différents équipements de manutention. Le colis de stockage récupéré est « non contaminé ». Un système de contrôle de la contamination du colis de stockage est mis en place dans la cellule de manutention avant sa mise en hotte. Si nécessaire, un système de fixation de la contamination peut aussi être installé.

Pour la mise en œuvre de ce scénario, les dispositions de sûreté mises en œuvre pour la mise en stockage couvrent les opérations de retrait sans nécessité de précautions particulières ou d'ajout de dispositions complémentaires. Les vitesses et hauteurs de manutention sont équivalentes à celles de la mise en stockage.

2.8.1.2 Colis de stockage HA0

A l'identique du scénario MA-VL, on considère que :

- tous les équipements de manutention et de surveillance nécessaires sont opérationnels ;
- l'alvéole en exploitation est accessible sans disposition particulière ;
- le colis de stockage est considéré comme accessible, ne présentant pas de détérioration qui risquerait de remettre en cause sa préhension et son transfert par les différents équipements de manutention ;
- le colis de stockage récupéré est « non contaminé », il n'y a donc pas de contrôle de contamination avant sa mise en hotte au niveau de l'alvéole et son transfert en surface.

Le retrait d'un colis HA0 de l'alvéole s'effectue au moyen d'un robot tracteur (versus robot pousseur pour la mise en place). Tous les autres systèmes de manutention entrant dans le cycle de retrait du colis de stockage sont ceux utilisés pour la mise en stockage.

Par rapport à la mise en stockage, la température de la tête d'alvéole et du colis de stockage sont supérieures à celles de la mise en stockage en raison de la montée en température attendue de l'alvéole rempli. Toutefois, les équipements sont dimensionnés pour fonctionner dans une large gamme de températures couvrant cette situation. Les dispositions de sûreté mises en œuvre pour la mise en stockage couvrent les opérations de retrait sans nécessité de précautions particulières ou d'ajout de dispositions complémentaires.

2.8.2 Retrait de colis transférés dans un autre alvéole

Ce scénario considère le retrait de colis de stockage MA-VL ou HA0 d'un alvéole et leur transfert dans un second alvéole.

2.8.2.1 Colis de déchets MA-VL

On considère que :

- tous les équipements de manutention et de surveillance nécessaires sont opérationnels. Les alvéoles sont accessibles sans disposition particulière ;
- les colis de stockage sont considérés comme accessibles, ne présentant pas de détérioration qui risquerait de remettre en cause leur préhension et leur transfert par les différents équipements de manutention ;
- les colis de stockage déplacés sont considérés comme « non contaminés », un système de contrôle de la contamination du colis de stockage est mis en place dans la cellule de manutention avant sa mise en hotte et transfert vers le second alvéole.

Les dispositions de sûreté mises en œuvre pour la mise en stockage couvrent les opérations de retrait sans nécessité de précautions particulières ou d'ajout de dispositions complémentaires. Les vitesses et hauteurs de manutention sont équivalentes à celles de la mise en stockage. L'alvéole de réception est considéré comme compatible avec la présence temporaire des colis de stockage déplacés.

2.8.2.2 Colis de stockage HA0

On considère que :

- tous les équipements de manutention et de surveillance nécessaires sont opérationnels. Les alvéoles sont accessibles sans disposition particulière ;
- les colis de stockage sont considérés comme accessibles, ne présentant pas de détérioration qui risquerait de remettre en cause leur préhension et leur transfert par les différents équipements de manutention ;
- les colis de stockage déplacés sont considérés comme « non contaminés », il n'y a donc pas de contrôle de contamination avant leur mise en hotte au niveau de l'alvéole et leur transfert vers le second alvéole.

Par rapport à la mise en stockage, la température de la tête d'alvéole et du conteneur sont supérieures en raison de la montée en température attendue de l'alvéole rempli. Toutefois, les équipements sont dimensionnés pour fonctionner dans une large gamme de températures couvrant cette situation. Les dispositions de sûreté mises en œuvre pour la mise en stockage couvrent les opérations de retrait sans nécessité de précautions particulières ou d'ajout de dispositions complémentaires.

2.9 Prise en compte du retour d'expérience

Dans le cadre de la conception de Cigéo, l'analyse du retour d'expérience des événements passés dans des installations ou sur des équipements similaires est une nécessité pour en tirer les enseignements qui pourraient être transposables. De plus, cette analyse répond à la demande de l'ASN au travers de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base et plus particulièrement son article 2.4.1 qui demande dans son alinéa 3 de recueillir et d'exploiter le retour d'expérience.

Par ailleurs, cette section n'a pas pour objectif une présentation exhaustive mais de cibler les REX les plus importants vis-à-vis des spécificités de Cigéo. Il est aussi important de rappeler que les options de conception et les dispositions de maîtrise des risques proposées en fin d'APS et présentées dans les sections précédentes privilégient des dispositions robustes et éprouvées sur la base du retour d'expérience de leur utilisation sur des installations existantes.

2.9.1 Retour d'expérience relatif aux incendies en milieu souterrain

Le milieu souterrain comprend de multiples facettes comme le percement de tunnels et de galeries routières et ferroviaires, l'aménagement de réseaux d'assainissement, les travaux dans les parkings en sous-sols, les excavations des carrières et des mines.

Dans ce milieu confiné, les conditions (bruit, pollution de l'air, éclairage, exigüité, humidité, froid) dans lesquelles sont menées les activités rendent difficile le travail au quotidien et la gestion des risques.

La sécurité dans une installation en milieu souterrain est primordiale, l'objectif premier étant de réduire au maximum d'une part les accidents et d'autre part en cas de situation accidentelle de préserver les vies humaines ainsi que les équipements/structures nécessaires au fonctionnement de l'installation (destruction partielle ou totale de l'ouvrage sinistré).

Le danger majeur dans ce type d'infrastructure est celui de l'incendie. En effet, l'espace souterrain peut gêner la libre circulation des personnes ainsi que l'évacuation des fumées et de la chaleur.

Cet état de fait a été observé de façon spectaculaire lors d'incendies catastrophiques survenus au cours de ces dernières décennies. Ces accidents graves notamment dans les tunnels ont conduit à une nouvelle prise de conscience et ont été à l'origine de nombreuses initiatives notamment réglementaires visant au renforcement de la sécurité incendie.

Dans le cadre de la conception du projet Cigéo, l'analyse du retour d'expérience des incendies majeurs dans des ouvrages souterrains est une nécessité pour en tirer les enseignements qui pourraient être lui être transposables :

- Tunnels ferroviaires
  - ✓ tunnel sous la Manche ;
  - ✓ métro parisien ;
  - ✓ métro en Corée du Sud ;
- Tunnels routiers
  - ✓ tunnel du Mont Blanc ;
  - ✓ tunnel des Tauern ;
  - ✓ tunnel du Gothard ;
  - ✓ tunnel du Fréjus ;
- Tunnel de transports passagers
  - ✓ transfert incliné du Kaprun ;

- Tunnels en chantier
  - ✓ chantier EOLE RER E ;
  - ✓ chantier tunnel A86 ;
- Galerie technique
  - ✓ galerie technique Paris 13ème arrondissement ;
- Carrière d'extraction minière
  - ✓ carrière de gypse : carrière de gypse du massif de Montmorency ;
- Centre de stockage de déchets
  - ✓ chimiques : Stocamine (mine de potasse d'Alsace) ;
  - ✓ nucléaires : Le Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) aux U.S.

Les enseignements tirés de ces accidents servent de guide de bonnes pratiques en vue de la construction et de l'exploitation de Cigéo et plus particulièrement sur les infrastructures souterraines : les liaisons surface / fond dont la descenderie colis, la descenderie de service, les puits et l'installation souterraine (ZSL, quartiers de stockage).

Pour chaque événement considéré, un descriptif succinct de l'installation, une analyse de(s) l'incendie(s) et une synthèse tirant les enseignements du sinistre ont été réalisés (38)

Par exemple, les enseignements tirés d'installations souterraines de stockage de déchets à l'étranger, en prenant en compte leurs spécificités, apportent un éclairage intéressant pour la conception de Cigéo.

Ils sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2.9-1 Enseignement retenus des accidents survenus dans des installations souterraines de stockage de déchet

	Facteurs de risques			Cigéo
	Faits	**Conséquences**	**Enseignements**	
Dispositions générales	Départ de feu lié des colis non conformes	Acceptation de colis non conforme	Maîtrise de la qualité du colis stocké, de son conditionnement à sa mise en stockage	Spécification d'acceptabilité des colis Programme de contrôle des colis.
	Le programme de maintenance préventive et corrective n'a pas empêché ou corriger l'accumulation de matières inflammables sur le camion de sel. Il y a une nette différence dans la maintenance entre les véhicules transportant les déchets et les véhicules de la zone travaux.	Départ de feu	Révision du programme de maintenance	Programme de maintenance
	Une contre-culture nucléaire mine existe là où il existe des différences importantes dans la maintenance des équipements entre la zone nucléaire et la zone chantier.	Défaut de maintenance sur la partie chantier	Révision du programme de maintenance Développement d'une culture identique zone nucléaire et chantier	Programme de maintenance Séparation zone nucléaire zone chantier.
	Le système d'assurance qualité de l'entrepreneur NWP (CAS) a été inefficace dans l'identification des conditions et des insuffisances du programme d'entretien associés à la cause de cet événement.	Défaut de maintenance	Révision du programme qualité	Programme de maintenance Plan management intégré
	Le Bureau extérieur Carlsbad DOE (CBFO) a été inefficace dans la mise en œuvre des programmes de surveillance qui ont identifié les faiblesses de l'entrepreneur NWP CAS et les conditions associées à la cause première de cet événement.	Départ de feu	Révision du programme de surveillance	Programme de maintenance Plan management intégré
	Il y a des éléments de la conduite des opérations (CONOPS) qui démontrent un manque de rigueur et de discipline	Evacuation difficile, Non port des équipements de protection lors de l'évacuation, porte coupe-feu bloqués…	Révision du programme de surveillance	Programme de maintenance Plan management intégré Formations entraînement et exercice régulier des secours internes et avec les secours extérieurs.
Dispositions de détection et d'intervention contre l'incendie	Feu de colis de stockage dans le bloc 15	Plusieurs tentatives d'extinction et des moyens d'extinction différents	Adapter les moyens de secours	Moyens de secours adaptés aux risques et répartis dans l'installation. Formation des personnels.
	Reconnaissance longue et difficile Intervention de longue durée	Spécialistes en nombre limités	Besoin de renfort en spécialiste en intervention souterraine	PUI Entraînement et exercice régulier notamment avec les secours extérieurs (convention avec les SDIS 55 et 52)
	Le programme de protection contre l'incendie a été peu satisfaisant en ce qui concerne les exigences de niveau supérieur par rapport au feu de véhicule quant au déclenchement du système d'extinction incendie	Non extinction de l'incendie	Révision des dispositifs d'extinction	Moyens de secours adaptés aux risques et répartis dans l'installation. Formation des personnels.

	Facteurs de risques			Cigéo
	Faits	**Conséquences**	**Enseignements**	
	accumulation de matières combustibles dans la partie souterraine en quantités dépassant les limites spécifiées dans l'analyse des risques d'incendie (FHA) et les procédures de mise en œuvre.	Risque de propagation de l'incendie	Gestion des charges calorifiques	Limitation et suivi des charges calorifiques
	La formation et la qualification de l'opérateur était insuffisant pour assurer une réponse adéquate à un feu de véhicule. *	Départ du feu. Non extinction de l'incendie	Révisions des programmes de formations et d'entraînements	Formations Entraînement et exercice régulier des secours internes et avec les secours extérieurs.
	La réponse des opérations CMR sur le feu, y compris l'évaluation et des mesures de protection, a été moins que satisfaisant.	Diffusion de la fumée dans l'installation	Révision des procédures du CMR	Formations Entraînement et exercice régulier des secours internes et avec les secours extérieurs. Procédure de pilotage de la ventilation
	Les éléments du programme d'urgence / préparation et de réponse ont été inefficaces.	Gestion de crise imparfaite	Révision du programme d'urgence	Formations Entraînement et exercice régulier des secours internes et avec les secours extérieurs. Centre de gestion de crise commun
Dispositions visant à éviter la propagation d'un incendie et à limiter ses conséquences	la FHA ne fournit pas une analyse complète qui aborde tous les scénarios d'incendie souterrain crédible, y compris un incendie situé près du puit d'admission d'air.	Départ du feu	Révision des études de risque incendie	Analyse exhaustive des risques et défense en profondeur.

Les incendies en milieu souterrain revêtent en général un caractère particulièrement difficile en termes d'intervention de longue durée, notamment par le caractère « exigu » des installations mais aussi leur longueur. En fonction de la charge calorifique apportée, de la présence de personnes en nombre plus ou moins important et des consignes déployées, ils peuvent provoquer des conséquences en termes d'impact humain et matériels importants. Les « drames » survenus dans les tunnels routiers du Mont-Blanc, des Tauern, du Gothard, du Fréjus en France, sans oublier le tunnel du transfert incliné du Kaprun (en Autriche) et le métro de Daegu (en Corée du Sud) l'ont montré.

Le REX des incendies intervenus en mines de stockage profond montrent les difficultés d'intervention inhérentes à des feux en grande profondeur en présence de produits dangereux.

Ces sinistres ont fait prendre conscience des risques liés à un incendie. L'un des principaux est le développement extrêmement rapide de certains incendies notamment de poids-lourds, avec une élévation de température considérable, pouvant dépasser 1000 °C. Ce REX sera utilisé pour la conception et l'exploitation de la zone en travaux de l'installation.

L'expérience a aussi montré que des quantités importantes de gaz toxiques et de fumées pouvaient être produites en un court laps de temps et ce, dès le début de l'incendie. Il est aussi apparu que le facteur humain lié au comportement des exploitants et des équipes d'intervention n'était pas toujours celui attendu.

Le REX incendie dans les différentes installations a conduit à faire évoluer la réglementation propre à leur domaine respectif. Ces réglementations sont utilisées pour Cigéo soit directement dans les zones en travaux, soit au travers du référentiel incendie pour la conception (6) dans les zones en exploitation nucléaire.

Il a aussi montré l'intérêt pour un concepteur d'installation nouvelle d'intégrer le risque incendie dès le début de son projet.

Ces retours d'expériences sont en grande partie déjà pris en compte dans le cadre du projet Cigéo et une veille des accidents nationaux et internationaux est assurée en interne à l'Andra.

2.9.2 Retour d'expérience concernant le vieillissement

Le vieillissement des installations est une cause importante d'accident industriel. D'après le BARPI, en France, une cinquante d'accidents se sont produits depuis 1990 dans différents domaines industriels. Dans le domaine nucléaire, deux accidents ont été recensés :

En 2006, dans une usine de conversion de concentré minier d'uranium, la corrosion interne d'un tuyau a été à l'origine de la formation de trous dans une canalisation ayant entrainé une fuite de produits chimiques vers la rivière en aval ;

En 2009, une rupture de canalisation enterrée dans un centre de recherche a entrainé l'infiltration d'effluents dans le sol. La fuite est due au vieillissement des canalisations enterrées, dont la rupture est liée au manque de surveillance et d'entretien du fait de sa faible accessibilité.

Toutefois, un avis technique du Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) propose une gestion du vieillissement des installations du cycle du combustible. Les principes de gestion de ce phénomène ainsi que les bonnes pratiques indiquées dans cet avis technique sont utilisés pour Cigéo et sont présentés dans la section dédiée au risque lié au vieillissement.

Dans tous les secteurs industriels, la disponibilité à long terme des circuits imprimés et des composants électroniques est un véritable défi puisque la durée de vie d'un composant électronique est inférieure à dix ans. Avec d'autres grandes industries françaises, AREVA a constitué un comité en charge de l'obsolescence des composants électroniques afin de maîtriser les moyens nécessaires à la production de matériels et à la mise à jour des logiciels. Pour les composants qui ne sont plus disponibles sur le marché, une plate-forme commune a été créée afin de procéder à la rétro-ingénierie, la re-fabrication et l'insertion des composants dans l'environnement technologique initial et plus ancien. Des formations internes ont été organisées depuis 2002 qui se fondent sur les enseignements

tirés de l'exploitation des installations, afin de préserver les connaissances et de conserver la maîtrise de l'intégralité de l'architecture de contrôles-commandes.

Le béton du génie civil et des différentes structures des ouvrages qu'ils soient en surface ou en souterrain, peut-être le siège d'un processus de dégradation lié à des pathologies telles que la Réaction Sulfatique Interne (RSI) et/ou la Réaction Sulfatique Externe (RSE). Le REX disponible pour limiter ces phénomènes de dégradation et de vieillissement sera exploité lors des différentes phases de la conception et de construction. De plus, pendant l'exploitation, les bétons feront l'objet d'un examen décennal et d'une surveillance particulière, l'état de conservation des structures de génie civil participant à l'accomplissement des fonctions de sûreté pouvant être apprécié par un examen visuel.

2.9.3 Retour d'expérience du Laboratoire souterrain

Les options de sûreté et les dispositions de conception s'appuient sur le retour d'expérience du Laboratoire souterrain notamment présenté dans la note citée en référence (39)

2.9.4 Retour d'expérience des essais technologiques

Les options de sûreté et les dispositions de conception s'appuient sur le retour d'expérience des essais technologiques menés d'une part sur les conteneurs de stockage (cf. volume II) et sur les prototypes de manipulation et transfert des conteneurs de stockage, d'autre part sur les dispositifs de fermeture des ouvrages (remblais et scellements), enfin sur celle acquise dans le cadre de projets européens (exemple ESDRED, MODERN, DOPAS, LUCOEX…).

3

Étude des situations de dimensionnement

3.1 Etude des situations de dimensionnement 420
3.2 Étude des situations de dimensionnement du PUI 429
3.3 Présentation des situations exclues 436

3.1 Etude des situations de dimensionnement

Dans le cadre de la démarche de sûreté, il faut vérifier que les dispositions mises en place sont suffisantes pour garantir le respect des fonctions de sûreté. Cette vérification est réalisée par l'identification des situations de fonctionnement incidentelles et accidentelles et l'estimation des conséquences radiologiques du ou des scénarios enveloppes de l'installation en termes de rejet.

Ci-après sont présentées les différentes situations de dimensionnement identifiées au travers de l'analyse des risques. Les situations de dimensionnement sont présentées selon le découpage installations nucléaires de surface, installation souterraine. Les conséquences radiologiques des scénarios enveloppes sont présentées au § 3.1.3.

3.1.1 Présentation des situations incidentelles

Les situations incidentelles identifiées pour les installations nucléaires de surface et l'installation souterraine sont présentées respectivement dans les Tableau 3.1- et Tableau 3.1-.

Tableau 3.1-1 Situations incidentelles pour les installations de surface

N°	Local	Scénario
I1	Hall de déchargement des convois	Chute de 2 m d'un emballage ET-V ou ET-H manutentionné au pont portique lors de son transbordement du convoi vers le lorry suite à une erreur humaine
I2	Hall de réception n°3 pour ET-H	Chute de 1,2 m d'un emballage ET-H manutentionné au pont roulant lors de son transbordement vers le chariot suite à une erreur humaine
I3	Parc à hottes	Collision/renversement d'une hotte HA ou MA-VL

Compte tenu des vitesses de transfert des engins et de la robustesse de la hotte, le scénario I3 ne conduit pas à agresser le colis et remettre en suspension des substances radioactives. Le scénario n° I1 envisage une hauteur de chute plus importante que les autres scénarios, susceptible ainsi de mobiliser un terme source plus important, il est donc retenu comme enveloppe des autres scénarios en termes de conséquences radiologiques. La description détaillée du scénario n°I1 et l'estimation des conséquences radiologiques associées sont présentées dans le paragraphe 3.1.3

Tableau 3.1-2 Situations incidentelles pour l'installation souterraine

N°	Local	Scénario
I4	ZSL, galeries de liaison	Collision/renversement d'une hotte HA ou MA-VL

Compte tenu des vitesses de transfert des engins et de la robustesse de la hotte, ce scénario ne conduit pas à agresser le colis et remettre en suspension des substances radioactives.

3.1.2 Présentation des situations accidentelles

Les situations accidentelles identifiées pour les installations nucléaires de surface et l'installation souterraine sont présentées respectivement dans les Tableau 3.1- et Tableau 3.1-

Tableau 3.1-3 Situations accidentelles pour les installations nucléaires de surface

N°	Local	Scénario
A1	Bâtiment procédé	Chute d'un avion militaire
A2	Puits d'extraction de l'air vicié de l'installation souterraine	Chute d'un avion de l'aviation générale
A3	Hall de déchargement des convois et hall de réception n°3 pour ET-H	Incendie du camion impliquant un ET
A4	Hall de réception n°2 pour ET-V	Chute < 6 m d'un emballage ET-V sans capot manutentionné au pont roulant lors de son basculement dans la fosse
A5	Hall de préparation et accostage	Incendie du chariot et du transbordeur impliquant un ET type B sans capot sans couvercle
A6	Cellule de déchargement	Chute de 6 m d'un CP déchargé au pont roulant dans un ET-V suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage
A7		Incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle
A8	Cellules de conditionnement MA-VL / HA	Incendie du chariot et du poste de conditionnement impliquant un colis de stockage non-confectionné
A9	Couloirs de circulation procédée	Incendie du chariot et du transbordeur impliquant un colis de stockage
A10		Incendie du chariot et du transbordeur impliquant un colis primaire
A11	Cellule de mise en hotte MA-VL	Chute de 1,2 m d'un colis de stockage manutentionné au pont roulant suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage
A12	Cellule de mise en hotte HA	Chute de 3 m d'un colis de stockage
A13	Gare haute transfert incliné	Incendie de la navette, des coffrets électriques, du transfert incliné (capacités hydrauliques + coffrets électriques)

Compte tenu des termes sources susceptibles d'être mobilisés, les scénarios n° A6 et n° A7 couvrent les autres scénarios en termes de conséquences radiologiques. La description détaillée des scénarios et l'estimation des conséquences radiologiques associées sont présentées au § 3.1.3.

Tableau 3.1-4 Situations accidentelles pour l'installation souterraine

N°	Local / zone	Scénarios
A14	Gare basse transfert incliné	Collision du transfert incliné en gare basse à petite vitesse
A15	Galeries souterraines	Incendie du chariot impliquant une hotte
A16	Cellule de manutention MA-VL	Chute d'un colis de stockage suite à une défaillance de l'élévateur
A17		Incendie en cellule de manutention
A18	Alvéole de stockage MA-VL	Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage
A19	Alvéole de stockage HA	Incendie du vérin-pousseur (+ chemisage acier + colis de stockage HA) en alvéole HA

Compte tenu des termes sources susceptibles d'être mobilisés, les scénarios n° A16 et n° A17 couvrent les autres scénarios en termes de conséquences radiologiques. La description détaillée des scénarios et l'estimation des conséquences radiologiques associées sont présentées au § 3.1.3.

3.1.3 Etude des scénarios enveloppes

3.1.3.1 Hypothèses de calculs

Les calculs d'impact sont effectués à l'aide de la plateforme CERES® impact radiologique, développé par le CEA.

L'impact des accidents est calculé pour trois jeux de conditions météorologiques :

- DF2 : conditions de diffusion faibles, vitesse de vent de 2 m.s-1, absence de pluie ;
- DN5 : conditions de diffusion normales, vitesse de vent de 5 m.s-1, absence de pluie ;
- DN5P : conditions de diffusion normales, vitesse de vent de 5 m.s-1, pluie lors du rejet.

Une seule condition météorologique est considérée pendant toute la durée du rejet, définie par une classe de stabilité (diffusion faible ou diffusion normale), une vitesse de vent et une intensité de pluie.

Les catégories de population retenues sont l'enfant de 1 à 2 ans, l'enfant de 10 ans et l'adulte.

Les impacts sont calculés à :

- 500 m correspondant à la distance à la clôture du site ;
- 1000 m correspondant à la distance entre Saudron et l'émissaire du bâtiment EP1 ;
- 2000 m correspondant à la distance entre Bure et l'émissaire de l'installation souterraine (puits VVE) pour les accidents dans les alvéoles MA-VL.

Deux évaluations d'impact sont réalisées :

- impact à court terme, qui correspond à la dose efficace engagée pendant l'accident reçue par le public à la clôture du site, à une distance de 500 mètres ;

- un impact à long terme, qui correspond à la dose efficace engagée reçue par le public (50 ans pour l'adulte et 70 ans pour l'enfant) aux distances de 1000 et 2000 mètres.

Les hauteurs de rejets sont fonction de la localisation du scénario :

- au niveau du sol pour le hall de déchargement des convois ;
- 17 m pour l'émissaire de l'installation nucléaire de surface de la zone descenderie (EP1) ;
- 12 m pour l'émissaire de l'installation souterraine (puits VVE) ;
- 12 m ou 17 m en fonction du réseau de ventilation concerné (émissaire installation nucléaire de surface ou émissaire de l'installation souterraine) pour la descenderie transfert colis.

Les voies d'exposition considérées, représentées sur la Figure 3.1 1, sont les suivantes :

- l'exposition externe au panache ;
- l'exposition interne par inhalation du panache ;
- l'absorption transcutanée du tritium (prise égale à 40 % de la dose efficace due à l'inhalation de l'eau traitée) ;
- l'exposition externe au dépôt radioactif ;
- l'exposition interne par inhalation due à la mise en suspension du dépôt ;
- l'ingestion d'aliments contaminés.

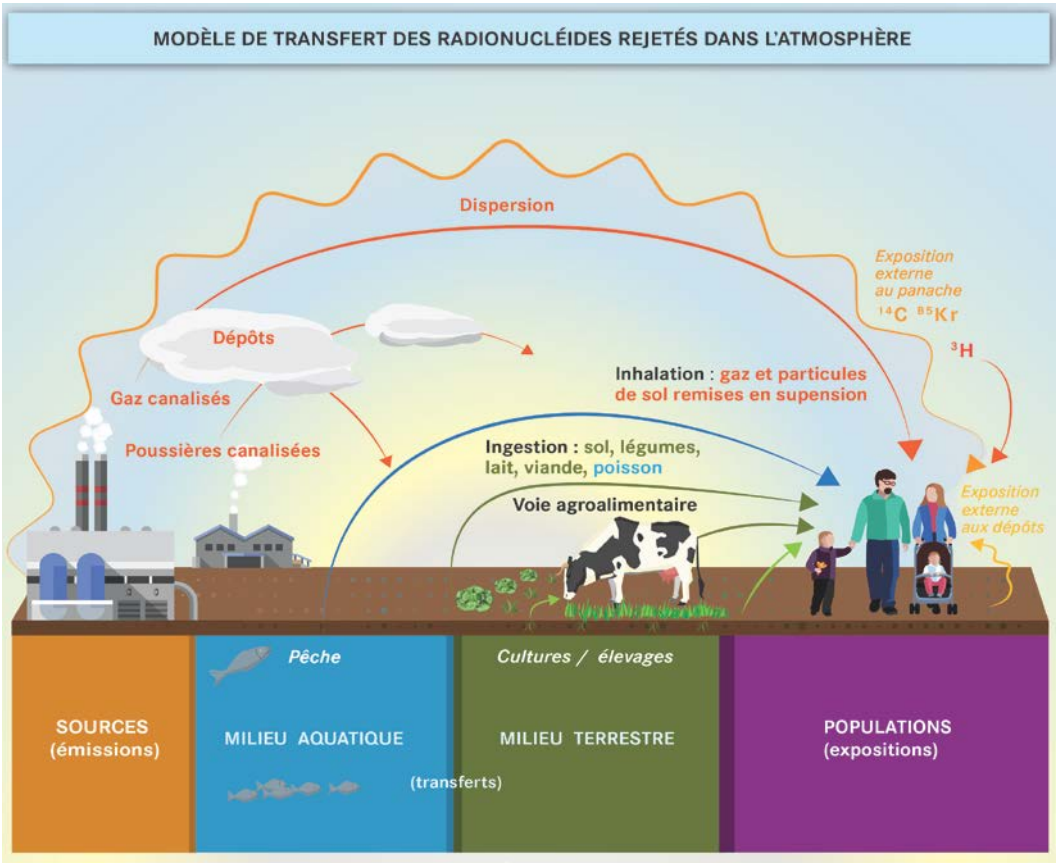


Figure 3.1-1 Schéma conceptuel des transferts de rejets

L'absorption pulmonaire retenue pour le choix des coefficients de dose par inhalation est celle recommandée par le tableau 1.3 ou en l'absence de recommandation la plus pénalisante de l'arrêté du 1er septembre 2003.

3.1.3.2 Scénario n° I1 « Chute de 2 m d'un emballage ET-V ou ET-H manutentionné au pont portique lors de son transbordement du convoi vers le lorry suite à une erreur humaine dans le hall de déchargement des convois »

Description du scénario et conséquences potentielles

Lors des opérations de transbordement, les emballages de transport sont généralement positionnés horizontalement sur les convois ferroviaires ou routiers, à savoir sur un châssis support en appui sur les tourillons de l'emballage (ET-V : emballages type B) ou maintenus directement sur le plateau de la remorque par des systèmes de type Twist Lock ou équivalent (ET-H : emballages type A et type B).

Pour le déchargement des convois (routiers et ferroviaires), la préhension des emballages à tourillons s'effectue à l'aide de palonniers lourds munis d'un système de verrouillage des tourillons et celle des emballages ET-H à l'aide d'anneaux ou de prises de levage munis d'un système de verrouillage. Ces opérations sont réalisées par des opérateurs (accrochage et verrouillage des extrémités du système de levage aux prises de levage de l'emballage).

Le scénario retenu considère une erreur humaine lors de cette opération de déchargement conduisant à un défaut d'accrochage d'une des prises de l'emballage de transport et à sa chute lors de son transbordement du convoi vers le lorry.

La hauteur de levage des emballages ET-H est de l'ordre de 1,2 m, celle des emballages à tourillons est plus élevée, de l'ordre de 2 m, car ces derniers doivent être retirés de leur châssis.

Cigéo est susceptible d'accueillir deux types d'emballages au sens de la réglementation transport :

- des emballages de type B qui constituent la majorité des emballages reçus et qui sont qualifiés à 9 m de chute ;
- des emballages de type A, pour certains colis MA-VL contenant moins d'activité, qui sont robustes à la chute par conception mais qui ne sont pas qualifiés et dont le confinement des substances radioactives n'est pas assuré.

Suite à une chute de 2 m, les géométries de l'emballage et des colis à l'intérieur de l'emballage sont conservées. Le hall est ouvert sur l'extérieur et ventilé naturellement, il n'y a pas de problème d'évacuation de chaleur et de gaz. Par conséquent, la sûreté-criticité, de même que la maîtrise des gaz de radiolyse et des dégagements thermiques liés aux déchets ne sont pas affectées.

Pour un emballage de type B, les marges de dimensionnement (qualification à 9 m de chute sur une surface plane) retenues permettent de considérer qu'un emballage de type B muni de ses capots de transport constitue une barrière passive robuste et d'exclure ainsi tout risque de perte de confinement de l'emballage lors d'un tel événement. Le confinement de l'emballage est maintenu. Aucune conséquence radiologique n'est à évaluer.

De par leur conception, les emballages de type A ne sont pas considérés robustes à une chute de 2 m, la maîtrise du confinement repose ainsi sur la robustesse des colis primaires transportés :

- les colis primaires qualifiés à une chute de 2 m à l'intérieur de l'emballage constituent une barrière passive robuste. Ainsi, pour les emballages de type A transportant des colis primaires qualifiés à une chute de 2 m, le risque de perte de confinement est exclu, aucune conséquence radiologique n'est à évaluer ;
- dans le cas des emballages transportant des colis primaires non qualifiés à une chute de 2 m, un risque de dispersion de substances radioactives dans le hall de déchargement des convois est à évaluer. Les gaz et aérosols radioactifs se dispersent dans le hall de déchargement des convois. Le hall est pourvu d'une ventilation naturelle. Il n'y a ni confinement statique ni confinement dynamique. Les conséquences potentielles à évaluer sont :
  - ✓ l'exposition interne des opérateurs à proximité ;
  - ✓ l'impact de la remise en suspension de substances radioactives dans l'environnement et sur le public.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le tableau Tableau 1.6-, Volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis susceptibles d'être transportés en emballage de type A et non qualifiés à 2 m de chute ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon le type de colis de déchets (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;
- la hauteur de rejet (hall de déchargement des convois) : 0 m

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à court et à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.1.3.3 Scénario n°A6 « Chute de 6 m d'un colis primaire déchargé au pont roulant dans un emballage ET-V suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage dans la cellule de déchargement »

Description du scénario et conséquences potentielles

L'événement initiateur est une défaillance matérielle du système de levage du colis qui conduit à la chute d'un colis dans l'emballage. Le nombre maximal de colis impactés par cette chute est de deux (colis qui chute sur un autre colis). La hauteur maximale de manutention d'un colis lors de son déchargement dans cette cellule est de 6 m, ce qui correspond à la hauteur interne d'un emballage ET-V accosté à la cellule de déchargement plus les marges de manœuvres pour la manutention du colis.

Suite à la chute, l'emballage est susceptible de perdre son accostage et l'élévateur du chariot est susceptible de s'affaler sur lui-même.

La maîtrise du confinement repose sur la robustesse des colis, les conséquences du scénario sont les suivantes :

- pour les colis primaires qualifiés à une chute de 9 m ou plus : il est considéré qu'un colis qualifié à 9 m de chute constitue une barrière passive suffisamment robuste pour exclure tout risque de perte de confinement lors d'un tel événement ;
- pour les colis qualifiés à une chute de 6 m : la qualification à une chute de plus de 6 m (et moins de 9 m) est considérée comme une barrière passive suffisamment robuste, aucune conséquence radiologique n'est à retenir. Néanmoins, la perte de confinement d'un tel colis fait l'objet d'un scénario de dimensionnement du plan d'urgence et d'intervention (PUI) ;
- pour les colis non qualifiés à une chute de 6 m : il est considéré que les colis perdent leur confinement remettant ainsi en suspension des substances radioactives rejetées dans la cellule « de déchargement, de contrôle et de mise en conteneur de stockage ». Une évaluation des conséquences radiologiques est à effectuer. Les résultats sont présentés ci-après.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

Le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, Volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :

- ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 6 m ;
- ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon la famille de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;

- prise en compte des deux niveaux de filtration : facteur de rétention 10^{-4} ;
- hauteur de rejet (émissaire EP1) : 17 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à court et à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.1.3.4 Scénario n°A7 « incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle de la cellule de déchargement des colis »

Description du scénario et conséquences potentielles

Les cellules de réception des colis provenant d'emballage de transport permettent de réceptionner les colis au niveau +6,00m pour des emballages de type V et au niveau +0,00 m pour des emballages à déchargement horizontal.

Ces cellules permettent de réaliser les opérations de transfert des colis de déchets depuis les zones de déchargement jusque dans les cellules de contrôles des colis et de chargement des colis primaires en colis de stockage.

Les colis primaires sont déchargés depuis l'emballage sur une table qui permet de transférer les colis primaires vers la cellule de contrôle tout en limitant la hauteur de manutention.

Cette cellule se compose de divers équipements ayant des charges calorifiques mobilisables en cas d'incendie : chariot, table tournante, robot de contrôle…

L'événement initiateur est un départ de feu sur un coffret électrique du chariot qui se propage aux équipements présents au poste de contrôle. Le système d'extinction embarqué sur le chariot et la détection automatique incendie dans l'ambiance ne fonctionnent pas. L'incendie est de faible intensité. Sa durée est limitée par la présence d'un système fixe d'extinction qui est actionné après détection depuis la vidéosurveillance en salle de conduite.

Seul le colis présent au poste de contrôle est impacté.

La maîtrise du confinement repose sur le comportement du colis primaire à une élévation de température qui est fonction de la nature de son conteneur, du déchet et de son conditionnement.

La ventilation du local est arrêtée et les fuites vers les zones adjacentes sont reprises par la ventilation avec un niveau de filtration THE.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, Volume II, § 1.6.3.4; il est estimé sur la base de :
  - ✓ mobilisation de manière conservative de 100 % de la contamination surfacique externe du colis présent au poste de contrôle et des gaz contenus dans ce colis ;
  - ✓ prise en compte des taux de remise en suspension en cas d'incendie ;
- hauteur de rejet (émissaire EP1) : 17 mètres ;
- le relâchement de substances radioactives vers les locaux adjacents est limité par les parois de la cellule : on considère comme hypothèse enveloppe que 10 % de l'activité présente dans le local est dispersée ;
- le facteur de rétention du filtre THE est de 10^{-3}.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à court et à long terme de ce scénario est inférieur à 1 mSv.

3.1.3.5 Scénario n°A16 « Chute d'un colis de stockage MA-VL suite à une défaillance de l'élévateur dans la cellule de manutention de l'alvéole de stockage MA-VL »

Description du scénario et conséquences potentielles

A la sortie de la hotte, les colis de stockage sont posés sur un élévateur qui met à niveau les colis pour être repris par le pont stockeur. Les hauteurs de manutention à l'aide de l'élévateur dépendent du type d'alvéole et sont comprises entre 1,65 m et 3,3 m. La défaillance d'un des composants de la chaine de levage des colis peut conduire à la chute du plateau de l'élévateur et du colis. La chute est une situation accidentelle car elle suppose l'effacement d'une barrière forte de prévention (guides antichute, freins à sécurité positive).

Un amortisseur permet d'assurer une décélération du colis compatible avec la résistance à la chute d'un colis de moins de 1,2 m.

La maîtrise du confinement repose sur la robustesse des colis primaires, les conséquences du scénario sont ainsi les suivantes :

- pour les colis primaires qualifiés à une chute de 1,2 m ou plus : il est considéré qu'un colis qualifié à plus de 1,2 m de chute constitue une barrière passive suffisamment robuste pour exclure tout risque de perte de confinement lors d'un tel événement ;
- pour les colis non qualifiés à une chute de 1,2 m : à 1,2 m de chute, ils perdent leur confinement. Les gaz et les aérosols sont rejetés dans la cellule de manutention. Cette cellule constitue un seul volume aéraulique avec l'alvéole de stockage qui comprend un étage de filtration THE (classe de confinement C2). Les conséquences sont des rejets de gaz et d'aérosols radioactifs à l'émissaire. Une évaluation des conséquences radiologiques est à effectuer. Les résultats sont présentés ci-après.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- Le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, volume II, § 1.6.3.4; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 1,2 m ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon le type de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) présenté dans le l'annexe 1 du volume III ;
- prise en compte d'un facteur de rétention de 10^{-2} apporté par le conteneur de stockage (cf. § 2.1.2du volume III);
- hauteur de rejet (émissaire puits VVE) : 12 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à court et à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.1.3.6 Scénario n° A17 « Incendie du pont stockeur impliquant des colis dans l'alvéole de stockage MA-VL »

Description du scénario et conséquences potentielles

Le pont stockeur prend en charge le colis dans la cellule de manutention et le transfert dans l'alvéole, jusqu'à sa position de stockage. Le seul équipement présent dans l'alvéole est le pont stockeur.

L'événement initiateur est un départ de feu sur un coffret électrique du pont qui se propage aux équipements du pont. Le système d'extinction embarqué sur le pont ne fonctionne pas. L'incendie est de faible intensité et de durée limitée au regard de la faible charge calorifique en présence.

Le nombre de colis impactés par l'incendie correspond au nombre de colis placés dans la largeur de l'alvéole situés à l'aplomb du pont (2 ou 3 colis selon le type d'alvéole).

La maîtrise du confinement repose sur le comportement des colis à une élévation de température qui est fonction de la nature du conteneur, du déchet et de son conditionnement et de la tenue au feu des conteneurs de stockage.

La ventilation dans l'alvéole est arrêtée par la fermeture des clapets sur le réseau de soufflage de l'alvéole. Le confinement statique est assuré par le colis et les parois de l'alvéole. Les éventuelles fuites se propagent vers la galerie d'accès qui n'est plus ventilée. Une évaluation est réalisée en considérant qu'elles sont reprises par la ventilation des galeries de liaison et rejetées par la cheminée de la zone puits sans filtration THE.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- Le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, volume II, § 1.6.3.4; il est estimé sur la base de :
  - ✓ mobilisation de manière conservative de 100 % de la contamination surfacique externe des colis et des gaz contenus dans les colis ;
  - ✓ prise en compte des taux de remise en suspension en cas ;
- Hauteur de rejet (émissaire puits VVE) : 12 mètres ;
- Le relâchement des substances radioactives vers la galerie d'accès est limité par la paroi de la cellule d'accostage : on considère comme hypothèse enveloppe que 10 % de l'activité présente dans l'alvéole est dispersée ;
- Absence de filtration THE sur le réseau de ventilation des galeries d'accès et de liaison.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à court et à long terme de ce scénario est inférieur à 1 mSv.

3.1.3.7 Synthèse des évaluations d'impact des scénarios de dimensionnement

Le Tableau 3.1 5 suivant présente les évaluations d'impact des scénarios de dimensionnement.

Tableau 3.1-5 Evaluations d'impact des scénarios de dimensionnement

N°	Local/zone	Scénario	Impact maximal court terme (mSv)	Impact maximal long terme (mSv)
I1	Hall de déchargement des convois	Chute de 2 m d'un emballage ET-V ou ET-H manutentionné au pont portique lors de son transbordement du convoi vers le lorry suite à une erreur humaine	<< 1	<< 1
A6	Cellule de déchargement	Chute de 6 m d'un CP déchargé au pont roulant dans un ET-V suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage	<< 1	<< 1
A7	Cellule de déchargement	Incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle	< 1	< 1
A16	Cellule de manutention MA-VL	Chute d'un colis de stockage suite à une défaillance de l'élévateur	<< 1	<< 1
A17	Alvéole de stockage MA-VL	Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage	< 1	< 1

3.2 Étude des situations de dimensionnement du PUI

Pour vérifier la robustesse des installations, des situations de dimensionnement du PUI sont identifiées pour lesquelles il est vérifié qu'elles ne conduisent pas à un effet falaise. Pour certaines d'entre elles, le PUI pourra être déclenché.

3.2.1 Présentation des situations de dimensionnement du PUI

Les situations dites « de dimensionnement du PUI » identifiées pour les installations nucléaires de surface et l'installation souterraine sont présentées respectivement dans les Tableau 3.2- et Tableau 3.2-.

Tableau 3.2-1 Situations de dimensionnement du PUI pour les installations nucléaires de surface

N°	Local/zone	Scénario
P1	Bâtiment procédé	Séisme supérieur au niveau SMS[68]
P2	Hall de réception n°2 pour ET-V	Chute < 6 m d'un emballage ET-V sans capot manutentionné au pont roulant lors de son basculement dans la fosse cumulé à la défaillance du système amortisseur
P3	Cellule de déchargement	Chute de 6 m d'un colis déchargé au pont roulant dans un emballage suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage avec perte de confinement des colis qualifiés à une chute inférieure à 9 m
P4		Incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle cumulé à la défaillance de l'extinction
P5	Cellule de mise en hotte MA-VL	Chute de 1,2 m d'un colis de stockage suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage avec perte de confinement des colis primaires qualifiés à une chute inférieure à 2 m

Tableau 3.2-2 Situations de dimensionnement du PUI pour l'installation souterraine

N°	Local/zone	Scénario
P6	Zone exploitation	Séisme supérieur au niveau SMS
P7	Gare basse transfert incliné	Collision à petite vitesse du transfert incliné avec hotte contenant un colis de stockage en gare basse cumulée à la défaillance des butoirs amortisseurs
P8	Cellule de manutention MA-VL	Chute d'un colis de stockage suite à une défaillance de l'élévateur cumulée à la défaillance de l'amortisseur
P9	Alvéole de stockage MA-VL	Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage cumulé à la défaillance d'un conteneur de stockage

[68] L'étude des scénarios P1 et P6 sera réalisée pour l'APD.

3.2.2 Étude des scénarios

3.2.2.1 Scénario n° P2 « Chute < 6 m d'un emballage ET-V sans capot manutentionné au pont roulant dans le hall de réception lors de son basculement dans la fosse cumulé à la défaillance du système amortisseur »

Description du scénario et conséquences potentielles

Lors des opérations de basculement, l'emballage ET-V est repris au pont pour assurer son déplacement à la verticale à l'aplomb de la fosse pour dépose sur le chariot préalablement équipé d'un châssis d'accostage. La préhension des emballages s'effectue à l'aide de palonniers munis d'un système de verrouillage.

Ce scénario considère une défaillance de la chaîne de levage ou un défaut d'accrochage de l'emballage qui peut conduire à sa chute d'une hauteur inférieure à 6 m lors de son transbordement du convoi vers le lorry. L'installation est dimensionnée à la chute de l'emballage sans ses capots dans la fosse grâce à un dispositif amortisseur en fond de fosse qui reprend la fonction des capots.

Pour ce scénario, il est postulé la défaillance de ce dispositif amortisseur de telle sorte que l'emballage et ses colis sont susceptibles de perdre leur confinement.

La maîtrise du confinement repose sur la robustesse des colis, les conséquences du scénario sont les suivantes :

- pour les colis primaires qualifiés à une chute de 6 m ou plus : il est considéré qu'un colis qualifié à 6 m de chute constitue une barrière passive suffisamment robuste pour exclure tout risque de perte de confinement lors d'un tel événement ;
- pour les colis non qualifiés à une chute de 6 m : il est considéré que les colis perdent leur confinement remettant ainsi en suspension des substances radioactives rejetées dans le hall de réception. Le hall dispose d'une ventilation nucléaire de classe C1. Une évaluation des conséquences radiologiques est à effectuer. Les résultats sont présentés ci-après.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, Volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 6 m ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon la famille de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;
- hauteur de rejet (émissaire EP1) : 17 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à long terme de ce scénario est inférieur à 5 mSv.

3.2.2.2 Scénario n° P3 « Chute de 6 m d'un colis primaire déchargé au pont roulant dans un emballage suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage dans la cellule de déchargement des emballages avec perte de confinement des colis primaires qualifiés à une chute inférieure à 9 m »

Ce scénario est similaire à celui présenté au § 3.1.3.3 avec un aggravant supplémentaire, à savoir la perte de confinement de tous les colis primaires non qualifiés à une chute de 9 m.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 9 m ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon le type de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;
- prise en compte des deux niveaux de filtration : facteur de rétention 10^{-4} ;
- hauteur de rejet (émissaire EP1) de 17 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.2.2.3 Scénario n° P4 « incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle de la cellule de déchargement des colis primaires cumulé à la défaillance de l'extinction »

Description du scénario et conséquences potentielles

Ce scénario est identique au scénario de dimensionnement présenté dans le paragraphe 3.1.3.4 avec la défaillance supplémentaire de l'extinction.

La maîtrise du confinement repose sur la robustesse du colis à une élévation de température qui est fonction de la nature du conteneur, du déchet et de son conditionnement.

L'incendie est de faible intensité mais de durée plus longue que pour le scénario de dimensionnement. Sa durée est limitée par la présence d'un système fixe d'extinction qui est actionné après détection depuis la vidéosurveillance en salle de conduite.

Le nombre maximal de colis impacté est le colis présent au poste de contrôle.

La ventilation du local est arrêtée et les fuites vers les zones adjacentes sont reprises par la ventilation avec un niveau de filtration THE.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- mobilisation de 25 % du terme source présent au poste de contrôle ;
- prise en compte des taux de remise en suspension en cas d'incendie ;
- hauteur de rejet (émissaire EP1) : 17 mètres ;
- relâchement de substances radioactives vers les locaux adjacents limité par les parois de la cellule : on considère comme hypothèse réaliste que 1 % de l'activité présente dans le local est dispersée ;
- facteur de rétention du filtre THE de 10^{-3}.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à court et à long terme de ce scénario est inférieur à 1 mSv.

3.2.2.4 Scénario n° P5 « Chute de 1,2 m d'un CS suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage avec perte de confinement des CP qualifiés à une chute inférieure à 2 m dans la cellule de mise en hotte »

Description du scénario et conséquences potentielles

La défaillance d'un des composants des chaînes de levage du colis de stockage ou de la table de chargement peut conduire à la chute d'un colis en cours de manutention. Ce scénario retient un aggravant supplémentaire, à savoir la perte de confinement de tous les colis primaires contenus dans un conteneur de stockage, qualifiés à moins de 2 m.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 2 m ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon le type de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;
- prise en compte d'un facteur de rétention de 10^{-2} apporté par le conteneur de stockage ;
- prise en compte d'un niveau de filtration : facteur de rétention de 10^{-3} ;
- hauteur de rejet (émissaire EP1): 17 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.2.2.5 Scénario n° P7 « Collision du transfert incliné à petite vitesse en gare basse cumulée à la défaillance des butoirs amortisseurs »

Description du scénario et conséquences potentielles

Ce scénario correspond à un non arrêt du transfert incliné en gare basse à petite vitesse suite à la défaillance du contrôle commande ou du système de freinage, cumulé à un aggravant supplémentaire, à savoir la défaillance des butoirs de fin de voies. Il est supposé que ces derniers n'assurent pas leur rôle d'amortisseurs. Compte tenu de la conception du transfert incliné, l'énergie associée à la vitesse de collision résultante correspond à une énergie équivalente à celle de la chute d'un colis de 1,2 m. De plus, la hotte n'assure plus son rôle de confinement. Les conséquences de ce scénario reposent sur la robustesse des colis primaires à une chute de 1,2 m.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 1,2 m ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon le type de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;
- la prise en compte d'un facteur de rétention de 10^{-2} apporté par le conteneur de stockage ;
- l'absence de filtration ;
- La hauteur de rejet (émissaire EP1) : 17 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.2.2.6 Scénario n° P8 « chute d'un CS suite à une défaillance de l'élévateur cumulée à la défaillance de l'amortisseur dans la cellule de manutention MA-VL »

Description du scénario et conséquences potentielles

Ce scénario est identique au scénario de dimensionnement présenté dans le paragraphe 3.1.3.5 avec une défaillance supplémentaire, celle de l'amortisseur, de manière à que ce dernier ne joue plus son rôle. La maîtrise du confinement repose sur la robustesse des colis primaires à une chute qui peut aller jusqu'à 3,3 m selon le type d'alvéole. Les conséquences du scénario sont ainsi les suivantes :

- pour les colis primaires qualifiés à une chute de 3,3 m ou plus : il est considéré qu'un colis qualifié à plus de 3,3 m de chute constitue une barrière passive suffisamment robuste pour exclure tout risque de perte de confinement lors d'un tel événement ;
- pour les colis primaires non qualifiés à une chute de 3,3 m : les colis non qualifiés à 3,3 m de chute perdent leur confinement. Les gaz et les aérosols sont rejetés dans la cellule de manutention. Cette cellule constitue un seul volume aéraulique avec l'alvéole de stockage, avec un étage de filtration THE (classe de confinement C2). Les conséquences sont des rejets de gaz et d'aérosols radioactifs à l'émissaire. Une évaluation des conséquences radiologiques est à effectuer. Les résultats sont présentés ci-après.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- le potentiel de contamination retenu est présenté dans le Tableau 1.6-, volume II, § 1.6.3.4 ; il est estimé sur la base de :
  - ✓ prise en compte des colis non qualifiés à une chute de 3,3 m ;
  - ✓ prise en compte d'un taux de remise en suspension en cas de chute selon le type de colis primaire (fonction de la nature de l'enveloppe et du déchet conditionné) ;
- le conteneur de stockage MA-VL n'est pas dimensionné pour une chute de 3,3 m, il est supposé qu'il n'assure plus son rôle de rétention des particules remises en suspension ;
- la hauteur de rejet (émissaire puits VVE) : 12 m.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à long terme de ce scénario est largement inférieur à 1 mSv.

3.2.2.7 Scénario n° P9 « Incendie du pont stockeur impliquant des colis dans l'alvéole de stockage MA-VL cumulé à la défaillance d'un conteneur de stockage »

Description du scénario et conséquences potentielles

Ce scénario est identique au scénario de dimensionnement présenté dans le paragraphe 3.1.3.6 avec une défaillance supplémentaire, celle du conteneur de stockage (alors que qualifié au feu).

La maîtrise du confinement repose sur le comportement à une élévation de température des colis présents dans le conteneur de stockage défaillant, celui-ci étant fonction de la nature du conteneur primaire, du déchet et de son conditionnement et de la tenue au feu du conteneur de stockage.

La ventilation dans l'alvéole est arrêtée par la fermeture des clapets sur le réseau de soufflage de l'alvéole. Le confinement statique est assuré par le colis et les parois de l'alvéole. Les éventuelles fuites se propagent vers la galerie d'accès qui n'est plus ventilée. Une évaluation est réalisée en considérant qu'elles sont reprises par la ventilation des galeries de liaison et rejetées par la cheminée de la zone puits sans filtration THE.

Hypothèses du scénario

Les principales hypothèses retenues sont :

- la mobilisation de 25% du terme source présent dans le colis de stockage ;
- la prise en compte des taux de remise en suspension en cas d'incendie ;
- la hauteur de rejet (émissaire puits VVE) : 12 mètres ;
- le relâchement de substances radioactives vers la galerie d'accès est limité par les parois de l'alvéole et de la cellule de manutention : on considère comme hypothèse réaliste que 1 % de l'activité présente dans l'alvéole est dispersée ;
- l'absence de filtration THE sur le réseau de ventilation des galeries d'accès et de liaison.

Conséquences radiologiques sur le public

L'impact maximal à long terme de ce scénario est inférieur à 10 mSv.

3.2.2.8 Synthèse des évaluations d'impacts des scénarios de dimensionnement du PUI

Le Tableau 3.2- suivant présente les évaluations d'impact des scénarios de dimensionnement du PUI.

Tableau 3.2-3 Calculs d'impact des scénarios de dimensionnement du PUI

N°	Local/zone	Scénario	Impact maximal long terme *(mSv)*
P2	Hall de réception n°2 pour ET-V	Chute de 6 m d'un emballage ET-V sans capots manutentionné au pont roulant lors de son basculement dans la fosse cumulé à la défaillance du système Amortisseur	<5
P3	Cellule de déchargement	Chute de 6 m d'un CP déchargé au pont roulant dans un ET suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage avec perte de confinement des CP qualifiés à une chute inférieure à 9 m	<<1
P4		Incendie du chariot impliquant un CP au poste de contrôle cumulé à la défaillance de l'extinction	<1
P5	Cellule de mise en hotte MA-VL	Chute de 1,2 m d'un CS suite à une défaillance matérielle de la chaîne de levage avec perte de confinement des CP qualifiés à une chute inférieure à 2 m	<<1
P7	Gare basse transfert incliné	Collision du transfert incliné en gare basse à petite vitesse cumulée à la défaillance des butoirs amortisseurs	<<1
P8	Cellule de manutention MA-VL	Chute d'un CS suite à une défaillance de l'élévateur cumulée à la défaillance de l'amortisseur	<<1
P9	Alvéole de stockage MA-VL	Incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage cumulé à la défaillance d'un conteneur de stockage	<10

3.3 Présentation des situations exclues

Ce chapitre présente les situations exclues au stade de l'APS. Il s'agit de situations accidentelles pour lesquelles un nombre important de dispositions de prévention sont cumulées et dont la robustesse est avérée (situation extrêmement improbable avec un haut degré de confiance ou de situations physiquement impossibles).

Tableau 3.3-1 Principales situations exclues

Local/ zone	Scénario	Principales dispositions de prévention
Hall de déchargement des convois	Perte de confinement des colis présents dans un emballage de transport en cas d'incendie du locotracteur ou du camion	Qualification de l'emballage à la réglementation transport Système fixe d'extinction Intervention des équipes de secours site
Hall de réception n°3 pour emballages de transport à déchargement horizontal	Perte de confinement des colis présents dans un emballage de transport en cas d'incendie du camion	Protection apportée par l'emballage de transport Système fixe d'extinction Intervention des équipes de secours site
Cellule de déchargement, contrôle et mise en conteneur de stockage	Incendie du pont roulant dû à un épanchement d'huile enflammée des réducteurs et motoréducteurs au poste de déchargement des ET ou au poste de mise en conteneur de stockage avec agression du colis	Physiquement impossible par conception du pont roulant
Puits air vicié	Incendie dans le puits	Absence de charges calorifiques
Locaux de surface	Atteinte de la LIE suite à une perte de la ventilation nucléaire	Limites de production d'hydrogène des colis primaires, Système de ventilation Volume de dilution important apporté par les locaux Physiquement impossible (délai atteinte LIE > 6 mois)
	Perte de la maîtrise des dégagements thermiques	Limites de la puissance thermique des colis primaires Physiquement impossible
	Accident de criticité dans une « Unité de Criticité » des cellules	Limites de masse de matières fissiles par colis Absence de déformation significative des colis dans les configurations anormales

Local/ zone	Scénario	Principales dispositions de prévention
	Irradiation importante du personnel lors de son entrée en cellules	Verrouillage des systèmes d'accès redondé
Gare haute ou basse transfert incliné	Collision / chute de la navette de surface ou du chariot de fond sans la présence du transfert incliné	Conception du transfert incliné : interverrouillage entre alimentation des voies et détection présence de la navette ou du chariot rendant l'approche de la navette impossible en l'absence du transfert incliné
Gare basse transfert incliné	Emballement du transfert incliné sans déclenchement de tous les systèmes de freinage conduisant à une collision à grande vitesse en gare basse	Conception du câble Systèmes de freinage indépendants et redondants Contrôle-commande redondé
Manutention hottes – installations de surface et souterraine	Basculement/chute d'une hotte transportée sur un véhicule (navettes, funiculaire, chariot)	Impossibilité physique pour une hotte de basculer en descenderie (gabarit de la descenderie/gabarit hotte + transfert incliné) Redondance du verrouillage des hottes sur le transfert incliné (4 pieds)
	Atteinte de la LIE dans la hotte suite à un arrêt du procédé de manutention des hottes conduisant à son immobilisation	Limites de production d'hydrogène des colis primaires Conception des engins de transfert Orifices de balayage de la hotte
Alvéole de stockage MA-VL	Atteinte de la LIE suite à une perte de la ventilation nucléaire	Limites de production d'hydrogène des colis primaires Conception de la ventilation + ventilateurs mobiles
	Perte de la maîtrise des dégagements thermiques	Limites de la puissance thermique des colis primaires Physiquement impossible
	Irradiation aigüe du personnel lors de son entrée en alvéoles	Verrouillage des systèmes d'accès redondé
	Accident de criticité dans une « Unité de Criticité » des alvéoles MA-VL	Limites de masse de matières fissiles par colis Absence de déformation significative des colis dans les configurations anormales
	Perte de confinement d'un nombre important de colis de stockage MA-	Conception des colis de stockage MA-VL

Local/ zone	Scénario	Principales dispositions de prévention
	VL stockés en alvéole avant la fin de l'exploitation	
	Incendie non maitrisé dans l'alvéole conduisant à l'inflammation d'un colis de stockage et sa propagation aux colis adjacents	Limitation de la charge calorifique Qualification au feu des conteneurs de stockage Programme d'essais incendie
Cellule de manutention	Incendie non maitrisé en cellule de manutention impliquant un colis de stockage	Systèmes de détection et d'extinction redondés
Installations de surface et souterraine	Perte de confinement d'un ou plusieurs colis de stockage HA lors des opérations de manutention et en alvéole de stockage avant la fin de l'exploitation	Conception des colis de stockage HA

Les éléments permettant de justifier l'exclusion de ces scénarios sont :

- la disponibilité et l'efficacité du système de ventilation des zones tampons des colis MA-VL en surface (confinement dynamique et statique) et des alvéoles de stockage MA-VL, et à travers eux, la fiabilité de l'alimentation électrique et du contrôle commande ;
- la disponibilité et l'efficacité des moyens de transfert des colis MA-VL depuis leur chargement en surface jusqu'à leur déchargement en souterrain, et à travers eux, leur alimentation électrique et leur contrôle commande ;
- la disponibilité et l'efficacité des systèmes d'accès aux cellules en surface ou aux cellules de manutention MA-VL en souterrain ;
- la disponibilité et l'efficacité des systèmes concourant au maintien de la géométrie des colis (absence de renversement, absence d'effet missile d'équipements présents…).

La disponibilité et l'efficacité des systèmes de ventilation passent par un dimensionnement tenant compte des défaillances (redondances des extracteurs, de leur alimentation électrique et du contrôle commande), des agressions internes (ségrégation des équipements de ventilation, de leur alimentation électrique et du contrôle commande) et des agressions externes (dimensionnement au séisme, implantation dans des locaux les protégeant des agressions externes). En outre, des dispositions supplémentaires permettent de pallier la perte totale de la ventilation, avec la mise en place d'une ventilation d'appoint pour les alvéoles MA-VL jugées critiques vis-à-vis de la radiolyse.

La disponibilité et l'efficacité des moyens de transfert des colis passent par un dimensionnement tenant compte des défaillances (redondance des moyens de transfert, redondances des alimentations électriques et du contrôle commande, disponibilité des moyens de transfert de secours), des agressions internes (dimensionnement des moyens de transfert, ségrégation des alimentations électriques et du contrôle commande) et des agressions externes (dimensionnement au séisme, implantation dans des locaux les protégeant des agressions externes).

La disponibilité et l'efficacité des systèmes d'accès aux cellules et aux alvéoles MA-VL passent aussi par un dimensionnement tenant compte des défaillances (redondances des systèmes, de leur alimentation électrique et du contrôle commande), des agressions internes (dimensionnement des équipements, ségrégation des alimentations électriques et du contrôle commande) et des agressions externes (dimensionnement au séisme, implantation dans des locaux les protégeant des agressions externes).

La disponibilité et l'efficacité des systèmes concourant au maintien de la géométrie des colis passent essentiellement par le dimensionnement des structures porteuses et des équipements présents pour se prémunir contre tout effet missile, notamment vis-à-vis du risque sismique.

4

Gestion des situations accidentelles/post-accidentelles

4.1 Les situations accidentelles de dimensionnement 442
4.2 Les situations accidentelles de dimensionnement du PUI 444

Ce chapitre présente les principes et dispositions pris pour la gestion des situations accidentelles. Il est distingué les situations accidentelles de dimensionnement du PUI.

Les éléments complémentaires seront fournis dans l'étude de dimensionnement du PUI qui sera transmise avec la DAC.

4.1 Les situations accidentelles de dimensionnement

4.1.1 Rappel des situations

Les différentes situations de dimensionnement identifiées au travers de l'analyse des différents risques (cf. chapitre 3) sont :

- la chute d'un emballage de transport dans le hall de déchargement des convois et le hall de réception des emballages de transport ;
- l'incendie d'un camion dans le hall de déchargement des convois ou le hall de réception des emballages de transport ;
- la chute d'un colis primaire ou de stockage dans les locaux de l'installation de surface ;
- l'incendie d'un chariot de transfert d'un colis ;
- l'incendie d'un chariot transportant une hotte ;
- la collision d'une hotte ;
- l'incendie d'un équipement ou du pont stockeur impliquant un colis de stockage dans la cellule de manutention ou dans l'alvéole ;
- la chute d'un colis de stockage dans la cellule de manutention.

4.1.2 Principes retenus

Pour chacune des situations accidentelles identifiées, le dimensionnement proposé permet leur maîtrise, l'installation étant maintenue dans un état sûr à l'issue de la situation envisagée. La reprise de l'exploitation intervient après maintenance curative ou mise en place de dispositions spécifiques.

Les principes retenus pour les différentes situations de chute et de collision dans les différents locaux de l'installation en tant que situations accidentelles sont :

- la chute d'un emballage de transport :
  - ✓ l'emballage est immobilisé au sol ;
  - ✓ la dalle béton du hall est localement dégradée ;
  - ✓ les emballages restent manutentionnables ;
- la chute d'un colis lors de son déchargement de l'emballage de transport :
  - ✓ les colis primaires sont dans l'emballage, lui-même situé dans la cellule d'accostage ;
  - ✓ les colis primaires restent manutentionnables avec les équipements disponibles et quelques équipements spécifiques le cas échéant. La pertinence de ces équipements spécifiques sera étudiée d'ici la mise en service de Cigéo en regard de l'analyse plus précise de la situation et des hypothèses à retenir ;
- la chute d'un colis primaire lors de sa mise en conteneur de stockage :
  - ✓ les colis primaires se situent dans la cellule de chargement des conteneurs ;
  - ✓ la hauteur de chute étant réduite, ils restent manutentionnables avec les équipements disponibles ;
- la chute ou la collision d'un colis de stockage :
  - ✓ le colis est immobilisé dans la cellule de mise en hotte, la cellule de manutention ou l'alvéole de stockage[69] ;
  - ✓ le colis reste manutentionnable après une chute de l'ordre de 1,20 m (hauteur maximale de chute à ce stade de la conception), inférieure à la hauteur de tenue à la chute des colis de

[69] La collision d'un colis de stockage dans l'alvéole est envisagée dans le chapitre relatif au risque manutention. Elle n'a aucune conséquence radiologique.

stockage de 2,3 m, avec les équipements présents complétés éventuellement de dispositifs appropriés à sa récupération qui restent à étudier d'ici la mise en service de Cigéo ;

- ✓ le colis est récupérable après la modification de son emplacement sur la pile de colis de l'alvéole suite à une collision par exemple. Un équipement spécifique peut se substituer à l'équipement présent sur le pont stockeur, celui-ci étant capable de repérer de manière automatique la position du colis afin de le repositionner pour le récupérer. Au stade de l'APS, un banc d'essai a permis de réaliser plusieurs cycles d'essais couvrant une rotation du colis d'une dizaine de degrés et une translation d'une vingtaine de centimètres. Ces hypothèses de fin d'APS seront consolidées au cours de l'APD pour déterminer la situation enveloppe à considérer pour l'équipement de reprise du colis.

Concernant les situations accidentelles de dimensionnement d'incendie, les dispositions retenues permettent la maîtrise de l'incendie dans les différents locaux de l'installation :

- l'incendie dans le hall de déchargement des convois :
  - ✓ les structures du hall sont robustes à un feu ISO conventionnel ;
  - ✓ l'incendie est maîtrisé par l'intervention des secours ;
  - ✓ l'emballage reste manutentionnable à l'issue de l'incendie.
- l'incendie au poste de contrôle des colis primaires :
  - ✓ les dispositions de prévention limitent l'intensité du feu et sa durée ;
  - ✓ l'agression du colis par l'incendie est donc limitée ;
  - ✓ le colis est immobilisé au poste de contrôle. Les équipements ne sont plus fonctionnels.
  - ✓ l'incendie reste confiné à la cellule et ne se propage pas aux zones avant et arrière ;
  - ✓ les équipements disponibles dans la cellule comme le pont ou un nouveau chariot de transfert par exemple, peuvent être utilisés pour reprendre le colis sollicité et le transférer dans une zone d'attente ;
- l'incendie au cours du transfert des colis :
  - ✓ les dispositions de prévention limitent l'intensité du feu et sa durée ;
  - ✓ le véhicule de transfert est immobilisé dans la descenderie ou une galerie ;
  - ✓ l'incendie est maîtrisé au plus tôt par une intervention des secours ;
  - ✓ les hottes sont robustes à un feu iso conventionnel d'une durée de deux heures : les pieds et châssis des hottes sont résistants de sorte à éviter un basculement de la hotte et permettre sa manutention post-accidentelle. Pour la même raison, les structures porteuses des véhicules de transfert (navette, MLL, table tournante) ont la même résistance ;
  - ✓ après analyse de l'état des ouvrages et des équipements, le transfert de la hotte est possible avec un véhicule similaire non impliqué dans l'incendie en vue d'un retour dans les installations de surface pour examens complémentaires ou de la poursuite du processus de transfert vers les alvéoles ;
- l'incendie dans la cellule de manutention MA-VL :
  - ✓ les dispositions en place permettent une détection et une extinction rapide ;
  - ✓ l'incendie est maîtrisé au plus tôt par des dispositions fixes présentes dans la cellule, une intervention des secours étant aussi possible depuis la galerie d'accès ;
  - ✓ les colis de stockage sont robustes (pas de modification significative de la géométrie notamment pour sa préhension) à l'incendie pris en référence, le colis impliqué est immobilisé dans la cellule de manutention sans dispersion de substances radioactives ;
  - ✓ certains équipements de la cellule peuvent ne plus être fonctionnels : le pont stockeur, la porte de radioprotection… ;
  - ✓ l'incendie reste confiné à la cellule et ne se propage pas vers la galerie d'accès via la façade d'accostage, ni vers l'alvéole via la porte de radioprotection. En effet, la façade d'accostage a une fonction de secteur de feu et la porte de radioprotection constitue lorsqu'elle est fermée un écran thermique entre la cellule de manutention et la partie utile de l'alvéole ;
  - ✓ après analyse de l'état des ouvrages, des équipements et du colis, la décision de poursuivre le processus de transfert du colis dans l'alvéole ou de le retirer et renvoyer vers la surface est arrêtée avec la mise en place éventuelle de dispositions compensatoires telles que la

surveillance (incendie, contamination) et la ventilation nucléaire au niveau de la cellule, le suivi renforcé du transfert du colis sollicité de la cellule vers l'installation de surface…

- l'incendie dans un alvéole de stockage :
  - ✓ les dispositions de prévention limitent l'intensité du feu et sa durée ;
  - ✓ l'incendie ne provoque pas l'effondrement du pont stockeur ni des ouvrages ;
  - ✓ les colis de stockage sont robustes à l'incendie pris en référence, le colis impliqué est déposé au moyen du pont stockeur et immobilisé dans l'alvéole sans dispersion de substances radioactives ;
  - ✓ le pont stockeur n'est plus fonctionnel ; des dispositions permettent de le ramener vers la cellule de manutention pour une maintenance curative ou un changement de l'équipement afin d'envisager la reprise des colis sollicités par l'incendie.

4.2 Les situations accidentelles de dimensionnement du PUI

4.2.1 Rappel des situations

Les différentes situations de dimensionnement du PUI identifiées au travers de l'analyse des différents risques sont :

- l'occurrence d'un séisme supérieur au SMS sur le bâtiment procédé ou la zone exploitation de l'installation souterraine ;
- la chute d'un avion avec un incendie non maîtrisé rapidement ;
- la chute de l'emballage de transport sans capot lors de son basculement dans la fosse cumulée à la défaillance du système amortisseur ;
- la chute d'un colis primaire dans la cellule de déchargement avec perte de confinement des colis qualifiés à une hauteur de chute inférieure à 9 m ;
- la chute d'un colis de stockage dans la cellule de mise en hotte avec perte de confinement des colis qualifiés à une hauteur de chute inférieure à 2 m ;
- l'incendie du chariot impliquant un colis primaire au poste de contrôle dans la cellule de déchargement avec défaillance de l'extinction ;
- la collision à petite vitesse du transfert incliné en gare basse cumulée à la défaillance des butoirs amortisseurs ;
- la chute d'un colis de stockage dans la cellule de manutention cumulée à la défaillance de l'amortisseur ;
- l'incendie du pont stockeur impliquant un colis de stockage dans l'alvéole avec la défaillance d'un conteneur de stockage.

4.2.2 Principes retenus

Pour chacune de ces situations accidentelles de dimensionnement du PUI, les dispositions proposées permettent leur maîtrise, l'installation étant maintenue dans un état sûr à l'issue de la situation envisagée. L'analyse de l'état de l'installation post accident permet alors de décider des conditions associées à la reprise de l'exploitation et de la possibilité de retirer ou non le colis. Différentes situations en lien avec l'état du colis et la capacité des équipements Cigéo sont alors possibles :

- le colis primaire ou de stockage peut être repris avec les moyens disponibles dans Cigéo ;
- le colis primaire ou de stockage nécessite des dispositions spécifiques permettant sa récupération après par exemple la fixation de la contamination, le changement ou l'adaptation de l'équipement de manutention, la mise à disposition d'un équipement de manutention ou d'une hotte de transfert spécifique à la situation post-accidentelle ;
- le colis de stockage et/ou son environnement ne permettent pas d'envisager sa récupération dans des conditions de sûreté suffisantes ; la possibilité de le laisser en l'état dans l'alvéole de stockage est à analyser au regard des exigences de sûreté en exploitation et après fermeture et des conditions de récupérabilité.

Dans le cas d'un séisme, l'exploitation de l'installation est arrêtée sans que les fonctions de sûreté ne soient remises en cause. La reprise de l'exploitation est soumise a minima à un état des lieux de l'installation (ronde, inspection…) permettant de vérifier notamment le bon fonctionnement (tests, essais…) des EIP et l'absence de dégâts importants sur le génie civil des locaux et ouvrage, les voies de roulement des équipements de transfert et de manutention, et sur les colis en alvéole de stockage.

Concernant la chute d'un avion sur le bâtiment procédé, les dispositions de conception assurent une résistance des voiles et dalles béton extérieurs à l'impact de l'avion. Les cibles de sûreté ne sont pas atteintes. L'intervention des secours est déclenchée pour éteindre l'incendie consécutif à la chute de l'avion. La reprise de l'exploitation est subordonnée à l'état du bâtiment post-accidentel.

Pour les situations de chute/collision et d'incendie, les principes retenus pour la gestion post-accidentelle des situations accidentelles de dimensionnement sont transposables.

Pour ces situations, le déclenchement du PUI peut être effectué. Une étude de dimensionnement du PUI sera fournie avec le rapport préliminaire de sûreté pour la DAC. Cette étude portera sur les accidents mentionnés qui nécessitent des mesures de protection sur le site ou à l'extérieur du site ou qui sont de nature à affecter les intérêts mentionnés au I de l'article 28 de la loi du 13 juin 2006. Elle décrira les différents scénarios d'accidents et les conséquences de ceux-ci au regard de la sûreté des installations et de la protection des personnes et présentera l'organisation prévue par l'exploitant de ses propres moyens de secours pour combattre les effets d'un éventuel sinistre.

A ce stade, le déclenchement du Plan d'Urgence Interne est une décision du directeur ou de son représentant après analyse rapide de la situation.

Les critères de déclenchement du PUI concernent :

- pour le PUI conventionnel, la gravité des blessures et le nombre de victimes ;
- pour le PUI radiologique ou lié à des produits dangereux :
  - ✓ les situations identifiées à l'avance comme par exemple :
    - en cas de chute d'avion sur l'installation ;
    - en cas de séisme ;
    - pour tous les autres scénarios de dimensionnement du PUI qui ont été préétablis ;
  - ✓ des critères radiologiques ou de mise en jeu de produits dangereux comme par exemple un dépassement des seuils de radioactivité en sortie de cheminées.

Concernant l'organisation de l'exploitant, l'Andra met en place deux niveaux de mobilisation pour la gestion d'une situation de crise :

- un niveau central sous la responsabilité de la direction générale ;
- un niveau local sous la responsabilité de la direction du centre concerné.

Une cellule de crise est dimensionnée proportionnellement à la gravité des situations envisagées. En cas de déclenchement du PUI, une salle de gestion de crise est mise à disposition de l'équipe du PCDL (qualifiée également d'équipe de crise), assistée si besoin d'experts.

Toute la documentation indispensable à la gestion de crise est disponible dans cette salle. Une supervision informatisée permet également si besoin, à l'équipe de crise de consulter l'état des fonctions et des paramètres de sûreté. Cette IHM est uniquement en mode consultation, les actions sur les procédés nucléaires étant réalisables uniquement depuis la salle de commande centralisée (SCC) ou à partir de postes de conduite locaux en cas d'indisponibilité de la SCC. Les moyens de la cellule de crise sont précisés dans la note d'orientation des locaux de gestion de crise (40) :

- les moyens humains et notamment la composition et le rôle du Poste de Commandement de la Direction Locale (PCDL), qui est également assisté d'une structure de gestion de crise au siège de l'Andra ;
- les moyens de communication prévus (liaisons sécurisées avec la préfecture, l'ASN, l'IRSN, le HFDS…, liaisons internes et externes au site, caméras, réseaux hertziens, etc.) ainsi que les utilités nécessaires (ventilation, alimentation en eau) ;

- les autres moyens matériels pour disposer de matériel d'intervention habituellement présent dans une INB :
  - ✓ véhicules type FPT et VSAV ;
  - ✓ matériel spécialisé pour décontamination personnel, prise en charge des victimes, matériels de déblaiement, groupe électrogène… ;
- la résistance du PCDL contre les agresseurs :
  - ✓ un séisme ;
  - ✓ un rejet radiologique provenant de Cigéo ;
  - ✓ un incendie ;
  - ✓ des événements météorologiques ;
  - ✓ des intrusions et actes de malveillance ;
- la protection du PCDL dans toutes les situations d'urgence :
  - ✓ rester en état de fonctionnement ;
  - ✓ être alimenté en électricité (groupe électrogène de secours, alimentation sans interruption…) ;
  - ✓ disposer d'une surveillance radiologique ;
  - ✓ être alimenté en air filtré ;
  - ✓ rester en liaison avec l'extérieur.

5

Prise en compte des ECS

5.1 Principes 448
5.2 Identification des situations redoutées 449
5.3 Dispositions retenues 451

5.1 Principes

L'évaluation complémentaire de la sûreté (ECS) consiste à évaluer la robustesse de l'installation à la lumière des événements qui ont eu lieu à Fukushima, à savoir des phénomènes naturels extrêmes mettant à l'épreuve la sûreté des installations. Il s'agit d'apprécier le comportement des installations dans ces situations, pour éprouver leur robustesse et la pertinence des mesures prévues en cas d'accident, pour éventuellement identifier des dispositions complémentaires à mettre en place, aussi bien techniques qu'organisationnelles.

D'une manière générale, les installations nucléaires sont conçues avec des marges importantes, pour faire face à des phénomènes extérieurs inhabituels ou à des défaillances matérielles ou humaines. Ainsi, pour le risque de séisme, les installations sont déjà conçues pour résister à un séisme « majoré », significativement supérieur au séisme le plus fort identifié au cours de l'histoire, dans la région où sont situées les installations.

Les situations examinées au titre de l'évaluation complémentaire de sûreté résultent des évènements ou aléas extrêmes suivants :

- un séisme au-delà du séisme « majoré » ;
- une inondation au-delà de la crue majorée ;
- d'autres phénomènes naturels extrêmes (dont l'inondation causée par le séisme « majoré ») ;
- les pertes postulées des alimentations électriques internes et externes ;
- les pertes postulées des systèmes de refroidissement ;
- un cumul de ces deux pertes ;
- la gestion opérationnelle des accidents dans ces situations extrêmes.

Les évaluations complémentaires de sûreté exigent de considérer, dans des situations extrêmes, la défaillance cumulée d'un certain nombre d'équipements, même ceux mis en place sur les installations pour faire face à l'événement. L'objectif est d'identifier un éventuel effet falaise et d'évaluer les marges par rapport à cet éventuel effet falaise, sans limitation *a priori* sur la caractérisation de l'événement ou de l'aléa.

Un effet falaise se comprend comme une forte discontinuité dans le comportement de l'installation conduisant à une aggravation notable de la situation, notamment en termes de quantités de produits radioactifs ou dangereux mobilisées.

Les risques d'apparition d'effets falaise, identifiés ci-après, nécessitent simultanément les conditions suivantes :

- ils se produisent lors des situations examinées dans ce document, à savoir lors d'un séisme et/ou d'une inondation au-delà de ceux pris en compte pour le dimensionnement de l'installation, ou lors de pertes postulées des alimentations électriques et/ou des sources froides ;
- ils conduisent à des conséquences sur l'environnement significativement supérieures à celles des événements considérés dans le référentiel de sûreté des installations, y compris le PUI.

Il s'agit donc d'identifier les risques d'effet falaise qui, dans le cadre d'une part, des aléas considérés et d'autre part, des pertes postulées (pertes des alimentations électriques, perte de la source froide et cumul de ces deux pertes), pourraient intervenir consécutivement à des situations conduisant à :

- une perte du confinement de substances radioactive ou dangereuse ;
- une perte des moyens de maîtrise du risque d'explosion lié à l'hydrogène ;
- une perte des moyens de maîtrise du risque d'échauffement.

Considérant les analyses de risques et les analyses de sûreté, on identifie :

- les substances radioactives ou dangereuses susceptibles d'être mobilisées et pouvant conduire à un risque d'effet falaise ;
- les événements mettant en jeu ces substances ;
- l'état sûr visé et les équipements nécessaires pour y parvenir et le maintenir.

Cet examen permet d'identifier les dispositions préventives et les équipements essentiels existants pour faire face à ces effets falaise.

S'agissant d'installations neuves non encore réalisées, l'évaluation complémentaire de sûreté est réalisée en parallèle des études de conception.

5.2 Identification des situations redoutées

5.2.1 Identification des substances pouvant être mobilisées

La première étape de l'identification des situations redoutées consiste à effectuer un inventaire des substances radioactives et chimiques présentes dans les installations qui, en cas dispersion, pourraient conduire à des conséquences pour les intérêts mentionnés à l'article L 593-1 du code de l'environnement.

5.2.1.1 Substances radioactives ou dangereuses mobilisables

Les substances radioactives considérées comme mobilisables présentes dans les installations et pouvant conduire à des conséquences en cas de dispersion sont essentiellement celles provenant des colis de déchets identifiés. Cette mobilisation n'est rendue toutefois possible que via la dégradation des colis primaires ou des colis de stockage.

L'effet falaise identifié consiste en la dégradation soudaine d'un ou plusieurs colis primaires ou colis de stockage entrainant un rejet important de radioactivité dans l'environnement.

Des substances radioactives sont également potentiellement présentes au sein des effluents liquides douteux recueillis dans les installations ou sur certains filtres THE. Au regard des activités mises en jeu, ces substances sont considérées comme non susceptibles de conduire à un effet falaise et ne sont donc pas traités dans la suite du document.

5.2.1.2 Produits chimiques ou toxiques

Les produits chimiques ou toxiques sont utilisés en faible quantité dans le cadre des opérations de maintenance ou d'éventuelles opérations de mise en propreté radiologique. Leur dispersion aura un impact sanitaire très limité et n'est donc pas traitée dans la suite de l'étude. Les produits chimiques ou toxiques présents dans les installations ne conduisent donc pas à identifier d'effets falaise.

5.2.2 Situations redoutées et risques d'effet falaise

L'identification des situations est réalisée sur la base :

- du résultat de l'analyse de risques en recherchant les équipements et les termes source susceptibles d'être impactés ou mobilisés ;
- de l'examen des situations accidentelles, en pénalisant les hypothèses considérées dans le cadre des aléas examinés, de façon à rechercher les effets falaise.

L'identification des risques d'effet falaise est conduite en intégrant les effets potentiels des aléas à examiner dans le cadre du cahier des charges pour l'évaluation complémentaire de sûreté prescrite par l'ASN. Ces aléas sont le séisme, l'inondation (ainsi que l'inondation induite par un séisme), les phénomènes naturels extrêmes en lien avec l'inondation, ainsi que les pertes d'alimentation électrique.

Il s'agit dans un premier temps d'identifier les éventuelles situations pouvant conduire à un « effet falaise », sans limitation a priori sur la caractérisation (intensité) de l'événement ou de l'aléa. Ensuite, il s'agit de caractériser les situations redoutées potentielles précédemment identifiées afin de s'assurer de leur vraisemblance, puis d'évaluer les conséquences de ces situations afin de déterminer si elles conduisent à un effet falaise.

Les risques liés à des rejets importants dans les sols conduisant à une contamination significative de la nappe phréatique sont également considérés comme des situations pouvant conduire à un effet falaise.

A ce stade des études, les situations redoutées potentielles susceptibles de conduire à un effet falaise vis-à-vis des rejets atmosphériques sont :

- la chute d'un colis primaire dans la cellule de déchargement des colis primaires et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS ;
- la chute d'un colis de stockage MA-VL dans la cellule de manutention et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS ;
- un incendie au poste de contrôle de la cellule de déchargement des colis primaires et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS ;
- un incendie du pont stockeur dans l'alvéole de stockage MA-VL et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS ;
- la perte de la ventilation des alvéoles de stockage MA-VL susceptible de conduire à l'atteinte de la LIE en alvéole consécutive à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS ou à une perte électrique de très longue durée.

Concernant la situation de chute d'un colis primaire dans la cellule de déchargement des colis primaires et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS, il est supposé que le séisme entraine la défaillance des équipements de manutention des colis conduisant à la chute d'un colis sur un autre colis lors de son déchargement de l'emballage de transport (cf. scénario présenté au §3.1.3.3) aggravé par la défaillance de la ventilation de la cellule de déchargement. Les équipements essentiels pour gérer cette situation sont le confinement statique assuré par le local.

Concernant la situation de chute d'un colis de stockage MA-VL dans la cellule de manutention et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS, il est supposé que le séisme entraine la défaillance des équipements de manutention des colis conduisant à la chute d'un colis de stockage (cf. scénario présenté au § 3.1.3.5 aggravé par la défaillance de la ventilation de l'alvéole.

Les deux situations redoutées de chute nécessitent le maintien du confinement statique pour limiter les conséquences radiologiques potentielles associées.

Concernant la situation d'incendie au poste de contrôle de la cellule de déchargement des colis primaires et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS, il est supposé que le séisme entraine un départ de feu au niveau des équipements de la cellule et la défaillance de la ventilation dynamique (y compris le DNF). Les équipements essentiels pour gérer cette situation sont le confinement statique assuré par la cellule : murs, hublots, portes et clapets coupe-feu.

Concernant la situation d'incendie du pont stockeur dans l'alvéole de stockage MA-VL et la perte du 2ème système de confinement consécutifs à un séisme d'intensité nettement supérieure au SMS, il est supposé que le séisme entraine un départ de feu au niveau du pont stockeur et la défaillance de la ventilation de l'alvéole. Les équipements essentiels pour gérer cette situation sont le confinement statique assuré par la cellule de manutention et l'alvéole : façade d'accostage, portes et clapets coupe-feu.

Les deux situations redoutées d'incendie nécessitent le maintien du confinement statique pour limiter les conséquences radiologiques potentielles associées à l'incendie.

Concernant la situation de perte de la ventilation des alvéoles de stockage MA-VL susceptible de conduire à l'atteinte de la LIE en alvéole consécutive à un séisme d'intensité supérieure au SMS ou une perte électrique de très longue durée, en cas de perte prolongée de la ventilation des alvéoles de stockage MA-VL (supérieure à 45 jours), la LIE de l'hydrogène est atteinte, il existe alors un risque d'explosion susceptible de conduire à un endommagement des colis de stockage. Toutefois, compte tenu des délais disponibles, des dispositions palliatives afin de rétablir la ventilation des alvéoles

pourront être mises en place. Ces dispositions palliatives, qui seront précisées d'ici la DAC, constitueront des équipements essentiels et seront protégés en conséquence.

5.3 Dispositions retenues

L'objectif visé est un état des installations caractérisé par la limitation de la dissémination de substances radioactives dans l'environnement :

- Concernant un incendie ou une chute faisant suite à un séisme d'intensité supérieure au SMS : la maîtrise de cet état passe par le dimensionnement du génie civil de la cellule de déchargement des colis primaires et des alvéoles de stockage afin d'assurer leur stabilité mécanique et un taux de fuite adapté aux situations redoutées. Au cours de l'APD, les marges disponibles de dimensionnement seront identifiées au regard d'un séisme de type ECS afin de décider si des compléments de dimensionnement sont à mettre en œuvre ;
- Concernant l'occurrence d'une explosion en alvéoles MA-VL induite par les conséquences d'un séisme d'intensité supérieure au SMS ou une perte électrique très longue durée, la maîtrise de cet état passe par :
  - ✓ le dimensionnement du génie civil du puits de ventilation d'air vicié (et ouvrages de surface associés), des galeries de liaison et d'accès MA-VL, des cellules de manutention, des alvéoles de stockage MA-VL, des galeries de retour d'air afin d'assurer leur stabilité et ne pas constituer un agresseur potentiel par obstruction vis-à-vis de la circulation de l'air de renouvellement des alvéoles ;
  - ✓ la présence au sein de l'installation de pièces de rechange permettant la remise en route de l'alimentation électrique et de la ventilation d'extraction dans un délai inférieur au délai d'atteinte potentielle de la LIE au sein d'un alvéole de stockage MA-VL ;
  - ✓ la présence au sein de l'installation de moyens d'alimentation électrique mobiles comme moyen d'ultime secours et la mise en place sur site d'équipes d'intervention entrainées permettant la mise en œuvre de moyens de secours dans un délai inférieur au délai d'atteinte potentielle de la LIE au sein d'un alvéole de stockage MA-VL ;
  - ✓ l'intégration dans le PUI des mesures de gestion de crise de type ECS.

6

Éléments importants pour la protection (exigences et activité associées)

Au stade de l'avant-projet sommaire, une première liste d'EIP et d'exigences définies associées, est établie au regard de la maîtrise des fonctions de sûreté (cf. Tableau 5.3-). Des EIP complémentaires sont également définis en lien avec la maîtrise des risques (cf. Tableau 5.3-).

A ce stade, les EIP identifiés sont génériques et seront précisés dans les études ultérieures, ainsi que les exigences définies qui devront être adaptées aux risques.

En lien avec l'élaboration de la conception détaillée et la poursuite des études de sûreté, cette liste est donc susceptible d'évoluer d'ici la DAC.

Tableau 5.3-1 Liste des EIP et exigences définies associées, établie au stade de l'APS

Fonction(s) de sûreté	EIP	Exigence Définie pour l'EIP
Toutes	Colis primaire HA	Respect des exigences fixées dans les spécifications d'acceptation des colis (contamination surfacique, débit de dose, géométrie, hauteur de qualification à la chute…)
Toutes	Colis primaire MA-VL	Respect des exigences fixées dans les spécifications d'acceptation (contamination surfacique, débit de dose, géométrie, production d'hydrogène, potentiel de contamination en cas de chute…) Maintien du confinement en situation normale pendant l'exploitation pour les solutions de stockage n°1 et 3
Confiner les substances radioactives	Conteneur de stockage HA	Maintien du confinement en situation normale et accidentelle (chute, incendie) pendant l'exploitation
Confiner les substances radioactives Évacuer les gaz de radiolyse	Conteneur de stockage MA-VL	Performance au feu Limitation de la dispersion de substances radioactives en cas de chute de 2,3 m (facteur de rétention de 10^{-2}) Maintien du confinement en situation normale pendant l'exploitation pour la solution de stockage n°2 Évacuation des gaz émis par les colis primaires
Confiner les substances radioactives	Emballage de transport type B	Respect de la réglementation transport
Protéger de l'exposition externe et interne Confiner les substances radioactives	Certaines infrastructures de l'installation de surface dans lesquelles des sources radioactives sont présentes ou transitent : génie civil, ouvrants, façades d'accostage des hottes Équipements/matériels participant au confinement statique : hublots, traversées, clapets de confinement des systèmes de ventilation nucléaires	Maintien des exigences de confinement (taux de fuite) en fonctionnement normal, sous séisme et incendie Efficacité de la protection radiologique (épaisseurs, matériaux, respect d'un débit de dose) Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme, chutes de neige, tornade EF3, chute d'avion (voiles et dalles extérieurs) Performance au feu Existence d'un espace de confinement au-dessus des locaux avec des opérations sur les colis

Fonction(s) de sûreté	EIP		Exigence Définie pour l'EIP
			primaires[70]
Protéger de l'exposition externe et interne Confiner les substances radioactives	Certaines infrastructures de l'installation souterraine dans lesquelles des sources radioactives sont présentes ou transitent : génie civil, ouvrants, façade d'accostage Équipements/matériels participant au confinement statique : traversées, clapets		Maintien des exigences de confinement (taux de fuite) en fonctionnement normal, sous séisme et incendie Efficacité de la protection radiologique (épaisseurs, matériaux, respect débit de dose) Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme Performance au feu
Protéger de l'exposition externe et interne	Équipements/matériels participant à la protection radiologique : portes de radioprotection, bouchon d'exploitation et de fermeture des alvéoles HA		Efficacité de la protection radiologique (épaisseurs, matériaux) Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme Performance au feu
Protéger de l'exposition externe et interne	Équipements de fermeture et de verrouillage des locaux classés en zone contrôlée orange et zone interdite rouge		Maintien de la fermeture, du verrouillage et de l'état de fonctionnement en cas de séisme, incendie, collisions, perte d'utilités…
Confiner les substances radioactives	Système d'accostage des hottes MA-VL		Maintien des exigences de confinement (taux de fuite) en fonctionnement normal, sous séisme et incendie Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme Performance au feu
Protéger de l'exposition externe et interne	Système d'accostage/interverrouillage des hottes HA		Efficacité de la protection radiologique (respect débit de dose) Pas de fermeture de portes Pas de mouvement de la hotte
Évacuer la puissance thermique résiduelle des déchets	Conception alvéole HA		Respect de l'entraxe entre alvéoles
Protéger de l'exposition externe et interne Confiner les substances radioactives	Hottes MA-VL	Enceintes (confinement et blindée)	Maintien des exigences de confinement (taux de fuite) en fonctionnement normal, sous séisme et incendie Efficacité de la protection radiologique (respect débit de dose) Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme Performance au feu Maintien d'une performance en situation et post-incendie pour obtenir un débit de dose compatible avec les objectifs dosimétriques annuels[71]
		Structure porteuse	Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions,

[70] A ce stade, cela concerne la cellule « Contrôle C5 et Déchargement emballages »
[71] Exigences définies dans l'analyse des risques d'exposition externe et interne

Fonction(s) de sûreté	EIP		Exigence Définie pour l'EIP
			incendie, séisme Performance au feu
Confiner les substances radioactives		Protection thermique	Protection du colis de stockage Performance au feu
Évacuer les gaz de radiolyse		Orifices de balayage de la hotte MA-VL	Délai de mise en place compatible avec les délais d'atteinte du critère Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme
Protéger de l'exposition externe et interne	Hottes HA	Enceinte	Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme Efficacité de la protection radiologique (respect du débit de dose) Maintien d'une performance en situation et post-incendie pour obtenir un débit de dose compatible avec les objectifs dosimétriques annuels[71] Protection au feu
Protéger de l'exposition externe et interne Confiner les substances radioactives		Structure porteuse	Dimensionnement aux agressions internes et externes : collisions, incendie, séisme Performance au feu
Confiner les substances radioactives	Ventilation de l'installation de surface C2, C3, C4		Coefficient d'épuration des filtres THE Respect d'un ΔP, d'un débit de ventilation Maintien d'un certain niveau d'extraction en cas d'agressions interne et externe : séisme, perte d'utilités, à Θ[72]7j Surveillance perte de charge des filtres Caissons de filtration conforme à la norme NF ISO 17873 et aux préconisations du CETREVE
Évacuer les gaz de radiolyse		Réseaux de ventilation des locaux contenant des colis dans l'installation de surface	Absence de zones mortes
Confiner les substances radioactives Évacuer les gaz de radiolyse	Ventilation de la zone MA-VL Infrastructures des émergences du puits d'extraction d'air vicié de l'installation souterraine		Coefficient d'épuration des filtres THE Respect d'un ΔP, d'un débit de ventilation Caissons de filtration conforme à la norme NF ISO 17873 et aux préconisations du CETREVE Surveillance perte de charge des filtres Maintien d'un certain niveau d'extraction en cas d'agressions interne et externe : séisme, perte d'utilités, à Θ24h et Θ6h, tornade d'intensité EF3 Rétablissement de la ventilation

[72] Température minimale/maximale longue durée (sur au moins 7 jours)

Fonction(s) de sûreté	EIP		Exigence Définie pour l'EIP
			post-incendie, post-séisme dans un délai compatible avec l'analyse des risques liés à la radiolyse Ventilateurs mobiles de secours ou ventilateurs redondants Alimentation électrique ventilation secourue Surveillance ventilation nucléaire (mise en place d'anémomètres pour détecter les pertes de charges aérauliques)
Confiner les substances radioactives	Moyens de manutention susceptibles de remettre en cause l'intégrité des colis : • Pont portique dans hall de déchargement des convois ; • Pont roulant pour basculement des ET-V dans hall de réception 2 ; • Chariot de transfert pour ET-V (fonction élévation) ; • Pont roulant pour CP et CS-P en cellule de déchargement ET-V ; • Tables élévatrices de transfert des CS pour CS et CS-P avec chariot ; • Elévateur des cellules de manutention MA-VL pour CS MA-VL.		Maintien de la charge sous séisme, perte des utilités, à l'incendie
Confiner les substances radioactives	Engins de transfert des colis : MLL, navettes de surface, chariot de fond, navettes de fond HA et MA-VL		Dispositifs de freinage à sécurité positive, freinage automatique en cas de perte d'alimentation électrique ou de contrôle commande Contrôle commande à sécurité positive Le système de freinage d'urgence doit permettre un arrêt avant la collision d'un obstacle sur la voie Pas de déraillement
Confiner les substances radioactives	Système de transfert incliné (funiculaire) pour hottes MA-VL ou HA	Système de freinage FAU et AUS	Déclenchement du FAU et AUS en fonction de la sollicitation Décélération < 1 g Garantir la capacité de freinage en cas de séisme Traitement anticorrosion et résistance des matériaux des capacités ou tuyauteries à l'action des fluides transportés ou contenus
		Système de maintien de la hotte	Non basculement de la hotte à une accélération/décélération maximale de 1 g et à un séisme
		Rails	Garantir la résistance des rails et de leurs fixations au SMS Maintien de la continuité des rails
		Butoirs fin de voie	Absorber le surplus d'énergie cinétique du véhicule en cas de vitesse non maîtrisée jusqu'à une vitesse de 3 m/s Assurer une décélération inférieure à 1 g du véhicule lorsqu'il les

Fonction(s) de sûreté	EIP		Exigence Définie pour l'EIP
			heurte
		Inter-verrouillage entre alimentation des voies et détection présence de la navette ou du chariot rendant l'approche de la navette impossible en l'absence du transfert incliné	Maintien du fonctionnement sous séisme, perte des utilités, à l'incendie
Protéger de l'exposition externe et interne	Surveillance de l'exposition externe et interne		Mesure du débit de dose et de la contamination Maintien de la fonction surveillance en cas de séisme, incendie, perte d'utilités, collisions…
Protéger de l'exposition externe et interne Confiner les substances radioactives	Surveillance des rejets radioactifs		Mesure des rejets Maintien de la fonction surveillance en cas de séisme, incendie, perte d'utilités, collisions…
Évacuer les gaz de radiolyse	Surveillance de la concentration en H_2 dans les alvéoles		Alimentation électrique secourue Maintien de la fonction suite à un séisme, incendie, perte d'utilités Surveillance des débits d'air afin de garantir une concentration en H_2 inférieure aux seuils (25% de la LIE en fonctionnement normal)
Évacuer les gaz de radiolyse	Réseau secouru - Groupes électrogènes		Puissance et durée à définir Maintien de la fonction suite à un séisme

Tableau 5.3-2 Liste des EIP et exigences définies associées complémentaires retenus au titre de l'analyse de risques, établie au stade de l'APS

Risques	EIP	Exigence Définie pour l'EIP
Protection contre le risque d'incendie	Détection incendie	Alimentation électrique permanente Dimensionnement au séisme Redondance de la fonction
	Systèmes fixes d'extinction automatique	Dimensionnement au séisme Nombre et implantation des têtes de diffusion Disponibilité agent d'extinction
	Sectorisation, compartimentage incendie	Performance au feu Fermeture des portes/séparations normalement ouvertes Dimensionnement au séisme
	Ventilation des galeries souterraines en cas d'incendie	Alimentation électrique secourue Dimensionnement au séisme
	Refuges, niches de sécurité, cheminements d'évacuation des personnes	À l'abri des fumées Température ambiante < 40°C Dimensionnement au séisme
Maîtrise du risque d'inondation externe	Système de drainage au niveau du bâtiment EP1	Évacuer le débit d'eau associé à une remontée de nappe phréatique
	Système d'étanchéité du bâtiment EP1	Assurer une étanchéité du bâtiment
	Réseaux d'évacuation des eaux pluviales	Éviter une saturation des réseaux qui pourraient conduire à une entrée d'eau dans les bâtiments contenant des EIP
	Systèmes d'étanchéité des puits et de la tête de descenderie	Assurer une étanchéité pour une pression hydraulique adaptée aux formations traversées
	Système de collecte des eaux d'exhaure (aquifères)	Évacuer le débit des eaux d'exhaure Dimensionnement au séisme

VOLUME IV OPTIONS DE SURETE LIEES AUX OPERATIONS DE FERMETURE

.

1

Stratégie de fermeture

1.1 Principes 464
1.2 Les opérations de démantèlement 465
1.3 Les opérations de fermeture de l'installation souterraine 466
1.4 La fermeture définitive 467

1.1 Principes

Au terme de son exploitation, la fermeture du centre de stockage Cigéo consistera à remblayer et à sceller l'installation souterraine. Après fermeture définitive (sous réserve de son autorisation par une loi), la protection des personnes et de l'environnement contre les risques liés à la dissémination des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets, objectif fondamental de Cigéo, reposera ainsi sur des dispositions passives, c'est-à-dire ne nécessitant pas d'action humaine.

Conformément au cadre réglementaire, notamment l'arrêté du 7 février 2012, après l'exploitation, l'installation sera fermée et placée en phase de surveillance. Un suivi de l'environnement sur une période limitée et des dispositifs de maintien de la mémoire sur site seront mis en œuvre.

Cigéo une fois fermé satisfera les fonctions de sûreté après fermeture. Les ouvrages de fermeture sont conçus pour satisfaire certaines des fonctions de sûreté après fermeture et les exigences associées qui font l'objet du volume II du DOS-AF[73] permettant au système de stockage[74] d'assurer une sûreté passive sur le long terme.

Selon le plan directeur pour l'exploitation de Cigéo, préalablement à la fermeture définitive de Cigéo[75], des opérations de fermeture progressives seront engagées sur toute la période d'exploitation. Cette fermeture se fait de façon progressive, selon un processus d'autorisation spécifique. Les opérations de fermeture visent à obturer les alvéoles de stockage, remblayer les galeries et quartiers puis sceller les galeries.

Un plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance présentant les principes d'ordre méthodologique, les étapes et les délais envisagés pour le démantèlement des parties de l'installation qui ne seront plus nécessaires à l'exploitation du stockage, à la fermeture des ouvrages de stockage et à la surveillance de l'installation sera fourni en support de la DAC.

La progressivité de la fermeture ne doit toutefois pas nuire à l'objectif de sûreté passive à long terme. Aussi, au cours de toute la durée de l'exploitation de Cigéo, et notamment à l'occasion des réexamens de sûreté périodiques, il sera vérifié sur la base de l'acquisition continue des connaissances, en particulier liée au retour d'expérience de l'exploitation et de la surveillance de l'installation, que les étapes de fermeture du déroulement de référence sont compatibles avec les objectifs et le maintien des fonctions de sûreté après fermeture du stockage.

Les objectifs visés tout au long de la fermeture progressive sont :

- la préservation des objectifs et des fonctions retenus pour garantir la sûreté après fermeture du stockage ;
- la sûreté en exploitation qui appelle principalement à la limitation des risques de co-activité entre les activités nucléaires (exploitation et mise en stockage des colis) et les travaux de réalisation des ouvrages de fermeture ;
- la limitation de la perturbation générée par les opérations de fermeture sur les flux de mise en stockage ;
- la préservation d'une durée de surveillance importante des alvéoles et des quartiers de stockage (plusieurs dizaines d'années) ;
- la mise en œuvre d'une démarche progressive permettant d'acquérir de l'expérience sur les opérations de fermeture ;

[73] Ils participent à l'objectif fondamental de sûreté après fermeture de Cigéo, principalement en contribuant à s'opposer à la circulation de l'eau dans le stockage, à retarder et atténuer la migration des radionucléides.

[74] Le système de stockage après fermeture comprend la couche de Callovo-Oxfordien qui est le composant principal, l'architecture souterraine et les composants ouvragés que sont les colis et les ouvrages de fermeture.

[75] La loi du 28 juin 2006 dispose que seule une loi peut autoriser la fermeture définitive de Cigéo. Dans le calendrier actuel, la fermeture définitive est envisagée vers 2150.

- le maintien de haut niveau de récupérabilité pendant une durée importante (plusieurs dizaines d'années) ;
- l'optimisation technico-économique, en particulier la recherche d'une plus grande efficacité des travaux de fermeture en évitant leur fractionnement.

Selon le plan directeur pour l'exploitation, préalablement à la fermeture définitive de Cigéo, des premières opérations de fermeture d'alvéole, quartier par quartier, zone de stockage par zone de stockage, sont réalisées. En pratique, les opérations en vue de la fermeture de l'installation souterraine consistent au démontage des équipements d'exploitation et à la construction d'ouvrages de fermeture.

Ce chapitre présente les premiers éléments relatifs aux opérations de démantèlement, de fermeture et les risques d'origine nucléaire associés.

1.2 Les opérations de démantèlement

Les installations de surface sont démantelées lorsqu'elles ne sont plus utiles.

Les opérations de démantèlement des INB comprennent essentiellement deux types d'activités :

- le démantèlement des équipements activés et contaminés et la gestion des flux de déchets correspondants (collecte, tri, mesures radiologiques, traitement et conditionnement, et évacuation vers les exutoires appropriés) ;
- l'assainissement des structures en béton activées ou contaminées. Les opérations correspondantes sont en général exécutées après le démantèlement des équipements.

Les principes et les hypothèses retenus pour évaluer les quantités de déchets de démantèlement sont fondés notamment sur la définition du zonage « déchets ».

La conception de Cigéo vise à minimiser les quantités et la radiotoxicité des déchets produits par un choix optimisé des matériaux et le confinement des substances contaminantes. Ainsi, l'installation de surface comporte très peu de procédés pouvant entrainer une contamination potentielle (les opérations consistent essentiellement à de la mise en place de colis de déchets dans un conteneur et au transfert de colis). Seuls les locaux impliquant les colis de déchets sont potentiellement des zones à déchets. Le zonage « déchets » est optimisé et le nombre d'équipements implantés dans la zone nucléaire est limité autant que possible. Par ailleurs, l'accent est mis autant que faire se peut sur la possibilité de réutilisation des équipements après remise à niveau (aspect maintenance).

Un état radiologique des équipements et des locaux est réalisé lors de la mise à l'arrêt des installations. Les spectres radiologiques sont établis pour confirmer la catégorie des déchets de démantèlement. Ces préalables permettent ainsi de statuer sur la nécessité ou non de mettre en œuvre le cas échéant des opérations d'assainissement.

Pour ce qui concerne le démantèlement des bâtiments de surface, cela consiste à déconstruire :

- le génie civil et le second œuvre : les cuvelages de cellule, les hublots, les trappes métalliques, les portes blindées, les escaliers, les structures de soutien, les portes d'accès, les rails... ;
- les réseaux d'alimentation : les réseaux électriques, les réseaux fluides et utilités, le cas échéant les réseaux enterrés ;
- la ventilation nucléaire des bâtiments.

Pour ce qui concerne l'installation souterraine, les équipements des parties utiles des alvéoles où sont stockés les colis sont laissés en place (cas des rails notamment pour l'alvéole MA-VL). Dans les autres parties de l'installation, les équipements fixés dans les bétons (rails, câbles, soutènements, ferraillage des radiers...) sont aussi laissés en place. La nature et une quantification préliminaire des équipements/matériaux non démantelés seront précisées dans le rapport de sûreté en support de la DAC. Leur impact potentiel sur les fonctions de sûreté après fermeture en particulier la fonction « ne pas perturber la formation du Callovo-Oxfordien » (cf. fonctions de sûreté après fermeture du Volume I du DOS-AF) sera en particulier évalué.

1.3 Les opérations de fermeture de l'installation souterraine

Le schéma ci-après montre les étapes de fermeture de l'installation souterraine en particulier des quartiers MA-VL, HA0 et HA1/HA2 selon le PDE à ce stade (7).

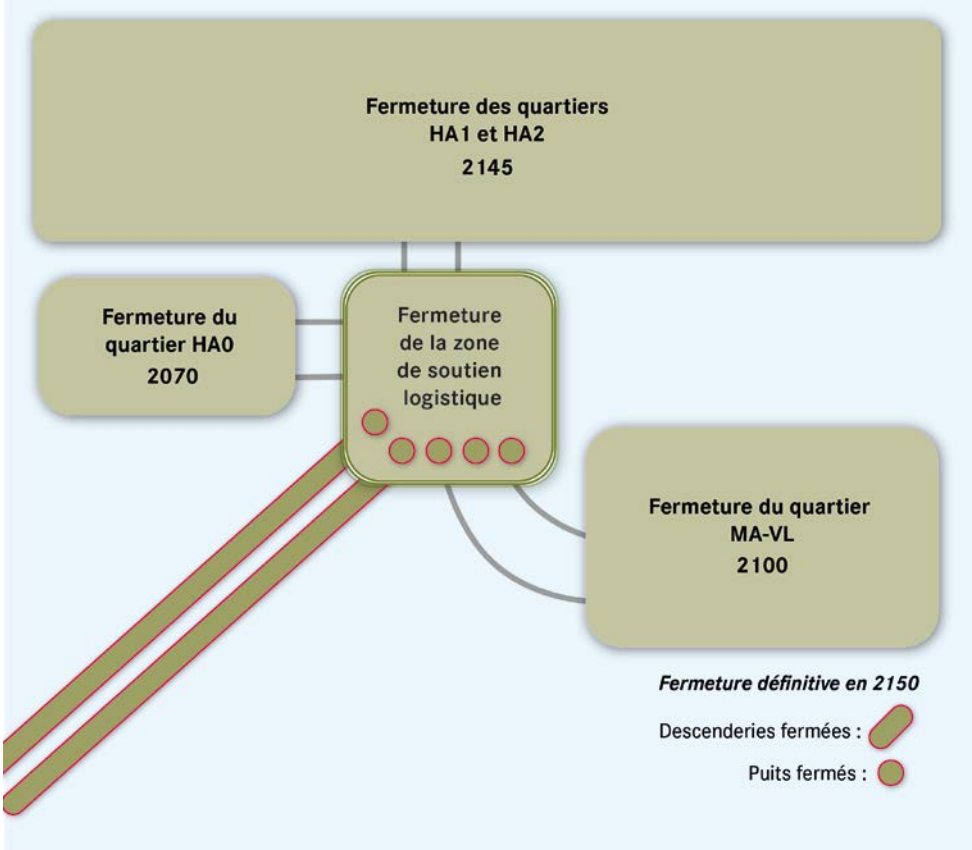


Figure 1.3-1 Représentation schématique des étapes de fermeture des ouvrages souterrains (dates prévisionnelles à fin d'APS

Dans le cadre de la fermeture de l'installation souterraine, la réalisation de ces ouvrages comprend des opérations de type « démantèlement » (démontages d'équipement), puis des opérations de type « génie civil » relativement lourdes (construction d'éléments en béton d'épaisseur et de section d'ordre métrique voire plurimétrique, mise en place de quantités importantes de remblais…).

Ces ouvrages de fermeture sont des matériaux de remplissage de type remblais et pour les scellements de matériaux argileux. Quelques schémas illustratifs de ces ouvrages sont présentés dans les sections qui suivent.

Le remblaiement des galeries se fait en réutilisant des déblais argileux excavés au moment du creusement et entreposés sur les verses en surface.

Chaque quartier est fermé en une seule et même opération regroupant la construction des ouvrages d'obturation de tous les alvéoles et le remblaiement et le scellement des galeries nécessaires à sa fermeture.

Les opérations de fermeture étant des travaux conséquents, le risque lié à la co-activité des travaux de mise en place de ces ouvrages et de l'exploitation est pris en compte dès la conception. Lors des opérations de fermeture, les alvéoles de stockage étant remplis, les risques liés à l'exposition externe et interne sont prises en compte dans la conception, notamment du bouchon de radioprotection à mettre en place.

Une fois les alvéoles fermés, les dispositifs actifs mis en place pour la gestion des risques en exploitation ne sont plus opérants. C'est le cas notamment de la ventilation pour les alvéoles MA-VL

qui évacue l'H_2 (cf. risque lié à la radiolyse) et des dispositifs d'évacuation de l'eau pour l'alvéole HA (cf. risque lié à l'accumulation d'eau dans l'alvéole).

Les risques potentiels une fois les alvéoles fermés, sont identifiés et les options de sûreté retenues à ce stade présentées au chapitre 2.

1.4 La fermeture définitive

La fermeture définitive de Cigéo consiste au remblaiement des dernières galeries de la zone de soutien logistique, au scellement et au remblaiement des puits et descenderie (cf. Figure *supra*).

Lors des opérations de fermeture définitive de Cigéo, les scellements constitués de noyaux à base d'argile gonflante sont placés dans les puits et descenderies, dans la partie supérieure du Callovo-Oxfordien (« toit » de la roche hôte). Les puits sont ensuite remblayés jusqu'en surface. Les installations de surface sont démantelées.

Les scellements des ouvrages de liaison surface/fond jouent un rôle important dans la sûreté après fermeture conformément au guide de sûreté ASN de 2008 qui indique que : « *Les liaisons jour-fond et éventuellement certaines* galeries *et certains ouvrages de l'installation de stockage devront faire l'objet de scellements assurant une étanchéité de qualité spécifiée ».*

Le chapitre 3 du Volume II du DOs-AF précise les fonctions et performances attendues pour ces scellements.

Compte tenu de l'importance de ces composants, cette préoccupation est intégrée dès leur conception.

L'Andra prévoit par ailleurs un démonstrateur de scellement dès la phase industrielle pilote bien que la fermeture intervienne à la fin de l'exploitation.

2

Opérations de fermeture

2.1 Les ouvrages de fermetures 470
2.2 Fermeture de l'alvéole MA-VL 472
2.3 Fermeture de l'alvéole HA 473
2.4 Fermeture des quartiers et des galeries de liaison 475
2.5 Fermeture des puits et descenderies 477
2.6 REX des essais de mise en place de scellements 478

2.1 Les ouvrages de fermetures

Les ouvrages de fermeture comprennent les remblais et les scellements. Ces derniers sont classés en trois grandes catégories pour Cigéo (cf. DOS-AF) :

- les scellements verticaux ;
- les scellements inclinés ;
- les scellements horizontaux.

Les scellements verticaux et inclinés appartiennent à la catégorie dite « scellements de liaisons surface/fond » et les scellements horizontaux appartiennent à la catégorie « scellements de fond ». Les solutions envisagées sont présentées ci-après. Trois types de scellements sont prévus dans Cigéo :

- les scellements des liaisons surface-fond (LSF), mis en place :
  - ✓ au droit de l'unité silto-carbonatée (USC) du Callovo-Oxfordien pour ce qui est des scellements de descenderie ;
  - ✓ au droit de l'USC et de l'unité de transition (UT) du Callovo-Oxfordien pour ce qui est des scellements de puits ;
- les scellements de galeries de liaison au sein de l'installation souterraine, mis en place dans l'unité argileuse (UA) du Callovo-Oxfordien.

Le besoin et la façon de sceller également l'entrée et le retour d'air des alvéoles de stockage de déchets MA-VL, mis en place dans l'UA du Callovo-Oxfordien, sont également étudiés.

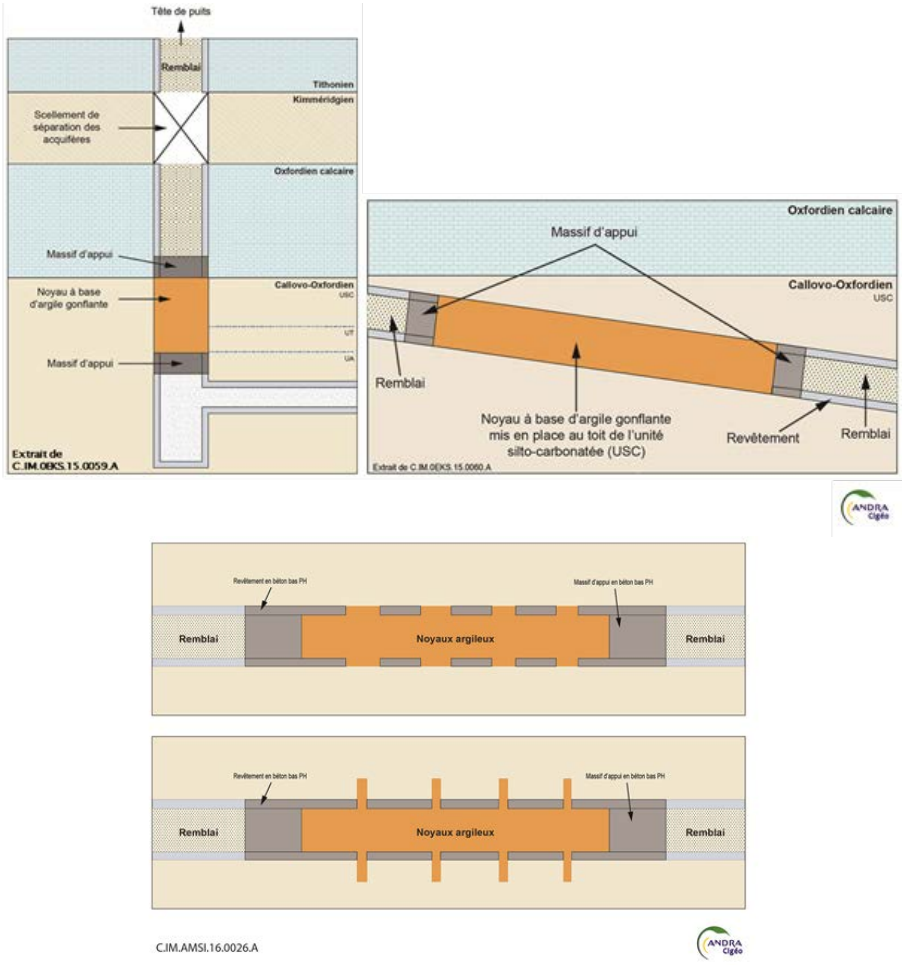


Figure 2.1-1 *Schémas de principe des ouvrages de fermeture inclinés, verticaux, horizontaux*

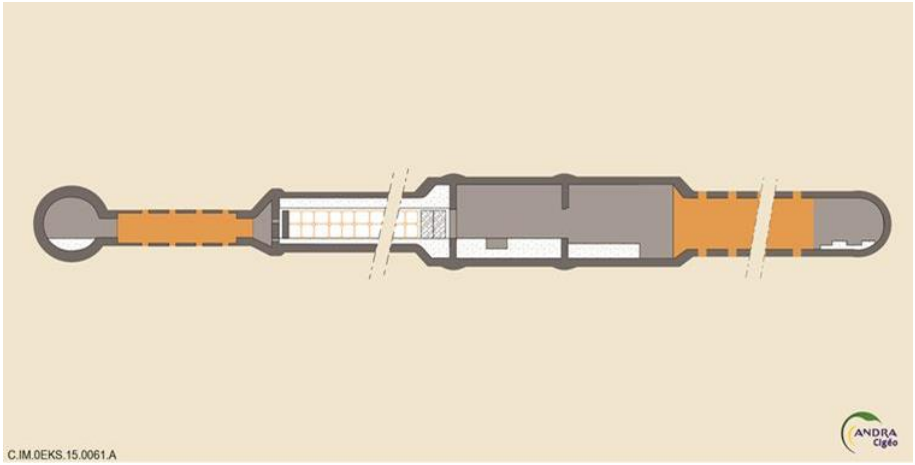


Figure 2.1-2 *Schéma de fermeture de l'alvéole MA-VL – exemple d'illustration présentant les scellements (au stade de fin d'APS)*

Concernant l'alvéole HA, le système de fermeture situé dans la tête d'alvéole HA entre la galerie d'accès et le dernier colis de stockage mis en place est constitué :

- d'un bouchon de radioprotection de fermeture;
- d'un bouchon argileux d'obturation de la tête d'alvéole HA destiné à maintenir, à long terme, un environnement physico chimique favorable à la protection des déchets vitrifiés et à limiter les vides résiduels en tête d'alvéole HA, au niveau le plus faible possible, lors de la mise en place du matériau ;
- d'un tronçon de chemisage de longueur suffisante pour la fermeture de l'alvéole.

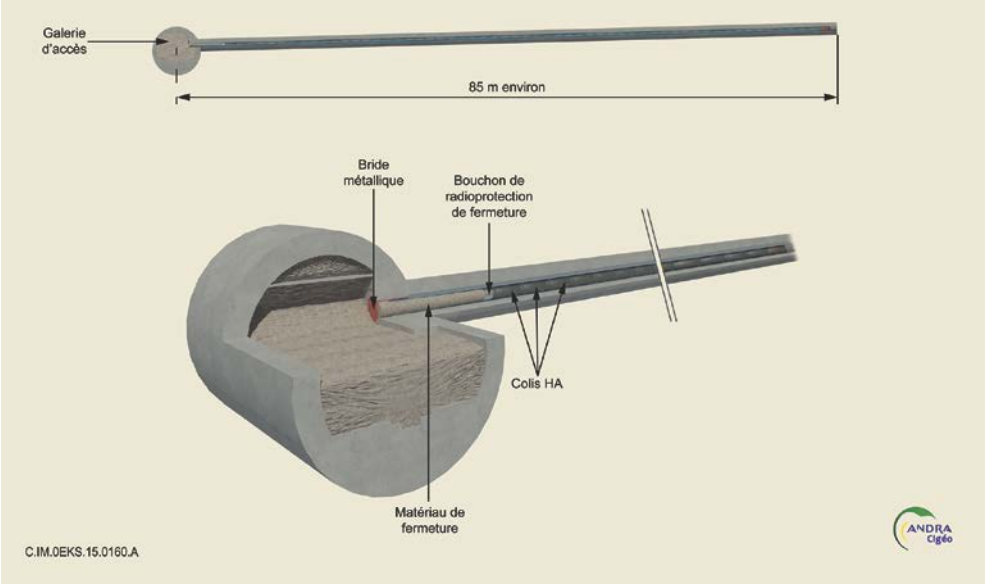


Figure 2.1-3 *Schéma de principe d'un alvéole HA0 obturé et de la galerie remblayée dans un quartier d'alvéole HA*

2.2 Fermeture de l'alvéole MA-VL

2.2.1.1 Opérations préalables à la fermeture de l'alvéole MA-VL

Nota : pour ce qui concerne les équipements dans la cellule de manutention de l'alvéole MA-VL, lorsque les alvéoles sont pleines, les démontages et mises sous cocon interviennent dans un délai d'environ 1 an après la fin du remplissage de l'alvéole. L'ensemble des dispositifs de surveillance et tous les équipements participant à la sûreté sont maintenus opérationnels jusqu'à l'obturation de l'alvéole dans le cadre des opérations de fermeture partielle du stockage. Les dispositifs de protection radiologique sont mis en place pour mener les opérations dans le quartier MA-VL en répondant aux objectifs de radioprotection. Les équipements fixés dans le béton (radier/soutènement) des alvéoles restent en place (rails par exemple). A ce stade, un mur de blocs de béton est implanté en tête de la partie utile de l'alvéole MA-VL entre la dernière rangée de colis et la porte de protection de la cellule de manutention. Son dimensionnement est établi pour répondre aux contraintes de dose fixées pour permettre les opérations d'exploitation dans l'installation souterraine. L'alvéole MA-VL reste ventilée.

Lors de la fermeture de l'alvéole MA-VL, les équipements de la cellule de manutention, de la zone d'accostage et de la galerie d'accès non démontés à la fin du remplissage de l'alvéole, notamment la voie de roulement dans la galerie, et les équipements mis sous cocon sont démontés et évacués[76].

Pour ces opérations, une zone de travail est constituée dans la galerie d'accès de l'alvéole dont l'interface avec la galerie de liaison est isolée au moyen d'une paroi ou d'un sas provisoire. Cette paroi permet néanmoins de maintenir les besoins et utilités nécessaires à la suite des opérations de fermeture, dont notamment la ventilation.

De la même façon les équipements ne pouvant être laissés en place, sont enlevés de la galerie de jonction de retour d'air à l'autre extrémité de l'alvéole, notamment la gaine de retour d'air. Les voies de roulement du pont-stockeur sont laissées en place avec l'ensemble de leurs systèmes de fixation dans l'alvéole de stockage, ainsi que les systèmes de prise de références de positions du pont-stockeur et les supports de ses câbles d'alimentation électrique (par exemple : diabolo)[77].

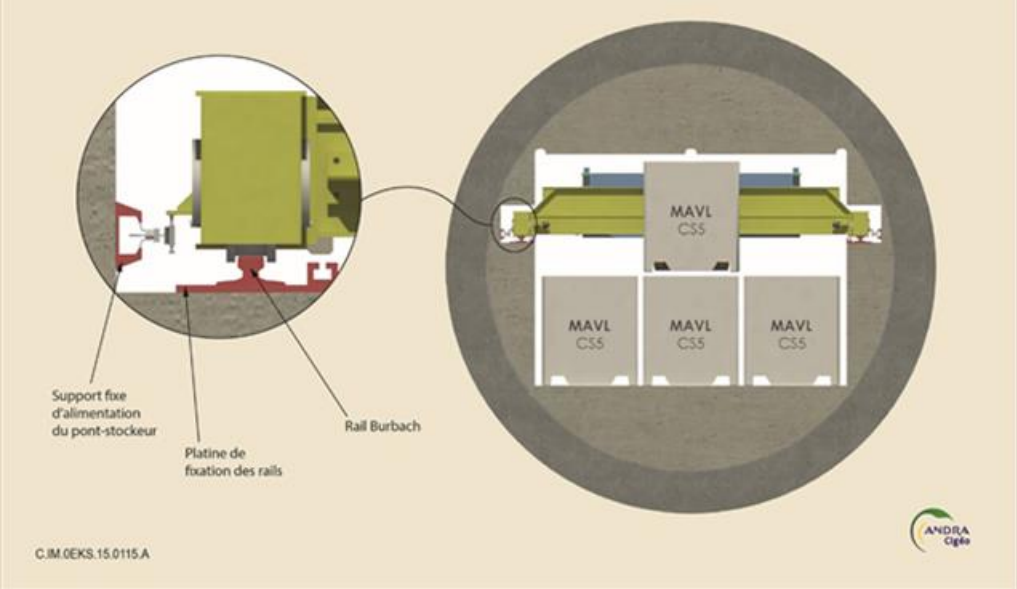


Figure 2.2-1 Détail des rails laissés en alvéole de stockage (au stade de l'APS)

[76] Si ce passage est effectué avant la fin du remplissage du quartier MA-VL, le travail en cellule de manutention MA-VL pourrait nécessiter un arrêt de l'exploitation de la galerie de liaison.

[77] Ces voies de roulement sont dimensionnées pour être réutilisées pour la circulation du pont lors d'une éventuelle opération de retrait (cf. DOREC).

Les systèmes de fixation solidaires du génie civil sont aussi laissés en place. Ceci permet de ne pas endommager le génie civil de l'ouvrage et la structure du sas de manutention. Les éléments noyés dans le béton constituant le génie civil de l'ouvrage et la structure du sas de manutention ne sont pas démontés pour ne pas endommager le béton.

Des équipements non susceptibles d'être réutilisés pourraient être laissés en place à condition qu'ils ne conduisent pas à des volumes non remplis et que les surfaces et masses d'acier correspondantes ne constituent pas une source importante d'hydrogène par corrosion anoxique en regard des volumes d'hydrogène produits dans les alvéoles desservis par les galeries concernées et de façon générale toutes les pièces noyées dans le béton sont également laissées en place[78]. Ceci fera l'objet de précisions dans le cadre de la DAC en regard des évaluations d'impact notamment sur la perturbation du Callovo-Oxfordien et plus particulièrement sur les fonctions de sûreté après fermeture.

2.2.1.2 Obturation et comblement de la cellule de manutention et de la zone d'accostage

L'obturation de chaque alvéole MA-VL débute côté galerie d'accès par la mise en place d'un mur en béton, qui obture, de manière étanche, le voile de l'ancienne porte de radioprotection. Du côté de la galerie de retour d'air, le mur en béton est réalisé à l'extrémité de la galerie de jonction de retour d'air, à proximité de la chicane de ventilation pour obturer les différents orifices. La ventilation à l'intérieur de l'alvéole MA-VL est de fait arrêtée après cette opération. Un dispositif de contrôle de l'atmosphère peut alors être installé sur le mur d'obturation côté galerie d'accès pour faciliter ultérieurement la caractérisation de l'atmosphère de l'alvéole. Ce dispositif vise notamment le contrôle de la présence d'H_2 afin de prendre les dispositions conservatoires nécessaires en cas de décision de retrait de colis de stockage de l'alvéole MA-VL et de déconstruction de l'ouvrage de fermeture, et éviter un risque d'explosion (cf. chapitre 2).

L'obturation se poursuit avec la fermeture du tronçon entre le mur d'obturation jusqu'à la galerie de liaison. La cellule de manutention et la zone d'accostage sont intégralement comblées pour limiter les déformations à long terme autour de ces cavités de grande dimension.

2.2.1.3 Comblement du tronçon de galerie aux deux extrémités de l'alvéole

Pour le comblement de la galerie à l'entrée de l'alvéole et de la galerie de jonction de retour d'air, deux options sont envisagées à ce stade: la mise en place d'un scellement à noyau en argile gonflante ou la mise en place avec soin d'un remblai à base d'argilites excavées pour obtenir de bonnes performances hydrauliques.

2.3 Fermeture de l'alvéole HA

2.3.1.1 Opérations préalables à la fermeture de l'alvéole HA

Dès la fin du remplissage d'un alvéole, un bouchon de radioprotection de fermeture est placé à l'intérieur du chemisage de l'alvéole au plus près des colis stockés. Celui-ci est laissé en place jusqu'au passage de l'alvéole et reste en place lors de l'obturation de l'alvéole. Il est dimensionné sur la base du zonage radiologique retenu pour les opérations d'obturation des alvéoles et de récupération de colis ainsi que pour le respect des objectifs de débit de dose en galerie d'accès aux alvéoles HA.

[78] . Ils peuvent ainsi être réutilisés dans le cadre d'une éventuelle opération de retrait (cf. DOREC).

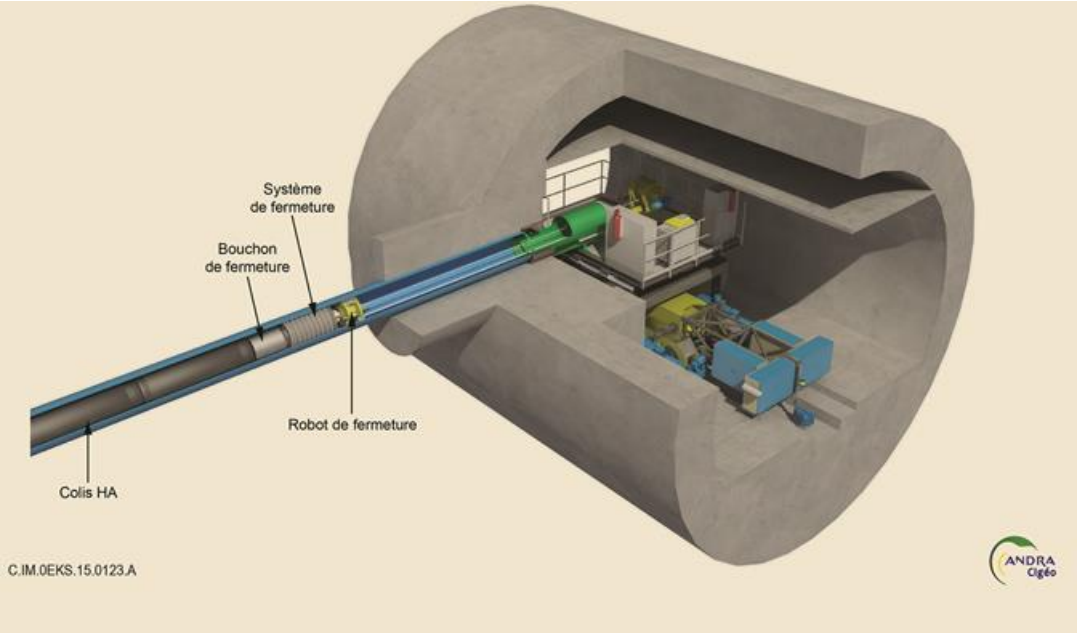


Figure 2.3-1 Illustration d'une double opération de fermeture d'alvéole HA0

.

2.3.1.2 Opérations de fermeture : obturation et comblement de la tête d'alvéole

Le dispositif d'extraction de l'eau est réalisé avant l'engagement de la fermeture.

Dans les alvéoles HA, les équipements laissés en place avec les colis sont, d'une part des intercalaires[79] en partie utile, d'autre part des équipements destinés à la radioprotection et à la fermeture de l'alvéole en tête d'alvéole que sont le bouchon de radioprotection et éventuellement le système de fermeture. Le système de fermeture, illustré ici par un soufflet, a pour fonction de reprendre l'effort induit par le matériau d'obturation lors de la fermeture de l'alvéole et d'empêcher sa diffusion vers la partie utile. Il est mis en place à l'issue du chargement de l'alvéole

Pour la fermeture de l'alvéole HA, l'espace intérieur des têtes d'alvéole HA est rempli de manière homogène par un matériau argileux avec un pH proche de la neutralité afin de constituer un environnement physico-chimique favorable à la protection des déchets vitrifiés. Ce matériau est introduit dans l'alvéole HA à travers la bride ou directement si la bride est démontée temporairement.

L'introduction à travers la bride permet a priori de mieux limiter l'apport d'oxygène dans l'alvéole, mais rend plus difficile un remplissage homogène de la tête d'alvéole HA. En cas de retrait de la bride pour cette opération, le matériau pourrait être mis en place sous la forme de blocs compactés.

En outre, l'arrêt du dispositif d'extraction de l'eau conduit progressivement à une resaturation du matériau argileux. L'extraction des gaz pourrait rester opérationnelle en cas de nécessité liée à une trop forte pression de gaz (vapeur d'eau, hydrogène) dans l'alvéole HA.

[79] La fonction principale des intercalaires est d'éloigner physiquement les colis de stockage afin de répartir uniformément leur puissance thermique au sein de l'alvéole et de garantir le respect de leur critère de puissance linéique maximal. C'est pourquoi ces objets ne sont présents que dans les alvéoles HA1/HA2. Les intercalaires sont dimensionnés pour rester intègres et manutentionnables durant toute la période d'exploitation.

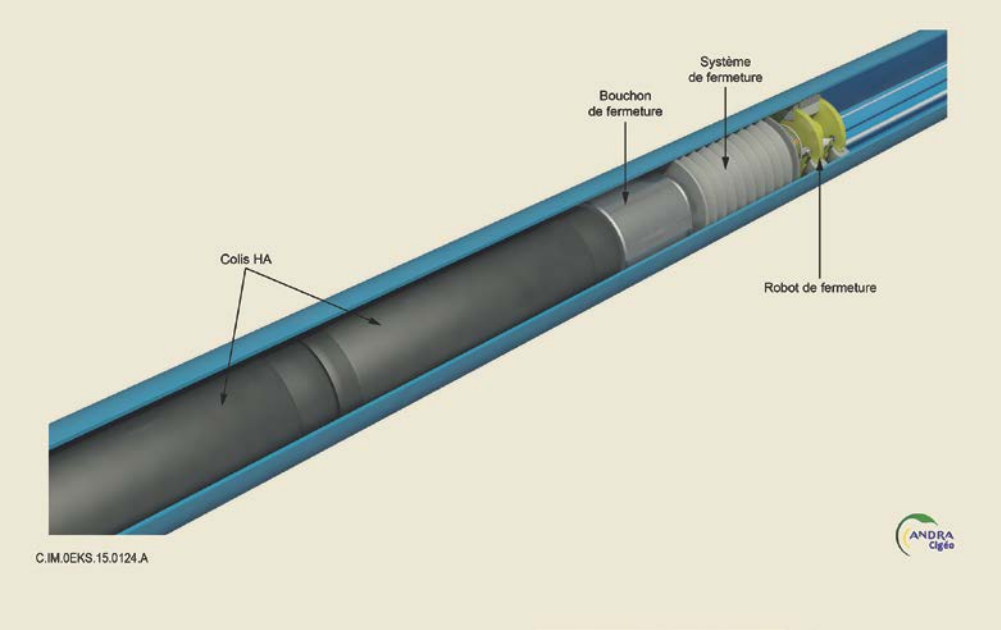


Figure 2.3-2 Illustration d'un système de fermeture d'un alvéole HA0

Des études seront menées en APD pour définir le système de fermeture illustré ici par un soufflet et pour optimiser les opérations d'obturation de l'alvéole et le bouchon de radioprotection laissé en place notamment au regard de leur impact potentiel sur la sûreté après fermeture. Pour mémoire, les premières opérations industrielles de fermeture d'alvéoles HA0 sont prévues vers 2070.

Des essais de fermeture d'un démonstrateur d'alvéole HA sont prévus dès la phase industrielle pilote sur la base de la conception détaillée d'alvéole HA retenue dans le cadre de la DAC.

2.4 Fermeture des quartiers et des galeries de liaison

La fermeture du quartier correspond au comblement par un remblai des galeries de liaison d'exploitation et de travaux, des recoupes et des galeries de retour d'air et à la mise en place d'un scellement dans chaque tronçon prévu dans les galeries de liaison et de retour d'air à proximité des zones de soutien logistique exploitation et travaux (cf. Figure 2.4-1).

Les opérations de fermeture s'effectuent autant que possible en zone non réglementée.

Le remblai est mis en place dans la galerie et compacté dans l'objectif de limiter les vides résiduels et l'amplitude de la convergence différée des parois. Avant comblement des galeries, les éventuels systèmes de contrôle d'atmosphère et d'extraction de gaz des alvéoles sont rendus inopérants.

Des scellements de fermeture des quartiers sont mis en place pour répondre aux exigences de sûreté après fermeture (cf. chapitre 3 du volume II du DOS-AF). Leur localisation à ce stade n'est pas fixée.

Le schéma ci-après donne une illustration de leur positionnement dans l'installation souterraine une fois Cigéo fermé définitivement.

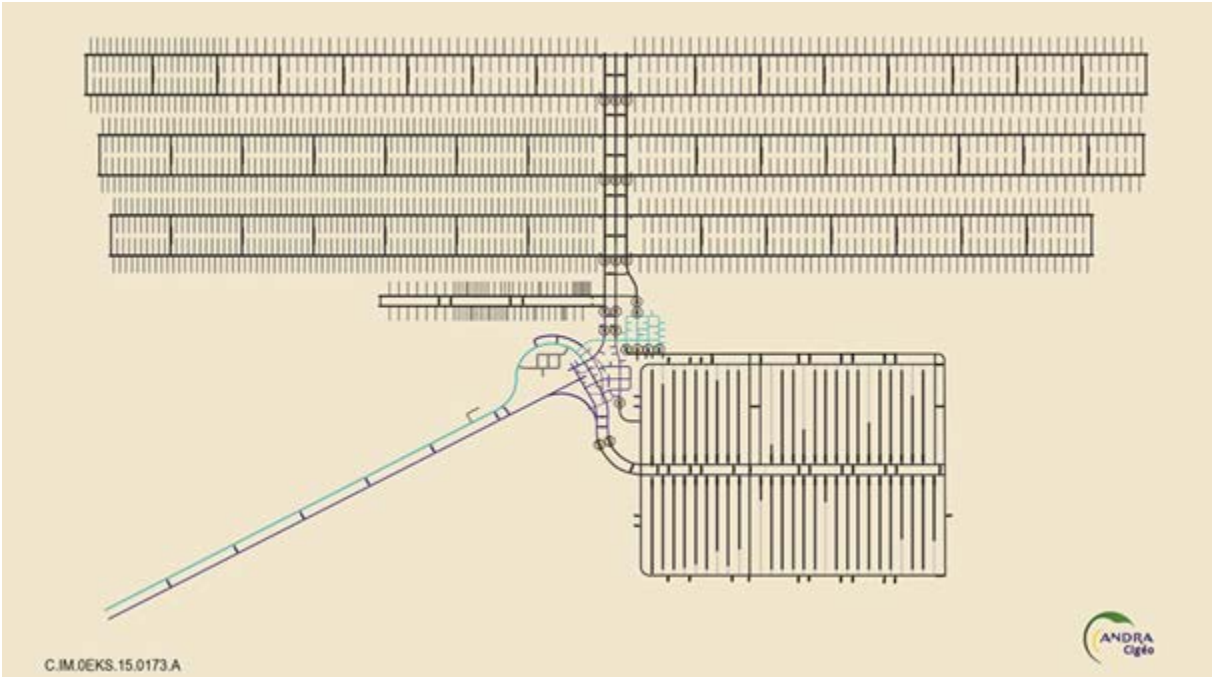


Figure 2.4-1 Illustration de la localisation des scellements dans l'installation souterraine

2.4.1.1 Opérations préalables au remblayage

Préalablement au remblayage, il est réalisé des opérations de retrait des équipements d'exploitation présents dans les ouvrages concernés.

En outre, la ventilation des galeries de liaison, des différentes recoupes, et des galeries de retour d'air est arrêtée et les équipements correspondants sont démontés. Une ventilation provisoire est mise en place pour les opérations de remblaiement.

Comme dans la cellule de manutention, la zone d'accostage et la galerie d'accès des alvéoles MA-VL, les équipements (hors des zones de scellement) ne pouvant être réutilisés dans le Centre ou dans d'autres installations nucléaires et susceptibles de constituer des déchets radioactifs sont laissés en place selon les conditions énoncées précédemment (cf. § 2.2.1.1).

2.4.1.2 Réalisation du remblayage et scellement des galeries

Le matériau de remblai des galeries est constitué en grande partie par la roche excavée entreposée en verses en attente de sa réutilisation. Les argilites réutilisées font l'objet d'un traitement préalable à leur mise en œuvre pour régler la granulométrie, la teneur en eau et les propriétés mécaniques du matériau de remblai aux spécifications fixées. Ces spécifications sont déterminées de manière à faciliter le compactage et à obtenir une compressibilité la plus faible possible et une densité sèche[80] la plus élevée possible du matériau de remblai, compte tenu des contraintes techniques et économiques de mise en place.

[80] Densité sèche au sens de la mécanique des sols : masse de matière solide par unité de volume du matériau tel qu'in situ

La faisabilité du remblayage des galeries avec de l'argilite pure a été démontrée par le démonstrateur de remblayage de Richwiller. Le retour d'expérience du démonstrateur de remblayage en galerie permet de conforter l'atteinte d'une densité sèche d'au moins 1,7[81] et le phasage de réalisation du remblai : couches inférieures compactées horizontalement en radier, couches supérieures en calotte compacté sur plan incliné (de 1H/1V à 2H/3V).

Une solution industrielle de compactage plus rapide et mieux adaptée au gabarit des ouvrages à remblayer reste à développer, notamment pour le compactage du remblai au plus près de la voûte. Toutefois, le gabarit des alvéoles de Cigéo de 8 m de diamètre intérieur, permet d'envisager un remblaiement et un compactage en galerie par des engins classiques de terrassement sur les 4 à 5 premiers mètres et l'apport des matériaux pourrait se faire par bande transporteuse ou par voie pneumatique.

Le remblaiement des galeries est effectué du fond du quartier vers les zones de soutien logistique.

2.5 Fermeture des puits et descenderies

Les galeries, niches et recoupes des zones de soutien logistique exploitation et travaux et les liaisons surface-fond (puits et descenderies) sont déséquipés comme pour les opérations de fermeture des galeries du quartier MA-VL et une ventilation provisoire pour les travaux de fermeture est mise en place.

La base des puits est comblée par un matériau rigide de type béton pour constituer un massif d'appui au noyau de scellement argileux mis en place dans la partie supérieure de la couche hôte qui répond aux exigences de sûreté après fermeture (il fera l'objet d'un contrôle à réception).

A la base des descenderies, un remblai à base d'argilites est mis en place de façon similaire au procédé présenté en galeries ; la pente de la descenderie conduit toutefois à compacter en incliné par rapport au radier de l'ouvrage avec des inclinaisons un peu différentes de celles envisagées en galeries.

Les liaisons surface-fond sont scellées par des scellements de faible perméabilité à l'eau, à base d'argile gonflante. Ces scellements répondant aussi aux exigences de sûreté après fermeture (ils feront l'objet d'un contrôle à réception) sont placés de manière à ce que le noyau argileux soit mis en place au droit de l'unité géologique la plus carbonatée des argilites (unité silto-carbonatée (USC) et unité de transition (UT)). Ainsi, dans les puits, le noyau sera mis en place sur une épaisseur de 40 m dans l'USC et dans la partie supérieure de l'UT et, dans les descenderies, il sera mis en place sur une longueur de 100 m minimum dans la partie supérieure de l'USC.

Pour assurer un contact direct entre l'argile gonflante du noyau et les argilites, le revêtement des puits et descenderies sera déposé au moment de la mise en place du noyau de scellement, sans préjudice de la nécessité de maintenir en place des anneaux porteurs de part en part. Cette dépose peut s'effectuer avec des méthodes similaires à celles présentées pour le scellement de galerie. Des moyens spécifiques peuvent également être développés compte tenu de la grande longueur de revêtement à démonter, comme cela a déjà été réalisé dans des tunnels (Tunnel Dismantling Machine).

Compte tenu de la nature plus carbonatée du Callovo-Oxfordien au droit des bouchons d'argile gonflante, le soutènement des parois pourrait être limité à un simple boulonnage (sans béton projeté) avant la mise en place du noyau argileux suivant une méthode similaire à celle envisagée dans les galeries.

Ces premiers scellements sont complétés par la construction de scellements supplémentaires au droit du Kimméridgien. Ceux-ci sont utilisés pour limiter la circulation d'eau entre les différents niveaux transmissifs dans les calcaires de l'Oxfordien et le Tithonien (calcaires du Barrois), conformément au Code de l'environnement.

[81] Valeur correspondant à 95 % de l'OPN (Optimum Proctor Normal).

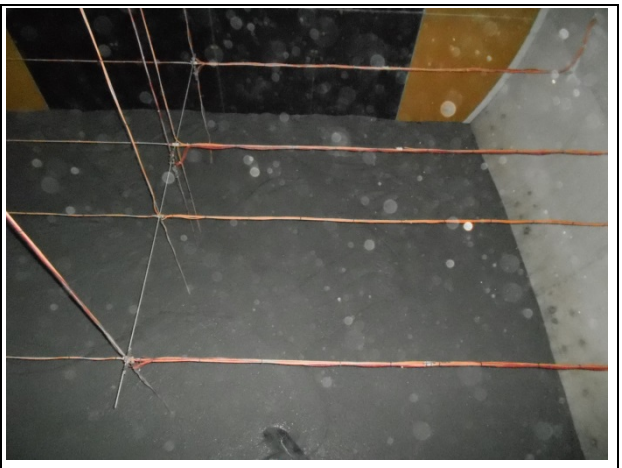
2.6 REX des essais de mise en place de scellements

L'Andra a réalisé l'essai FSS (« Full Scale Seal ») conduit dans le cadre du projet européen DOPAS « Demonstration Of Plug And Seal ») pour acquérir une première expérience de la construction d'un ouvrage de scellement horizontal (5).

L'essai FSS, réalisé en 2014 à Saint-Dizier, est un essai de construction industrielle d'un scellement horizontal. Ce prototype est représentatif par ses dimensions des scellements susceptibles d'être installés dans les galeries de Cigéo.

Les figures ci-après présentent quelques vues de sa réalisation (y compris le démantèlement final destiné à acquérir des données post-réalisation.

Maquette béton de la galerie à sceller



Mise en œuvre du béton bas pH auto-plaçant

Fin du massif amont en béton auto-plaçant

Machine de mise en œuvre du noyau de bentonite

Figure 2.6-1 Quelques photos des essais réalisés par l'Andra sur les scellements

3

Inventaire des risques et dispositions de maîtrise des risques lors des opérations de fermeture

3.1 Risques nucléaires d'origine interne 481
3.2 Risques liés aux agressions internes et externes 484

Le présent chapitre présente à ce stade une analyse préliminaire des principaux risques à étudier pour la réalisation des opérations de fermeture. Cette analyse montre l'absence d'éléments rédhibitoires au bon déroulement des opérations de fermeture telles que décrites au chapitre 2. Elles seront précisées ultérieurement et feront l'objet le moment venu d'une procédure d'autorisation spécifique.

3.1 Risques nucléaires d'origine interne

Les opérations de fermeture ont pour objectif de mettre en place, de manière graduelle depuis la fermeture des alvéoles jusqu'à la fermeture des descenderies et des puits, les dispositions passives permettant d'assurer la sûreté après-fermeture de l'installation.

Les dispositions passives de maîtrise des risques nucléaires mises en place pour la première étape qui concerne la fermeture des alvéoles permettent de maîtriser les fonctions de sûreté en exploitation pour toutes les étapes de fermeture (fermeture des quartiers puis des descenderies et puits). En effet, c'est au niveau de l'alvéole, au plus proche des colis, que se situent des risques nucléaires. Les opérations de fermeture ci-après ne mettent pas en jeu les colis ainsi que les fonctions de sûreté en exploitation.

3.1.1 Au niveau de la zone MA-VL

3.1.1.1 Vis-à-vis du risque d'exposition externe

Les dispositions retenues vis-à-vis du risque d'exposition externe reposent sur la mise en place de protections radiologiques statiques assurées par :

- un mur de blocs de béton placé en tête de la partie utile de l'alvéole entre la dernière rangée de colis et la porte de protection de la cellule de manutention. Ce mur est mis en place une fois l'alvéole rempli. Cette protection est dimensionnée sur la base du zonage radiologique retenu pour les opérations d'obturation des alvéoles et de récupération des colis;
- un mur de protection radiologique placé en fond d'alvéole. Il est mis en place au moment de l'obturation de l'alvéole.

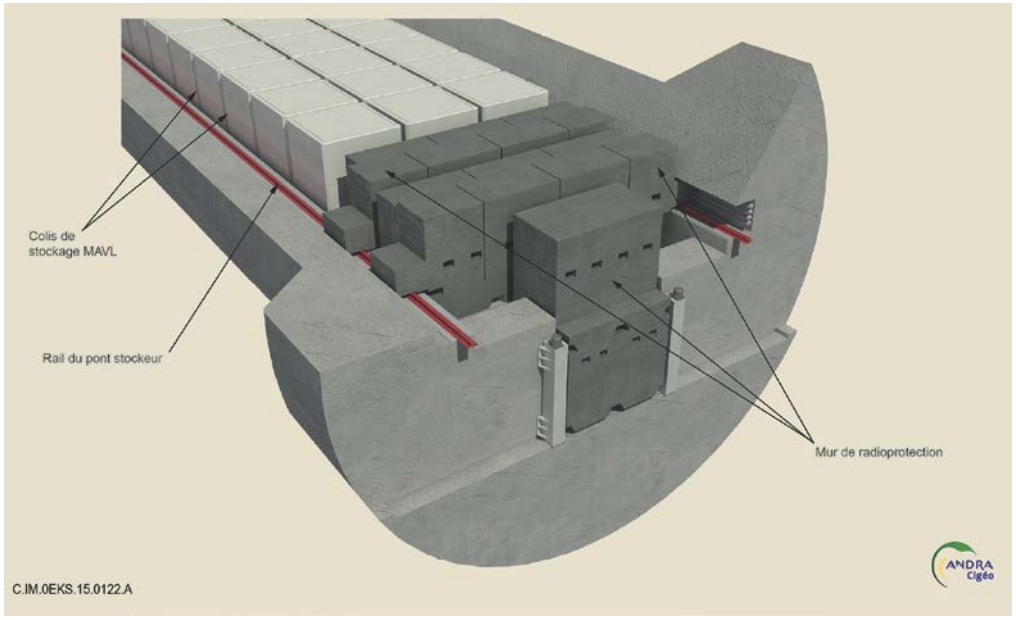


Figure 3.1-1 Schéma de principe du mur de radioprotection mis en place à la fin du chargement

Des mesures de l'irradiation sont maintenues dans les galeries d'accès et les galeries de liaison après fermeture de l'alvéole.

3.1.1.2 Vis-à-vis du risque de dispersion

Les principes de confinement présentés au volume III sont applicables pour l'alvéole MA-VL pendant toute la durée de l'exploitation, que l'alvéole soit ventilé ou non.

L'alvéole MA-VL est ventilé jusqu'aux opérations d'obturation (cf. § 2.1.2.3). Les systèmes de confinement sont les mêmes que pour les opérations de mise en stockage (cf. volume III § 2.1.2), à savoir les colis de stockage comme 1er système de confinement et le génie civil de l'alvéole associé à une ventilation nucléaire comme 2ème système de confinement.

Avant la réalisation de l'obturation de l'alvéole et du comblement de la galerie de retour d'air (cf. & 2.2.1.3), l'alvéole est passé en confinement statique par la mise en place d'un sas de confinement semi-rigide en galerie d'accès et la fermeture des clapets coupe-feu.

Une fois l'alvéole fermé non ventilé, les deux systèmes de confinement sont :

- le colis de stockage qui reste le 1er système de confinement ;
- le génie civil de l'alvéole associé à un ouvrage de fermeture (assurant ainsi un confinement statique de l'alvéole) comme 2ème système de confinement.

Le domaine de fonctionnement normal de l'alvéole MA-VL considère :

- un dégagement possible de gaz radioactifs ;
- une absence de dispersion d'aérosols radioactifs contenus dans les colis de stockage. En effet, une fois l'alvéole MA-VL rempli et qu'aucune opération n'est effectuée, compte tenu de la conception robuste des colis de stockage et des conditions d'ambiance favorables dans les alvéoles MA-VL, la perte de confinement d'un nombre important de colis de stockage en alvéole de stockage MA-VL avant la fin de l'exploitation est exclue (environ 2150). La dégradation d'un nombre limité de colis de stockage dans l'alvéole est toutefois envisagée dans le dimensionnement de l'alvéole fermé. Les conditions favorables de l'alvéole MA-VL (tenue mécanique sur la durée de l'exploitation, pas de circulation d'eau) et l'ouvrage de fermeture empêchent toute dispersion en dehors l'alvéole.

Lors de la fermeture de l'alvéole, des mesures de la contamination ambiante sont conservées et opérationnelles dans le reste de l'installation. Elles seront démontées au fur et à mesure des opérations de fermeture (fermeture de la galerie d'accès puis fermeture des galeries de liaison).

3.1.1.3 Vis-à-vis du risque lié à la thermique

L'évacuation de la puissance thermique des déchets MA-VL s'effectue de manière passive pendant l'exploitation (la ventilation n'a aucune fonction vis-à-vis du respect des exigences relatives à la température des bétons et équipements dans l'alvéole MA-VL). Aussi en situation d'alvéole MA-VL fermé non ventilé, les options de conception permettent le respect de ces exigences.

Des mesures de température sont maintenues dans les galeries d'accès et les galeries de liaison après fermeture des alvéoles.

3.1.1.4 Vis-à-vis du risque lié à la radiolyse des déchets

L'option de sûreté retenue dans les installations de Cigéo consiste à exclure le risque d'explosion pendant toute la durée de l'exploitation. La création d'une atmosphère explosive doit être évitée en situation de fonctionnement normal ainsi qu'en situation de perte de ventilation, ou après la fermeture d'un alvéole.

Pendant la phase ventilée de l'alvéole MA-VL (c'est-à-dire jusqu'aux opérations d'obturation de l'alvéole cf. § 2.1.2.3), la ventilation nucléaire assure l'évacuation des gaz de radiolyse produits par les colis (cf. volume III § 2.1.5.5).

La phase transitoire correspondant à l'arrêt de la ventilation de l'alvéole MA-VL en cours de fermeture passe par :

- un pilotage de la ventilation permettant de gérer la fermeture d'un alvéole sans atteindre une atmosphère explosive dans l'alvéole en cours de fermeture et de continuer à assurer la ventilation des alvéoles en attente de fermeture ;
- un dimensionnement de la ventilation pour assurer les débits de ventilation nécessaires dans toute l'installation souterraine.

Une fois la ventilation des alvéoles arrêtée, les dégagements de gaz de radiolyse émis par les colis auront diminué et une partie sera évacuée au travers des parois. Ces dégagements et le processus d'évacuation ne sont pas quantifiés à ce stade. A cet égard, l'Andra a ainsi mis en place un programme de travail ayant pour objectifs :

- de caractériser le transitoire hydraulique/gaz dans les alvéoles MA-VL non ventilés et d'identifier les situations pouvant conduire à l'apparition potentielle d'une atmosphère explosive (nature des colis stockés, type de géométrie d'alvéole…) ;
- d'évaluer la performance de dispositifs d'inertage : vérification pour les alvéoles concernés que des dispositions type « consommateur d'O_2 » ou « flushing » au moment de la fermeture permettent de s'affranchir du risque de formation d'une atmosphère explosive après l'arrêt de la ventilation ;
- d'identifier les caractéristiques d'une explosion (pression, température, vitesse de flamme…) puis d'évaluer le cas échéant la conséquence de l'explosion et les dispositions compensatoires.

À l'issue de ces actions, si nécessaire des dispositions seront proposées dans le cadre de la DAC.

Des mesures de surveillance du taux d'hydrogène sont mises en place et permettent notamment de vérifier le taux d'hydrogène dans l'alvéole MA-VL avant toute nouvelle opération de fermeture. Une fois l'alvéole MA-VL fermé (non ventilé), des mesures du taux d'hydrogène sont maintenues dans les galeries d'accès et les galeries de liaison. Il est envisagé soit d'inerter l'alvéole, soit de laisser en place un dispositif dans l'ouvrage de fermeture de l'alvéole MA-VL facilitant la remise en place d'une ventilation permettant l'évacuation de l'hydrogène lors d'une éventuelle réouverture.

3.1.1.5 Vis-à-vis du risque de criticité

Les exigences et options de sûreté sont identiques en situation alvéoles en cours de chargement, remplis et fermés en exploitation (cf. sections des volumes I et III relatives à la criticité). Le risque de criticité reste par ailleurs maîtrisé compte tenu de la durabilité géométrique des colis de stockage sur la durée de l'exploitation et les dispositions de conception (arrangement des colis primaires dans le conteneur de stockage, arrangement des colis de stockage dans l'alvéole…).

3.1.2 Au niveau de la zone HA0 et de la zone HA1/HA2

3.1.2.1 Vis-à-vis du risque d'exposition externe

Les dispositions retenues vis-à-vis du risque d'exposition externe reposent sur la mise en place de protections radiologiques statiques assurées par un bouchon de radioprotection de fermeture placé à l'intérieur du chemisage de l'alvéole au plus près des colis stockés. Il est mis en place dès la fin du remplissage d'un alvéole. Il est dimensionné sur la base du zonage radiologique retenu pour les opérations d'obturation des alvéoles et de récupération de colis ainsi que pour le respect des objectifs de débit de dose en galerie d'accès aux alvéoles HA.

3.1.2.2 Vis-à-vis du risque de dispersion

Les colis de stockage HA assurent le confinement a minima jusqu'à la fin de l'exploitation de Cigéo cf. volume III § 2.1.2).

3.1.2.3 Vis-à-vis du risque lié à la thermique

L'évacuation de la puissance thermique des déchets HA s'effectue de manière passive (cf. volume III § 2.1.4).

3.1.2.4 Vis-à-vis du risque de criticité

Les exigences et options de sûreté sont identiques en situation alvéoles en cours de chargement, remplis et fermés en exploitation (cf. sections des volumes I et III relatives à la criticité). Le risque de criticité reste par ailleurs maîtrisé compte tenu de la durabilité géométrique des colis de stockage sur la durée de l'exploitation et les dispositions de conception (arrangement des colis de stockage dans l'alvéole, limitation de la masse …).

3.2 Risques liés aux agressions internes et externes

3.2.1 Risque de choc/collision

A ce stade des études, les moyens de manutention retenus pour le transport de flux depuis la surface jusqu'à pied d'œuvre sont :

- des moyens de transport localisés en descenderie de service ou en fond :
  - ✓ un véhicule unique en descenderie de service ;
  - ✓ trois véhicules uniques dans chaque zone en fond :
    - un chariot en galerie de liaison utilisant l'infrastructure des chariots de fond ;
    - un chariot en galerie d'accès utilisant l'infrastructure des navettes de fond ;
    - un chariot en galerie de retour d'air à déterminer ;
- les véhicules peuvent transporter les trois types d'unités de manutention définis à ce stade (toupie à béton, benne à matériaux et plateau de transport). Celles-ci sont autonomes et transbordables ;
- les ruptures de charge entre moyens de transport sont situées :
  - ✓ entre le bas de la descenderie de service et la zone de soutien logistique, le transbordement de l'unité de manutention est réalisé au moyen du pont roulant déjà présent ;
  - ✓ entre la galerie de liaison et la galerie d'accès pour atteindre les alvéoles des quartiers HA ;
  - ✓ entre la zone de soutien logistique de la zone en exploitation et la galerie de retour d'air.

Les opérations de fermeture peuvent générer des risques de choc et collision (moyens de transport, unités de manutention). Sur le même principe que pour les équipements de manutention utilisés pour la mise en stockage des colis, des dispositions sont retenues sur les équipements assurant les opérations de fermeture afin de limiter le risque de choc, sur la conception des dispositions assurant la sûreté de l'installation pour résister aux conséquences d'un choc ou d'une collision ainsi qu'au niveau organisationnel afin de ne pas endommager :

- les protections radiologiques mises en place au niveau des alvéoles HA et MA-VL ;
- les équipements assurant le confinement dynamique de l'alvéole MA-VL (ventilation et génie civil de l'alvéole) puis le confinement statique (ouvrage de fermeture) ;
- le système de ventilation assurant l'évacuation des gaz de radiolyse de l'alvéole MA-VL pendant la phase ventilée ;
- les EIP après-fermeture.

De plus, un programme de gestion des flux de véhicules sera mis en place.

3.2.2 Risque incendie

Les opérations de fermeture peuvent générer des risques d'incendie associés aux moyens de manutention et de transfert utilisés et aux procédés mis en œuvre pour ces opérations (soudage, découpe…). Sur le même principe que pour les équipements de manutention utilisés pour la mise en stockage des colis, des dispositions sont retenues sur les équipements utilisés pour la fermeture afin de limiter un départ de feu et son développement, sur la conception des dispositions pour résister aux conséquences d'un incendie potentiel et au niveau organisationnel afin de ne pas endommager :

- les protections radiologiques mises en place au niveau des alvéoles HA et MA-VL ;
- les colis de stockage ;
- les équipements assurant le confinement dynamique de l'alvéole MA-VL (ventilation et génie civil de l'alvéole) puis le confinement statique (ouvrage de fermeture) ;

- le système de ventilation assurant l'évacuation des gaz de radiolyse de l'alvéole MA-VL pendant la phase ventilée ;
- les composants importants après-fermeture (Cf. volume IV du DOS-AF).

L'enlèvement des équipements d'exploitation peut nécessiter des travaux par points chauds qui feront l'objet de permis feu.

Les unités de manutention permettant le transfert du béton et des matériaux nécessaires pour la réalisation des opérations de fermeture doivent respecter les prescriptions incendie. La technologie de ces unités de manutention n'est pas encore définie mais pourra s'appuyer sur la technologie utilisée par les chariots de transfert en fond (équipements sur rails).

Les équipements mis en œuvre pour les opérations de fermeture (engins, scies, consommables, marteaux-piqueurs...) doivent respecter les exigences de conception incendie (détection et extinction embarqués sur engins de manutention, limitation de la charge calorifique présente lors des chantiers de fermeture, etc.).

Compte tenu des flux de fermeture pouvant transiter dans la descenderie de service, des exigences de conception pour les moyens de manutention et d'exploitation sont retenues dans la descenderie de service pour les opérations de fermeture :

- présence d'un seul véhicule dans la descenderie de service, en descente ou en montée (aucun croisement) afin d'assurer la présence de personnel localisée au niveau du véhicule ;
- limitation de la puissance thermique maximale dégagée par un incendie potentiel dans la descenderie ;
- adaptation des moyens de secours de la descenderie au mode de transfert[82] ;
- descenderie de service carrossable pour la circulation des véhicules d'intervention Cigéo.

De dispositions sont également retenues afin que les opérations de fermeture ne bloquent pas la circulation des véhicules d'intervention, telles que :

- la mise en place d'une gestion des flux de véhicules dans l'installation souterraine ;
- la limitation des temps d'immobilisation des unités de manutention dans les galeries ;
- la limitation de l'encombrement des unités de manutention ;
- l'arrêt éventuel de l'exploitation durant le temps nécessaire au chantier de fermeture.

3.2.3 Risque lié à la perte de la ventilation

La ventilation assure l'évacuation des gaz de radiolyse des alvéoles MA-VL. La perte de la ventilation peut ainsi présenter un risque pour les alvéoles MA-VL en attente de fermeture vis-à-vis de la formation d'une atmosphère explosive.

Pendant les différentes phases de fermeture, la continuité de la ventilation est assurée pour les alvéoles en attente de fermeture.

3.2.4 Risques liés à la co-activité

Pendant les opérations de fermeture de la zone HA0[83], coexistent des :

- des opérations de mise en stockage de colis MA-VL comprenant des alvéoles MA-VL déjà remplis (zone exploitation) ;
- des opérations de construction des alvéoles MA-VL et HA1/HA2 (zone travaux).

Pendant les opérations de fermeture de la zone MA-VL[84] coexistent :

- des opérations de mise en stockage de colis HA1/HA2 comprenant des alvéoles HA déjà remplis (zone exploitation) ;

[82] Le mode de transfert sera retenu au cours de l'APD.
[83] Qui selon le PDE débutent en 2070
[84] Qui selon le PDE débutent en 2100.

- des opérations de construction des alvéoles HA1/HA2 (zone travaux) ;
- le quartier HA0 est considéré fermé.

Les risques liés à la co-activité entre les zones en exploitation et les zones travaux (opérations de construction des alvéoles) sont étudiés au volume III.

Les risques liés à la co-activité au sein des zones en exploitation entre les opérations de mise en stockage et les opérations de fermeture sont au niveau des :

- fermeture zone HA0 / mise en stockage zone MA-VL ;
- fermeture zone MA-VL / mise en stockage zone HA1/HA2.

Ces opérations bien que concomitantes dans le temps sont séparées dans l'espace. Elles nécessitent la mise en place d'une gestion coordonnée des flux de véhicules utilisés pour la fermeture et des flux de véhicules utilisés pour le stockage. Des cheminements alternatifs peuvent également être envisagés, tels que le rajout de galeries ou la modification de l'infrastructure initialement prévue, dans le but d'éviter le passage des flux de fermeture au niveau du carrousel ou des galeries en même temps que les activités de stockage.

Les flux de fermeture transitent dans les zones suivantes :

- la liaison surface-fond (LSF) exploitation ;
- la zone de soutien-logistique (ZSL) exploitation ;
- les galeries de liaisons ;
- les galeries d'accès.

Ces quatre zones se trouvent en zone exploitation et sont soumises à des règles et contraintes particulières, notamment :

- une limitation de la charge calorifique des moyens de manutention au sein des galeries ;
- un passage des gabarits dans les différents types de galeries, dans les carrures, sur les tables tournantes ;
- une pente limitée de la descenderie de service principalement ;
- une surface de roulement : rails, tables tournantes, caniveaux ;
- un nombre de véhicule par tronçon ;
- …

Par ailleurs, des espaces de travail provisoires sont installés pour la réalisation des opérations de fermeture permettant d'effectuer les opérations de fermeture prévues de manière indépendante du reste de l'installation. Les dispositions retenues à ce stade visent à doubler les réseaux à démanteler (ventilation / extraction des fumées) par un nouveau réseau de « chantier » qui se connectera plus haut avant démantèlement. Un espace de travail « confiné » est ainsi délimité, de sorte que les inconvénients générés par les opérations de fermeture ne perturbent pas le reste de l'installation en exploitation. La ventilation de cet espace est adaptée aux conditions du chantier, en particulier en termes d'empoussièrement et d'évacuation des calories. Une filtration dédiée permet de limiter l'espace confiné ainsi ventilé, avant refoulement en pleine section de la galerie de liaison ou de la galerie de retour d'air. Un sas d'entrée à chaque espace de travail confiné est prévu.

3.2.5 Séisme

Les bouchons des alvéoles sont dimensionnés au séisme, de sorte que l'enveloppe confinante des alvéoles reste maîtrisée post-séisme.

ANNEXES

Annexes du VOLUMES I Contexte – Objet – Stratégie de sûreté

Annexe 1 : Liste des textes règlementaires et guides

Thème	Texte	Références
Généralités Nucléaires	Code de l'environnement -Partie législative Livre Ier : Dispositions communes Titre II : Information et participation des citoyens Chapitre V : Autres modes d'information -section 1 : Dispositions relatives aux activités autres que les activités nucléaires (L 125 et suivants)	(41)
Généralités Nucléaires	Code de l'environnement - Partie législative Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IV : Déchets Chapitre II : Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (L 542 et suivants)	(42)
Généralités Nucléaires	Code de l'environnement -Partie législative Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base - Chapitre Ier : Dispositions générales relatives à la sécurité nucléaire (L 591 et suivants)	(43)
Généralités Nucléaires	Code de l'environnement - Partie législative Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base - Chapitre III : Installations nucléaires de base (L 593 et suivants).	(44)
Généralités Nucléaires	Décret n°2007-1557 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives	(45)
Généralités Nucléaires	Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base	(16)
Généralités Nucléaires	Arrêté du 11 janvier 2016 portant homologation de la décision no 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base	(46)
Impact sur la santé et l'environnement	Arrêté du 9 août 2013 portant homologation de la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base	(47)
Impact sur la santé et l'environnement	Arrêté du 1er juillet 2015 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base	(48)
Risques d'origine interne	Arrêté du 20 mars 2014 portant homologation de la décision no 2014-DC-0417 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 28 janvier 2014 relative aux règles applicables aux installations nucléaires de base (INB) pour la maîtrise des risques liés à l'incendie	(32)
Risques d'origine interne	Arrêté du 20 novembre 2014 portant homologation de la Décision n° 2014-DC-0462 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 octobre 2014 relative à la maîtrise du risque de criticité dans les installations nucléaires de base	(49)

Thème	Texte	Références
Protection contre les rayonnements ionisants	Directive 2013/59/Euratom fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom	(50)
Protection contre les rayonnements ionisants	Code de la santé publique - Partie réglementaire Première partie : Protection générale de la santé Livre III : Protection de la santé et environnement Titre III : Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail Chapitre III : Rayonnements ionisants –R1333-8/10	(25)
Protection contre les rayonnements ionisants	Code du travail -Partie réglementaire Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre IV : Prévention de certains risques d'exposition Titre V : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements Chapitre Ier : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (R 4451.1 et suivants)	(51)
Protection contre les rayonnements ionisants	Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées	(52)
Protection contre les rayonnements ionisants	Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants	(53)
Généralités Environnement	Code de l'environnement Partie réglementaire Livre Ier : Dispositions communes Titre II : Information et participation des citoyens Chapitre II : Évaluation environnementale (R 121-1 et suivants)	(54)
Généralités Environnement	Code de l'environnement Partie réglementaire Livre II : Milieux physiques Titre Ier : Eau et milieux aquatiques et marins Chapitre IV : Activités, installations et usage Section 1 : Procédures d'autorisation ou de déclaration (R214-1 : I.O.T.A	(55)
Risques d'origine externe	Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation	(24)
Prévention des risques professionnels	Code du travail - Partie législative Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre Ier : Dispositions générales Titre II : Principes généraux de prévention (L 4121-1 et suivants)	(56)
Prévention des risques professionnels	Code du travail - Partie législative Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations Titre III : Bâtiment et génie civil (L4531-1 et suivants)	(57)
Prévention des risques professionnels	Code du travail -Partie réglementaire Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre II : Dispositions applicables aux lieux de travail Titre Ier : Obligations du maître d'ouvrage pour la conception des lieux de travail -	(58)

Thème	Texte	Références
Prévention des risques professionnels	Code du travail -Partie réglementaire Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations Titre III : Bâtiment et génie civil Chapitre II : Coordination lors des opérations de bâtiment et de génie civil (R4532-1 et suivants) *(Transposition du décret 94-1159 du 26 décembre 1994 relatif à l'intégration de la sécurité et à l'organisation de la coordination en matière de sécurité et de protection de la santé lors des opérations de bâtiment ou de génie civil)*	(57)
Prévention des risques professionnels	Code du travail Partie réglementaire Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations Titre Ier : Travaux réalisés dans un établissement par une entreprise extérieure (R4511-1 et suivants) *(Transposition du décret 992-158 du 20 février 1992 complétant le code du travail et fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure)*	(59)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 20 novembre 2009 portant homologation de la décision n° 2009-DC-0153 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 août 2009 relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique	(60)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 9 juin 2011 fixant les conditions de mise en œuvre du suivi physique et de la comptabilité des matières nucléaires dont la détention relève d'une autorisation	(61)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 10 juin 2011 relatif à la protection physique des installations abritant des matières nucléaires dont la rétention relève d'une autorisation	(37)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 3 août 2011 relatif aux modalités de réalisation de l'étude prévue à l'article R.1333-4 du code de la défense pour la protection des matières nucléaires	(62)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 5 août 2011 relatif aux modalités de la demande et à la forme de l'autorisation requise par l'article L. 1333-2 du code de la défense	(63)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 23 juillet 2010 portant approbation de l'instruction générale interministérielle sur la protection du secret de la défense nationale	(64)
Protection physique Suivi matières nucléaires	Arrêté du 30 novembre 2011 portant approbation de l'instruction générale interministérielle n° 1300 sur la protection du secret de la défense nationale	(65)

Projets de textes réglementaires pris en compte

Intitulé du projet de texte	Partie(s)/phase(s) de l'installation concernée	Références
Projet de décision relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base	Phase de vie exploitation	(46)
Projet de décision relative aux obligations des exploitants d'installations nucléaires de base en matière de préparation et de gestion des situations d'urgence et au contenu du plan d'urgence interne	Phase de vie exploitation	(66)

Intitulé du projet de texte	Partie(s)/phase(s) de l'installation concernée	Références
Conditionnement des déchets radioactifs en vue de leur stockage et sur les conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs sur les installations nucléaires de base de stockage	Décision axée sur les colis Implication sur les modalités de contrôle dans les installations de surface	(67)
Projet de décision relatif aux INB de stockage de déchets	Les parties et phases concernées seront précisées selon le domaine d'application de la décision (prévue en 2016)	(46)

Prise en compte des guides et des RFS

Risques	Intitulé RFS/Guide	Références	Application à Cigéo			
			Surface	Liaisons (jour-fond)	Galeries de liaison	Alvéoles
	Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde du 12 février 2008 *Guide ASN du 12 février 2008*	(17)	A	A	A	A
	Guide n°9 du 31 octobre 2013 Déterminer le périmètre d'une INB	(68)	A	A	A	A
Risques d'origine externe liée à des activités humaines	Chute d'avion *(RFS I.1.a 7 octobre 1992)* Voir nota	(69)	A	R	SO	SO
	Environnement industriel et voies de communication *(RFS I.1.b 7 octobre 1992)*	(70)	A	R	SO	SO
Risques d'origine externe liée à l'environnement naturel	Séisme *(RFS 2001-01, Guide ASN n° 2/01, guide séisme 30 mai 2006)*	(71)	A	R	R	R
	Inondation externe *(Guide ASN n° 13 du 8 janvier 2013)*	(72)	A	R	SO	SO
Risques d'origine interne	Criticité *(RFS n°1.3.c du 18 octobre 1984)*	(73)	A	A	A	A
	Incendie *(Guide incendie mai 2006)*	(74)	A	NA	NA	NA
Conception	Conception des systèmes de ventilation *(RFS II.2 du 20 décembre 1991)*	(75)	A	NA	NA	A

A : applicable NA : non applicable R : pris en référence SO : sans objet

Annexe 2 : Référentiels Andra

Thème	Titre	Référence
Sûreté	Référentiel de sûreté appliqué à la conception de Cigéo pour la phase d'exploitation	(22)
Impact public /environnement	Démarche de choix et de description d'une ou plusieurs biosphère(s)	(76)
	Valeurs toxicologiques de référence (VTR) retenues par l'Andra pour les toxiques chimiques pris en compte par l'Andra dans ses évaluations d'impact	(77)
	Méthodologie pour la conception et le dimensionnement des moyens de protection	(78)
Scénarios	Démarche et critères de sélection des scénarios de sûreté en exploitation pour le projet Cigéo	(79)
Incendie	Référentiel incendie pour la conception de l'installation souterraine de Cigéo	(31)
Ventilation	Guide Ventilation Nucléaire - Méthodologie pour la conception et le dimensionnement des systèmes de ventilation nucléaire	(80)
Transfert incliné	Référentiel technique applicable à la conception, la réalisation et l'exploitation d'un système de transfert incliné de colis de déchets radioactifs	(81)

Annexe 3 : Textes au niveau international

Standards internationaux

Source	Date de publication	Référence	Titre
WENRA	2014	(82)	Radioactive waste disposal facilities Safety reference levels
AIEA	2006	(83)	SF-1 Fundamental Safety Principles
	2011	(84)	SSR-5 Disposal of Radioactive Waste
	2006	(85)	GS-R-3 The management system for Facilities and Activities
	2009	(86)	GSR Part 4 Évaluation de la sûreté des installations et activités
	2009	(51)	GSG-1 Classification of radioactive waste

Bonnes pratiques internationales

Source	Date de publication	Référence	Titre
AIEA	2008	(87)	GS-G-3.4 The Management System for the Disposal of Radioactive
	2011	(88)	SSG-14 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste
	2014	(89)	SSG-31 Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities
	2012	(90)	SSG-23 The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste
	1996	(91)	INSAG-10: Defence in Depth in Nuclear Safety
	1991	(92)	INSAG-4: Safety Culture

CIPR

Source	Date de publication	Référence	Titre
CIPR	2013	(93)	CIPR n°122 Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste
	2007	(94)	CIPR n°103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

Annexe 4 : Sources et textes applicable dans le domaine FSOH et ergonomie

Les sources, éditant des recommandations et des guides pratiques dans les domaines FSOH et ergonomie, qui ont été consultés sont les suivants :

- L'Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (ANACT) : www.anact.fr
- L'Institut National de la Recherche et de Sécurité (INRS) : www.inrs.fr
- L'AFNOR pour les réglementation et normes : www.afnor.org
- L'United States Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC) pour les normes NUREG : www.nrc.gov
- L'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (AIEA) : (https://www.iaea.org/) et notamment certains rapports de l'International Safety Advisory Group (INSAG)

Les documents retenus comme applicables à Cigéo – dit noyau normatif car ne reprenant pas les documents réglementaires pris en compte, par ailleurs, au titre de la SSE - sont les suivants :

Source	Texte	Référence
Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (AIEA) / INSAG	Rapports de l'International Safety Advisory Group (INSAG) n° 3, 4, 10, 13, 15, 18 et 19 en lien avec la culture de sûreté, la conception, les défenses en profondeur et la gestion des changements dans l'industrie nucléaire.	(91)
Commission des Etats-Unis pour la réglementation nucléaire (United States Nuclear Regulatory Commission - U.S. NRC)	NUREG 0711 November 2012 - Human Factors Engineering Program Review Model - Revision 3	(95)
ISO / AFNOR	NF EN ISO 6385 Août 2004 - Principes ergonomiques de la conception des systèmes de travail	(96)
ISO / AFNOR	NF EN ISO 11064 - Conception ergonomique des centres de commande	(97)
ISO / AFNOR	NF EN ISO 9241 - Ergonomie de l'interaction homme-système - Partie 210 : conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs	(98)
ISO / AFNOR	NF EN ISO 9241-11 Juin 1998 - Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV) - Partie 11 : lignes directrices concernant l'utilisabilité	(99)
ISO / AFNOR	NF EN ISO 26800 Octobre 2011 - Ergonomie - Approche générale, principes et concepts	(100)
ISO / AFNOR	NF EN ISO 10075 - Principes ergonomiques concernant la charge de travail mental	(101)
AFNOR	NF X35-115 Avril 2009 - Ergonomie - Processus de conception centré sur l'opérateur humain	(102)
AFNOR	X60-301 Mai 1982 - Guide pour la prise en compte des critères de maintenabilité des biens durables à usage industriel et professionnel	(103)
AFNOR	X60-310 Novembre 1986 - Guide de maintenabilité de matériel - Première partie : sections un, deux et trois - Introduction, exigences et programme de maintenabilité	(104)
AFNOR	NF EN 60706-2 Septembre 2006 - Maintenabilité de matériel	(105)
INRS	ED 950 – 2011 - Conception des lieux et des situations de travail	

Source	Texte	Référence
INRS	ED 773 – 2011 - Conception des lieux de travail – Obligations du maître d'ouvrage, réglementation	(106)
INRS	ED 79 – 1999 - Conception et aménagement des postes de travail - Fiche pratique de sécurité	(107)

Annexes du VOLUME II Présentation des colis, de l'installation et de son environnement

Annexe 5 : Récapitulatif des familles de colis de déchets MA-VL

Nota : Dans la dernière colonne des tableaux suivants est précisé l'état de production :

- [T] pour les familles de colis de déchets dont la production est terminée ;
- [EC] pour les familles de colis de déchets en cours de production ;
- [F] pour les familles de colis de déchets pour lesquelles la production n'a pas encore démarré ;.
- [AD] pour les familles de colis de déchets pour lesquelles le conditionnement est à l'état de recherche.

Famille de déchets MA-VL de Cigéo pour lesquelles la production est terminée

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Nombre de colis	Etat de production
CEA-070	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	F2-5-02	500 l béton	43	T
CEA-080	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	F2-5-04	870 l	2 188	T
CEA-090	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-04	870 l	562	T
CEA-100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des fûts de 700 litres de concentrats à 800 g/l enrobés dans un liant hydraulique	F2-5-03	870 l	40	T
CEA-110	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	F2-5-05	500 l acier	427	T
CEA-120	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-05	500 l acier	210	T
CEA-140	Conteneurs en béton de 500 litres produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	F2-5-02	500 l béton	2 297	T
CEA-150	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	F2-5-02	500 l béton	381	T
CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5 m^3	F2-5-01	5 m^3 béton	19	T
CEA-280	Fûts 223 litres en acier non allié contenant des boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique (y compris fûts produits sous spécification d'assurance qualité)	F2-5-02	Fût acier	2 149	T
CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-06	Conteneur acier	169	T
CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	F2-5-06	Conteneur acier	11	T
CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1000 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	F2-5-06	Conteneur acier	88	T
CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés	F2-6-02	Fût acier	360	T
CEA-330	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques "Pégase"	F2-5-04	870 l 313 Fl	619	T
CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits "Blocs sources"	F2-9-01	Conteneur acier	41	T
CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	F2-4-03	EIP	1 709	T
CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis primaires	F2-4-04	EIP	12 955	T
CEA-1021	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis de stockage	F2-4-04	EIP	11 467	T
CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UP1 MARCOULE (verres MAVL)	F2-4-13	Conteneur AVM	147	T
CEA-1180	Futs alpha 200 litres entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 litres	DIV2	Fût acier	183	T
COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	F2-3-01	Fût acier	1 517	T
COG-050	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 suivant la spécification 300 AQ 038	F2-3-07	CAC	324	T
COG-420	Fûts enrobés bitumineux STE2 (reprise partielle silo 550-14)	F2-3-05	Fût acier	340	T

Familles de colis de déchets MA-VL de Cigéo pour lesquelles la production est en cours

Familles de colis de déchets MA-VL de Cigéo non encore produits à ce jour et dont la définition du conditionnement des déchets est déjà bien avancée

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Nombre de colis	Etat de production
CEA-050	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits sous spécification s'assurance qualité (à partir du 01/01/94) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-04	870 l	3 550	EC
CEA-060	Conteneurs en acier de 500 litres produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	F2-5-05	500 l acier	1 250	EC
CEA-480	Colis 223 litres pré-bétonnés hors normes	DIV2	Fût acier	50	EC
CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	F2-4-03	EIP	2 700	EC
CEA-1100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha MARCOULE)	F2-5-04	870 l FI	410	EC
COG-020	Fûts bitumes STE3 produits suivant la spécification 300 AQ 027	F2-3-04	Fût acier	11 900	EC
COG-030	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 suivant la spécification 300 AQ 044	F2-3-08	CBF-C'2	8 292	EC
COG-100	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C produits suivant la spécification 300 AQ 055 (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2 et S3)	F2-3-02	CSD-C	6 675	EC
COG-110	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX	F2-3-02	CSD-C	17 850	EC
COG-470	Colis CSD-B contenant des effluents de moyenne activité vitrifiés (MAD UP2-400, UP2-800 et UP3)	F2-3-11	CSD-B	900	EC

Familles de colis de déchets MA-VL de Cigéo non encore produits à ce jour dont le conditionnement est encore à l'état de recherche

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Nombre de colis	Etat de production
AND-000	Déchets collectés par l'Andra conditionnés en conteneur 870L	S01	870l	19	AD
CEA-360	Déchets issus du DEM des objets du cœur de Phénix	F2-4-12	A déterminer	781	AD
CEA-370	Objets exotiques de Phénix	F2-4-12	A déterminer	8	AD
CEA-380	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	F2-4-15	A déterminer	3	AD
CEA-400	Déchets irradiants issus du DEM de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de CADARACHE et de l'exploitation et du DEM du RJH	-	A déterminer	200	AD
CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de SACLAY	-	A déterminer	300	AD
CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de FONTENAY-aux- ROSES	-	A déterminer	230	AD
CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de DEM de diverses installations du Centre de GRENOBLE	DIV2	A déterminer	40	AD
CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA Valduc	-	870l	40	AD
CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	F2-4-10	EIP	3 013	AD
CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés (y compris le DEM des Célestins)	F2-4-07	EIP	1 320	AD
CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	F2-4-09	Fût acier	7 464	AD
CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	F2-4-11	EIP	1 353	AD
CEA-1110	Déchets technologiques issus de l'AVM	F2-4-05	A déterminer	188	AD
CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	F2-4-10	EIP	120	AD
CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	F2-4-14	EIP	60	AD
CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR	F2-4-14	A déterminer	450	AD
CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	DIV2	A déterminer	50	AD
EDF-100	DAD des REP du parc actuel (dont BCOT)	-	A déterminer	6 360	AD
EDF-110	Crayons sources primaires et secondaires REP et autres sources scellées diverses	S01	A déterminer	20	AD
EDF-120	Déchets AMI Chinon	DIV2	A déterminer	100	AD
EDF-250	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM du réacteur RNR SuperPhénix	F2-4-15	A déterminer	5	AD

Annexe 6 : Récapitulatif des familles de colis de déchets HA

Liste des familles de colis de déchets HA considérées pour Cigéo

Identifiant Famille	Intitulé Famille	Identifiant Edition 2012 de l'IN	Conteneur primaire	Nombre de colis	Etat de production
CEA-200	Conteneurs PIVER produits de 1969 à 1981 contenant des solutions de produits de fission SICRAL et PHENIX dans une matrice verre	F1-5-01	Etui inox regroupant 2 PIVER	88	F
CEA-350	Conteneurs en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés d'Atalante	-	Conteneur AVM	5	F
CEA-1070	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits sous spécification d'assurance qualité depuis mars 1995	F1-4-01	Conteneur AVM	865	T
CEA-1080	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits avant 1995	F1-4-01	Conteneur AVM	2 294	T
CEA-1190	Déchets vitrifiés divers (verres de laboratoire) entreposés au bâtiment 213 de l'APM (hors PIVER)	F1-5-01	A déterminer	8	AD
CEA-1500	Sources radioactives HA (137Cs, 90Sr, 238Pu)	S01	Conteneur AVM	7	F
COG-140	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 016	F1-3-01	CSD-V	6 900	T
COG-150	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-U : verres UMo produits suivant la spécification 300 AQ 059	F1-3-02	CSD-U	1 000	EC
COG-200	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX/URE/MOX	F1-3-01	CSD-V	24 060	F
COG-800	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 060	F1-3-01	CSD-V	19 010	EC
COG-810	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres de vidange R7/T7	F1-3-01	CSD-V	250	EC
COG-820	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres de calcinats	F1-3-01	CSD-V	75	EC
COG-830	Conteneurs Standards de Déchets Vitrifiés/CSD-V : verres REP/RNR (Superphénix et Phénix)	F1-3-01	CSD-V	1 095	F
COG-850	Déchets technologiques issus des ateliers de vitrification conditionnés en Conteneurs Standards	F1-3-03	CSD	200	F
COG-860	Déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en Conteneurs Standards	F1-3-05	CSD	52	F
COG-870	Capsules de titanates de Sr conditionnées en Conteneurs Standards	F1-3-04	CSD	3	F
COG-880	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU du CEA/Civil	F1-3-01	CSD-V	11	F
COG-890	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU du CEA/DAM	F1-3-01	CSD-V	80	F
COG-900	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU EL4	F1-3-01	CSD-V	30	F

Annexe 7 : Co-stockage MA-VL

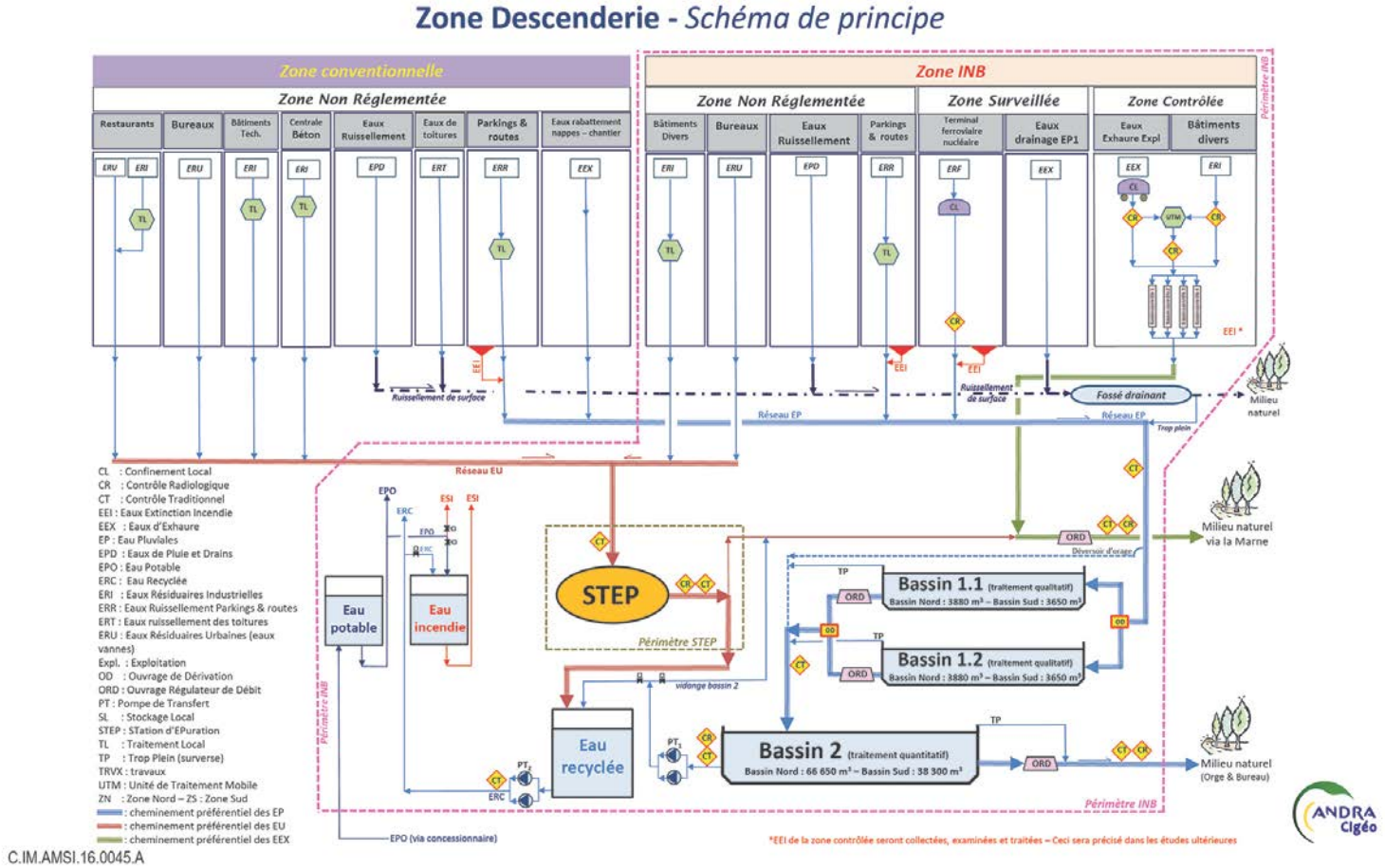
Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-070	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	MA-VL1
CEA-100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des fûts de 700 litres de concentrats à 800 g/l enrobés dans un liant hydraulique	MA-VL1
CEA-140	Conteneurs en béton de 500 litres produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	MA-VL1
CEA-150	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	MA-VL1
CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5 m3	MA-VL1
CEA-232	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs EIP	MA-VL1
CEA-280	Fûts 223 litres en acier non allié contenant des boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique (y compris fûts produits sous spécification d'assurance qualité)	MA-VL1
CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1000 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	MA-VL1
CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés	MA-VL1
CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	MA-VL1
COG-430	Boues STE2 séchées, compactées et immobilisées dans un conteneur métallique	MA-VL1
CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	MA-VL2
CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	MA-VL2
CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis primaires	MA-VL2
CEA-1021	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995, transportés en colis de stockage	MA-VL2
COG-020	Fûts bitumes STE3 produits suivant la spécification 300 AQ 027	MA-VL2
COG-420	Fûts enrobés bitumineux STE2 (reprise partielle silo 550-14)	MA-VL2
CEA-370	Objets exotiques de Phénix	MA-VL3
CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de FONTENAY-aux-ROSES	MA-VL3
CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	MA-VL3
COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	MA-VL3
COG-070	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts du silo HAO	MA-VL3
COG-440	Fût ECE cimenté de fines et résines du silo HAO	MA-VL3
AND-000	Déchets collectés par l'Andra conditionnés en conteneur 870 L (sources scellées usagées…)	MA-VL3
CEA-050	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits sous spécification d'assurance qualité (à partir du 01/01/94) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-060	Conteneurs en acier de 500 litres produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-080	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	MA-VL3
CEA-090	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-110	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	MA-VL3

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-120	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-270	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique (CEA/DAM Valduc)	MA-VL3
CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	MA-VL3
CEA-330	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques "Pégase"	MA-VL3
CEA-400	Déchets irradiants issus du DEM de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de CADARACHE et de l'exploitation et DEM RJH	MA-VL3
CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de SACLAY	MA-VL3
CEA-440	Conteneurs 500 litres en acier inoxydable contenant des déchets divers non compactables bloqués dans un liant hydraulique (exploitation CABRI, DMT Rapsodie, fosses CAD, CENG)	MA-VL3
CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits "Blocs sources"	MA-VL3
CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA Valduc	MA-VL3
CEA-480	Colis 223 litres pré-bétonnés hors normes	MA-VL3
CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-1100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha MARCOULE)	MA-VL3
CEA-1110	Déchets technologiques issus de l'AVM	MA-VL3
CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	MA-VL3
CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR	MA-VL3
CEA-1180	Futs alpha 200 litres entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 litres	MA-VL3
CEA-1510	Sources radioactives (alpha, neutroniques et divers)	MA-VL3
COG-030	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 suivant la spécification 300 AQ 044	MA-VL3
COG-050	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 suivant la spécification 300 AQ 038	MA-VL3
COG-400[85]	Déchets alpha en provenance de Mélox et LHA	MA-VL3
COG-460	Conteneurs Standards de Déchets Compactés CSD-C contenant des déchets technologiques métalliques et organiques et des déchets de DEM	MA-VL3
COG-480	Colis CBF-C'2 contenant des déchets d'exploitation et de DEM (poubelles fosse ATTILA)	MA-VL3
COG-490	Déchets issus des opérations de CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 compactés en CSD-C	MA-VL3
COG-500	Déchets issus des opérations de CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 conditionnés en CBF-C'2	MA-VL3
COG-510	Déchets issus des opérations de CDE DEM de l'usine MELOX conditionnés en CBF-C'2	MA-VL3
COG-520	Déchets issus des opérations de CDE DEM des installations CFCa CADARACHE conditionnés en CBF- C'2	MA-VL3
EDF-120	Déchets AMI Chinon	MA-VL3

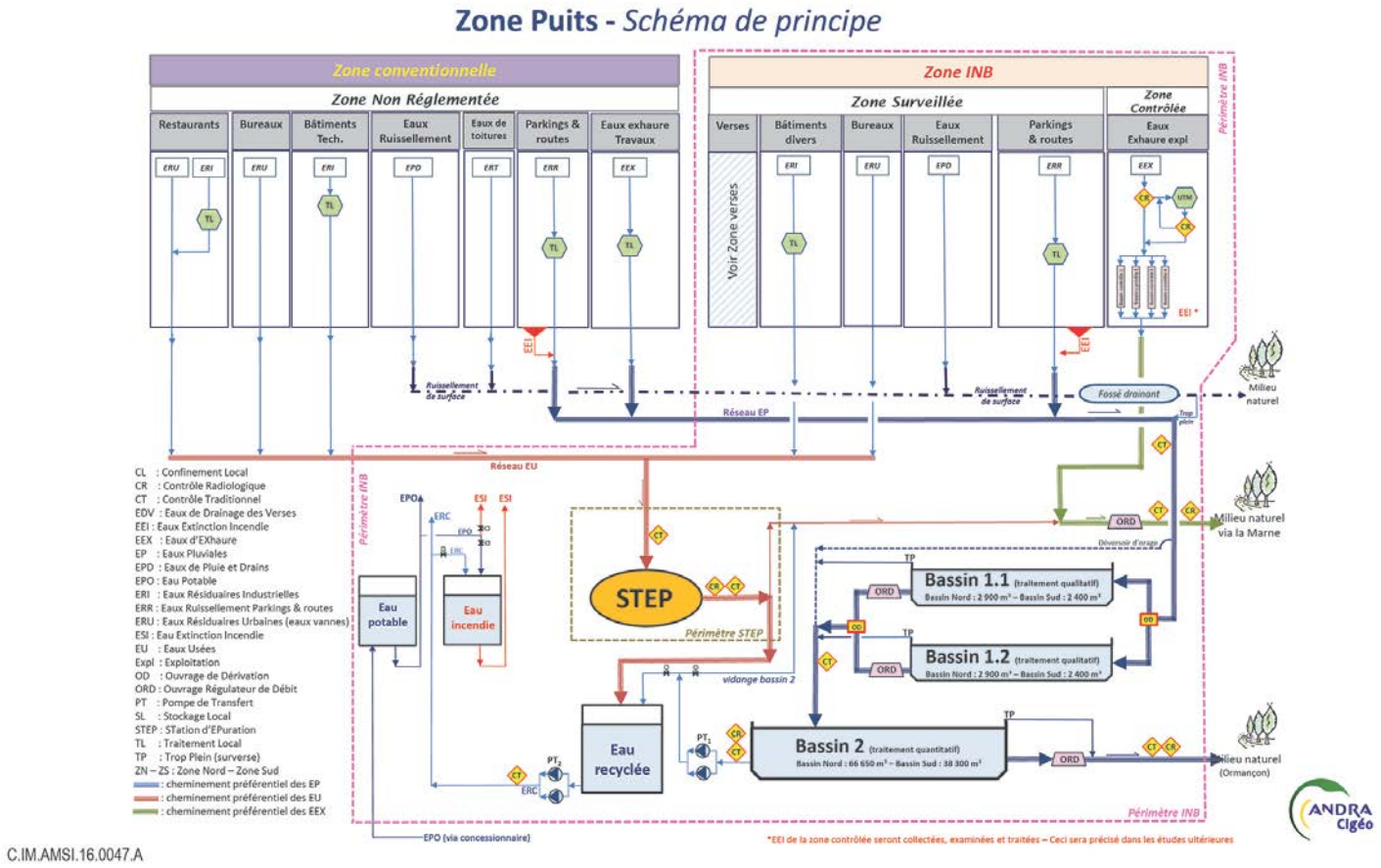
[85] Cette famille pourrait relever à terme de la catégorie MA-VL6 selon son conditionnement

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés (y compris le DEM des Célestins)	MA-VL4
CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL4
EDF-080	C1PG de DAE REP	MA-VL4
EDF-090	C1PG de DAD 1er train hors déchets sodés Superphénix	MA-VL4
EDF-100	DAD des REP du parc actuel (dont BCOT)	MA-VL4
ITER-010	Déchets divers produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	MA-VL4
CEA-360	Déchets issus du DEM des objets du cœur de Phénix	MA-VL5
CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de DEM de diverses installations du Centre de GRENOBLE	MA-VL5
CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	MA-VL5
COG-100	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C produits suivant la spécification 300 AQ 055 (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2 et S3)	MA-VL5
COG-110	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX	MA-VL5
COG-120	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX/URE/MOX	MA-VL5
COG-450	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus d'assemblages combustibles REP et RNR Superphénix et Phénix)	MA-VL5
COG-550	Colis de déchets de structure compactés issus du traitement des CU EL4	MA-VL5
EDF-110	Crayons sources primaires et secondaires REP et autres sources scellées diverses	MA-VL5
COG-530	Colis de déchets de structure compactés issus du traitement des CU du CEA/Civil	MA-VL5
COG-540	Colis de déchets de structure compactés issus du traitement des CU du CEA/DAM	MA-VL5
CEA-340	Conteneur standard de déchets (CSD) contenant des effluents américiés vitrifiés (verre MAVL Valduc)	MA-VL6
CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UP1 MARCOULE (verres MAVL)	MA-VL6
COG-470	Colis CSD-B contenant des effluents de moyenne activité vitrifiés (MAD UP2-400, UP2-800 et UP3)	MA-VL6
CEA-380	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	MA-VL7
EDF-250	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM du réacteur RNR SuperPhénix	MA-VL7

Annexe 8 : Schéma de principe de gestion des eaux dans la zone descenderie

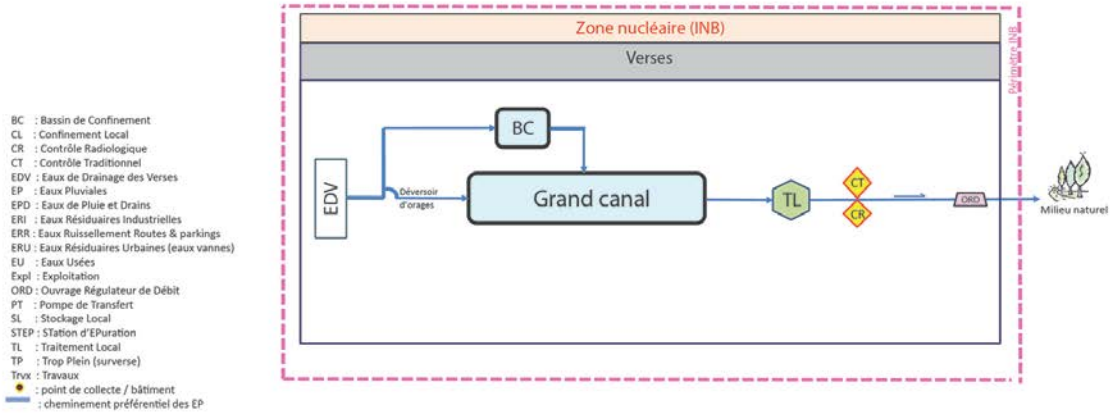


Annexe 9 : Schéma de principes de gestion des eaux dans la zone puits



Annexe 10 : Schéma de principes de gestion des eaux dans la zone des puits au niveau des verses

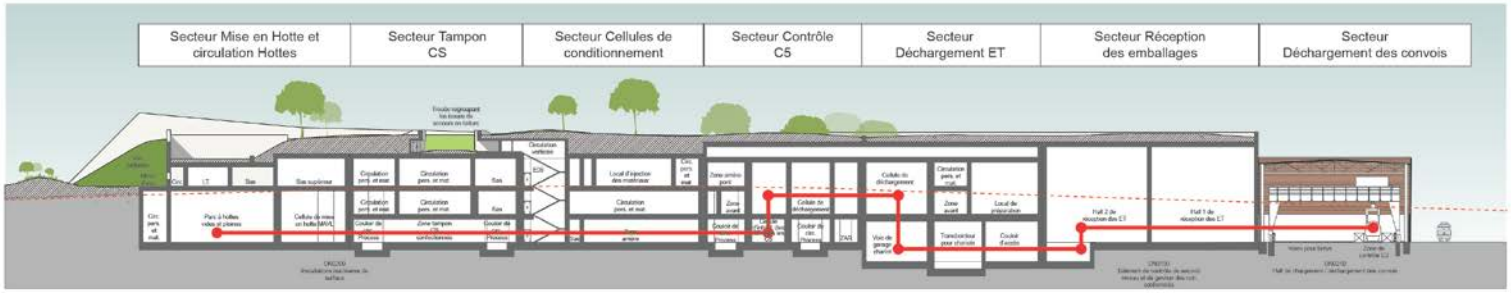
Zone Verses - Schéma de principe



C.IM.AMSI.16.0048.A

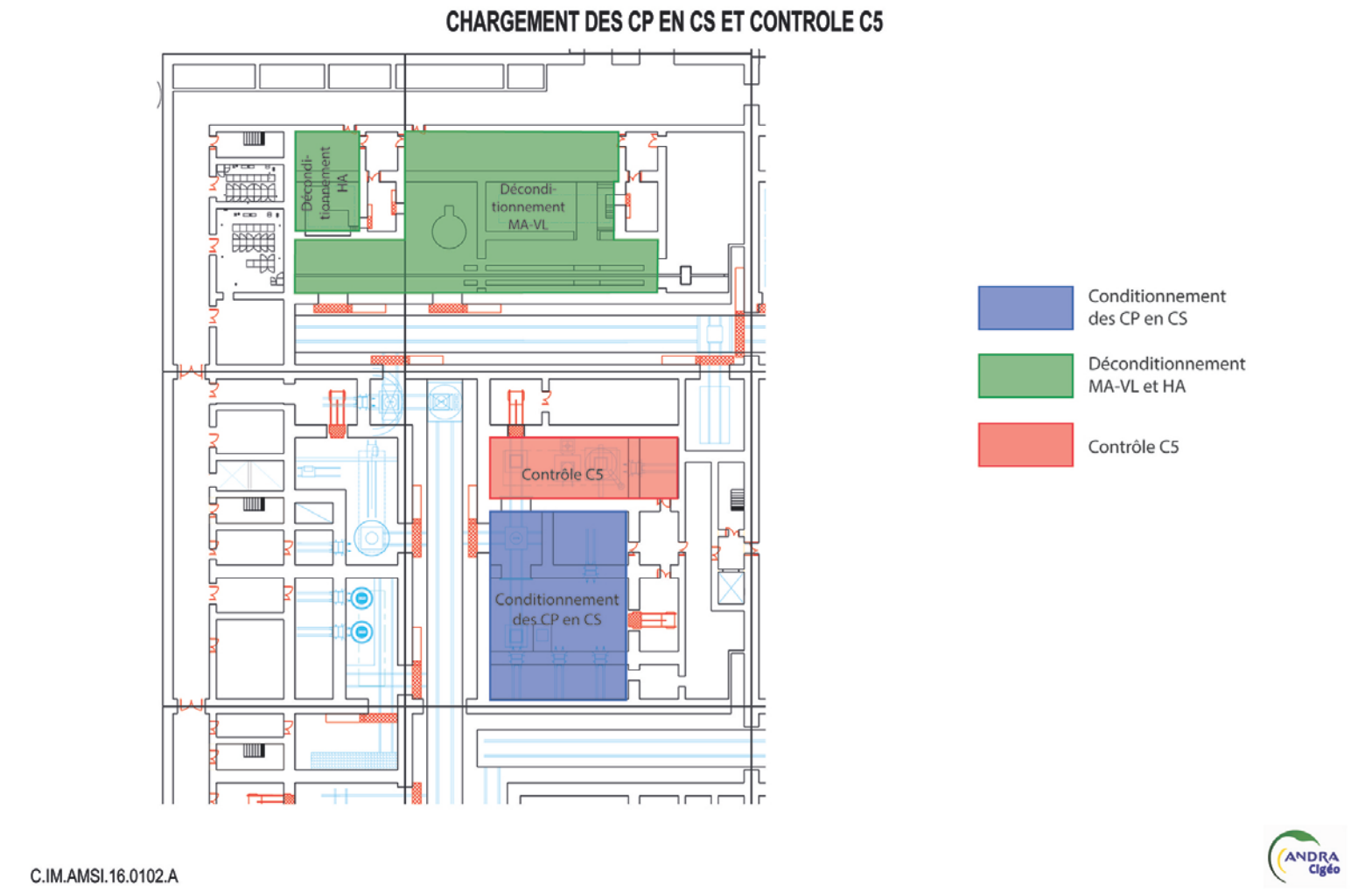
Annexe 11 : Vue en coupe de l'installation EP1

Vue en coupe du process principal

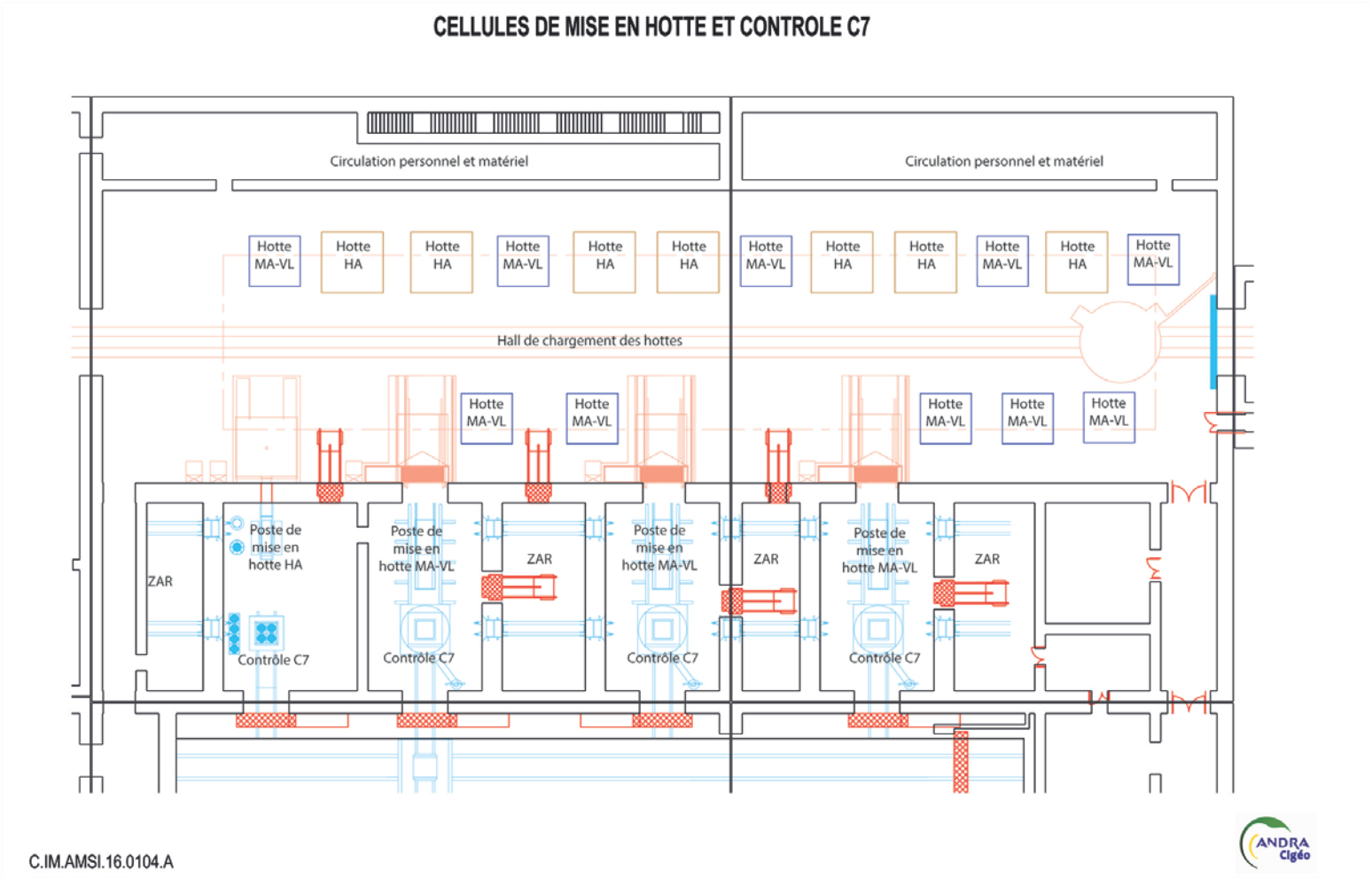


C.IM.0EKS.15.0025.A

Annexe 12 : Cellule de contrôle C5 et chargement de CP en CS (illustration fin APS)



Annexe 13 : Cellule de contrôle C7 et mise en hottes HA et MA-VL (illustration fin APS)

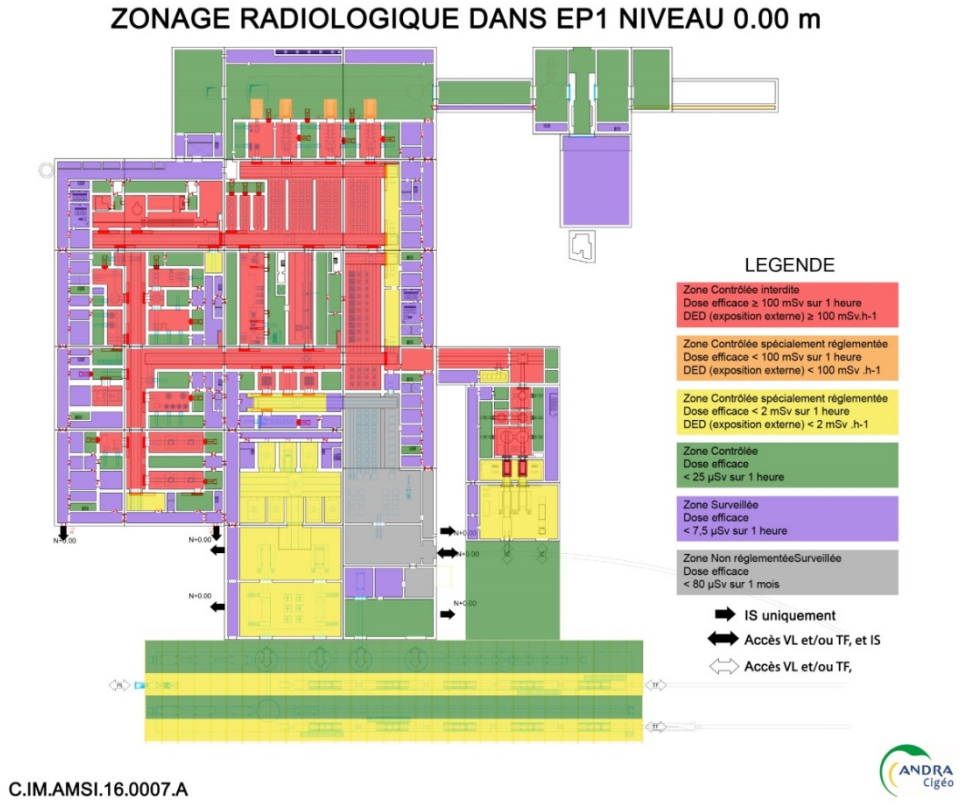


Annexes du VOLUMES III Option de sûreté liées aux opérations de transfert et mise en place des colis

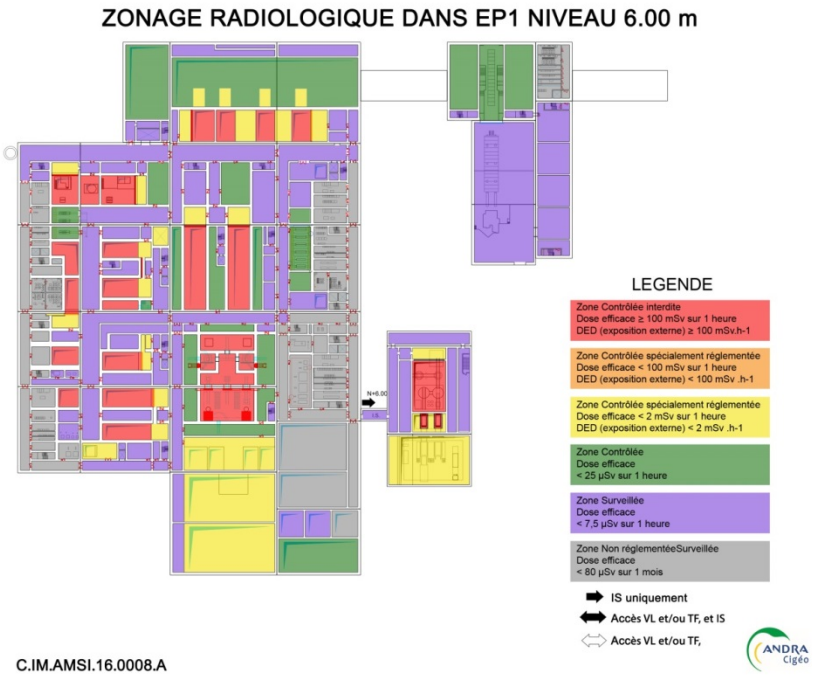
Annexe 14 : Hypothèse sur les taux de remise en suspension en cas de chute

	Matrice		
Conteneur primaire	Sans matrice ou inconnue	bitume	ciment
Acier	1E-04	1E-06	1E-05
Acier inox avec couvercle soudé	1E-05		1E-06
Conteneur béton	1E-04		1E-05
Inconnu	1E-03		1E-04

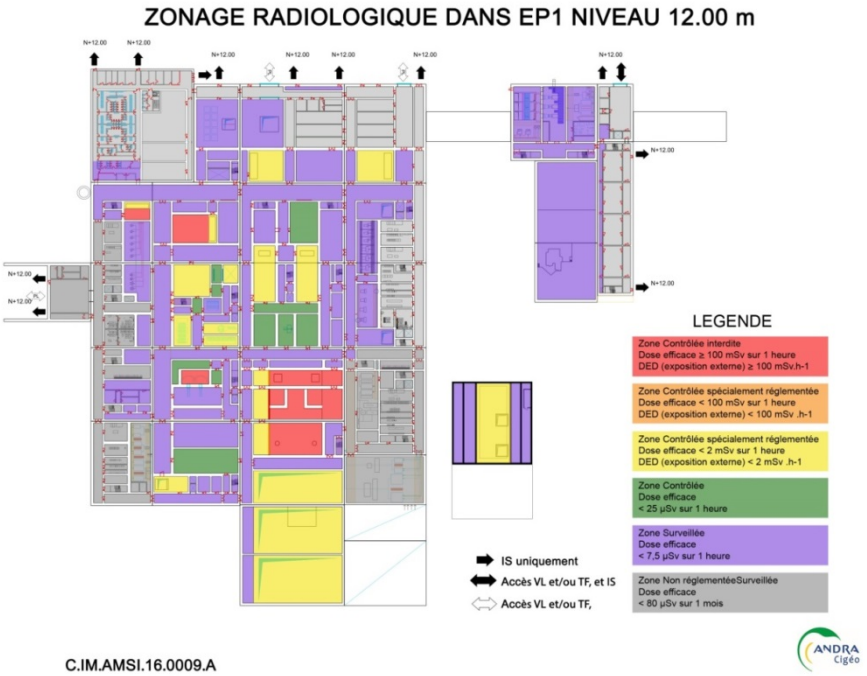
Annexe 15 : Zonage radiologique dans EP1 niveau 0,00m



Annexe 16 : Zonage radiologique dans EP1 niveau 6,00m



Annexe 17 : Zonage radiologique dans EP1 niveau 12,00m



Annexe 18 : Hypothèses sur les fractions de remise en suspension de la contamination surfacique en situation d'incendie

Support non combustible	Fraction mise en suspension
Éléments volatils ou semi-volatils (H3, C14, césium)	1
Éléments peu volatils (cobalt et autres éléments couramment rencontrés)	5,00E-02
Émetteurs alpha	5,00E-03

Annexe 19 : Hypothèses sur les fractions de remise en suspension de l'activité d'un colis en situation d'incendie

RN	Coeff	RN	Coeff	RN	Coeff	RN	Coeff	RN	Coeff	RN	Coeff
H3	5,00E-01	Kr85	5,00E-01	Sn126	4,00E-03	Gd153	1,00E-03	Bi208	4,00E-03	Pu241	1,00E-03
Be10	3,00E-02	Rb87	2,00E-01	Sb125	4,00E-03	Tb157	1,00E-03	Bi210m	4,00E-03	Pu242	1,00E-03
C14	6,00E-03	Sr90	3,00E-02	I129	5,00E-02	Tb158	1,00E-03	Po208	4,00E-03	Pu244	1,00E-03
Na22	2,00E-01	Y90	1,00E-03	Cs134	2,00E-01	Dy154	0	Po209	4,00E-03	Am241	1,00E-03
Al26	1,00E-03	Zr93	1,00E-03	Cs135	2,00E-01	Ho163	1,00E-03	Ra226	3,00E-02	Am242m	1,00E-03
Si32	6,00E-03	Nb91	3,00E-02	Cs137	2,00E-01	Ho166m	1,00E-03	Ra228	3,00E-02	Am243	1,00E-03
Cl36	5,00E-02	Nb92	3,00E-02	Ba137m	3,00E-02	Tm171	1,00E-03	Ac227	1,00E-03	Cm242	1,00E-03
Ar39	5,00E-01	Nb93m	3,00E-02	Ba133	3,00E-02	Lu173	1,00E-03	Th228	1,00E-03	Cm243	1,00E-03
Ar42	5,00E-01	Nb94	3,00E-02	La137	1,00E-03	Lu174	1,00E-03	Th229	1,00E-03	Cm244	1,00E-03
K40	2,00E-01	Mo93	3,00E-02	Ce144	1,00E-03	Lu176	1,00E-03	Th230	1,00E-03	Cm245	1,00E-03
Ca41	3,00E-02	Tc97	3,00E-02	Pr144	1,00E-03	Hf172	1,00E-03	Th232	1,00E-03	Cm246	1,00E-03
Ti44	4,00E-03	Tc98	3,00E-02	Pm143	1,00E-03	Hf178n	1,00E-03	Pa231	1,00E-03	Cm247	1,00E-03
V49	3,00E-02	Tc99	3,00E-02	Pm144	1,00E-03	Hf182	1,00E-03	U232	1,00E-03	Cm248	1,00E-03
Mn53	3,00E-02	Ru106	2,00E-03	Pm145	1,00E-03	Ta179	3,00E-02	U233	1,00E-03	Cm250	1,00E-03
Mn54	3,00E-02	Rh106	2,00E-03	Pm146	1,00E-03	Re186m	3,00E-02	U234	1,00E-03	Bk247	1,00E-03
Fe55	3,00E-02	Rh101	2,00E-03	Pm147	1,00E-03	Os194	0	U235	1,00E-03	Bk249	1,00E-03
Fe60	3,00E-02	Rh102	2,00E-03	Sm145	1,00E-03	Ir192n	0	U236	1,00E-03	Cf248	1,00E-03
Co57	3,00E-02	Rh102m	2,00E-03	Sm146	1,00E-03	Pt193	2,00E-03	U238	1,00E-03	Cf249	1,00E-03
Co60	3,00E-02	Pd107	4,00E-03	Sm151	1,00E-03	Au195	0	Np235	1,00E-03	Cf250	1,00E-03
Ni59	2,00E-03	Ag108m	4,00E-03	Eu150	1,00E-03	Hg194	0	Np236	1,00E-03	Cf251	1,00E-03
Ni63	2,00E-03	Ag110m	4,00E-03	Eu152	1,00E-03	Tl204	4,00E-03	Np237	1,00E-03	Cf252	1,00E-03
Zn65	4,00E-03	Cd109	4,00E-03	Eu154	1,00E-03	Pb202	4,00E-03	Pu236	1,00E-03	Es252	1,00E-03
Ge68	0	Cd113m	4,00E-03	Eu155	1,00E-03	Pb205	4,00E-03	Pu238	1,00E-03	Es254	1,00E-03
Se79	7,00E-02	Sn119m	4,00E-03	Gd148	1,00E-03	Pb210	4,00E-03	Pu239	1,00E-03		
Kr81	5,00E-01	Sn121m	4,00E-03	Gd150	1,00E-03	Bi207	4,00E-03	Pu240	1,00E-03		

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Loi n°91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs. (1992). Journal Officiel de la République Française. Lois et décrets, n°1, pp.10.

2 Dossier 2005. Les recherches de l'Andra sur le stockage géologique des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue. Résultats et perspectives. Andra. (2005). Andra. Les rapports n°265. Rapport n° DCOM/13-0225. 40 p.

3 Loi n° 2006-739 du 28 Juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. (2006). Journal Officiel. Lois et Décrets, n°93, pp.9721.

4 Délibération du conseil d'administration de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public sur le projet CIGEO. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2014). Journal Officiel. Lois et décrets, n°108, pp.7851-7854.

5 Dossier d'options de sûreté - Partie après fermeture (DOS-AF). Andra. (2015). Note technique n° CGTEDNTEAMOASR20000150062.

6 Utilisation des connaissances sur les colis primaires pour la conception et la démonstration de sûreté de Cigéo. Andra. (2015). Note technique n° CNTADPG150005.

7 Proposition de plan directeur pour l'exploitation (PDE). Andra. (2015). Note technique n° CGTEDNTEAMOASDR0000150063.

8 Dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec). Andra. (2015). Note technique n° CGTEDNTEAMOARV00000150059.

9 Adaptabilité de Cigéo au stockage éventuel de combustibles Andra. (2012). Note technique n° CGTEFNTEAMOAMT07000120116.

10 Adaptabilité de CIGEO pour le stockage des déchets en "réserves". Andra. (2015). Note technique n° CGNTADPG150006.

11 Esquisse de la notice des capacités techniques de l'exploitant. Andra. (2015). Note technique n° CGTEDNTEAMOASYN0000150064.

12 Dossier 2005 argile. Tome Evaluation de sûreté du stockage geologique. Andra. ANDRA. (2005). ANDRA. Les rapports n°270 B. Rapport n° ANDRA COM 103. 831 p.

13 Stockage réversible profond. Proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scenarios d'implantation en surface. Stohr, P., Hoorelbeke, J.M.,Ozanam, O. Andra. (2009). Rapport n° CRPADP090035.

14 Avis n° 2010-AV-0084 du 5 janvier 2010 de l'ASN sur le dossier de l'agence nationale de gestion des déchets radioactifs (ANDRA) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (2010).

15 Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée. (2010). Journal Officiel Version consolidée au 9 décembre 2010, n°24/11/2010,

16 Arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Version consolidée au 05 juillet 2013. (2012).

17 Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire. (2008). Guide de l'ASN. 32 p.

18 Pratique de l'évaluation du risque aérien pour une installation nucléaire ou industrielle. Faure, J. CEA. (1986). Rapport n° SASC 86/46.

19 Propositions de l'Andra relatives à la réversibilité du projet Cigéo. Andra. ANDRA. (2012). Les rapports n°499. Rapport n° DCOM/12-0287. 32 p.

20 Stockage réversible profond. Etape 2009. Options de conception du stockage en formation geologique profonde. Andra. Andra. (2010). Les rapports n°394. Rapport n° DCOM/10-0109. 113 p.

21 Avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 1er février 2006, sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL), menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (2015).

22 Référentiel de sûreté appliqué à la conception de Cigéo pour la phase d'exploitation. Andra. (2013). Note technique n° CGTEFNTEAMOASR10000130071.

23 Cahier des charges de l'évaluation complémentaire de la sûreté des installations nucléaires au regard de l'accident de Fukushima : Risque d'inondation, de séisme, de perte des alimentations électriques et perte du refroidissement, ainsi la gestion opérationnelle des situations accidentelles. Autorité de sûreté nucléaire (ASN). (2011). 18 p.

24 Arrêté du 29 septembre 2005 relatif l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.Version consolidée au 28 octobre 2015. (2015).

25 Code de la santé publique. Partie réglementaire. Première partie : Protection générale de la santé. Livre III : Protection de la santé et environnement. Titre III : Prévention des risques sanitaires liés aux milieux et sécurité sanitaire environnementale. Chapitre III : Rayonnements ionisants. Section 1 : Mesures générales de protection de la population contre les rayonnements ionisants. (Article R1333-8 à Article R1333-10). . Ministère de l'Intérieur (2007).

26 Code de la défense. Partie réglementaire. Partie 1 : Principes généraux de la défense. Livre III : Mise en oeuvre de la défense non militaire. Titre III : Défense économique. Chapitre III : Matières et installations nucléaires. Section 1 : Protection et contrôle des matières nucléaires non affectées aux moyens nécessaires à la mise en œuvre de la politique de dissuasion. Paragraphe 3 : Suivi et comptabilité des matières nucléaires (Article R1333-11 à R1333-13) Version en vigueur au 7 décembre 2015. (2015).

27 Programme industriel de gestion des déchets. Projet Cigéo. Andra; AREVA; CEA; EDF. (2014). Programme n° CGPEADPG110074.

28 Programme Bitume - Synthèse des essais d'incendie réel sur un colis de stockage MAVL dans sa configuration de stockage. Laumann, F., Perrochon, O., Claudel, D., Voinis, S., Tallec, M.,Krieguer, J.M. Andra (2015). Note de synthèse n° CGTEDNSYAMOASR10000140116.

29 Programme bitume - Synthèse des résultats des trois essais thermiques sur les colis de stockage B2.1 d'enrobés bitumineux. Perrochon, O., Laumann, F., Claudel, D., Pereira, N., Tallec, M., Voinis, S.,Krieguer, J.M. Andra. (2016). Note de synthèse n° CGTEDNSYAMOASR10000140118.

30 Envoi de document : Dossier Bitume. Andra. (2015). Lettre n° DRD/DIR/15-0004.

31 Référentiel incendie pour la conception de CIGEO. Andra. (2011). Note technique n° SURNTASSN110051.

32 Arrêté du 20 mars 2014 portant homologation de la décision no 2014-DC-0417 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 28 janvier 2014 relative aux règles applicables aux installations nucléaires

de base (INB) pour la maîtrise des risques liés à l'incendie. Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie (2014). Journal de la République Française, n°78, pp.6303.

33 Avis techniques du CSIN n° 15 : Gestion du vieillissement des installations du cycle du combustible nucléaire. (2012). Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Sûreté nucléaire n°AEN 6991; NEA/CSNI/R(2012)7. 44 p.

34 Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du développement durable et de la mer (2010). MEEDDM, n°2010/12, pp.125-246.

35 Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (1). (2003). Journal officiel de la République Française, n°175, pp.13021.

36 Arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées. Version abrogée le 6 Août 2011. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire (2011).

37 Arrêté du 10 juin 2011 relatif à la protection physique des installations abritant des matières nucléaires dont la détention relève d'une autorisation. "Ministère de l'Écologie,du développement durable,; des Transports et du Logement" (2011). Journal Officiel de la République Française, n°155, pp.11727.

38 Retours d'expériences relatifs aux incendies en milieu souterrain appliqué au projet Cigéo. Laumann, F., Chauvet, F., Rabardy, M.,Voinis, S. Andra. (2014). Note technique n° CGTEDNTEAMOAFE00000140088.

39 Retour d'expérience de la construction et de l'exploitation du Laboratoire souterrain et des expérimentations de 2000 à 2012 - Centre de Meuse/Haute-Marne. Andra. (2013). Note technique n° CGNTADIP130001.

40 CIGEO - Locaux de gestion de crise - Note d'orientation. Dupuis, D., Leverd, P., Moine, E., Divan, L., Laumann, F., Rabardy, M., Boissier, F., Cahen, B.,Harman, A. Andra. (2013). Note technique n° CGTEFNTEAMOAEX00000130095.

41 Code l'environnement. Partie législative. Livre Ier : Dispositions communes. Titre II : Information et participation des citoyens. Chapitre V : Autres modes d'information. Section 1 : Dispositions relatives aux activités autres que les activités nucléaires. (article L125-1 à L125-9). (2015). Code l'environnement,

42 Code l'environnement. Partie législative. Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances. Titre IV : Déchets. Chapitre II : Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (Article L542-1 à L542-14). (2015).

43 Code l'environnement. Partie législative. Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances. Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base. Chapitre Ier : Dispositions générales relatives à la sécurité nucléaire (Articles L591-1 à 591-5). (2015).

44 Code l'environnement. Partie législative. Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances. Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base. Chapitre III : Installations nucléaires de base (Articles L593-1 à L593-38). (2015).

45 Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives. Version consolidée au 27 février 2014. (2007).

46 Projet de décision de l'Autorité de sûreté nucléaire relative aux rapports de sûreté des installations nucléaires de base. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2015).

47 Arrêté du 9 août 2013 portant homologation de la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie (2013). Journal Officiel de République Française, n°193, pp.14278.

48 Arrêté du 1er juillet 2015 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'Énergie (2015). Journal Officiel de la République Française, n°153, pp.11297.

49 Arrêté du 20 novembre 2014 portant homologation de la décision n° 2014-DC-0462 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 octobre 2014 relative à la maîtrise du risque de criticité dans les installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie (2014). Journal Officiel de la République Française, n°278, pp.20047.

50 Directive 2013/59/Euratom du Conseil fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom (2014). Journal officiel de l'Union européenne, n°L 13,

51 Code du travail. Partie réglementaire. Quatrième partie : Santé et sécurité au travail. Livre IV : Prévention de certains risques d'exposition. Titre V : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements. Chapitre Ier : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants Section 1 : Principes et dispositions d'application.Sous-section 1 : Champ d'application. Article R4451-1. Version en vigueur au 14 février 2015. (2015).

52 Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées. Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement (2006). Journal Officiel de la République Française, n°137, pp.9001.

53 Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées (2013). Journal Officiel de la République Française, n°262, pp.58003-58068.

54 Code de l'environnement. Partie réglementaire. Livre Ier : Dispositions communes. Titre II : Information et participation des citoyens. Chapitre II : Evaluation environnementale (article R122-1 à R122-24). (2014).

55 Code l'environnement. Partie réglementaire. Livre II : Milieux physiques. Titre Ier : Eau et milieux aquatiques et marins. Chapitre IV : Activités, installations et usage. Section 1 : Procédures d'autorisation ou de déclaration. Sous-section 1 : Champ d'application. Article R214-1. Version en vigueur au 15 mai 2015. (2015).

56 Code du travail. Partie législative. Quatrième partie : Santé et sécurité au travail. Livre Ier : Dispositions générales. Titre II : Principes généraux de prévention. Chapitre Ier : Obligations de l'employeur. (L 4121-1 et suivants). (2015).

57 Code du travail. Partie législative. Quatrième partie : Santé et sécurité au travail. Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations. Titre III : Bâtiment et génie civil.Chapitre Ier : Principes de prévention (L4531-1 à L4531-3). (2015).

58 Code du travail. Partie législative. Quatrième partie : Santé et sécurité au travail. Livre II : Dispositions applicables aux lieux de travail. Titre Ier : Obligations du maître d'ouvrage pour la conception des lieux de travail. (2015).

59 Code du travail. Partie réglementaire. Quatrième partie : Santé et sécurité au travail. Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations. Titre Ier : Travaux réalisés dans un établissement par une entreprise extérieure. Chapitre Ier : Dispositions générales (article R4511-1 à R4511-12). (2015).

60 Arrêté du 20 novembre 2009 portant homologation de la décision n° 2009-DC-0153 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 août 2009 relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique. (2009). Journal Officiel de la République Française, n°293, pp.21851.

61 Arrêté du 9 juin 2011 fixant les conditions de mise en œuvre du suivi physique et de la comptabilité des matières nucléaires dont la détention relève d'une autorisation. Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement (2011).

62 Arrêté du 3 août 2011 relatif aux modalités de réalisation de l'étude prévue à l'article R. 1333-4 du code de la défense pour la protection des matières nucléaires et de leurs installations. Version en vigueur du 2 septembre 2011. Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement (2011).

63 Arrêté du 5 août 2011 relatif aux modalités de la demande et à la forme de l'autorisation requise par l'article L. 1333-2 du code de la défense. Version consolidée du 14 mars 2016. Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement (2016).

64 Arrêté du 23 juillet 2010 portant approbation de l'instruction générale interministérielle sur la protection du secret de la défense nationale.Version abrogée le 3 décembre 2011. Premier Ministre (2011).

65 Arrêté du 30 novembre 2011 portant approbation de l'instruction générale interministérielle n° 1300 sur la protection du secret de la défense nationale. Version consolidée au 11 décembre 2015. Premier Ministre (2015).

66 Projet de décision relative aux obligations des exploitants d'installations nucléaires de base en matière de préparation et de gestion des situations d'urgence et au contenu du plan d'urgence interne (PUI). Version du 22 avril 2015. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (2015).

67 Projet de décision de l'Autorité de sûreté nucléaire relative au conditionnement des déchets radioactifs en vue de leur stockage et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage. Version du 14/03/2014. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (2014).

68 Déterminer le périmètre d'une INB. Autorité de sûreté nucléaire (ASN). (2013). Guides de l'ASN n°9. 16 p.

69 Règle n°I.1.a : Prise en compte des risques liés aux chûtes d'avions. (1992). Autorité de Sûreté Nucléaire. RFS I.1.a.

70 Règle n°I.1.b du 7 octobre 1992. Prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication. (1992). Autorité de Sûreté Nucléaire. RFS I.1.b.

71 Prise en compte du risque sismique à la conception des ouvrages de génie civil d'installations nucléaires de base à l'exception des stockages à long terme des déchets radioactifs. Autorité de sûreté nucléaire (ASN). (2006). Guide de l'ASN n°2/01.

72 Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). (2013). Guide de l'ASN n°13. 44 p.

73 Règles fondamentales de sûreté relatives aux installations nucléaires de base autres que les réacteurs nucléaires. Prévention des risques de criticité. (1984). Autorité de Sûreté Nucléaire. RFS I.3.c.

74 Guide relatif à l'application de l'arrêté du 31/12/1999. Thème Incendie. Autorité de sûreté nucléaire (ASN). (2006). Guide de l'ASN n°7/01. n° ASN/GUIDE/7/01. 20 p.

75 Règle RFS n°II.2 : Conception générale des systèmes élémentaires. Systèmes de ventilation. (1991). Autorité de Sûreté Nucléaire. RFS II.2.

76 Biosphère. Démarche de choix et de description d'une ou plusieurs biosphère(s). Andra. (2009). Transparent n° SURTRASSN090025.

77 Valeurs toxicologiques de référence (VTR)retenues par l'Andra pour les toxiques chimiques pris en compte par l'Andra dans ses évaluations d'impact. Andra. (2014). Note technique n° SURNTASSC140005.

78 Maîtrise des risques radiologiques. Méthodologie pour la conception et le dimensionnement des moyens de protection. Andra. (2009). Guide n° SURGUASSN090022.

79 Démarche et critères de sélection des scénarios de sûreté en exploitation pour le projet Cigéo. Andra. (2012). Note technique n° SURNTASSN110081.

80 Guide Ventilation Nucléaire. Méthodologie pour la conception et le dimensionnement des systèmes de ventilation nucléaire. Andra. (2009). Guide n° SURGUASSN090058.

81 Référentiel technique applicable à la conception, la réalisation et l'exploitation d'un système de transfert incliné de colis de déchets radioactifs. Andra. (2014). Note technique n° SURNTASSE140002.

82 Radioactive Waste Disposal Facilities Safety Reference Levels v2.2. (Wgwd), W.G.O.W.a.D. Western European Nuclear Regulators Association (WENRA). (2014). 81 p.

83 Fundamental safety principles. Safety fundamentals. IAEA. (2006). IAEA safety standards series n°SF-1. 37 p.

84 Disposal of Radioactive Waste. Specific Safety Requirements. IAEA. (2011). IAEA Safety Standards Series n°SSR 5. 62 p.

85 The management system for facilities and activities. Safety Requirements. IAEA. (2006). IAEA Safety Standards Series n°GS-R-3. 27 p.

86 Évaluation de la sûreté des installations et activités. Prescriptions générales de sûreté. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). (2009). Normes de sûreté de l'AIEA n°GSR Part 4. n° STI/PUB/1375. 42 p.

87 The management system for the disposal of radioactive waste. Safety guide. IAEA. (2008). IAEA safety standards series n°GS-G-3.4. 85 p.

88 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. Specific Safety Guide. IAEA. (2011). IAEA Safety Standards Series n°SSG 14. 104 p.

89 Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities. Specific Safety Guide. IAEA. (2014). IAEA Safety Standards Series n°SSG-31. 96 p.

90 The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. Specific safety guide. IAEA. (2012). IAEA Safety Standards Series n°SSG-23. 140 p.

91 Defence in depth in nuclear safety : INSAG-10. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group. International Atomic Energy Agency. (1996). IAEA. INSAG series n°10. n° STI/PUB/1013. 37 p.

92 Safety culture. International Atomic Energy Agency. (1991). IAEA. INSAG series n°75 INSAG 4. 31 p.

93 ICRP Publication 122: radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste (2013) *Annals of the ICRP,* 42**,** (3), 57 p.

94 ICRP publication 103 : The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (2008) *Annals of the ICRP,* 37**,** (2-4), 330 p.

95 Human Factors Engineering Program Review Model. United States Nuclear Regulatory Commission. (2012). Rapport n° NUREG-0711, Rev. 3. 147 p.

96 Principes ergonomiques de la conception des systèmes de travail. (2004). AFNOR; ISO. NF EN ISO 6385.

97 Conception ergonomique des centres de commande - Partie 1 : principes pour la conception des centres de commande. (2001). AFNOR. NF EN ISO 11064-1.

98 Ergonomie de l'interaction homme-système. Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. (2011). AFNOR; ISO. NF EN ISO 9241-210.

99 Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV) - Partie 11 : lignes directrices concernant l'utilisabilité. (1998). AFNOR; ISO. NF EN ISO 9241-11.

100 Ergonomie. Approche générale, principes et concepts. (2011). AFNOR; ISO. NF EN ISO 26800.

101 Principes ergonomiques concernant la charge de travail mental - Partie 1 : termes généraux et leurs définitions. (2000). AFNOR; ISO. NF EN ISO 10075-1.

102 Ergonomie - Processus de conception centré sur l'opérateur humain. (2009). AFNOR. NF X 35 115.

103 Guide pour la prise en compte des critères de maintenabilité des biens durables à usage industriel et professionnel. (1982). AFNOR. X 60 301.

104 Guide de maintenabilité de matériel. (1986). AFNOR. X 60 310.

105 Maintenabilité de matériel - Partie 2 : exigences et études de maintenabilité pendant la phase de conception et de développement. (2006). AFNOR. NF EN 60706-2.

106 Conception des lieux de travail. Obligations du maître d'ouvrage. Réglementation. 3ème édition. (2011). INRS, Brochure de l'INRS. 98 p.

107 Conception et aménagement des postes de travail. (1999). INRS, Fiche pratique de sécurité. 8 p.

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex

www.andra.fr