RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

2026

DOSSIER D'AUTORISATION DE CRÉATION DE L'INSTALLATION NUCLÉAIRE DE BASE (INB) CIGÉO

PIÈCE 7

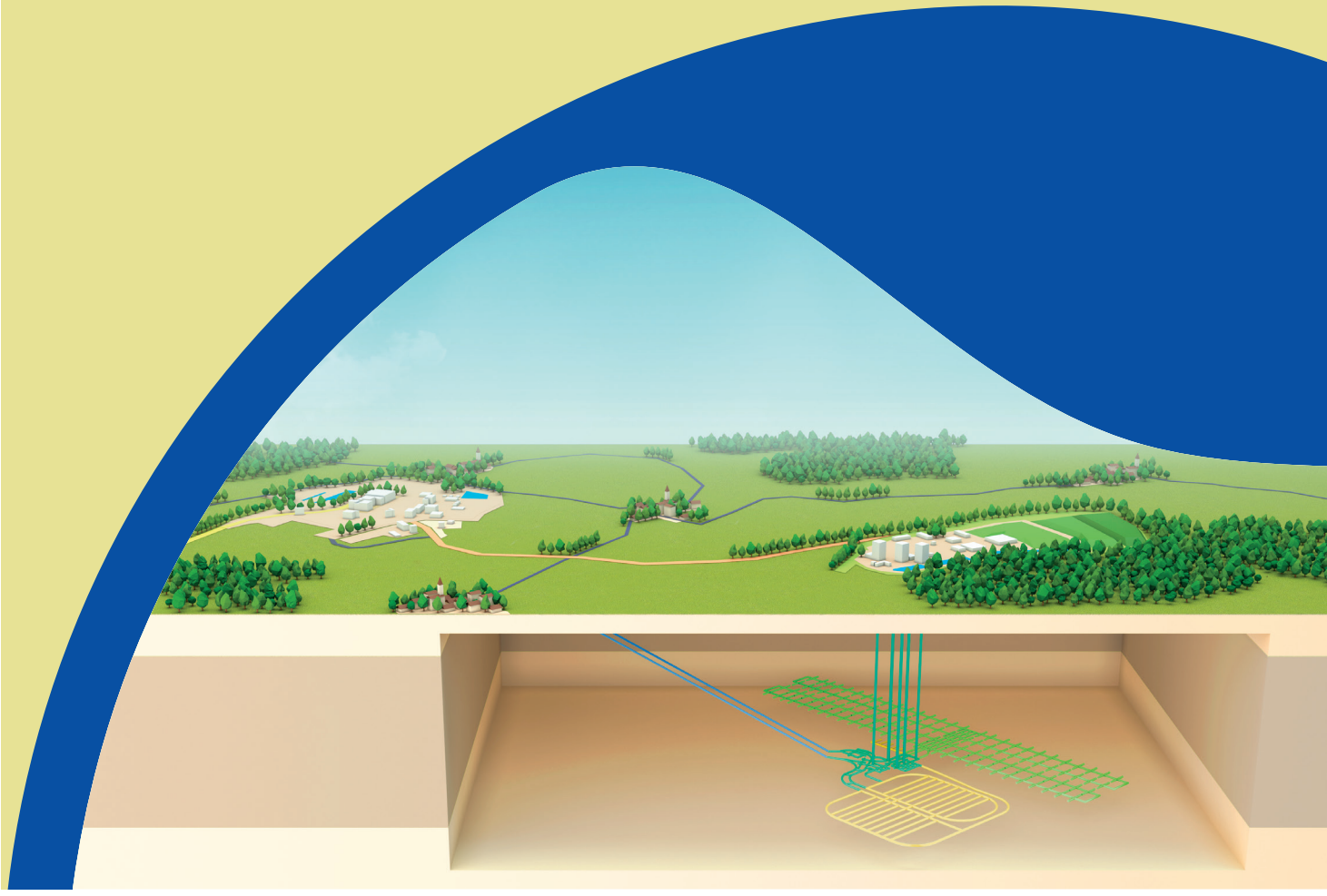
Version préliminaire du rapport de sûreté

PARTIE I

Contexte, périmètres, démarche et référentiels

Volume 2

La démarche de sûreté et les référentiels associés



MISE À JOUR DU DOSSIER D'AUTORISATION DE CRÉATION POUR ENQUÊTE PUBLIQUE

À la suite de l'instruction technique par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection et des consultations réglementaires, et avant son passage en enquête publique, des mises à jour ont été apportées par l'Andra dans certaines pièces du dossier (déposé initialement le 16 janvier 2023).

Pour la clarté de l'information, l'Andra assure la traçabilité de ces mises à jour via les moyens suivants :

- des barres grises en marge du texte pour tracer les modifications ou ajouts en amont des consultations réglementaires ;
- un surlignage gris pour tracer les modifications ou ajouts depuis les consultations réglementaires ;
- des tableaux de traçabilité de ces mises à jour.

Les corrections mineures (orthographiques, de forme ou d'imprécision) ne sont pas matérialisées.

Sommaire

1. La démarche de sûreté 7

1.1 Démarche générale de sûreté 8

1.1.1 Un objectif de protection à long terme après fermeture visé tout en maîtrisant les risques en exploitation 8

1.1.2 Une démonstration de sûreté s'appuyant sur des socles de connaissances 11

1.1.3 Une conception répondant aux exigences de sûreté après-fermeture et d'exploitation 12

1.2 Démarche spécifique de sûreté après-fermeture 13

1.2.1 Les objectifs et principes guidant la sûreté après fermeture 13

1.2.2 Un principe de défense en profondeur adapté à la phase après fermeture 14

1.2.3 La logique de déroulement de la démarche pour la sûreté après fermeture 14

1.2.4 Les objectifs de protection 18

1.2.5 Les enseignements tirés des évaluations quantitatives des scénarios 19

1.3 Démarche spécifique de sûreté d'exploitation 20

1.3.1 Les objectifs et principes guidant la sûreté d'exploitation 20

1.3.2 Le principe de défense en profondeur défini par la réglementation 20

1.3.3 La logique de déroulement de la démarche de sûreté d'exploitation 21

1.3.4 Les objectifs de protection en exploitation 23

1.4 Fonctions de sûreté et principes associés 26

1.4.1 Fonctions de sûreté pour le long terme 26

1.4.2 Fonctions de sûreté pour l'exploitation 31

2. La règlementation applicable à l'INB Cigéo 37

2.1 Nature des textes réglementaires applicables à l'INB 38

2.2 Phases temporelles concernées par l'application des textes réglementaires 39

2.3 Liste des textes réglementaires applicables à l'INB 39

2.3.1 Réglementation relative aux installations nucléaires de base 40

2.3.2 Réglementation applicable aux activités nucléaires 47

2.3.3 Autres réglementations contribuant à la sûreté nucléaire de l'INB Cigéo 53

2.4 Prise en compte des textes réglementaires applicables à la conception de l'INB Cigéo 54

2.4.1 Moyens mis en œuvre 54

2.4.2 Vérification de la conformité réglementaire 54

3. Les référentiels non-réglementaires 55

3.1 Guide de sûreté n° 1 de l'ASN : Stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde 56

3.2 Autres guides ASN et règles fondamentales de sûreté applicables 57

3.3 Guides ASN et règles fondamentales de sûreté transposables à l'INB 59

3.4 Autres guides, normes et codes techniques 60

3.5 Publications internationales 61

3.6 Référentiel interne à l'Andra appliqué à l'INB Cigéo 62

4. Les demandes de l'ASN et les engagements de l'Andra 63

4.1 Le cadre réglementaire 64
4.2 Un dossier d'options de sûreté soumis en 2016 à l'ASN 64
4.3 Un avis de l'ASN à la suite de l'instruction du dossier d'options de sûreté 65
4.4 Des demandes complémentaires dans le cadre du PNGMDR 2016-2018 65

5. Les compléments et modifications par rapport au dossier d'options de sûreté 67
5.1 Le cadre réglementaire 68
5.2 Depuis le dossier d'options de sûreté de 2016, une nouvelle boucle d'itération entre connaissances/conception/sûreté 68
5.3 Les compléments et modifications apportés depuis le dossier d'options de sûreté 69

Annexes 73
Annexe 1 Objectifs de protection retenus pour chaque substance toxique chimique concernée dans le cadre des évaluations d'impact aux populations 74

Tableau de traçabilité des principales évolutions 75

Tables des illustrations 77

Références bibliographiques 79

Préambule

L'article L. 542-1-1 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 l'installation.

Selon le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1), il s'agit de définir : « *les objectifs qui doivent être retenus dès les phases d'investigations d'un site et de conception de l'installation d'un stockage, pour permettre d'assurer la sûreté après la fermeture de l'installation de stockage* ».

En déclinaison, le présent volume vise à présenter la démarche de sûreté prenant en compte la spécificité de l'INB Cigéo en particulier la phase après fermeture long terme. Pour cela, les analyses de la sûreté en exploitation et après fermeture sont mises en œuvre dès la conception initiale. C'est l'objet du chapitre 1 du présent volume.

Par ailleurs, la réglementation applicable et les référentiels (guides, standards internationaux) prennent également en compte la spécificité du stockage en formation géologique profonde. Le cas échéant, les limites de la transposition à l'INB Cigéo de certains des référentiels applicables à toute INB sont mentionnées, respectivement aux chapitres 2 et 3 du présent volume.

Enfin, conformément à l'article R. 593-14 du code de l'environnement, l'Andra prévoyant d'exploiter l'installation nucléaire de base Cigéo (INB) a demandé à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), préalablement à l'engagement de la procédure d'autorisation de création, un avis sur tout ou partie des options qu'elle a retenues pour assurer la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.

Selon l'article R. 593-18 VI. du code de l'environnement « *Si l'installation correspond à un modèle dont les options de sûreté ont fait l'objet d'un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans les conditions définies à l'article R. 593-14, la version préliminaire du rapport de sûreté identifie les questions déjà étudiées dans ce cadre, les études complémentaires effectuées et les justifications complémentaires apportées, notamment celles demandées par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans son avis.* ».

Le chapitre 4 du présent volume apporte les informations sur le traitement des demandes et engagements et en particulier ceux traités dans le cadre de la présente version du rapport de sûreté ou de ses documents supports.

Le chapitre 5 du présent volume précise, vis-à-vis des choix de sûreté et de conception, les compléments et modifications apportés suite aux études réalisées par l'Andra dans la continuité du « Dossier d'options de sûreté » (2, 3) dans le cadre du développement de la conception en avant-projet en vue du dépôt de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo.

1

La démarche de sûreté

1.1 Démarche générale de sûreté 8
1.2 Démarche spécifique de sûreté après-fermeture 13
1.3 Démarche spécifique de sûreté d'exploitation 20
1.4 Fonctions de sûreté et principes associés 26

1.1 Démarche générale de sûreté

1.1.1 Un objectif de protection à long terme après fermeture visé tout en maîtrisant les risques en exploitation

La décision ASN n° 2015-DC-0532 (4) précise dans l'article 4-4-1 de son annexe que « *le rapport de sûreté décrit la démarche retenue pour atteindre les objectifs* [...] » de sûreté nucléaire de l'INB définis par l'exploitant et que le rapport de sûreté « *décrit la manière dont est construite la démonstration de sûreté nucléaire de l'INB, en particulier l'articulation des différents éléments présentés pour apporter cette démonstration* ».

L'article 2.3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 (arrêté « INB » fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (5)) précise que : « *L'exploitant établit et s'engage à mettre en œuvre une politique en matière de protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement affirmant explicitement la priorité accordée à la protection des intérêts susmentionnés, en premier lieu par la prévention des accidents et la limitation de leurs conséquences au titre de la sûreté nucléaire, par rapport aux avantages économiques ou industriels procurés par l'exploitation de son installation ou à l'avancement des activités de recherche liées à cette exploitation* ».

L'article 8.5.1 de l'arrêté INB précise que « *dans le respect des objectifs énoncés par l'article L. 542-1 du code de l'environnement, le choix du milieu géologique, la conception et la construction d'une installation de stockage de déchets radioactifs, son exploitation et son passage en phase de surveillance sont définis de telle sorte que la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement soit assurée de façon passive vis-à-vis des risques présentés par les substances radioactives ou toxiques contenues dans les déchets radioactifs après le passage en phase de surveillance. Cette protection ne doit pas nécessiter d'intervention au-delà d'une période de surveillance limitée, déterminée en fonction des déchets radioactifs stockés et du type de stockage. L'exploitant justifie que la conception retenue répond à ces objectifs et justifie sa faisabilité technique.* ».

Enfin, le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1) dédié au stockage en formation géologique profonde cible en particulier la démonstration de sûreté après fermeture. Il définit les objectifs qui doivent être retenus, notamment pour la conception et précise qu'« *après la fermeture de l'installation de stockage, l'objectif fondamental du stockage est d'assurer la protection de la santé de l'homme et de l'environnement* »[1].

Compte tenu de cette spécificité, la démonstration de sûreté appliquée à l'INB Cigéo s'appuie sur deux démarches de sûreté menées en parallèle et de façon intégrée afin d'assurer un lien constant et structuré entre les objectifs à long terme après fermeture et en exploitation. Ainsi :

- en exploitation, la démarche de sûreté s'apparente à une démarche classique appliquée par les autres installations nucléaires :
  - ✓ les règles et pratiques sont communes à toute installation nucléaire de base (règles fondamentales de sûreté (RFS), guides de sûreté...) ;
  - ✓ les fonctions de sûreté et la démonstration de sûreté (défense en profondeur, analyses de risques et scénarios, évaluations de conséquences) sont notamment établies en cohérence avec l'arrêté INB ;
  - ✓ leur mise en œuvre est adaptée aux spécificités de l'installation souterraine (ouvrages en souterrain, concomitance de travaux de construction et d'exploitation nucléaire en souterrain, longueur des ouvrages, durée du fonctionnement d'ordre séculaire...) ;

[1] La sûreté après la fermeture a guidé le choix des composants du système de stockage de l'installation souterraine après la fermeture définitive, dès le début de la conception de l'installation souterraine sans attendre de s'en préoccuper au moment de la fermer définitivement (pour rappel dès 1991 en application de la RFS.III.2.f (6), comme indiqué dans le volume 1 de la présente version préliminaire du rapport de sûreté).

- après-fermeture, la démarche de sûreté est propre au stockage et destinée à garantir la sûreté « passive » à long terme une fois l'installation de stockage fermée définitivement :
  - ✓ le guide de sûreté n° 1 de l'ASN fixe les objectifs qui doivent être retenus (1), notamment :
    - les objectifs de protection de la santé des personnes et de l'environnement, les fonctions de sûreté ;
    - les principes de sûreté et les bases de conception de l'installation de stockage liées à la sûreté.
  - ✓ en cohérence avec le guide de sûreté n° 1 de l'ASN, et les pratiques internationales, la démonstration de la sûreté du stockage se fonde sur l'analyse du comportement du système de stockage tel qu'il peut être décrit au vu de l'état des connaissances scientifiques et technologiques afin de vérifier l'efficacité des composants vis-à-vis des fonctions de sûreté après fermeture. Elle s'attache également par une analyse des risques et incertitudes à évaluer les risques que des fonctions de sûreté après fermeture ne soient pas atteintes. De scénarios représentant les différentes évolutions du stockage sur le long terme sont identifiés et classés selon une nomenclature. Une évaluation quantitative des scénarios à l'aide d'un ensemble d'indicateurs, permet de porter un jugement d'une part sur la bonne réalisation des fonctions de sûreté en évaluation normale et d'autre part sur la robustesse d'ensemble du système de stockage en cas de non-réalisation d'une fonction. Elle permet aussi d'évaluer les éventuelles incidences sur l'homme.

La figure ci-après illustre la mise en œuvre en parallèle de la démonstration de sûreté en exploitation et après fermeture.

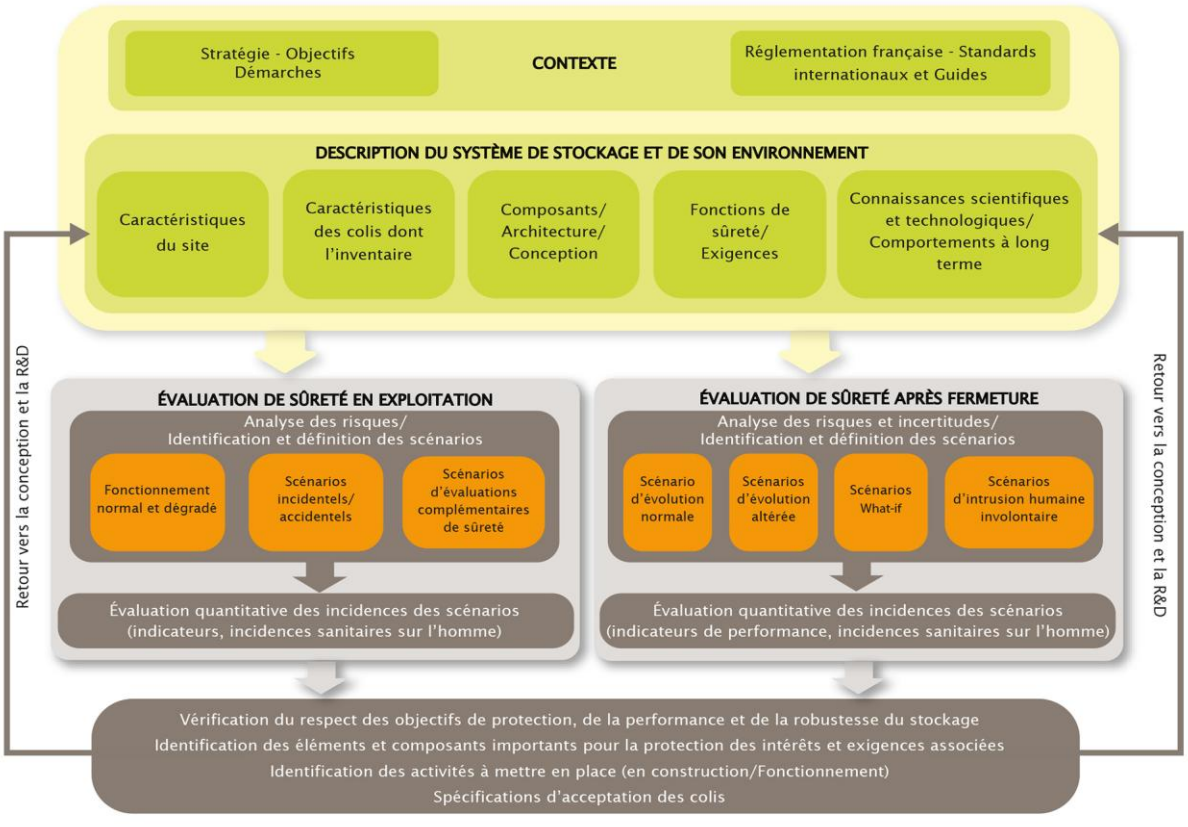


Figure 1-1 *Schéma illustrant l'approche coordonnée entre la sûreté en exploitation et après fermeture*

Comme indiqué ci-avant, l'objectif fondamental de protection de l'homme et l'environnement à long terme après fermeture est pris en compte dès la conception de l'installation souterraine (les installations du process nucléaire en surface sont démantelées avant la fermeture définitive) et à chaque réexamen. Les fonctions de sûreté et exigences associées que doivent satisfaire le système de stockage et donc l'installation souterraine (architecture souterraine dans son ensemble, alvéoles de stockage) prennent en compte cet objectif fondamental à long terme.

La conception de l'INB répond à la fois à des fonctions de sûreté en exploitation et après fermeture et aux exigences associées. Ainsi :

- les bâtiments et ouvrages nucléaires en surface, ainsi que les moyens de manutention sont conçus pour maitriser les risques en exploitation ;
- les ouvrages souterrains sont conçus pour maitriser les risques en exploitation et après fermeture :
  - ✓ les solutions techniques des composants ouvragés du système de stockage (conteneur de colis de déchets HA, scellements, organisation des ouvrages dans l'architecture de l'installation souterraine) issues de l'analyse des risques après fermeture reposent sur l'analyse de leur compatibilité avec une exploitation sûre ;
  - ✓ les dispositions prises pour maitriser les risques en exploitation doivent préserver les caractéristiques de la couche du Callovo-Oxfordien.

La conception de l'INB (bâtiments, ouvrages, équipements), son fonctionnement (opérations de manutention) et son comportement dans le temps une fois les ouvrages souterrains fermés définitivement intègrent la connaissance sur les deux grandes données d'entrées suivantes :

- des colis de déchets HA et MA-VL qui sont les objets à stocker, c'est-à-dire leurs caractéristiques intrinsèques (nature, géométrie, inventaire en radionucléides, thermicité...) et leur comportement sur de longues échelles de temps ;
- de la couche du Callovo-Oxfordien, c'est-à-dire ses caractéristiques (géologique, chimique, hydraulique, mécanique, thermique...) et son comportement sur de longues échelles de temps.

La prise en compte de l'objectif de protection à long terme de manière passive dès la conception vise également à identifier la stratégie de surveillance à mettre en place dès la construction initiale du stockage puis pendant l'exploitation en lien avec les fonctions de sûreté après fermeture (cf. « La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo » (7)).

L'évaluation de l'incidence à long terme de la présence du stockage de déchets radioactifs est également intégrée dès la conception et mise à jour régulièrement, le développement progressif de l'INB permettant de vérifier, à chaque étape, de manière intégrée, la performance du système de stockage vis-à-vis des fonctions de sûreté qui leur sont assignées et l'incidence sanitaire éventuelle.

La démarche globale qui relie la sûreté en exploitation et la sûreté après fermeture permet également de gérer les avancées de connaissances et le retour d'expérience de l'exploitation de manière intégrée. Ainsi, l'opportunité de retenir de nouvelles solutions techniques par exemple pour la conception du système de stockage est analysée sous l'angle de leur compatibilité avec une exploitation sûre de l'installation et du respect des exigences de sûreté après fermeture.

Dans le cadre du développement progressif de l'installation souterraine (pour rappel développement par tranches d'alvéoles de stockage) et en particulier lors des réexamens de sûreté, les avancées de la connaissance scientifique et technologique ainsi que le retour d'expérience de la construction puis de l'exploitation (dont la surveillance) sont analysés sous l'angle également de la sûreté en exploitation et après fermeture. Toute évolution de la conception (de l'architecture souterraine dans son ensemble, des alvéoles de stockage entre la conception initiale et la mise en service, puis pendant le fonctionnement) fera l'objet d'un examen de la performance et de la sûreté en exploitation et après fermeture.

1.1.2 Une démonstration de sûreté s'appuyant sur des socles de connaissances

La démonstration de sûreté s'appuie sur l'acquisition de la connaissance du site d'implantation en particulier la formation hôte et ses milieux environnants, l'installation en elle-même et les colis de déchets radioactifs qui y sont stockés. Compte tenu de l'objectif fondamental de protection à long terme, la connaissance de l'évolution phénoménologique du système de stockage dans le temps est également nécessaire. Les connaissances des colis, du site et de l'évolution du système de stockage font l'objet respectivement des volumes 3, 4 et 7 du présent rapport de sûreté.

1.1.2.1 Le socle de connaissances des colis de déchets radioactifs

Le socle de connaissances des colis de déchets radioactifs (cf. Volume 3 du présent rapport) permet de garantir la cohérence des données d'entrées (familles, liste de radionucléides identique, activités initiales identiques...) qui alimentent à la fois la sûreté après-fermeture et la sûreté d'exploitation :

- les colis de déchets radioactifs font partie intégrante du système de stockage et participent à la sûreté de l'installation de stockage en exploitation ainsi qu'autant que nécessaire à la sûreté du stockage après fermeture (cf. Guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1)) ;
- les connaissances intrinsèques sur les colis de déchets radioactifs sont fournies par les producteurs et suivent un processus d'analyse et d'instruction par l'Andra pour établir un « socle de connaissances colis de déchets radioactifs » stabilisé et partagé au sein de l'Agence ;
- le « socle de connaissances colis » permet de regrouper, valider et maîtriser les informations recueillies, mettre ces informations à la disposition des différents utilisateurs dont les personnes en charge de la démonstration de sûreté, tout en garantissant la traçabilité des connaissances et de leurs évolutions ;
- les données de ce socle sont utilisées de manière différente selon les objectifs des études de sûreté en exploitation ou après fermeture, par exemple : la constitution des inventaires radiologiques à terminaison pour la sûreté après fermeture et la définition des caractéristiques dimensionnantes des colis pour la sûreté en exploitation.

1.1.2.2 Le socle de connaissances du site d'implantation et de l'environnement

Le socle de connaissances du site d'implantation et de l'environnement (cf. Volume 4 du présent rapport) est une donnée d'entrée nécessaire à la démonstration de sûreté en exploitation et après fermeture :

- les travaux de caractérisation (forages, reconnaissance...) du site d'implantation et de la formation hôte permettent :
  - ✓ d'acquérir une très bonne connaissance de la zone d'implantation des ouvrages souterrains ;
  - ✓ de justifier la localisation des ouvrages souterrains au sein la formation, au regard de la satisfaction optimale de leurs fonctions de sûreté, en tenant compte des contraintes techniques et d'insertion dans le territoire ;
  - ✓ de s'assurer que le milieu géologique présente les propriétés attendues notamment au regard des critères de choix de site du guide de sûreté n° 1 de l'ASN (profondeur de la formation hôte, stabilité, hydrogéologie par exemple).
- en complément les travaux approfondis sur la formation hôte (Laboratoire souterrain, échanges internationaux sur des formations analogues...) permettent :
  - ✓ de consolider les caractéristiques favorables de la formation hôte qui est le composant naturel du système de stockage ;
  - ✓ d'évaluer l'évolution à long terme de la formation, notamment l'effet des éventuelles perturbations apportées par l'installation de stockage (ouvrages et colis de stockage) et l'effet des évolutions géodynamiques externe (climat) et interne (tectonique), en particulier sur l'érosion depuis la surface et les écoulements d'eau en profondeur ;

- ✓ de consolider la représentation d'ensemble et cohérente du milieu géologique, notamment sur les plans sédimentologique, structural, hydrogéologique, géomécanique, géochimique et thermique, donnant une reconstitution de son histoire géologique passée jusqu'à l'état actuel et son évolution.

- certaines données du socle répondent à des besoins spécifiques pour la sûreté après-fermeture (l'évolution géodynamique par exemple…) ou pour la sûreté en exploitation (activités industrielles en surface, données météos…) (cf. Volume 4 du présent rapport).

1.1.2.3 Le socle de connaissance du comportement phénoménologique du système de stockage après sa fermeture

Le socle de connaissance du comportement phénoménologique du système de stockage après sa fermeture (cf. Volume 7 du présent rapport) est une donnée nécessaire à la démonstration de sûreté long terme après fermeture :

- pour maitriser la sûreté après-fermeture, la connaissance du comportement du système de stockage avec le temps repose sur la connaissance des différents phénomènes physico-chimiques et du comportement des divers composants ouvragés et naturels, ce qui nécessite de prendre en considération la spécificité des grandes échelles de temps ;
- comprendre l'évolution du stockage, c'est appréhender le fonctionnement d'un système qui fait intervenir différents phénomènes physiques, différents composants et nécessite de prendre en considération la spécificité des grandes échelles de temps (le million d'années par convention) en rapport avec la décroissance de la radioactivité des déchets à vie longue concernés et des échelles d'espace multiples (depuis le composant de dimension centimétrique jusqu'à la géosphère qui constitue l'environnement du stockage et ceci en rapport avec l'espace occupé par le stockage) ;
- la description de l'évolution phénoménologique du stockage repose sur le meilleur état des connaissances scientifiques et technologiques pour l'ensemble des domaines concernés ci-avant ; elle s'appuie :
  - ✓ sur les travaux de reconnaissance et de caractérisation de site ;
  - ✓ des simulations numériques et des analogues naturels ;
  - ✓ des travaux similaires conduits par les homologues de l'Andra et, de manière plus générale, les connaissances acquises au travers de problématiques autres que celles du stockage qui viennent enrichir l'analyse de l'Andra ;
- la description de l'histoire phénoménologique, étant donné les échelles de temps concernées, ne prétend pas constituer une prédiction. C'est pourquoi l'analyse du comportement phénoménologique s'attache à dessiner avec prudence et avec les nuances nécessaires le fonctionnement sous forme d'un domaine des possibles pour préciser les variations envisageables au regard notamment des incertitudes résiduelles et de les intégrer dans l'analyse de risques et incertitudes de la démonstration de sûreté après fermeture.

Toute évolution de la connaissance des données d'entrée de la démonstration de sûreté est prise en compte par le management de la protection des intérêts (cf. Chapitre 2 du volume 6 du présent rapport). L'impact sur la sûreté après fermeture et en exploitation est automatiquement analysé.

1.1.3 Une conception répondant aux exigences de sûreté après-fermeture et d'exploitation

La conception de l'INB est guidée par :

- le principe de défense en profondeur appliqué à tout INB donc à la phase exploitation et adapté à la phase après fermeture ;

- la mise en œuvre de solutions technologiques répondant à des principes directeurs de conception, des fonctions de sûreté après fermeture et en exploitation, et des exigences associées, en tenant compte des deux grandes données d'entrées que sont les colis à stocker et les caractéristiques du site d'implantation.

La recherche des solutions technologiques vise les objectifs suivants :

- les choix de conception sont guidés par les risques liés à la présence de colis de déchets radioactifs et à leur manutention. En effet, les colis de déchets confinent la radioactivité et sont les éléments importants pour la sûreté à protéger. Les opérations de manutention visent donc à manipuler les colis dans des conditions les protégeant des risques d'agressions. Les installations et les ouvrages souterrains dans lesquels transitent les colis puis sont stockés visent la recherche de conditions d'ambiance favorables ;
- les choix de conception sont également guidés par les risques de relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques hors des colis de déchets radioactifs et leur migration éventuelle vers la surface sous forme de solutés. Le système de stockage après fermeture repose particulièrement sur la formation hôte et les ouvrages de fermeture des liaisons surface-fond, qui assurent des fonctions de sûreté complémentaires. La conception cherche à concevoir des ouvrages souterrains et des scellements qui tirent parti des propriétés de la formation et à préserver ses caractéristiques favorables, en limitant les perturbations apportées par les colis, notamment par leur caractère radioactif et leur caractère thermique pour les colis les plus exothermiques et par les composants ouvragés laissés en place dans les ouvrages souterrains au moment de leur fermeture ;
- les solutions technologiques standards et éprouvées pour les équipements de manutention sont privilégiées et s'appuient sur le retour d'expérience d'essais technologiques, d'autres installations nucléaires ou d'installations industrielles ;
- l'opportunité de retenir des dispositions pour la conception du système de stockage après fermeture doit être confirmée sur la base de l'analyse de leur compatibilité avec une exploitation sûre de l'installation et avec le respect des conditions de réversibilité (cf. Guide de sûreté n°1 de l'ASN).

De manière opérationnelle, la conception de l'installation souterraine répond à des exigences qui résultent de la déclinaison pratique des fonctions de sûreté en exploitation et après fermeture. La compatibilité des exigences propres aux deux phases est, par ailleurs, vérifiée par les concepteurs. La satisfaction des fonctions de sûreté et des exigences par la conception retenue est vérifiée à chaque boucle d'itération et toute évolution de conception ou de solution technologique sera ainsi analysée au regard du respect des exigences de sûreté après fermeture et d'exploitation dans le cadre du processus de gestion des modifications (cf. Chapitre 2 du volume 6 du présent rapport).

1.2 Démarche spécifique de sûreté après-fermeture

1.2.1 Les objectifs et principes guidant la sûreté après fermeture

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 vis-à-vis des risques liés à la dissémination de radionucléides et de substances toxiques chimiques (cf. Guide de sûreté n° 1 de l'ASN de 2008 (1) et standards de sûreté de l'AIEA, en particulier le SSR-5 (8)).

1.2.2 Un principe de défense en profondeur adapté à la phase après fermeture

L'application du principe de défense en profondeur tel que mentionné dans l'arrêté du 7 février 2012 (5) est adaptée à la spécificité du stockage en formation géologique profonde. En effet, conformément à l'article 8.5.1 de ce même arrêté, la protection des intérêts doit être assurée de façon passive vis-à-vis des risques présentés par les substances radioactives ou toxiques chimiques contenues dans les déchets radioactifs après le passage en phase de surveillance. Selon cet article « cette protection ne doit pas nécessiter d'intervention au-delà d'une période de surveillance limitée, déterminée en fonction des déchets radioactifs stockés et du type de stockage » c'est-à-dire sans intervention humaine au-delà d'une période de surveillance limitée.

La transposition du principe de défense en profondeur se traduit par :

- l'attribution aux composants naturels et ouvragés du système de stockage de fonctions de sûreté complémentaires. Le site et en particulier la roche hôte sont choisis pour leurs caractéristiques favorables ; la conception des composants ouvragés vise la préservation des caractéristiques de la roche hôte ;
- la mise en place d'activités de surveillance dès la construction du stockage, puis pendant l'exploitation nucléaire pour le suivi des composants naturels et ouvragés assurant des fonctions de sûreté après fermeture ;
- des scénarios définis et évalués pour vérifier la performance et tester la robustesse du système de stockage dans son ensemble et l'apport de chaque composant :
  - ✓ un scénario d'évolution normale (toutes les fonctions de sûreté sont réalisées),
  - ✓ des scénarios de dysfonctionnement (défaillance de composants, situations hypothétiques postulées).

1.2.3 La logique de déroulement de la démarche pour la sûreté après fermeture

1.2.3.1 L'application d'une démarche qui se réfère à des textes nationaux et internationaux relatifs à la sûreté

La démarche de sûreté après-fermeture s'appuie sur le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1). Ce guide émet un certain nombre de recommandations pour l'évaluation de la sûreté après fermeture, en particulier de vérifier que les fonctions de sûreté associées au système de stockage sont assurées et que les objectifs de protection sont respectés. La déclinaison de cette démarche est détaillée dans le chapitre 1 du volume 8 du présent rapport.

La démarche de sûreté après fermeture s'appuie également sur les pratiques internationales. La participation de l'Andra à des exercices internationaux depuis les années 1990 a permis non seulement de se comparer régulièrement à ses homologues mais également d'asseoir sa démarche d'évaluation de sûreté après fermeture et de s'assurer que sa mise en œuvre est cohérente avec les bonnes pratiques et référentiels internationaux.

En cohérence avec les objectifs et principes définis, l'Andra a structuré sa démarche d'évaluation de sûreté après fermeture sur une approche itérative et multidisciplinaire entre la conception (incluant la définition des fonctions de sûreté et exigences associées), les connaissances scientifiques et technologiques, et les études et évaluations de sûreté.

En cohérence avec le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1), la démarche d'évaluation de la sûreté après-fermeture conduit à :

- évaluer les risques sanitaires associés aux quelques radionucléides et substances toxiques chimiques présents dans les déchets qui seraient susceptibles de migrer jusqu'aux exutoires où de l'eau potentiellement contaminée est susceptible d'être utilisée par l'homme et examiner la conformité aux objectifs définis dans les textes en vigueur ;
- vérifier le caractère favorable, pour la sûreté après fermeture, des performances des composants du système de stockage participant aux fonctions de sûreté pris isolément (colis, composants ouvragés) puis dans leur ensemble ;
- vérifier la robustesse du système de stockage en cas de dysfonctionnement d'un ou plusieurs composants participant à la réalisation des fonctions de sûreté (composants naturels ou composants ouvragés).

C'est par le développement de scénarios, leur quantification et les enseignements que l'on peut en tirer que sont vérifiés ces objectifs. Pour ce faire, la démarche d'évaluation de sûreté s'organise en plusieurs étapes (cf. Figure 1-2) :

- l'identification et la définition de scénarios à quantifier pour les évaluations de sûreté après fermeture :
  - ✓ c'est par une analyse qualitative des risques et incertitudes que sont identifiés et définis les scénarios de sûreté après fermeture ;
  - ✓ à l'issue de cette analyse une liste de scénarios est proposée pour réaliser les évaluations quantitatives. Elle comprend un scénario d'évolution normale et des scénarios de dysfonctionnement (défaillance de composants, situations hypothétiques postulées) ;
  - ✓ sur la base de cette analyse et du socle de connaissances, chacun des scénarios retenus est ensuite décrit et défini par un choix d'hypothèses, de modèles et valeurs de paramètres.
- l'évaluation quantitative des scénarios précédemment identifiés :
  - ✓ sur la base de la description du scénario, une première étape dite de conceptualisation est menée pour représenter les échelles d'espaces, les différents compartiments (ouvrages souterrains, couche du Callovo-Oxfordien et son environnement) ;
  - ✓ l'évaluation quantitative se fonde sur l'utilisation d'outils numériques capables de modéliser et de quantifier le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques par les colis, leur migration dans les ouvrages souterrains, dans la couche du Callovo-Oxfordien puis dans les formations encaissantes de la couche du Callovo-Oxfordien jusqu'aux exutoires ;
  - ✓ plusieurs indicateurs sont évalués et des études de sensibilité sont réalisées ;
  - ✓ enfin une évaluation de l'impact sanitaire sur l'homme est réalisée.
- l'analyse des résultats et la détermination des enseignements au regard des objectifs de protection des intérêts à long terme et au regard des performances du système de stockage et de sa robustesse :
  - ✓ cette analyse permet de porter un jugement sur les fonctions de sûreté du stockage, sur la performance, sur la robustesse d'ensemble du système de stockage et sur la protection de l'homme et de l'environnement à long terme.

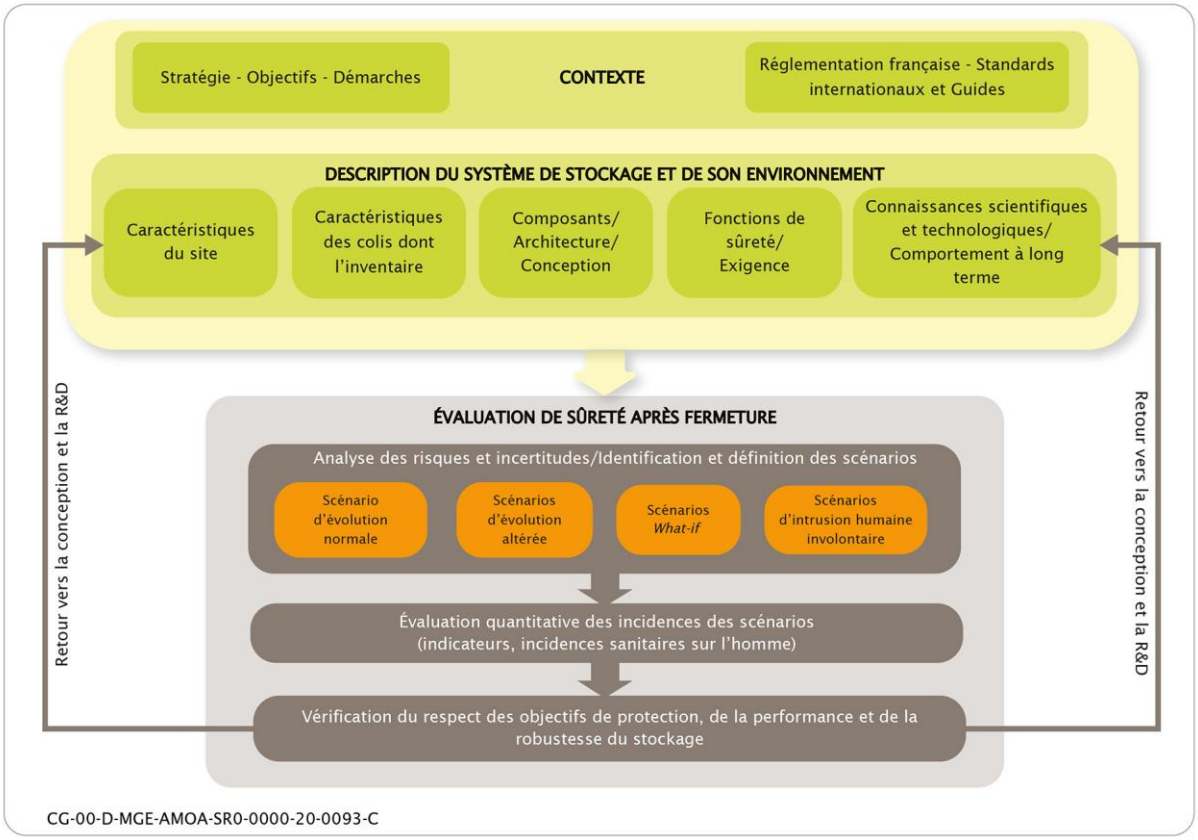


Figure 1-2 *Illustration schématique des étapes de la démarche d'évaluation de sûreté après fermeture*

1.2.3.2 Les scénarios après-fermeture

Les scénarios de sûreté après fermeture sont définis pour représenter la manière dont les radionucléides et substances toxiques chimiques contenus dans les déchets sont susceptibles d'atteindre la biosphère.

Leur définition constitue la base fondamentale pour les évaluations quantitatives de la performance des dispositions mises en place vis-à-vis de la protection de l'homme et de l'environnement.

La nomenclature et la catégorisation des scénarios après-fermeture, retenues par l'Andra, correspondent aux quatre classes de scénarios génériques ressortant d'une part des préconisations du guide de sûreté n° 1 de l'ASN de 2008 (1) et d'autre part du partage à l'international lors du *workshop* scénario de 2015 (9). Ces classes de scénarios sont :

- **un scénario d'évolution normale (SEN)** qui vise à représenter le système de stockage tel qu'envisagé par le concepteur en considérant que toutes les fonctions de sûreté après fermeture sont réalisées. Ce scénario est défini sur la base des connaissances scientifiques et technologiques pour représenter l'évolution attendue (ou normale) sur le long terme du système de stockage en considérant des événements et processus « certains ou très probables » en cohérence avec les recommandations du guide de sûreté n° 1 de l'ASN de 2008 (1) ;
- **des scénarios d'évolution altérée (SEA)** représentatifs d'événements ou processus jugés peu vraisemblables sur la base des connaissances scientifiques et technologiques mais susceptibles d'entraîner la perte d'une fonction de sûreté ou une forte dégradation des performances des composants qui contribuent à sa réalisation. Se rangent dans cette catégorie, les scénarios de dysfonctionnement des composants contribuant aux fonctions de sûreté après fermeture identifiés par l'analyse des risques et incertitudes ;

- **des scénarios qualifiés de « *what-if* »**[2] qui reposent sur des événements et processus identifiés qualitativement très peu vraisemblables sur la base des connaissances acquises. Se rangent dans cette catégorie tous les scénarios de dysfonctionnement de composants ayant pour origine un ou plusieurs événements **« postulés »** afin d'induire la perte d'une fonction de sûreté et d'évaluer son incidence ;
- **des scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI)**. Ils constituent une classe de scénarios spécifiques, ce qui est cohérent avec les échanges conduits sur le plan international dans le cadre du projet AIEA HIDRA[3]. Dans la zone d'implantation du stockage, se rangent dans cette catégorie les intrusions humaines involontaires qui se produisent par méconnaissance de son existence (le guide de sûreté n° 1 de l'ASN de 2008 fixe la date d'oubli de l'existence du stockage à 500 ans (1)).

1.2.3.3 L'apport de l'analyse des risques et incertitudes à l'identification et la définition des scénarios

En tirant parti de la connaissance scientifique et technologique acquise, l'analyse qualitative des risques et incertitudes (ARI) recense et évalue ces risques et incertitudes de manière systématique, composant par composant, au regard de leurs fonctions de sûreté, et propose des modalités pour leur gestion.

Tel qu'illustré en figure 1-3, et détaillé dans le chapitre 1 du volume 8 du présent rapport, l'analyse des risques et incertitudes après fermeture consiste :

- à identifier si les risques et les incertitudes résiduelles de connaissance sont susceptibles d'affecter ou non la réalisation d'une ou plusieurs fonction(s) de sûreté définie(s) pour la phase long terme après-fermeture ;
- à proposer des modalités de gestion de ces risques et incertitudes :
  - ✓ soit dans le cadre de l'approche itérative entre conception, connaissances et sûreté. Il s'agit alors, lorsque c'est possible, de retenir des dispositions de conception du stockage qui rendent le système peu sensible à ces risques et/ou incertitudes ;
  - ✓ soit, lorsqu'aucune disposition de conception ne permet de pallier ces risques et incertitudes, par leur prise en compte dans des scénarios appropriés d'étude de l'évolution du système de stockage à travers des choix d'hypothèses (représentation, modèles, données). Une appréciation argumentée des causes de dysfonctionnement identifiées conduit à la classification en scénario d'évolution altérée ou *what-if* (cf. Chapitre 1 du volume 8 du présent rapport).

En tirant parti des connaissances scientifiques et technologiques, et du panorama des incertitudes résiduelles de connaissance et des risques, l'analyse conduit à l'identification et la définition des scénarios pour lesquels les incidences sont évaluées quantitativement.

---

[2] Dans le document AIEA SSG-23 (10) relatif au « *safety case and safety assessment for the disposal of radioactive waste* », il est mentionné dans la recommandation R 5-39 que les « *Scenarios are often not designed with the aim of illustrating the possible evolution of the disposal system and its surroundings, but rather in order to illustrate the properties of one or more of the natural or engineered barriers. For that purpose, it can be instructive to assign parameter values or other properties to the remaining parts of the barrier system such that the barrier under consideration is influenced in an exaggerated way. The aim is then to show conclusively that such exaggerated conditions do not hold true or that they can be avoided by design. By assuming such extreme conditions, the robustness of the various natural and engineered barriers can be more clearly exhibited. Scenarios of this sort are often called '**what if**' scenarios to distinguish them from realistic scenarios* ».

[3] HIDRA : *inadvertent Human Intrusion in the context of Disposal of Radioactive Waste*. Programme auquel l'Andra a participé.

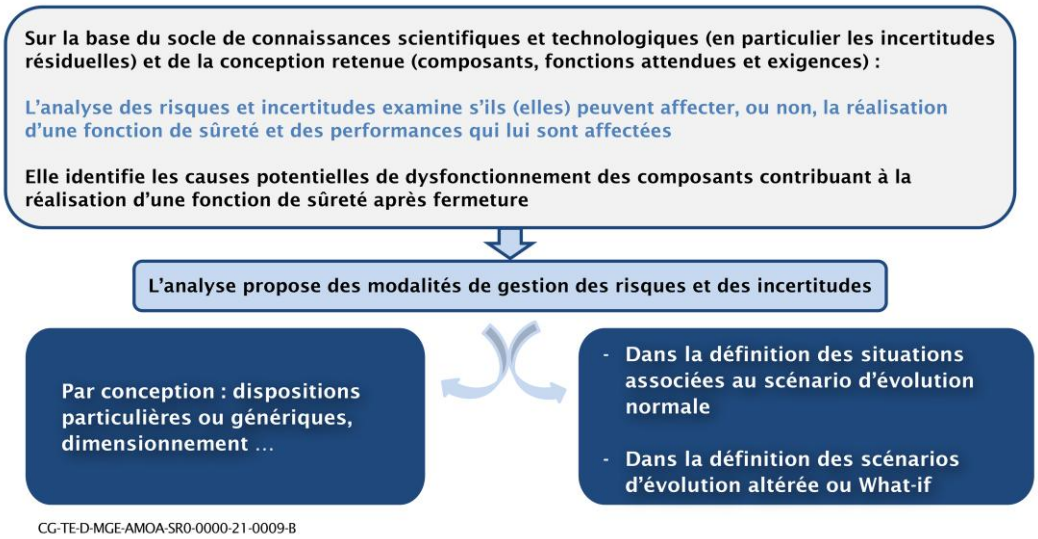


Figure 1-3 *Illustration schématique du déroulement de l'analyse des risques et incertitudes après fermeture*

La notion de risque est liée à l'occurrence d'un évènement externe (type séisme) ou d'un processus interne (par exemple type perturbation thermique, hydraulique, mécanique, chimique...) au sens d'événements du guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1) pour définir les situations à étudier.

La notion d'incertitude est associée à l'état de la connaissance des caractéristiques intrinsèques du système de stockage une fois fermé (la couche du Callovo-Oxfordien, les déchets, les composants ouvragés, les radionucléides et les substances toxiques chimiques), de son environnement (formations géologiques sus et sous-jacentes et biosphère) et de leurs évolutions après fermeture et à long terme.

1.2.4 Les objectifs de protection

1.2.4.1 Les objectifs de radioprotection

Conformément au guide de sûreté n° 1 de l'ASN de 2008 (1), l'Andra :

- retient, pour le scénario d'évolution normale, la valeur de contrainte de dose de 0,25 $mSv.an^{-1}$ jusqu'à 10 000 ans après la fermeture définitive de l'installation du centre de stockage Cigéo. Au-delà de cette période, cette même valeur est conservée en tant que valeur de référence ;
- vérifie pour les scénarios d'évolution altérée, que les conséquences restent à un niveau très inférieur aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes ;
- vérifie pour les scénarios *what-if* et les scénarios d'intrusion humaine involontaire, que les conséquences restent à un niveau inférieur aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes[4].

1.2.4.2 Les objectifs pour les substances toxiques chimiques

Vis-à-vis des risques non radiologiques, pour la période long-terme après-fermeture, ce sont les incidences liées aux substances toxiques chimiques contenues dans les colis de déchets en tant qu'accompagnants qui sont évaluées en réponse aux recommandations du guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1).

[4] L'Andra retient la valeur de 100 $mSv.an^{-1}$

L'Andra propose une approche incrémentale qui se décline en plusieurs étapes visant à étudier des indicateurs qui permettent d'évaluer les inconvénients apportés par les substances toxiques chimiques présentes dans les déchets.

L'approche conduit, sur la base d'un inventaire en substances toxiques chimiques présents dans les déchets, à évaluer le risque potentiel en comparant les concentrations en substances toxiques chimiques obtenues aux exutoires dans les différents compartiments « eau », « sol » et « air » aux valeurs de gestion NQE (Normes réglementaires de qualité environnementale) en vigueur[5].

Le cas échéant, si les NQE ne sont pas respectées, l'approche conduit à mener des évaluations quantitatives des risques sanitaires (EQRS) c'est-à-dire à quantifier le niveau du risque au travers des indicateurs « Quotient de dangers » et « Excès de risque individuel » selon une démarche similaire à celle proposée par l'Inéris. Ces évaluations sont réalisées pour le scénario d'évaluation normale et les scénarios d'évaluation altérée après-fermeture.

1.2.5 Les enseignements tirés des évaluations quantitatives des scénarios

En cohérence avec le guide de sûreté n° 1 de l'ASN, l'analyse des évaluations quantitatives des scénarios et des études de sensibilité permet de dégager divers enseignements vis-à-vis de la vérification de la performance des composants, des objectifs de protection, de la robustesse du système de stockage dans son ensemble, et du poids des composants, phénomènes ou processus.

1.2.5.1 La vérification des performances

Un ensemble d'indicateurs est retenu pour vérifier le caractère favorable, pour la sûreté après fermeture, des performances des composants naturels et ouvragés du système de stockage contribuant à la réalisation des fonctions de sûreté (cf. Volume 8 du présent rapport, pour le détail des indicateurs retenus).

Ces indicateurs permettent une appréciation de l'atténuation et du retard offert par chaque composant contribuant à la réalisation des fonctions de sûreté. Les résultats des évaluations peuvent ainsi être utilisés pour analyser l'incidence des choix de sûreté structurant la définition des scénarios, en particulier en fonction de leur conservatisme. Ces indicateurs s'appliquent à tous les scénarios, ce qui permet d'apprécier la robustesse du système de stockage et du poids de certains composants.

1.2.5.2 La vérification des objectifs de protection

La vérification des objectifs de protection passe par l'évaluation quantitative des potentielles incidences sanitaires des populations hypothétiques localisées aux exutoires retenus à la suite d'un éventuel transfert de quelques radionucléides (mobiles à vie longue) et substances toxiques chimiques vers la biosphère.

En cohérence d'une part avec le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1) et d'autre part les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (respectivement les CIPR 103 de 2009 et 122 de 2013 (13, 14)), cette évaluation n'est pas une prédiction des effets mais représente une indication de la protection offerte par le stockage de déchets nucléaires en formation géologique profonde.

Pour conduire ces évaluations, l'Andra a développé une démarche de description de la/des biosphère(s). Celle-ci est détaillée au volume 8 du présent rapport.

[5] Des indicateurs spécifiques à cette phase de caractérisation du risque de pollution, basés sur des normes de qualité environnementales (NQE), sont utilisés (arrêté du 11 janvier 2007 modifié par arrêté du 30 décembre 2022 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique (11)). En cas de dépassement de ces indicateurs, l'impact toxicologique à l'homme est quantifié par la mise en œuvre d'une évaluation dédiée des risques sanitaires selon les recommandations du guide Ineris de 2013 (12).

1.3 Démarche spécifique de sûreté d'exploitation

1.3.1 Les objectifs et principes guidant la sûreté d'exploitation

Les objectifs de la démonstration de la sûreté nucléaire en exploitation tels que définis dans la réglementation visent à :

- justifier de la maîtrise des risques en maintenant le couple conséquences et vraisemblance d'occurrence des situations d'incident et d'accident dans un domaine acceptable par la mise en place de mesures de protection ;
- justifier l'optimisation de la radioprotection par la mise en place de mesures pour assurer un risque aussi bas que raisonnablement possible même si l'on est déjà dans le domaine acceptable.

Dans cet objectif, la démonstration de sûreté doit permettre d'apprécier le niveau de protection des intérêts et, pour ce faire, doit :

- être fondée sur l'application du principe de défense en profondeur tel que défini par l'article 3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 (5) et présenter à cet égard la manière dont sont assurées les fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire ;
- évaluer les mesures de maîtrise des risques dans le cadre d'une démarche prudente et en intégrant des marges ;
- identifier les améliorations possibles (dans des conditions économiques acceptables).

1.3.2 Le principe de défense en profondeur défini par la réglementation

Les mesures de protection mises en place par l'exploitant pour maîtriser les risques de son installation doivent s'inscrire dans la déclinaison du principe de la défense en profondeur, tel que précisé à l'article 3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 (5) « *consistant en la mise en œuvre de niveaux de défense successifs et suffisamment indépendants* » et « *visant à* :

- *prévenir les incidents ;*
- *détecter les incidents et mettre en œuvre les actions permettant, d'une part, d'empêcher que ceux-ci ne conduisent à un accident et, d'autre part, de rétablir une situation de fonctionnement normal ou, à défaut, d'atteindre puis de maintenir l'installation dans un état sûr ;*
- *maîtriser les accidents n'ayant pu être évités ou, à défaut, limiter leur aggravation, en reprenant la maîtrise de l'installation afin de la ramener et de la maintenir dans un état sûr ;*
- *gérer les situations d'accident n'ayant pas pu être maîtrisées de façon à limiter les conséquences notamment pour les personnes et l'environnement*. ».

En conséquence, les mesures de protection sont organisées autour de ces quatre niveaux de défense en profondeur pour l'INB Cigéo et sont mises en œuvre dès la conception dans le but de minimiser les risques pour les populations, les travailleurs ou l'environnement dans l'objectif de garantir un niveau de sûreté conforme aux objectifs de protection fixés.

Le principe de défense en profondeur consiste à interposer entre la source de danger (ex : les substances radioactives ou substances toxiques chimiques) 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 sont proportionnées à l'importance des risques ou inconvénients présentés par l'installation (cf. Article 1.1 de l'arrêté du 7 février 2012 (5)).

Ce principe de défense en profondeur prend donc en compte l'éventualité de défaillances techniques, organisationnelles et humaines ainsi que la mise en place de lignes de défense graduées à l'égard des agressions internes et externes à l'installation pour y faire face et en limiter les conséquences. Conformément à l'arrêté INB du 7 février 2012 (5), en déclinaison pour l'INB Cigéo, 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 intégrant des marges de dimensionnement et recourant, en tant que de besoin à une redondance, une diversification et une séparation physique ou géographique adéquate 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 ;
- l'identification des paramètres à surveiller et les dispositions pour revenir au fonctionnement normal ;
- une préparation à la gestion d'éventuelles situations accidentelles.

1.3.3 La logique de déroulement de la démarche de sûreté d'exploitation

La démarche de sûreté en exploitation est itérative et doit aussi prendre en compte la conception évolutive de l'INB en lien avec son développement progressif, en particulier les évolutions ultérieures.

La logique retenue est la mise en œuvre dès la conception initiale d'un processus et d'une démarche de sûreté qui prennent en compte les spécificités suivantes :

- l'installation souterraine située à environ 500 mètres de profondeur qui impose des conditions d'exploitation, d'intervention et d'évacuation particulières ;
- l'exploitation sur une durée d'ordre séculaire avec un déploiement incrémental du stockage, par tranches successives, qui implique notamment la prise en compte du risque lié à la coactivité de travaux souterrains et d'exploitation nucléaire ;
- l'approche coordonnée entre la sûreté en exploitation et à long terme après fermeture qui permet d'intégrer les évolutions de conception tout en garantissant la protection de l'homme et l'environnement à long terme.

L'objectif est de vérifier que les dispositions de maîtrise des risques, retenues dans le cadre de la défense en profondeur, sont suffisantes pour prévenir et détecter les aléas internes et externes, et protéger les personnes, l'environnement et les installations des conséquences potentielles d'incidents/accidents.

En tant que concepteur et exploitant d'installations nucléaires de base (INB), l'Andra vise à démontrer que les dispositions techniques et les mesures humaines et organisationnelles mises en œuvre dans ses installations garantissent la protection des intérêts, c'est-à-dire la sécurité, la santé et la salubrité publiques ainsi que la protection de la nature et de l'environnement.

Ces dispositions permettent de prévenir les accidents et d'en limiter les conséquences pour toutes les situations et les phases de vie de l'installation (construction, exploitation, surveillance et fermeture).

Les principes, la méthodologie et les règles d'études mises en œuvre s'appuient principalement sur :

- le référentiel réglementaire : la réglementation applicable est issue de dispositions législatives codifiées, de décrets, d'arrêtés ministériels et de décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire ;
- le référentiel non réglementaire : la plupart des règles fondamentales de sûreté (RFS) et des guides relatifs aux INB sont établis pour des installations nucléaires de surface. Certains référentiels ne sont donc pas applicables au contexte souterrain du centre de stockage.

La démonstration de sûreté est réalisée selon une démarche déterministe et repose sur une analyse de risques puis sur une analyse par situations de fonctionnement. Afin de juger de l'acceptabilité de chaque situation de fonctionnement, les évaluations de conséquences sont confrontées aux objectifs de protection liés aux risques radiologiques et non radiologiques.

1.3.3.1 L'application d'une démarche déterministe

L'analyse de sûreté est réalisée selon une démarche déterministe et repose sur une analyse de risques et une analyse par situations de fonctionnement. L'objectif est d'identifier les différentes situations auxquelles l'installation peut être confrontée, de les regrouper selon leur vraisemblance, et de vérifier que les moyens techniques et organisationnels qui en garantissent la maîtrise sont correctement dimensionnés.

Ces situations couvrent le fonctionnement normal et dégradé, les situations incidentelles et accidentelles de dimensionnement ainsi que des situations accidentelles plus complexes (situations d'extension du dimensionnement) pouvant être la résultante de plusieurs événements cumulés ou d'évènements climatiques extrêmes. Chaque situation est assortie de critères d'acceptation tenant compte de l'exigence selon laquelle les événements fréquents ne doivent avoir que des conséquences radiologiques mineures ou nulles et que les événements susceptibles d'entraîner de graves conséquences doivent avoir une probabilité très faible.

Chaque niveau de défense en profondeur peut être soumis à des sollicitations. Ainsi des mesures sont prévues à la conception afin que les fonctions de sûreté requises soient remplies et que les objectifs de protection puissent être atteints.

Ces sollicitations sont associées à des événements postulés et sélectionnés sur la base de méthodes déterministes. Les événements peuvent également être des agressions internes (telles que l'incendie) ou des agressions externes (séismes, conditions météorologiques).

La démonstration de sûreté consiste à identifier parmi ces situations des scénarios dits « enveloppes » de chacune des situations de fonctionnement (normales et dégradées, incidentelles et accidentelles du domaine de dimensionnement, accidentelles du domaine d'extension du dimensionnement) afin d'évaluer leur impact potentiel sur les personnes et l'environnement et de vérifier le respect des objectifs de protection.

Le présent rapport traite des risques radiologiques et non radiologiques. Pour les risques radiologiques, il est étudié l'impact sur le public et les travailleurs en fonctionnement normal et en situations accidentelles de dimensionnement et d'extension du dimensionnement. Pour les situations accidentelles plus complexes relevant de l'évaluation complémentaire de la sûreté (ECS), l'impact est évalué uniquement pour le public[6]. Pour les risques non radiologiques, l'impact est évalué au niveau du public et du travailleur pour les situations accidentelles de dimensionnement et d'extension du dimensionnement.

Les inconvénients liés à l'exploitation de l'INB sont présentés dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (15).

[6] Les impacts pour les accidents de cette ampleur sont principalement hors de l'INB

1.3.3.2 La place des analyses probabilistes

Comme indiqué précédemment, la démonstration de la sûreté en exploitation des centres de stockage de déchets radioactifs repose pour l'essentiel sur une approche déterministe fondée sur le concept de défense en profondeur, c'est-à-dire que les dispositions de conception retenues sont justifiées par l'étude d'accidents de dimensionnement et par l'application de règles et critères qui incluent des marges et des conservatismes.

Ces dispositions sont renforcées ou complétées en tant que de besoin vis-à-vis d'accidents plus rares mais plus sévères (cumuls complexes de défaillances, agressions extrêmes) dits « accidents d'extension du dimensionnement », intégrant les événements des études complémentaires de sûreté (ECS).

Les analyses probabilistes sur les centres de stockage de déchets radioactifs portent notamment sur l'évaluation de certaines agressions externes, conformément aux règles fondamentales de sûreté de l'ASN (chute d'aéronef, environnement industriel et voies de communication). Pour ce qui concerne certaines agressions, les analyses peuvent être basées sur l'exploitation statistique des données disponibles et conformément à l'état de l'art des connaissances. Certains choix de solutions techniques de conception peuvent être orientés sur la base d'analyses probabilistes, notamment pour cibler un niveau de fiabilité.

De manière générale, les études probabilistes constituent un outil permettant d'évaluer un niveau global de sûreté d'une installation aussi réaliste que possible, avec une mise en valeur du retour d'expérience d'exploitation. La réalisation de telles études pour les centres de stockage de déchets radioactifs, dont la conception est spécifique aux types de déchets stockés et qui présente un caractère souvent unique, n'est pas pertinente.

Pour les centres de stockage de déchets radioactifs, une évaluation réaliste n'est pas toujours possible. Les analyses sont fortement dépendantes du niveau de connaissance et limitées par ce dernier. Elles présentent vite des limites vis-à-vis des incertitudes, notamment liées aux données et aux hypothèses, qui sont toujours associées aux probabilités manipulées. La prise en compte d'hypothèses conservatives dans les études probabilistes biaise les résultats obtenus et une évaluation non réaliste ne permet pas de satisfaire les objectifs associés à une telle approche (i) d'évaluer un niveau global de sûreté d'une installation et (ii) de hiérarchiser les enjeux de sûreté, de manière réaliste en complément de l'analyse déterministe.

Des analyses probabilistes et/ou statistiques ne sont ainsi réalisées que sur des thématiques particulières, comme, par exemple sur des aléas d'origine externe.

1.3.4 Les objectifs de protection en exploitation

1.3.4.1 Les objectifs de radioprotection

Les objectifs de radioprotection sont fixés en fonction du risque de dissémination des substances radioactives et du risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

L'Andra s'appuie sur les recommandations édictées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Le principe d'optimisation sous contrainte de dose, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux (ALARA), s'applique à la protection des travailleurs et du public vis-à-vis des rayonnements ionisants pendant l'exploitation de l'INB 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. 1333-11).

Il est considéré trois types de population :

- **les travailleurs classés** : il s'agit des personnes exerçant une activité en zone délimitée (du point de vue de la radioprotection) ;
- **le public**: il s'agit des personnes susceptibles d'être présentes à proximité de l'INB lors d'un éventuel évènement survenant sur l'INB ;

- **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 ladite source[7].

Les objectifs de protection vis-à-vis des risques radiologiques en situations normales et en mode dégradé, ainsi que ceux retenus pour les situations incidentelles et accidentelles sont présentés dans le tableau 1-1.

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

	Personnel classé en zone délimitée[8]	Public-groupe de référence « habitants »
Situations normales et en mode dégradé	Dose[9] inférieure à 5 mSv/an avec l'objectif d'optimiser à moins de 2 mSv/an pour l'essentiel des postes de travail ALARA	Dose[9] inférieure ou égale à 0,25 mSv/an Absence de rejets non concertés Rejets concertés suivant autorisations de rejets
Dimensionnement		
Situations incidentelles de dimensionnement	Dose[9] inférieure à 10 mSv/incident ALARA	**Court terme (24 h)** * : Dose[9] inférieure ou égale à 0,1 mSv **Moyen terme (1 an)** ** : Dose[9] inférieure ou égale à 0,25 mSv
Situations accidentelles de dimensionnement	Dose[9] inférieure à 20 mSv/accident ALARA	**Court terme (24 h)** * : Dose[9] de l'ordre du mSv **Moyen terme (1 an)** ** : Dose[9] inférieure à 1 mSv **Long terme (durée vie entière)** ***: Dose[9] inférieure à 10 mSv
Extension du dimensionnement		
Situations accidentelles d'extension du dimensionnement	ALARA	**Court terme (24 h)** * : Dose[9] inférieure à 10 mSv

** La dose efficace est calculée sur la base des expositions externes (dues au panache et au dépôt) et par inhalation (uniquement due au panache).*

*** La dose efficace est calculée sur la base des expositions (exposition externe et ingestion) uniquement dues aux dépôts, pendant une durée d'exposition de 1 an (déduction faite de la phase court terme).*

**** La dose efficace est calculée sur la base des expositions (exposition externe et ingestion) uniquement dues aux dépôts (déduction faite de la phase moyen terme) pour une durée de vie entière (50 ans pour l'adulte et 70 ans pour les enfants).*

Pour des cas de situations accidentelles qui engendreraient des rejets continus sur une longue durée (1 an), l'Andra retient la valeur de 10 mSv.

En cohérence avec à l'article 3.7.I de l'arrêté du 7 février 2012 (5) stipulant « *en cas de rejet de substances radioactives le justifiant, l'estimation inclut les doses équivalentes à la thyroïde* », aucun objectif de protection n'est considéré et aucune estimation de doses équivalentes à la thyroïde n'est réalisée.

7 Cf. Annexe 13-7 du code de la santé publique
8 Zones délimitées au titre de l'article R. 4451-24 : l'employeur délimite, par des moyens adaptés, les zones surveillées, contrôlées ou radon qu'il a identifié et en limite l'accès.
9 Le terme dose correspond à la dose efficace corps entier

En effet, pour l'INB de stockage, les inventaires d'iodes radioactifs contenus dans les colis ne sont pas susceptibles, en situation accidentelle, d'être à l'origine d'émissions significatives d'iode radioactif et, en l'occurrence, conduisent à des doses équivalentes à la thyroïde très inférieures à la valeur seuil de 50 mSv définie par l'article D 1333-84 du code de la santé publique.

Concernant la contamination des denrées agricoles, en situation accidentelle, des calculs d'activités massiques sont réalisés sur les denrées alimentaires consommées par le groupe de référence (situé dans les villages avoisinants). Ces calculs sont réalisés à court terme (durée de 24 h) et concernent les végétaux et les produits d'origine animale (lait par exemple). Les activités massiques maximales sont alors comparées à celles indiquées dans le Règlement Euratom 2016/52 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique (16).

Les incidences sur la santé de l'homme s'apprécient en tenant compte de la catégorisation des situations identifiées, et du caractère chronique ou ponctuel des expositions. Cette appréciation prend également en compte le degré de conservatisme des hypothèses et données de l'évaluation et l'analyse des efforts sur la conception du stockage pour que les expositions individuelles soient aussi faibles que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

En ce qui concerne le gaz radon, l'Andra s'appuie sur les recommandations de la directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 (17) qui précise que pour les lieux publics et les lieux de travail la concentration moyenne annuelle en gaz radon doit être inférieure à 300 $Bq.m^{-3}$.

1.3.4.2 Les objectifs pour les risques 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 des seuils retenus pour l'homme par l'annexe II de l'arrêté du 29 septembre 2005 (18) :

- SEI (seuil des effets irréversibles) pour les effets toxiques. Les objectifs de protection retenus pour chaque toxique chimique concerné (exprimés en mg/m^3) sont présentés en Annexe 1 ;
- 50 mbar pour les effets de surpression ;
- 3 kW/m^2 pour les effets thermiques.

Les conséquences des phénomènes dangereux sur les fonctions de sûreté de l'installation sont prises en compte au titre de l'analyse des agressions internes.

1.4 Fonctions de sûreté et principes associés

1.4.1 Fonctions de sûreté pour le long terme

Selon le guide de sûreté n° 1 de l'ASN, « *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* ».

Afin de répondre à cet objectif fondamental l'Andra identifie et organise les fonctions de sûreté du système de stockage après fermeture selon les fonctions suivantes :

- « Isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines banales[10] » ;
- « Limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère ».

Ces fonctions de sûreté de haut niveau sont ensuite déclinées en fonctions de sûreté de niveaux inférieurs.

1.4.1.1 Déclinaison de la fonction « *Isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines banales* »

En cohérence avec le guide de sûreté n° 1 de l'ASN, le site et la profondeur d'implantation retenus préservent le stockage des phénomènes de surface, de l'érosion ainsi que des activités humaines banales qui n'affectent, à l'échelle de centaines de milliers d'années, qu'une épaisseur de terrain limitée et inférieure à 200 mètres. Par ailleurs, la mémoire du stockage est maintenue le plus longtemps possible, *a minima* 500 ans, ce qui permet de ne pas considérer l'éventualité d'une intrusion humaine involontaire avant cette date.

1.4.1.2 Déclinaison de la fonction « *Limiter le transfert jusqu'à la biosphère des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets* »

Cette fonction vise à retenir les radionucléides et les substances toxiques chimiques au plus près de la source et de maîtriser les voies de transfert qui peuvent conduire à long terme ces éléments jusqu'à la biosphère.

Cela conduit à organiser les fonctions de sûreté pour maîtriser la dégradation physico-chimique des colis de déchets et des autres composants ouvragés, puis maîtriser les transferts des radionucléides et des toxiques chimiques, à savoir :

- les transferts par la voie aqueuse, les substances étant susceptibles d'être mises en solution puis de cheminer jusqu'à la surface ;
- les transferts par la voie gazeuse, certaines substances pouvant migrer sous cette forme.

[10] On entend par activité humaine banale, les activités de terrassement de chantier routier ou de construction de résidence par exemple, activités qui restent très limitées en termes de profondeur.

Vis-à-vis des transferts par la voie aqueuse, il est à noter qu'à long terme après fermeture du stockage, l'eau est le principal facteur d'altération des colis de déchets et du relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques. L'eau est également le principal vecteur de transfert de ces substances. La maîtrise de la voie aqueuse constitue donc un objectif essentiel de la sûreté après la fermeture définitive de l'installation, c'est la raison pour laquelle elle se décline par les trois (sous)fonctions suivantes :

- « *s'opposer à la circulation d'eau* » ;
- « *limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques, et les immobiliser dans les alvéoles de stockage* » ;
- « *retarder et atténuer la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques qui auraient été relâchées hors des colis puis des alvéoles de stockage* ».

Ces trois (sous)fonctions de sûreté s'appuient en premier lieu sur les caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien. Si la formation du Callovo-Oxfordien joue un rôle central dans la sûreté sur le long terme, les colis et les composants ouvragés du stockage, plus particulièrement l'architecture de l'installation souterraine et les scellements, contribuent aussi à limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques vers la biosphère (cf. Tableau 1-2 du chapitre 1.4.1.3 du présent document).

La conception et les solutions technologiques visent à préserver les caractéristiques favorables de ces composants.

1.4.1.2.1 Déclinaison de la (sous)fonction « *s'opposer à la circulation d'eau* »

Cette fonction renvoie à la limitation des flux d'eau au sein du système de stockage. Pour traduire ces objectifs, la (sous)fonction « *s'opposer à la circulation de l'eau* » est elle-même déclinée en trois (sous)fonctions :

- *limiter les flux d'eau provenant des formations sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien (en période transitoire de resaturation).* Cette (sous)fonction vise à retarder une arrivée d'eau importante dans le stockage depuis les aquifères sus-jacents et jusqu'aux colis de déchets, et de s'assurer par ailleurs que la saturation des ouvrages est contrôlée majoritairement par l'eau provenant du Callovo-Oxfordien ;
- *limiter le flux d'eau circulant via les liaisons surface-fond entre le stockage et les formations aquifères sus-jacentes ;*
- *limiter les vitesses de circulation de cette eau depuis les alvéoles, dans la couche du Callovo-Oxfordien jusqu'au toit et au mur de la formation, et dans les ouvrages de liaison surface-fond.*

Après re-saturation des ouvrages souterrains, on cherche à favoriser un transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques par diffusion dans le stockage et dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien et en conséquence à limiter le transfert par convection. La couche du Callovo-Oxfordien qui a été choisie notamment pour sa faible perméabilité et les principes généraux de choix de conception de l'installation souterraine et des ouvrages de fermeture par scellements (des liaisons surface-fond et des galeries) contribuent à s'opposer à la circulation de l'eau dans le système de stockage et ainsi limiter le transfert par convection.

1.4.1.2.2 Déclinaison de la (sous)fonction « *limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques, et les immobiliser dans les alvéoles de stockage* »

Cette fonction vise à limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques, et à les immobiliser au plus près de la source dans l'alvéole de stockage. Elle s'organise selon deux aspects : (i) maîtriser la dégradation physico-chimique des déchets et (ii) favoriser les processus d'immobilisation des éléments relâchés dans l'alvéole de stockage. Elle se décline comme suit :

- *protéger les déchets de l'eau*. Par cette fonction, l'objectif recherché est :
  - ✓ de mettre à profit autant que possible les propriétés favorables de certains déchets ; en effet, des déchets comme le verre nucléaire utilisé pour les déchets HA, sont conditionnés dans une matrice durable qui les isole de l'eau (cf. Tableau 1-2 du chapitre 1.4.1.3) ; pour d'autres déchets, c'est la nature même du déchet dans lequel sont présents des radionucléides qui isole tout ou partie de ces derniers de l'eau : il s'agit par exemple des déchets métalliques activés, notamment les coques des crayons des assemblages de combustibles usés après retraitement ;
  - ✓ spécifiquement, par la conception du conteneur de stockage des déchets HA vitrifiés, de retarder l'arrivée de l'eau sur les déchets et ainsi éviter l'altération aqueuse en température et de constituer un environnement physico-chimique favorable à la maîtrise du comportement des radionucléides et substances toxiques chimiques lorsqu'ils sont relâchés dans les alvéoles de stockage.
- *limiter la mise en solution des radionucléides et des substances toxiques chimiques*. Par cette fonction, l'objectif recherché est de constituer dans les alvéoles, un environnement physico-chimique retardant l'altération des déchets et des matrices de conditionnement et au maintien des radionucléides et substances toxiques chimiques dans l'alvéole ;
- *limiter la mobilité des radionucléides et des substances toxiques chimiques dans l'alvéole de stockage*.

  Par cette fonction, on cherche à favoriser les processus de précipitation de radionucléides et de substances toxiques chimiques dans l'alvéole, au plus près des colis.

  Cela conduit à constituer dans les alvéoles un environnement physico-chimique favorable à une faible solubilité de ces éléments, notamment par :
  - ✓ un milieu réducteur dans l'alvéole, tamponné par les eaux porales du Callovo-Oxfordien, ce qui limite la solubilité d'un grand nombre de radionucléides, notamment les actinides, le technétium... ;
  - ✓ des conditions cimentaires (dans les alvéoles MA-VL) sont aussi favorables à une faible solubilité d'une grande majorité des radionucléides (par exemple le nickel, le cobalt, l'américium, le curium, le neptunium, le plutonium).

1.4.1.2.3 Déclinaison de la (sous)fonction « *retarder et atténuer la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques qui auraient été relâchées des alvéoles de stockage* »

Par cette fonction, on cherche à mobiliser préférentiellement la couche du Callovo-Oxfordien, comme voie de transfert privilégiée pour l'ensemble de ses caractéristiques favorables. Il s'agit de tirer profit des caractéristiques favorables de retard et d'atténuation de la migration des quelques radionucléides et substances toxiques chimiques qui auront été relâchés des alvéoles au sein de la couche du Callovo-Oxfordien. En effet, les caractéristiques intrinsèques de cette formation permettent de réduire l'impact de ces substances en imposant des temps de transfert suffisamment longs pour tirer profit de la décroissance radioactive au cours de la migration des radionucléides (cf. Tableau 1-2 du chapitre 1.4.1.3 du présent document).

1.4.1.2.4 Déclinaison de la (sous)fonction « *Préserver les caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien et des composants ouvragés contribuant à la sûreté après fermeture* »

Afin de garantir la réalisation des trois (sous)fonctions précédentes et l'atteinte des performances envisagées, la conception du centre de stockage Cigéo (architecture, composants ouvragés) et son exploitation visent à : *« préserver les caractéristiques favorables des argilites de la couche du Callovo-Oxfordien et des composants ouvragés contribuant à la sûreté après fermeture »*.

Les phases de construction, de fonctionnement, et l'évolution future du système de stockage sur le long terme provoquent des perturbations susceptibles de dégrader les propriétés favorables de la couche du Callovo-Oxfordien (cf. Volume 7 du présent rapport). Afin de limiter les conséquences de ces phénomènes, l'Andra a défini des dispositions de conception restrictives et constructives pour préserver une garde saine de Callovo-Oxfordien. Sont ainsi pris en compte tous les « phénomènes/processus d'origine interne » qui sont liés aux perturbations ou transitoires d'origine mécanique, thermique, hydraulique, gaz, chimique, bactériologique et radiologique, et leurs éventuelles interactions.

1.4.1.3 Les principes généraux de choix de conception et des exigences amont

Pour réaliser les fonctions de sûreté en après fermeture, l'Andra retient un ensemble de principes généraux de conception de l'installation de stockage qui intègrent notamment les caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien retenue à cet effet.

Le tableau 1-2 présente les principes retenus spécifiquement à chaque fonction de sûreté après fermeture. Ces dispositions peuvent le cas échéant être déclinées en exigences amont applicables à l'INB Cigéo.

D'une manière plus générale, la conception de l'installation de stockage, depuis le choix des grandes options jusqu'aux solutions techniques, est guidée par la recherche des meilleures techniques disponibles qui permettent de répondre aux fonctions de sûreté, en tenant compte des contraintes techniques et économiques.

Tableau 1-2 *Principes généraux pour les choix de conception en regard des principales fonctions de sûreté après fermeture du système de stockage*

Fonctions de sûreté après fermeture	Choix de conception
Fonction : Isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines banales	
Isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines banales	• implantation des galeries et ouvrages de stockage en profondeur (environ 500 mètres) dans la couche du Callovo-Oxfordien à l'écart des phénomènes de surface[11], en particulier l'érosion et à l'écart des structures géologiques, failles... ; • absence de ressources souterraines exceptionnelles et particulières ; • maintien des dispositifs de mémoire du stockage le plus longtemps possible après sa fermeture[12] (500 ans minimal selon le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1).
Fonction : Limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère	
Sous fonction : S'opposer à la circulation d'eau	• implantation dans la couche du Callovo-Oxfordien dans laquelle les écoulements d'eau sont faibles du fait de sa faible perméabilité ; • regroupement des puits et de la base des descenderies au niveau de la couche du Callovo-Oxfordien et scellement de ces ouvrages pour minimiser les circulations d'eau potentielles *via* ces derniers ; • architecture souterraine en grand « borgne » et quartiers de stockage « borgnes » par rapport au reste de l'installation souterraine, afin de minimiser les flux d'eau au sein du stockage en sollicitant uniquement les flux d'eau provenant du Callovo-Oxfordien, par nature faibles du fait de sa faible perméabilité ; • scellements dans les ouvrages de liaison surface-fond et dans les galeries limitant les circulations d'eau par leur faible perméabilité à l'eau.
Sous fonction : Limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques et les immobiliser dans l'alvéole	• conteneur de stockage HA qui permet (i) de retarder l'arrivée de l'eau sur les déchets et évite l'altération aqueuse en température et corrélativement (ii) de favoriser la maîtrise du comportement en solution des radionucléides et des substances toxiques chimiques relâchés dans l'alvéole ; • choix de matériaux d'alvéoles visant à favoriser une faible solubilité et/ou une rétention des radionucléides et des substances toxiques chimiques (par exemple l'environnement cimentaire dans les alvéoles MA-VL) ; • conditions physico-chimiques dans les alvéoles limitant le relâchement et la mobilité des radionucléides et des substances toxiques chimiques dans l'alvéole (favoriser par exemple des conditions redox réductrices).

[11] D'ordre de 200 mètres selon le guide de sûreté n° 1 de l'ASN
[12] *A minima* sur 500 ans

Fonctions de sûreté après fermeture	Choix de conception
Sous fonction : Retarder et atténuer la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques	• favoriser une implantation des ouvrages souterrains qui tire parti d'un maximum d'épaisseur de la couche du Callovo-Oxfordien de part et d'autre des alvéoles de stockage (composant important de par ses caractéristiques favorables) : architecture de type planaire (tenant compte des contraintes techniques de construction et d'exploitation) ; • géométries des alvéoles et des galeries de l'installation souterraine optimisées, particulièrement leurs longueurs ⇨ la migration des radionucléides et substances toxiques chimiques le long des ouvrages est limitée et la voie de transfert par le Callovo-Oxfordien est privilégiée par rapport à celle par les ouvrages de stockage.
Sous fonction : Préserver les caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien et des composants ouvragés contribuant à la sûreté après fermeture	• dimensionnement thermique des quartiers de stockage qui permet de rester dans un domaine de température couvert par l'état des connaissances et compatible avec la capacité à rendre compte des phénomènes et de leurs couplages ; • dimensionnement THM du quartier de stockage préservant les caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien ; • choix de matériaux des composants ouvragés « compatibles » avec les caractéristiques du Callovo-Oxfordien, afin de limiter les interactions physico-chimiques en tant que de besoin, en particulier pour favoriser leur durabilité et préserver les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien ; • dispositions restrictives en matière de co-stockage des déchets MA-VL. Une catégorisation des déchets MA-VL en sept familles qui permet l'identification des familles de déchets susceptibles d'être placées dans un même alvéole ; • orientation des alvéoles suivant la contrainte principale ce qui permet de limiter l'extension de l'endommagement ; • scellements passants aux gaz et limitation des termes sources gaz ; • implantation des ouvrages de stockage dans une région de très faible sismicité à l'écart des grandes failles de la région ; • limitation des vides dans les alvéoles de stockage.

1.4.2 Fonctions de sûreté pour l'exploitation

1.4.2.1 Les fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté en exploitation

L'article 3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 (5) précise que « *la mise en œuvre du principe de défense en profondeur s'appuie notamment sur […] l'identification des fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté nucléaire.* ».

Les fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté (également dénommées « fonctions de sûreté » dans le présent rapport) sont les fonctions de haut niveau qui doivent être assurées par les INB pendant leur phase de fonctionnement.

L'article 3.4 de l'arrêté du 7 février 2012 (5) en donne la liste :

« *- la maîtrise des réactions nucléaires en chaîne ;*

- l'évacuation de la puissance thermique issue des substances radioactives et des réactions nucléaires ;

- le confinement des substances radioactives ;

- la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants. ».

En complément de ces fonctions fixées par la réglementation, la fonction de maîtrise des gaz formés par radiolyse ou corrosion est ajoutée pour l'INB pour tenir compte de ses spécificités.

Pendant la phase de fonctionnement, l'atteinte des objectifs de protection des personnes (travailleur 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 précitées qui s'appliquent à toutes les opérations.

Ces fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté et les principes associés sont déclinés dans chacune des sous-sections ci-après. Les éléments (structure/système/composant) assurant ces fonctions sont identifiés « Éléments importants pour la protection des intérêts » (EIP) dans la démonstration de sûreté.

1.4.2.1.1 Confiner les substances radioactives, de manière à se prémunir contre les risques liés à la dissémination de ces substances

Les risques liés à la dissémination de substances radioactives découlent 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 des risques liés à la dissémination consiste à interposer différentes barrières de confinement entre les substances radioactives et les personnes et l'environnement (conformément à l'article 3.4 de l'arrêté du 7 février 2012 (5). 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 de sûreté pour l'INB 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.

1.4.2.1.2 Protéger les personnes contre l'exposition aux rayonnements ionisants

Au-delà du respect des objectifs de radioprotection, la conception des installations se fait suivant la démarche d'optimisation de la radioprotection, appelée principe ALARA, selon le principe introduit par la CIPR et repris dans les articles R. 4451-33 du code du travail et L. 1333-2 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 l'INB Cigéo sont réalisés selon une méthodologie s'appuyant sur le retour d'expérience des pratiques actuelles mises en œuvre pour la conception des installations nucléaires de base.

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

À 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 :

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

1.4.2.1.4 Évacuer la puissance thermique des déchets

Plusieurs dispositions, correspondant à des limites de température, sont prises vis-à-vis de la fonction de sûreté d'exploitation « évacuer la puissance thermique des déchets » de manière à garantir les intérêts à protéger. Il va s'agir en l'occurrence de protéger le matériel électronique assurant ou surveillant des fonctions de sûreté, cela revient d'une manière générale à limiter la température ambiante de l'air dans les locaux contenant les équipements électroniques (ou *a minima* dans la zone autour de ces équipements) ; cette limite dépend des équipements utilisés ou/et des conditions particulières de leurs mises en œuvre.

Par ailleurs, les quartiers de stockage et les alvéoles sont conçus de manière à privilégier l'évacuation par conduction passive dans la roche de la chaleur dégagée par les colis de déchets placés dans les alvéoles de stockage et cela dès la mise en stockage des déchets. Cela permet, en phase de fonctionnement, de garantir certaines fonctions de sûreté après-fermeture (cf. Chapitre 1.4.1 du présent volume). Les critères de température associés sont liés :

- au maintien des propriétés mécaniques des bétons ;
- à la maîtrise du comportement des radionucléides dans le cas d'alvéoles de stockage de déchets non ou peu exothermiques ;
- à la protection des argilites.

1.4.2.1.5 Maîtriser les gaz formés par radiolyse ou par corrosion

Les risques liés aux gaz de radiolyse et de corrosion font référence à la présence simultanée :

- d'un gaz, dont la concentration est telle qu'il se trouve dans son domaine d'explosivité (compris entre la limite inférieure d'explosivité et la limite supérieure d'explosivité) ;
- d'un comburant (généralement, l'oxygène de l'air) ;
- d'une source d'ignition (étincelle, frottement, température du milieu ou de paroi supérieure à la température d'auto-inflammation du gaz considéré).

Pendant la phase de fonctionnement du stockage, la production de gaz inflammables est un phénomène résultant :

- cas des gaz de radiolyse : de processus radiolytiques (radiolyse des déchets, radiolyse de l'eau), c'est-à-dire de processus de décomposition de matières hydrogénées par les rayonnements ionisants conduisant à la formation de gaz inflammables (hydrogène, méthane, etc.) ;
- cas des gaz de corrosion : de processus de dégradation chimique des composants du stockage (notamment ceux comportant de l'acier), qui, dans certaines conditions, produisent de l'hydrogène.

Vis-à-vis des risques liés aux gaz de radiolyse et de corrosion, l'état sûr se caractérise par le maintien d'une atmosphère non explosive. Ceci se traduit par les objectifs de sûreté suivants :

a) Cas des locaux ou équipements sujets à l'émission d'hydrogène de radiolyse (ex : alvéoles MA-VL)

La limite inférieure d'explosivité (LIE) du dihydrogène étant de 4 % en mélange dans l'air à pression et température atmosphériques, les limites suivantes sont retenues, pour le bâtiment nucléaire, les hottes de transfert et les alvéoles de stockage MA-VL :

- 25 % de la LIE de l'H_2 soit 1 % d'H_2 en fonctionnement normal et dégradé ;
- 75 % de cette LIE soit 3 % d'H_2 en fonctionnement incidentel et accidentel.

b) Cas des locaux ou équipements sujets à l'émission de gaz de corrosion (alvéole HA)

Le diagramme ternaire dihydrogène-azote-air montre que pour une enceinte contenant ce mélange, la proportion maximale d'air pour éviter de rentrer dans le domaine d'explosivité est de 23 %. Cette valeur correspond à 4,8 % de dioxygène, en deçà de cette limite, l'inflammation d'un mélange H_2/O_2 dans l'azote n'est pas possible. En conséquence, les limites suivantes sont retenues pour les alvéoles de stockage HA :

- 25 % de la valeur de 4,8% d'O_2, soit 1 % d'O_2 en fonctionnement normal et dégradé ;
- 75 % de cette valeur d'O_2, soit 3 % d'O_2 en fonctionnement incidentel et accidentel.

1.4.2.2 Les fonctions nécessaires à l'accomplissement des fonctions de sûreté en exploitation

En cohérence avec l'article 4.5.2 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 (4) relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base, selon les situations rencontrées dans l'INB, des fonctions sont aussi identifiées (dès la présente phase de conception initiale) comme nécessaires à l'accomplissement des cinq fonctions de sûreté en exploitation présentées au chapitre 1.4.2.1 du présent volume. Le ou les composants assurant la mise en œuvre de ces fonctions dédiées à « l'accomplissement » sont également identifiés « Éléments importants pour la protection » (cf. Chapitre 13 du volume 9 du présent rapport) dans la démonstration de sûreté.

Ces fonctions sont définies en regard de la liste des principaux risques à analyser pour les installations nucléaires de stockage de déchets radioactifs présentés aux articles 3.4 à 3.6 de l'arrêté du 7 février 2012 (5). Il s'agit des trois types de fonctions suivantes :

- les fonctions support à l'accomplissement d'une ou plusieurs fonctions de sûreté (cf. Correspondant aux EIP portant au moins une des cinq fonctions de sûreté décrite ci-avant), il s'agit des fonctions d'alimentation en utilité (courant électrique, air comprimé…) ;
- les fonctions de contrôle ou de surveillance de l'accomplissement d'une ou plusieurs fonctions de sûreté (en considérant notamment les fonctions de contrôle-commande) ;
- les fonctions de protection d'un EIP contre les agressions qu'il pourrait subir, ces fonctions portent sur les composants, devenant également EIP :

- ✓ car assurant une fonction de protection en soi d'un EIP contre une agression interne ou externe à l'INB (exemple le plus fréquent : les composants du génie civil d'un bâtiment) ;
- ✓ dont il est fondamental d'exclure le risque de défaillance compte tenu de l'incidence que cette dernière peut avoir sur un EIP (*e.g.* Un équipement pouvant tomber en cas de séisme sur un EIP requis dans cette situation).

1.4.2.3 Les fonctions nécessaires à la maîtrise des risques non radiologiques

En réponse à l'article 4.3.6 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base (4), pour la maîtrise des risques non radiologiques induits par l'INB, les deux fonctions de protection suivantes sont retenues :

- confiner les substances dangereuses ;
- protéger les personnes et l'environnement à l'égard des phénomènes dangereux.

1.4.2.4 Les fonctions nécessaires à la maîtrise des inconvénients

En lien avec la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (15) du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) qui présente de manière détaillée les inconvénients induits par l'INB, l'Andra retient les fonctions suivantes :

- maîtriser les impacts occasionnés par l'installation sur la santé et l'environnement du fait des prélèvements d'eau et des rejets ;
- maîtriser les nuisances occasionnées par l'installation sur la santé et l'environnement (bruits, vibrations, odeurs, poussières…) ;
- surveiller les effets de l'installation sur l'environnement.

En réponse à l'article 4.5.6 de l'annexe la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base (4) ces fonctions permettent d'identifier, parmi les EIP liés aux risques radiologiques et non radiologiques, les EIP liés aux inconvénients.

2

La règlementation applicable à l'INB Cigéo

2.1	Nature des textes réglementaires applicables à l'INB	38
2.2	Phases temporelles concernées par l'application des textes réglementaires	39
2.3	Liste des textes réglementaires applicables à l'INB	39
2.4	Prise en compte des textes réglementaires applicables à la conception de l'INB Cigéo	54

Conformément à l'article 3.2.1 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 de l'ASN du 17 novembre 2015 (4), ce chapitre a pour objet de rappeler les textes législatifs et réglementaires ainsi que les prescriptions de l'ASN applicables à l'INB dans le domaine de la sûreté nucléaire et la manière dont les exigences associées sont appliquées et prises en compte dans la conception de l'INB.

2.1 Nature des textes réglementaires applicables à l'INB

L'INB est soumise au régime légal du code de l'environnement relatif aux installations nucléaires de base. Cette réglementation encadre des installations qui, par leur nature ou en raison de la quantité ou de l'activité des substances radioactives qu'elles contiennent, constituent des sources de rayonnements ionisants qui peuvent produire des émissions radioactives (effluents, déchets) en fonctionnement normal ou en cas d'accident. S'appuyant sur des textes et référentiels internationaux (normes de l'AIEA notamment et directives européennes), cette réglementation a été élaborée dans l'objectif de protéger les intérêts suivants des risques et inconvénients que ces installations présentent : « *la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement* » (article L. 593-1 du code de l'environnement). Cet objectif de protection vise toutes les phases de vie des INB : la conception, la construction, le fonctionnement, la mise à l'arrêt définitif et, pour les installations de stockage de déchets radioactifs, le démantèlement, la fermeture et la surveillance.

Cette réglementation, qui comprend un ensemble de dispositions administratives et d'exigences organisationnelles et techniques applicables, repose sur les définitions et les principes suivants, fixés par le code de l'environnement :

- la sécurité nucléaire comprend la sûreté nucléaire, la radioprotection, la prévention et la lutte contre les actes de malveillance ainsi que les actions de sécurité civile en cas d'accident :
  - ✓ la sûreté nucléaire est l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets ;
  - ✓ la radioprotection est la protection contre les rayonnements ionisants, c'est-à-dire l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement.
- l'exploitant d'une INB est responsable de la maîtrise des risques et inconvénients que son installation peut présenter pour les intérêts protégés précités. En conséquence, il doit démontrer que les dispositions techniques ou d'organisation prises ou envisagées à tous les stades de l'exploitation de l'INB sont de nature à prévenir ou à limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts ;
- l'exploitant d'une INB est soumis à une obligation de transparence en matière nucléaire, garantissant le droit du public à une information fiable et accessible en matière de sécurité nucléaire ;
- pour assurer une exploitation sûre de ces installations, les INB sont soumises à un régime d'autorisation et de contrôle par l'État, notamment par l'Autorité de sûreté et de radioprotection (ASNR) qui est une autorité administrative indépendante, qui s'appuie sur une réglementation technique.

Les INB sont également soumises à des principes et des exigences applicables à toute activité nucléaire ou issues d'autres réglementations, notamment du code de l'environnement. Ces réglementations portent sur la protection contre les rayonnements ionisants et contre les autres incidences de ces installations et contribuent à la sûreté nucléaire des INB.

L'INB Cigéo est en outre soumise à d'autres réglementations non listées ci-après car elles ne relèvent pas du domaine de la sûreté nucléaire : le code de la défense, le code de l'urbanisme, le code du travail, les réglementations applicables aux établissements recevant du public, aux établissements publics, etc.

2.2 Phases temporelles concernées par l'application des textes réglementaires

Au regard de la phase dans laquelle l'INB Cigéo se trouve, c'est-à-dire au stade du dépôt du dossier de demande d'autorisation de création (phase de conception initiale), les dispositions les plus opérationnelles des textes issus de la réglementation des INB ne sont pas encore applicables à cette installation, à l'instar de la décision de l'ASN de 2017 (19). Ces dispositions sont néanmoins maintenues dans ce référentiel afin de garantir son exhaustivité et un suivi de l'entrée en application des textes concernés est prévu, vis-à-vis de la maîtrise de la protection des intérêts, pour garantir la prise en compte en temps utile des exigences réglementaires à venir, en particulier celles applicables après la délivrance du décret d'autorisation de création (donc pour la phase de construction initiale) et celles applicables après l'autorisation de mise en service (donc pour la phase de fonctionnement).

La prise en compte des exigences applicables au-delà de la phase actuelle de conception est anticipée par la mise en œuvre pour l'INB de dispositions pendant la phase qui suit le dépôt du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (cf. Chapitre 2 du volume 6 du présent rapport) dédié au suivi de la conformité réglementaire aux textes de sûreté. Ce suivi permettra d'apprécier les modalités d'anticipation/d'entrée en application des textes en question dans l'objectif d'une mise en service conforme avec l'article L. 593-7 du code de l'environnement qui dispose que « *Cette autorisation ne peut être délivrée que si, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, l'exploitant démontre que les dispositions techniques ou d'organisation prises ou envisagées aux stades de la conception, de la construction et de l'exploitation ainsi que les principes généraux proposés pour le démantèlement ou, pour les installations de stockage de déchets radioactifs, pour leur entretien et leur surveillance après leur fermeture sont de nature à prévenir ou à limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1* ».

Enfin, vis-à-vis de la période après-fermeture long terme, les exigences organisationnelles et techniques issues de la réglementation relatives à l'exploitation ne s'appliqueront plus puisque par définition l'Installation ne sera plus une INB à partir du moment où le déclassement a pu intervenir dans la mesure où l'installation « *ne nécessite plus la mise en œuvre des dispositions prévues* » par la réglementation INB. Pour autant, la réglementation INB s'applique à cette période au travers des objectifs de conception et de sûreté nucléaire pris en compte dès la conception et lors de l'exploitation.

2.3 Liste des textes réglementaires applicables à l'INB

L'ensemble des dispositions législatives et réglementaires applicables à l'INB dans le domaine de la sûreté nucléaire est rappelé ci-après. Les textes sont classés selon les trois domaines suivants, puis présentés par sous-thématiques (dispositions générales puis dispositions relatives à la maîtrise de certaines activités ou certains risques) :

- la réglementation relative aux installations nucléaires de base (cf. Chapitre 2.3.1 du présent volume) ;
- la réglementation relative aux activités nucléaires (cf. Chapitre 2.3.2 du présent volume) ;
- les autres textes contribuant à la sûreté de l'INB Cigéo (cf. Chapitre 2.3.3 du présent volume).

Les textes sont présentés selon la hiérarchie des normes juridiques et par ordre chronologique ; ils peuvent le cas échéant être accompagnés de précisions relatives à leur objet et aux modalités de leur application à l'INB Cigéo.

2.3.1 Réglementation relative aux installations nucléaires de base

Ce chapitre présente les exigences législatives et réglementaires applicables aux INB dans le domaine de la sûreté nucléaire. Les textes listés fixent les dispositions générales et les dispositions techniques encadrant la conception, la construction et l'exploitation d'INB afin d'assurer la maîtrise de la protection des intérêts.

L'INB Cigéo fait en outre l'objet de dispositions spécifiques qui sont également rappelées.

Tableau 2-1 Dispositions générales relatives aux INB

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre premier : Dispositions communes Titre II : Information et participation des citoyens Chapitre V : Autres modes d'information Section 2 : Dispositions propres aux activités nucléaires Sous-section 1 : Droit à l'information (articles L. 125-10 à L. 125-11) Sous-section 2 : Transparence en matière nucléaire (articles L. 125-12 à L. 125-16-1)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base Chapitre premier : Dispositions générales relatives à la sécurité nucléaire (articles L. 591-1 à L. 591-8) Chapitre II : L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (articles L. 592-1 à L. 592-46) Chapitre III : Installations nucléaires de base (articles L. 593-1 à L. 593-43) Chapitre IV : Dispositions à caractère financier relatives aux installations nucléaires de base (articles L. 594-1 à L. 594-14) Chapitre V : Transport de substances radioactives, équipements sous pression nucléaires (articles L. 595-1 à L. 595-2) Chapitre VI : Contrôle et sanctions (articles L 596-1 à L. 596-14) Chapitre VII : Dispositions applicables à la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire (articles L. 597-1 à L. 597-46)
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre premier : Dispositions communes Titre II : Information et participation des citoyens Chapitre V : Autres modes d'information Section 11 : Mise en œuvre de la transparence en matière nucléaire (article R. 125-49)

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base Chapitre II : L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (articles R. 592-1 à R. 592-38) Chapitre III : Installations nucléaires de base (articles R. 593-1 à R. 593-123) Chapitre IV : Dispositions à caractère financier relatives aux installations nucléaires de base (articles D. 594-1 à D. 594-18) Chapitre V : Transport de substances radioactives, équipements sous pression nucléaires (articles R. 595-1 à R. 595-3) Chapitre VI : Contrôles et sanctions (articles R. 596-1 à R. 596-17)
Arrêté	du 7 février 2012 modifié (5)	Fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base
Décision	N° 2017-DC-0616 de l'ASN du 30 novembre 2017 (homologuée par arrêté du 18 décembre 2017) (19)	Relative aux modifications notables des installations nucléaires de base
	N° 2022-DC-0749 de l'ASN du 29 novembre 2022 (homologuée par arrêté du 16 février 2023) 20	Modifiant 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 et la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base
	N° 2023-DC-0770 de l'ASN du 7 novembre 2023 (homologuée par arrêté du 9 février 2024) (21)	Modifiant la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base

Les installations nucléaires de base sont soumises au régime légal défini par les chapitres III et VI du titre IX du livre V du code de l'environnement. Elles ne sont ni soumises au régime de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (IOTA, voir les articles L. 214-1 et suivants du code de l'environnement), ni au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE, voir les articles L. 510-1 et suivants du même code), ni au régime de l'autorisation environnementale. Elles sont également exclues des régimes de déclaration, d'enregistrement ou d'autorisation du code de la santé publique.

Tableau 2-2 *Dispositions spécifiques à l'INB Cigéo*

Nature du texte	Date de référence	Intitulé
Loi	N° 2006-739 du 28 juin 2006 (22)	Relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, article 3
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	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 L. 542-10-1
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	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 Section 9 : Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs Sous-section 4 : Gestion à long terme des déchets radioactifs, articles D. 542-89 à -92 et -94
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	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 Section 4 : Création d'une installation nucléaire de base, article R. 593-16, alinéas II et III

Tableau 2-3 *Dispositions techniques relatives à la démonstration de sûreté nucléaire*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Arrêté	du 7 février 2012 modifié (5)	Relatif aux règles générales des installations nucléaires de base, Titre III : Démonstration de sûreté nucléaire (articles 3.1 à 3.10)
Décision	N° 2014-DC-0417 de l'ASN du 28 janvier 2014 (homologuée par arrêté du 20 mars 2014) (23)	Relative aux règles applicables aux installations nucléaires de base (INB) pour la maîtrise des risques liés à l'incendie
Décision	N° 2014-DC-0462 de l'ASN du 7 octobre 2014 (homologuée par arrêté du 20 novembre 2014) (24)	Relative à la maîtrise du risque de criticité
Décision	N° 2015-DC-0532 de l'ASN du 17 novembre 2015 (homologuée par arrêté du 11 janvier 2016) (4)	Relative au rapport de sûreté des INB

La décision n° 2015-DC-0532 relative au rapport de sûreté des INB (4) met en exergue les spécificités des INB de stockage comparativement aux autres INB vis-à-vis du démantèlement (articles 3.1.3, 3.1.8 et 3.1.9), de la phase de surveillance (articles 3.2.3 et 3.2.4) et des dispositions spécifiques de surveillance de l'installation de stockage pendant la période d'exploitation du stockage (article 4.10.4).

Tableau 2-4 *Dispositions techniques relatives à la préparation et la gestion des situations d'urgence*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Arrêté	du 7 février 2012 modifié (5)	Relatif aux règles générales des installations nucléaires de base, Titre VII : Préparation et gestion des situations d'urgence (articles 7.1 à 7.6)
Décision	N° 2017-DC-0592 de l'ASN du 13 juin 2017 (homologuée par arrêté du 28 aout 2017) (25)	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

Tableau 2-5 *Dispositions générales et techniques relatives à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre premier : Dispositions communes Titre II : Information et participation des citoyens Chapitre II : Évaluation environnementale (articles L. 122-1 à L. 122-14)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre II : Milieux physiques Titre premier : Eau et milieux aquatiques et marins Chapitre Ier : Régime général et gestion de la ressource (articles L. 211-1 à L. 211-14)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre premier : Dispositions communes Titre II : Information et participation des citoyens Chapitre II : Évaluation environnementale (articles R. 122-1 à R. 122-27)
Arrêté	du 7 février 2012 modifié (5)	Relatif aux règles générales des installations nucléaires de base, Titre IV : Maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement (articles 4.1 à 4.4.4 et annexes I et II)
Décision	N° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013 (homologuée par arrêté du 9 août 2013) (26)	Relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des INB
Décision	N° 2016-DC-0569 de l'ASN du 29 septembre 2016 (homologuée par arrêté du 5 décembre 2016) (27)	Modifiant 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

Tableau 2-6 Dispositions générales et techniques relatives à la gestion des déchets

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Directive européenne	2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 (28)	Établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IV : Déchets Chapitre premier : Prévention et gestion des déchets (articles L. 541-1 à L. 541-50) Chapitre II : Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (articles L. 542-1 à L. 542-14)
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IV : Déchets Chapitre premier : Dispositions générales relatives à la prévention et à la gestion des déchets (articles D. 541-1 à R. 541-382) Chapitre II : Dispositions particulières à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (articles R. 542-1 à D. 542-99) Chapitre III : Dispositions propres à certaines catégories de produits et de déchets (R) (articles R. 543-1 à R. 543-364)
Arrêté	du 7 février 2012 modifié (5)	Relatif aux règles générales des installations nucléaires de base, Titre VI : Gestion des déchets (articles 6.1 à 6.8)
Décision	N° 2015-DC-0508 de l'ASN du 21 avril 2015 (homologuée par arrêté du 1er juillet 2015) (29)	Relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base
Décision	N° 2017-DC-0587 de l'ASN du 23 mars 2017 (homologuée par arrêté du 13 juin 2017 (30))	Relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage

Tableau 2-7 *Dispositions générales et techniques relatives aux équipements et installations nécessaires à l'exploitation de l'INB*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre II : Milieux physiques Titre premier : Eau et milieux aquatiques et marins Chapitre IV : Activités, installations et usage Section 1 : Régimes d'autorisation ou de déclaration (articles L. 214-1 à L. 214-2)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre premier : Installations classées pour la protection de l'environnement Chapitre premier : Dispositions générales (articles L. 511-1 à -2)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	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 Section 1 : Définitions et principes généraux (articles L. 593-1 et L. 593-3)
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre II : Milieux physiques Titre premier : 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 (articles R. 214-1 à R. 214-5)
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre premier : Installations classées pour la protection de l'environnement Chapitre premier : Dispositions générales Section 2 : Nomenclature des installations classées (articles R. 511-9 à -12)
Arrêté	du 7 février 2012 modifié (5)	Relatif aux règles générales des installations nucléaires de base, Titre IV : Maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement (article 4.3.1 et annexe II)

Selon l'article L. 593-3, les équipements et installations qui sont implantés dans le périmètre d'une INB et qui sont nécessaires à son exploitation, y compris ceux qui sont inscrits à l'une des catégories comprises dans une des nomenclatures prévues aux articles L. 214-2 (IOTA) et L. 511-2 (ICPE), sont réputés faire partie de l'INB. Ces équipements et installations sont soumis aux dispositions du régime des INB, à l'exclusion des régimes IOTA, ICPE, de celui de l'autorisation environnementale ou du code de la santé publique.

La liste des équipements et installations nécessaires à l'exploitation de l'INB Cigéo est présentée dans le chapitre 1 du volume 5 du présent rapport.

Tableau 2-8 *Dispositions générales relatives aux équipements sous pression nucléaires*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre V : Dispositions particulières à certains ouvrages ou installations Chapitre VII : Produits et équipements à risques (articles L. 557-1 à L. 557-61)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base Chapitre V : Transport de substances radioactives, équipements sous pression nucléaires Section 2 : Équipements sous pression nucléaires (article L. 595-2)
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre V : Dispositions particulières à certains ouvrages ou installations Chapitre VII : Produits et équipements à risques Section 12 : Conformité des équipements sous pression nucléaires (articles R. 557-12-1 à R. 557-12-9) Section 14 : Suivi en service des équipements sous pression, des récipients à pression simples et des équipements sous pression nucléaires (articles R. 557-14-1 à R. 557-14-8)
Code de l'environnement, partie réglementaire	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base Chapitre V : Transport de substances radioactives, équipements sous pression nucléaires Section 2 : Équipements sous pression nucléaires (article R. 595-3)

Les équipements sous pression spécialement conçus pour les INB dits « équipements sous pression nucléaires » (ESPN) sont soumis à la fois au régime des INB et à celui des équipements sous pression. Ces dispositions définissent les notions d'équipement sous pression (ESP), d'équipement sous pression nucléaire (ESPN), de récipient, de tuyauterie et de fluide, et fixent les règles applicables pour l'évaluation de conformité et le suivi en service de ces équipements.

En l'état actuel de la conception, l'INB Cigéo ne comprend aucun ESPN tels que définis à l'article R. 557-12-1 du code de l'environnement et n'est donc pas soumis à ces dispositions. L'arrêté du 30 décembre 2015 relatif aux équipements sous pression nucléaires (ESPN) (31), n'est donc pas retenu comme applicable pour l'INB Cigéo et en conséquence n'est pas mentionné dans le tableau ci-avant.

Tableau 2-9 *Dispositions générales relatives à la santé et sécurité au sein des INB (code du travail)*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code du travail, partie législative	En vigueur	Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations Titre II : Installations nucléaires de base et installations susceptibles de donner lieu à des servitudes d'utilité publique (articles L. 4521-1 à L. 4526-1)
Code du travail, partie réglementaire	En vigueur	Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Livre V : Prévention des risques liés à certaines activités ou opérations Titre II : Installations nucléaires de base et installations susceptibles de donner lieu à des servitudes d'utilité publique Chapitre III : Comité social et économique (articles R. 4523-1 à R. 4532-17)

2.3.2 Réglementation applicable aux activités nucléaires

Ce chapitre présente les exigences législatives et réglementaires applicables aux activités nucléaires et qui découlent du code de la santé publique. Ce code fixe des exigences applicables à toutes les activités nucléaires, d'une part, et définit des régimes administratifs et une réglementation associée pour encadrer ces activités, d'autre part.

En application de l'article L. 1333-9 de ce code, les activités nucléaires exercées dans une installation nucléaire de base relevant du régime prévu à l'article L. 593-1 du code de l'environnement ne sont pas soumises aux régimes administratifs instaurés par le code de la santé publique (article L. 1333-8). Ces activités nucléaires sont toutefois soumises, sauf disposition contraire, à la réglementation générale applicable aux activités nucléaires pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 1333-7.

Par ailleurs, les actes réglementaires ou individuels pris en application du régime des installations nucléaires de base assurent la prise en compte des obligations prévues par le code de la santé publique, à l'exception des dispositions relatives à la protection contre les actes de malveillance pour certaines activités nucléaires identifiées au II. de l'article L. 1333-9.

L'INB Cigéo est donc soumise au respect des exigences applicables à toutes les activités nucléaires. L'installation et les activités nucléaires exercées en son sein ne seront pas soumises aux régimes du code de la santé publique dans les conditions précitées. Toutefois, compte tenu de la phase actuelle de conception du projet (cf. Chapitre 2.2 du présent volume) et à des fins d'exhaustivité des exigences et contraintes susceptibles de s'appliquer et d'impacter la sûreté de l'INB, certaines dispositions ou textes non applicables aux INB sont maintenus à ce stade dans le référentiel.

Tableau 2-10 Dispositions générales relatives aux activités nucléaires

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Directive européenne	2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 (17)	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
Code de la santé publique, partie législative	En vigueur	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 (articles L. 1333-1 à -28)
Code de la santé publique, partie réglementaire	En vigueur	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 Section 1 : Mesures générales de protection de la population contre les rayonnements ionisants (articles R. 1333-1 à -27) Section 2 : Protection contre l'exposition à des sources naturelles de rayonnements ionisants (articles R. 1333-28 à R. 1333-44) Section 6 : Régime administratif principal pour les activités nucléaires, à l'exclusion du transport de substances radioactives (articles R. 1333-104 à R 1333-145) Section 10 : Contrôle (articles R. 1333-166 à -175)
Code de la santé publique, Annexes	En vigueur	Annexes de la première partie (articles annexe 13-7 et annexe 13-8)
Arrêté	du 18 décembre 2019 modifié (32)	Relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification des organismes de formation et des organismes compétents en radioprotection
Arrêté	du 16 novembre 2023 (33)	Définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants
Décision	N° 2008-DC-0095 de l'ASN du 29 janvier 2008 (homologuée par arrêté du 23 juillet 2008) (34)	Fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, prise en application des dispositions de l'article R. 1333-12 du code de la santé publique
Décision	N° 2008-DC-0099 de l'ASN du 29 avril 2008 (homologuée par arrêté du 8 juillet 2008 ; modifiée par les décisions N° 2015-DC-0500 et N° 2018-DC-0648) (35)	Relative à l'organisation du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement et fixant les modalités d'agrément des laboratoires

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Décision	N° 2022-DC-0747 de l'ASN nucléaire du 6 décembre 2022 (homologuée par arrêté du 18 janvier 2023) (36)	Fixant des règles que le responsable de l'activité nucléaire est tenu de faire vérifier en application de l'article R. 1333-172 du code de la santé publique
Décision	N° 2022-DC-0748 de l'ASN du 6 décembre 2022 (homologuée par arrêté du 18 janvier 2023) (37)	Fixant les conditions et les modalités d'agrément des organismes chargés des vérifications mentionnées à l'article R. 1333-172 du code de la santé publique

À noter que la décision n° 2008-DC-0099 (35) citée dans le tableau ci-avant entre communément en application à l'obtention du décret d'autorisation de création mais elle peut entrer en vigueur plus tôt en l'espèce dès la prescription de mesures dans l'environnement.

Tableau 2-11 Dispositions relatives à la radioprotection des travailleurs

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code du travail, partie législative	En vigueur	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 premier : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (art. L. 4451-1 et -2)
Code du travail, partie réglementaire	En vigueur	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 premier : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (art. R. 4451-1 à -146)
Décret	du 21 juin 2023 (38)	Relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants, dispositions transitoires (articles 2 à 4)
Décret	du 30 décembre 2024 (39)	Relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants, dispositions transitoires (articles 5 à 10)
Arrêté	du 15 mai 2006 modifié (40)	Relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées dites zones délimitées compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants
Arrêté	du 27 novembre 2013 (41)	Relatif aux entreprises intervenant au sein d'établissements exerçant des activités nucléaires et des entreprises de travail temporaire concernées par ces activités
Arrêté	du 26 juin 2019 (42)	Relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
Arrêté	du 24 octobre 2022 (43)	Relatif aux modalités et aux fréquences des vérifications des règles mises en place par le responsable d'une activité nucléaire

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Arrêté	du 23 juin 2023 (44)	Relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès au système d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants « SISERI » et modifiant l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
Arrêté	du 16 novembre 2023 (33)	Définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants
Arrêté	du 15 mai 2024 (45)	Relatif à la démarche de prévention du risque radon et à la mise en place d'une zone radon et des vérifications associées dans le cadre du dispositif renforcé pour la protection des travailleurs
Décision	N° 2007-DC-0074 de l'ASN du 29 novembre 2007 (homologuée par arrêté du 21 décembre 2007)[13] (46)	Fixant la liste des appareils ou catégorie d'appareils pour lesquels la manipulation requiert le certificat d'aptitude mentionné au premier alinéa de l'article R. 231-91 du code du travail

Compte tenu de la spécificité technique (radioprotection des travailleurs) des textes figurant dans le tableau ci-avant, leur date de mise en application relève de la mise en service de l'INB[14].

Tableau 2-12 Dispositions générales et techniques relatives à la gestion des incidents ou accidents

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de la santé publique, partie réglementaire	En vigueur	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 Section 4 : Gestion des situations d'urgence radiologique (articles R. 1333-81 à -89) Section 5 : Gestion de situations d'exposition durable résultant d'une pollution par des substances radioactives (articles R. 1333-90 à -103)
Décision	N° 2009-DC-0153 de l'ASN du 18 août 2009 (homologuée par arrêté du 20 novembre 2009) (47)	Relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique

[13] Cette décision fait partie du référentiel réglementaire de l'INB bien qu'il ne soit pas confirmé à ce stade que des appareils présents sur l'INB Cigéo entrent dans le champ d'application de cette décision.

[14] À l'exception de l'arrêté du 15 mai 2024 (45) relatif à la prévention du risque radon qui implique des actions de prévention dès le début des creusements.

Tableau 2-13 *Dispositions générales et techniques relatives à la gestion des sources radioactives et sources de rayonnements ionisants*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de la santé publique, partie réglementaire	En vigueur	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 Section 9 : Dispositions relatives au suivi des sources radioactives, des appareils électriques émettant des rayonnements ionisants et des accélérateurs de particules (articles R. 1333-152 à -165)
Décision	N° 2009-DC-150 de l'ASN du 16 juillet 2009 (homologuée par arrêté du 23 octobre 2009) (48)	Définissant les critères techniques sur lesquels repose la prolongation de la durée d'utilisation des sources radioactives scellées accordée au titre de l'article R. 1333-52 du code de la santé publique
Décision	N° 2017-DC-0591 de l'ASN du 13 juin 2017 (homologuée par arrêté du 29 septembre 2017) (49)	Fixant les règles techniques minimales de conception auxquelles doivent répondre les locaux dans lesquels sont utilisés des appareils électriques émettant des rayonnements X
Décision	N° 2018-DC-0649 de l'ASN du 18 octobre 2018 (homologué par arrêté du 21 novembre 2018) (50)	Définissant, en application du 2° de l'article R. 1333-109 et de l'article R. 1333-110 du code de la santé publique, la liste des activités nucléaires soumises au régime de déclaration et les informations qui doivent être mentionnées dans ces déclarations
Décision	N° 2021-DC-0703 de l'ASN du 4 février 2021 (homologuée par arrêté du 4 mars 2021) (51)	Établissant la liste des activités nucléaires mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants à des fins industrielles, vétérinaires ou de recherche (hors recherche impliquant la personne humaine) soumises au régime d'enregistrement, et les prescriptions applicables à ces activités

En fonction de l'utilisation ou non de sources scellées (étalonnage, etc.) et d'éventuels appareils émettant des rayonnements ionisants sur l'INB, à la lumière des précisions ultérieures à ce sujet, la liste figurant dans le tableau ci-avant sera à adapter (cf. Volume 6 du présent rapport).

Tableau 2-14 *Dispositions générales et techniques relatives à la protection des sources de rayonnement ionisants contre les actes de malveillance*

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de la santé publique, partie législative	En vigueur	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 Section 2 : Régimes administratifs, article L. 1333-9
Code de la santé publique, partie réglementaire	En vigueur	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 Section 1 : Mesures générales de protection de la population contre les rayonnements ionisants. Sous-section 2 : Dispositions générales pour toute activité nucléaire Paragraphe 4 : Régime applicable et classification des sources (article R. 1333-14) Section 8 : Dispositions applicables à la protection des sources de rayonnements ionisants contre les actes de malveillance (articles R. 1333-147 à R. 1333-151)
Code de la santé publique, Annexes	En vigueur	Annexes de la première partie (articles Annexe 13-7 et annexe 13-8)

L'INB Cigéo est soumise au régime d'autorisation prévu au L. 1333-2 du code de la défense. Conformément à l'article L. 1333-9 du code de la santé publique, les actes réglementaires ou individuels pris en application du régime des INB et du code de la santé publique ne concernent pas la protection contre les actes de malveillance de cette installation. La prise en compte des obligations en la matière est assurée par le régime d'autorisation prévu au L. 1333-2 du code de la défense. Pour autant, si des sources scellées sont utilisées dans le futur pour les besoins de l'exploitation, ces sources scellées seront alors visées par ces dispositions. Ceci sera précisé dans le cadre des activités de suivi réglementaire de l'INB (cf. Volume 6 du présent rapport).

Tableau 2-15 Transport de substances radioactives

Nature du texte	Référence (date)	Intitulé
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base Chapitre V : Transport de substances radioactives, équipements sous pression nucléaires Section 1 : Transport de substances radioactives (art. L. 595-1)
Code de l'environnement, partie législative	En vigueur	Code de l'environnement, partie réglementaire / En vigueur / Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base Chapitre V : Transport de substances radioactives, équipements sous pression nucléaires Section 1 : Transport de substances radioactives (art. R. 595-1 à -2)
Code de la santé publique, partie réglementaire	En vigueur	Dispositions relatives aux autorisations ou déclarations de transport de matières radioactives (art. R. 1333-44)

2.3.3 Autres réglementations contribuant à la sûreté nucléaire de l'INB Cigéo

En complément des textes réglementaires relatifs aux installations nucléaires de base et aux activités nucléaires, l'exploitation de l'INB peut être soumise à d'autres réglementations dont les exigences contribuent à sa sûreté. Il peut s'agir :

- de textes relatifs à certaines activités comme le transport de matières dangereuses (arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD ») (52) ;
- de textes spécifiques à certains EIP ou à certaines AIP.

Ces textes sont identifiés dans le cadre des activités de suivi de la conformité réglementaire de l'INB (cf. Chapitre 2 du volume 6 du présent rapport).

2.4 Prise en compte des textes réglementaires applicables à la conception de l'INB Cigéo

En réponse à la seconde partie de l'article 3.2.1 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 de l'ASN du 17 novembre 2015 (4), ce chapitre présente la manière dont les exigences associées aux textes listés au chapitre 2.3 du présent volume, et identifiés comme applicables au stade du présent rapport, sont prises en compte dans la conception de l'INB.

2.4.1 Moyens mis en œuvre

L'Andra en phase de développement des études de conception s'appuie sur :

- la déclinaison des référentiels méthodologiques qui s'appliquent au projet ;
- la vérification de leur bonne application dans les documents produits par les maîtrises d'œuvre ;
- le pilotage des études, notamment celles répondant aux exigences de la réglementation et au cadrage des études en propre complémentaires aux études sous-traitées ;
- la contribution à l'élaboration et au suivi des exigences, ainsi qu'aux différents choix techniques structurants en matière de conception.

Il appartient à chaque métier intervenant sur la conception de s'assurer de la prise en compte de l'ensemble des exigences réglementaires et normatives applicables au projet et ce dès le début de la conception. En complément, dans le but de justifier de la conformité réglementaire de la conception de l'INB notamment sur des sujets techniques précis, l'Andra s'appuie sur des missions d'assistance réglementaire et de coordination en matière de contrôle technique, de sécurité et de protection de la santé, des systèmes de sécurité incendie et en matière de haute qualité environnementale.

2.4.2 Vérification de la conformité réglementaire

La conception répond aux exigences réglementaires (cf. Chapitre 2.3 du présent volume), en vigueur (intégrées dans l'ensemble des exigences) qui lui sont applicables et actualisées le cas échéant au lancement de chaque phase du développement en avant-projet.

Par ailleurs, le développement des études de conception se déroule avec l'objectif, outre de valider la conformité réglementaire, d'identifier les vides et incompatibilités réglementaires apparaissant durant les études de conception.

L'analyse de la conformité ne se traduit pas par une justification ligne à ligne de chaque exigence contenue dans chaque texte réglementaire. Elle repose sur l'identification des exigences réglementaires au sein des textes et sur lesquelles une justification de la conformité est apportée.

Ce balayage de l'ensemble des textes réglementaires par thématique permet d'assurer l'exhaustivité de la prise en compte de ces textes. En cas de détection d'une difficulté d'application de tout ou partie d'une exigence réglementaire, des actions sont mises en œuvre dans le cadre des études de conception.

Conclusion

Aucune fiche de dérogation n'est ouverte pour non-respect d'une exigence des textes cités au chapitre 2.3 du présent volume et applicable à la présente version préliminaire du rapport de sûreté.

3

Les référentiels non-réglementaires

3.1 Guide de sûreté n° 1 de l'ASN : Stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde 56
3.2 Autres guides ASN et règles fondamentales de sûreté applicables 57
3.3 Guides ASN et règles fondamentales de sûreté transposables à l'INB 59
3.4 Autres guides, normes et codes techniques 60
3.5 Publications internationales 61
3.6 Référentiel interne à l'Andra appliqué à l'INB Cigéo 62

3.1 Guide de sûreté n° 1 de l'ASN : Stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde

Le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1) définit l'objectif fondamental du stockage de déchets radioactifs selon le principe suivant :

« *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* ».

Le guide indique également :

« 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 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. ».

L'évaluation de la sûreté long terme après fermeture repose ainsi sur une double spécificité des stockages de déchets radioactifs :

- elle ne doit pas dépendre d'une intervention de l'homme au-delà d'une phase de surveillance de l'installation ;
- elle doit permettre une protection sur de longues échelles de temps, en lien avec la dangerosité des déchets présents dans le stockage et en lien avec l'évolution du système de stockage.

Ce guide décline plus précisément cet objectif fondamental selon trois aspects à considérer dans les études de sûreté à chaque étape du projet :

1. « *La vérification du caractère favorable, pour la sûreté après fermeture, des performances des composants du système de stockage censés participer aux fonctions de sûreté pris isolément (colis, composants ouvragés, roche hôte), puis dans leur ensemble ;*
2. *L'évaluation des perturbations apportées, dans le système de stockage, par les interactions entre ses différents composants et l'estimation des conséquences de ces perturbations sur la réalisation des fonctions de sûreté, compte tenu des dispositions préventives et palliatives retenues dans la conception du système pour minimiser les perturbations ou leurs effets ;*
3. *La modélisation du comportement futur du système de stockage pour un jeu de scénarios représentatifs de la situation de référence et des situations altérées, ainsi que l'estimation des risques radiologiques et chimiques associés à chacun de ces scénarios.* ».

L'évaluation de sûreté après fermeture du système de stockage après fermeture s'appuie sur la compréhension des processus, événements, et phénomènes qui se déroulent sur toutes les phases de vie du stockage y compris le long terme, et sur un jeu de scénarios dont la quantification à l'aide d'indicateurs définis permet de vérifier le bon fonctionnement et la robustesse du stockage, c'est-à-dire que l'objectif fondamental de protection est respecté.

3.2 Autres guides ASN et règles fondamentales de sûreté applicables

Le tableau 3-1 présente la liste des guides et RFS publiés par l'ASN et présente les conditions et limites d'application de ces publications applicables à l'INB Cigéo.

Tableau 3-1 Liste des guides et RFS émis par l'ASN applicables à l'INB Cigéo

Publications ASN	Dates de publication	Conditions et limites d'application à l'INB Cigéo
Règle SIN n°A-4212/83 (53) : moyens de mesures météorologiques	1983	L'Andra s'appuie sur la BREF « Principes généraux de surveillance » (54), beaucoup plus récente et adaptée aux techniques actuelles pour tout ce qui concerne la surveillance de l'environnement incluant les moyens de mesures météorologiques
RFS I.3.C (55) : Prévention du risque de criticité	1984	L'Andra s'appuie sur la décision n° 2014-DC-0462 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 octobre 2014 (24) relative à la maîtrise du risque de criticité dans les installations nucléaires de base Application dans l'ensemble des installations des principes généraux, des modalités de contrôle et des critères de dimensionnement
RFS I.4.a (56) : Protection contre l'incendie	1985	L'Andra s'appuie sur la décision n° 2014-DC-0417 de l'ASN du 28 janvier 2014 (23) relative aux règles applicables aux installations nucléaires de base pour la maitrise des risques liés à l'incendie
RFS II.2 (57) : Exigences applicables à la conception et à l'exploitation des systèmes de ventilation assurant des fonctions de sûreté dans les INB autres que les réacteurs nucléaires pour protéger les travailleurs, les personnes du public et l'environnement contre les risques de dissémination radioactive induits par l'exploitation de cette installation	1991	Les principes de cette RFS sont appliqués notamment via l'application de la norme « ventilation » (cf. Chapitre 3.4 du présent volume)
Guide ASN n°3 (58) : Recommandations pour la rédaction des rapports annuels d'information du public relatifs aux installations nucléaires de base	2012	Ce guide sera applicable à l'obtention du décret d'autorisation de l'INB
Guide ASN n°9 (59) : déterminer le périmètre d'une INB	2013	Ce guide est considéré par l'Andra en donnée d'entrée de la définition du périmètre de l'INB Cigéo de la pièce 4 « Plans de situation au 1/10 000e indiquant le périmètre proposé » citée en référence (60) et dont les principaux éléments sont présentés dans le chapitre 2 du volume 2 du présent rapport

Publications ASN	Dates de publication	Conditions et limites d'application à l'INB Cigéo
Guide ASN n°13 (61) : Protection des INB contre les inondations externes	2013	Une étude dédiée a été mise en œuvre par l'Andra conformément aux préconisations de ce guide pour les installations de surface de l'INB Cigéo. Le résultat est présenté au chapitre 4.4 du volume 9 du présent rapport de sûreté Le guide a également été utilisé pour le dimensionnement des liaisons surface-fond
Guide ASN n°28 (62) : Qualification des outils de calcul scientifique utilisés dans la démonstration de sûreté nucléaire	2017	Ce guide peut être utilisé en support méthodologique pour la qualification d'outils de calculs scientifiques développés par l'Andra et utilisés dans le cadre de la démonstration de sûreté nucléaire
Guide ASN n°30 (63) : Politique en matière de maîtrise des risques et inconvénients des INB et système de gestion intégrée des exploitants	2020	Appliqué sans réserve
Guide ASN n°23 (64) - Établissement et modification du plan de zonage déchets des installations nucléaires de base	2016	Appliqué sans réserve
Guide relatif aux modalités de déclaration des événements significatifs dans les domaines des installations nucléaires[15] **(65)**.	2005	Ce guide sera applicable dès l'obtention du décret d'autorisation de création l'INB
Guide transport interne n°34 (66)	27/06/2017	Appliqué sans réserve

[15] Depuis le 1er avril 2019, la partie du guide ASN de 2005 relative aux modalités de déclaration des événements de transport est abrogée.

3.3 Guides ASN et règles fondamentales de sûreté transposables à l'INB

Certains guides ASN, applicables aux INB et dont la mention précise qu'ils sont « *applicables aux Installations nucléaires de base autres que les réacteurs, à l'exception des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs* » ont fait l'objet d'une analyse de leur transposition à l'INB Cigéo. Les conditions et limites de leur mise en œuvre sont présentées dans le tableau 3-2 ci-après.

Tableau 3-2 Liste des guides et RFS ASN non applicables à un centre de stockage de déchets radioactifs mais pris en compte pour l'INB

Publications ASN	Dates de publication	Conditions de mise en œuvre pour l'INB Cigéo
RFS I.1.a (67) : Prise en compte des risques liés aux chutes d'avions RFS applicable aux Installations nucléaires de base autres que les réacteurs, à l'exception des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs	**1992**	La démonstration de sûreté de l'INB Cigéo vis-à-vis du risque de chute d'avions sur les installations de surface et les liaisons surface-fond (têtes de puits et de descenderie) s'appuie sur la méthodologie préconisée dans cette RFS (cf. Chapitre 4.1 du volume 9 du présent rapport)
RFS I.1.b (68) : Prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication RFS applicable aux Installations nucléaires de base autres que les réacteurs, à l'exception des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs	**1992**	L'Andra a retenu cette RFS comme guide pour les installations du périmètre INB en surface de la zone puits et de la zone descenderie pour les risques liés à l'environnement industriel. Les activités industrielles et les voies de communication sont présentées dans le volume 4. L'analyse est présentée au chapitre 4.2 du volume 9 du présent rapport. L'Andra limite toutefois son application au chapitre 2.1 de la RFS relatif à la méthodologie d'identification des risques
RFS 2001-01 (RFS I.1.c) (69) : Détermination du risque sismique pour le sûreté des installations nucléaires de base de surface, à l'exception des stockages à long terme de déchets radioactifs	**2001**	L'Andra retient l'application de cette RFS pour les bâtiments d'exploitation (installations de surface) et comme référence pour les installations de fond et de liaison surface-fond
Guide de l'ASN 2/01 : 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 (70)	**2006**	L'Andra retient l'application de ce guide pour toutes les installations et ouvrages n'ayant pas pour fonction de stocker des déchets radioactifs

3.4 Autres guides, normes et codes techniques

Ce chapitre traite des guides (autres que ceux émis par l'ASN), normes et codes techniques utilisés pour mener les études de sûreté ou ayant un lien avec la sûreté en particulier les études de conception supports à la présente version préliminaire du rapport de sûreté du dossier d'autorisation de création de l'INB Cigéo.

Il s'agit des guides, normes et codes répondant à la demande formulée par l'article 3.2.3 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base (4).

Ces guides, normes et codes techniques sont listés dans le document figurant en référence « Liste des codes et normes utiles à la sûreté nucléaire » (71) selon la présentation thématique suivante :

- les guides, normes et codes utilisés pour la conception de l'INB en lien avec :
  - ✓ son génie civil (ex : Eurocode, outils de calculs THM…) ;
  - ✓ son fonctionnement (en particulier pour le process nucléaire) en lien avec la manutention (règles FEM[16], normes sur les appareils de levage…) et le transfert des colis (guides techniques sur les funiculaires/téléphériques, normes de sécurité sur les installations à câble…) ;
  - ✓ ses réseaux et utilités (normes sur la sécurité électrique, etc.).
- les guides, normes et codes dédiés à la maîtrise des risques internes nucléaires :
  - ✓ la maitrise de la dissémination des substances radioactives eu égard au dimensionnement des enceintes de confinement statique (normes dédiées) et de la ventilation (norme ISO 17873 de 2006 (72)…) ;
  - ✓ la maîtrise des risques d'exposition aux rayonnements ionisants et de criticité par l'utilisation de différents codes de calculs (MCNP, formulaire CRISTAL…).
- les guides, normes et codes propres à la maîtrise des agressions internes/externes essentiellement vis-à-vis des situations d'incendie (règles APSAD, guides de l'Inéris, normes diverses sur le classement au feu des produits, les courbes de feu…) ;
- les guides, normes et codes supports aux évaluations de l'impact sanitaire de l'INB sur l'homme et l'environnement en phase de fonctionnement (calculs d'impact avec le code CERES, guide technique de l'Inéris pour les substances dangereuses…) et après fermeture (schéma de calculs dédiés développés par l'Andra).

Pour chacun des thèmes ci-avant, outre l'appellation et la référence technique des guides, normes et codes techniques retenus, la note support « Liste des codes et normes utiles à la sûreté nucléaire » (71) indique la date des guides/normes pris en compte et la version considérée des différents codes.

» NOTE IMPORTANTE

Les réponses à la demande de précision de l'article 3.2.3 sur les conditions et les éventuelles limites définies par l'exploitant pour l'application des normes et codes techniques sont apportées avec la description de ces outils et la restitution des résultats obtenus (cf. Volume 9 du présent rapport de sûreté et ses différents documents supports associés).

[16] FEM : règles de la Fédération européenne de la manutention

3.5 Publications internationales

La démarche de sûreté retenue par l'Andra suit les textes relatifs à la sûreté, émis par les organismes internationaux (standards de sûreté de l'AIEA, SRL de WENRA, brochures de l'OCDE) qui fixent des principes et permettent le dialogue avec la communauté internationale, en établissant des références communes à tous.

Le présent rapport répond aux principes établis par l'AIEA (PEER REVIEW de 2016 (73)) dans ses prescriptions de sûreté particulières SSR-5 qui mentionnent notamment dans son article 2.17. « *L'objectif primordial du stockage définitif des déchets radioactifs est de protéger les personnes et l'environnement à long terme, après la fermeture de l'installation de stockage. Dans cette phase, il peut y avoir migration de radionucléides vers la biosphère accessible, dispersion de radionucléides dans la biosphère accessible et exposition consécutive de personnes. C'est une conséquence de la lente dégradation des composants artificiels et de la lente migration de radionucléides à partir de l'installation du fait de processus naturels* ».

L'Andra se réfère aux textes en vigueur de la CIPR pour les questions relatives à la protection radiologique qui fixe notamment les limites et contraintes en matière de dose.

Les publications de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) établissent l'état de l'art dans différents domaines. Plusieurs documents traitent du stockage profond de déchets radioactifs. Parmi ces documents, un certain nombre, traite des liens entre les thèmes de recherche, la conception de l'installation et sa démonstration de la sûreté. Seuls sont cités les documents relatifs à la démonstration de sûreté.

Par ailleurs, depuis le premier exercice Européen PAGIS « *Performance Assessment of Geological Isolation Systems for Radioactive Waste ; Disposal in Clay formations* » (1982-1989), la participation à plusieurs exercices organisés sous l'égide de la communauté européenne (PAMINA, EG-DTP), de l'AIEA (BIOMASS, GEOSAF, HIDRA, Monitoring...) et de l'OCDE/AEN (INTESC, EBS, AMIGO, MESA, *workshop* scenarios...) permet à l'Andra de se comparer à ses homologues à l'international et de vérifier que les approches étaient similaires. Les participations de l'Andra à des exercices internationaux permettent également de s'assurer que la stratégie de sûreté retenue est cohérente avec ces références et pratiques. Celles-ci sont utilisées dans le volume 8 du présent rapport.

Le tableau 3-3 liste les principaux référentiels internationaux considérés et leurs conditions de mise en œuvre.

Tableau 3-3 Liste des publications internationales

Textes internationaux en appui à la démonstration	Année de publication	Conditions de mise en œuvre
AEN 6991 (74)	2017	Les principes de gestion du vieillissement des installations du cycle du combustible nucléaire ainsi que les bonnes pratiques indiquées dans cet avis technique sont support aux études de conception et de l'analyse de risques liée au vieillissement
AEN 2012 (75)	2012	MESA, *Methodology For Safety Assessement*, a été utilisé par l'Andra pour conforter son référentiel de sûreté après fermeture
AEN 2016 (9)	2016	La nomenclature et la classification des scénarios après-fermeture retenus par l'Andra sont cohérentes avec les pratiques internationales qui ont fait l'objet d'échanges lors du *workshop* scénario qui s'est tenu à Paris sous l'égide de l'AEN en juin 2015
CIPR 101 (74)	2006	La démarche de l'Andra pour la description des groupes de référence hypothétiques et des personnes représentatives s'appuie sur un ensemble de CIPR dont la CIPR 101

Textes internationaux en appui à la démonstration	Année de publication	Conditions de mise en œuvre
CIPR 103 (76)	2008	En conformité avec ce texte, les évaluations quantitatives sur le long terme n'ont pas un caractère prédictif mais indicatif
CIPR 122-(14)	2013	La démarche de l'Andra pour la description des groupes de référence hypothétiques et des personnes représentatives s'appuie sur un ensemble de CIPR dont la CIPR 122
CIPR 89 (77)	2002	La démarche de description des biosphères prend en compte la CIPR89 pour la description des personnes représentatives des groupes de référence hypothétiques
EPA n°12 (78)	1993	Les coefficients de dose utilisés pour le calcul des doses efficaces par exposition externe proviennent du fédéral guidance n°12 de l'EPA
GSG 10 (79)	2018	Le GSG-10 est pris en compte pour le choix des modèles de dispersion retenus
SSG-14 (80)	2011	L'évaluation de sûreté après fermeture est réalisée en cohérence avec les pratiques préconisées par le SSG-14 relatif au « *Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste* » de l'AIEA
SSG-23 (10)	2012	L'évaluation de sûreté après fermeture est réalisée en cohérence avec les pratiques préconisées par le SSG-23 relatif à « *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste* » de l'AIEA
SSG-31 (81)	2014	La stratégie de surveillance, est établie en cohérence avec les pratiques préconisées par le SSG-31 de l'AIEA
SSR 5 (8)	2011	La SSR-5 de l'AIEA est appliquée au sens large
Wenra SRL 2014 (82)	2014	Le « SRL 2014 » publié par WENRA et relatif au stockage, est utilisé en support aux évaluations de sûreté, au sens large

3.6 Référentiel interne à l'Andra appliqué à l'INB Cigéo

De manière à intégrer le caractère souterrain et d'autre part le développement progressif de l'INB Cigéo, l'Andra a élaboré un référentiel incendie spécifique à l'installation souterraine (83) 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 qui guident la conception de l'installation souterraine de l'INB 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 ;
- le maintien de l'activité industrielle et des installations.

4

Les demandes de l'ASN et les engagements de l'Andra

4.1 Le cadre réglementaire 64
4.2 Un dossier d'options de sûreté soumis en 2016 à l'ASN 64
4.3 Un avis de l'ASN à la suite de l'instruction du dossier d'options de sûreté 65
4.4 Des demandes complémentaires dans le cadre du PNGMDR 2016-2018 65

4.1 Le cadre réglementaire

Conformément à l'article R. 593-14 du code de l'environnement, l'Andra prévoyant d'exploiter l'installation nucléaire de base Cigéo a demandé à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), préalablement à l'engagement de la procédure d'autorisation de création, un avis sur tout ou partie des options qu'elle a retenues pour assurer la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.

Selon l'article R. 593-18 VI. du code de l'environnement « *Si l'installation correspond à un modèle dont les options de sûreté ont fait l'objet d'un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans les conditions définies à l'article R. 593-14, la version préliminaire du rapport de sûreté identifie les questions déjà étudiées dans ce cadre, les études complémentaires effectuées et les justifications complémentaires apportées, notamment celles demandées par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans son avis.* ».

En application de ces articles, à l'issue de l'instruction des options de sûreté, l'ASN, par l'avis n° 2018-AV-0300 du 11 janvier 2018 (84) rendu et publié sur son site[17], a précisé dans quelle mesure les options de sûreté présentées sont « *propres à prévenir ou limiter les risques pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1, compte tenu des conditions techniques et économiques du moment* ».

L'ASN a également identifié les études et justifications complémentaires nécessaires en vue d'une éventuelle demande d'autorisation de création, dans une lettre adressée à l'Andra le 12 janvier 2018 (cf. Lettre CODEP-DRC-2018-001635 (85)). Cette lettre récapitule les demandes par grande thématique et les engagements pris lors de l'instruction du dossier d'options de sûreté en 2017 ainsi que ceux résultant d'instruction de dossiers antérieurs.

En réponse aux lettres précitées et également à l'article R. 593-18 du code de l'environnement, le dossier de demande d'autorisation de création et en particulier le présent rapport de sûreté répond aux demandes et engagements formulés respectivement par l'ASN et l'Andra dans le cadre des instructions antérieures.

4.2 Un dossier d'options de sûreté soumis en 2016 à l'ASN

En avril 2016, selon l'article 6 du décret n° 1557 du 2 novembre 2007(86)[18], préalablement à l'engagement de la procédure d'autorisation de création de l'INB Cigéo, l'Andra a transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) un « Dossier d'options de sûreté » (2, 3).

La transmission de ce dossier a constitué une étape importante dans la préparation du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo. Les options de sûreté résultent de boucles d'itérations menées depuis 1991 (cf. Volume 1 du présent rapport) Ces itérations s'appuient sur un socle de connaissances scientifiques et technologiques en accompagnant le développement progressif de la conception et de l'évaluation de la sûreté associée tant en exploitation qu'à long terme après fermeture.

Pour chaque itération, l'Andra s'est attachée à vérifier en particulier le respect des objectifs de sûreté et de protection fixés par la RFS.III.2. f de 1991 (6) puis le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (1). Chaque itération s'est traduite par l'élaboration d'un dossier émis par l'Andra, qui a fait l'objet d'une instruction systématique menée par l'ASN et parfois d'une revue par des experts au niveau international.

[17] L'ensemble des avis sur le projet de stockage en couche géologique profonde sont disponibles sur le site de l'ASN à l'adresse suivante : https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/avis-de-l-asn-sur-les-options-de-surete-de-cigeo#:~:text=L'ASN%20estime%20que%20le,dossier%20d'options%20de%20s%C3%BBret%C3%A9.

[18] Les articles R. 593-14 à R. 593-19 du code de l'environnement relatifs à la « création d'une installation nucléaire de base » résultent de la codification des dispositions du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 (86), dit décret « procédure », qu'ils remplacent désormais depuis mars 2019.

4.3 Un avis de l'ASN à la suite de l'instruction du dossier d'options de sûreté

L'ASN a saisi l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en 2016 pour instruire le dossier d'options de sûreté ainsi que les groupes permanents d'experts placés auprès d'elle. Elle a également soumis le dossier d'options de sûreté à une revue internationale par des experts (73), issus d'autorités de sûreté étrangères, sous l'égide de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique).

À l'issue de l'instruction, l'ASN a rendu son avis le 11 janvier 2018 (84) dans lequel elle a mentionné que « *Le projet Cigéo a atteint dans son ensemble une maturité technique satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté* ».

L'ASN a également adressé à l'Andra une lettre de suite reprenant cet avis (85). Cette lettre précise les options de sûreté et les démarches propres à prévenir ou à limiter les risques pour les intérêts mentionnés au L. 593-1 du code de l'environnement, compte tenu des conditions techniques et économiques du moment.

Dans cette lettre, l'ASN identifie également les études et justifications complémentaires nécessaires pour la demande d'autorisation de création intégrant les demandes formulées par l'ASN et les engagements pris par l'Andra lors d'instructions précédentes en les classant par grands sujets (du chapitre « A » au chapitre « U » respectivement du « niveau de détail attendu pour la demande d'autorisation de création » à « l'autorisation de création d'une INB : cas spécifique de Cigéo »). Ainsi, la lettre de suite adressée à l'Andra le 12 janvier 2018 (85) présente :

- dans son annexe A, l'Avis n° 2018-AV-0300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (84) ;
- dans son annexe B, les options de sûreté propres à prévenir ou limiter les risques pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement, compte tenu des conditions techniques et économiques du moment ;
- dans son annexe C les études et justifications complémentaires nécessaires pour une demande d'autorisation de création ;
- dans son annexe D, les engagements pris par l'Andra au cours de l'instruction du dossier d'options de sûreté.

4.4 Des demandes complémentaires dans le cadre du PNGMDR 2016-2018

Des demandes ont été formulées à l'Andra dans le cadre du « PNGMDR 2016-2018 » selon l'arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 (87) pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. L'Andra a envoyé un ensemble de documents en réponse aux différents articles du PNGMDR précité. Ces documents ont fait l'objet d'avis ASN adressés à l'Andra entre 2019 et début 2022 à l'issue de leur analyse. L'ASN a notamment publié le 1er décembre 2020, l'avis n°2020-AV-0369 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 et en particulier celles sur le stockage des déchets HA et MA-VL.

Ces demandes sont donc également prises en compte par l'Andra dans le dossier support à la demande d'autorisation de création et en particulier dans le présent rapport de sûreté. Cela concerne en particulier l'inventaire, l'adaptabilité, les déchets bitumés et les spécifications d'acceptation des colis de déchets HA et MA-VL.

L'ensemble des documents et des avis est mis en ligne sur le site de l'ASN à l'adresse suivante : https://www.asn.fr/espace-professionnels/installations-nucleaires/le-plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs).

Le tableau ci-après récapitule les dossiers/documents soumis à l'ASN depuis le dossier d'options de sûreté inclus et ayant fait l'objet d'avis en vue de leur prise en compte pour la demande d'autorisation de création.

Tableau 4-1 *Synthèse des dossiers soumis par l'Andra à l'ASN depuis 2005 en préalable de la demande d'autorisation de création de l'INB*

Dossier/documents Andra soumis à instruction	Principal objectif	Position/lettre de suite ASN
Dossier d'options de sûreté	Dépôt d'un « Dossier d'options de sûreté » (2, 3) dans le cadre de l'article 6 du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2017[19] (86)	Lettre ASN , 2018 (85) Lettre CODEP-DRC-2018-034804 incluant les demandes du PNGMDR 2016-2018
Proposition de types et de quantités de déchets à inclure dans l'inventaire de réserve de Cigéo (88)	Réponse à l'article 56 en 2017 puis en 2019 « PNGMDR 2016-2018 »	Courrier de l'ASN à l'Andra du 28 février 2022 concernant l'inventaire de réserve et les études d'adaptabilité pour l'installation de stockage Cigéo (89)
Contenu des études relatives à l'adaptabilité de Cigéo au stockage des déchets de l'inventaire de réserve (90)	Dossier en réponse à l'article 14 du « PNGMDR 2016-2018 »	Courrier de l'ASN à l'Andra du 28 février 2022 concernant l'inventaire de réserve et les études d'adaptabilité pour l'installation de stockage Cigéo (89)
Stockage en l'état des fûts de déchets bitumés dans Cigéo - Maîtrise des risques et principes d'évolution de conception » (91)	Dossier en réponse à l'article 46 article « PNGMDR 2016-2018 »	Courrier CODEP-DRC-2021-027897 de l'ASN à l'Andra du 18 juin 2021 concernant l'analyse de l'impact des résultats des études relatives au comportement des colis de déchets bitumés sur leurs conditions d'accueil dans Cigéo (92)
Documents sur la définition des aléas sismiques en exploitation	Instruction sur la définition de l'aléa sismique en phase d'exploitation	Avis CODEP-DRC-2022-002107 sur la définition de l'aléa sismique en phase d'exploitation d'avril 2022[20]

[19] Depuis, ce décret a été abrogé par le code de l'environnement en mars 2019 ; l'article relatif aux options de sûreté est dorénavant l'article R. 593-14.

[20] Concernant l'avis d'avril 2022 sur l'aléa sismique, l'ASN note que « l'ensemble des résultats de votre plan d'actions et de vos engagements devront être disponibles dans des délais compatibles avec l'instruction de la demande d'autorisation de création du projet Cigéo ». Le présent document sera mis à jour après le dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC) sur ces éléments.

5

Les compléments et modifications par rapport au dossier d'options de sûreté

5.1 Le cadre réglementaire 68

5.2 Depuis le dossier d'options de sûreté de 2016, une nouvelle boucle d'itération entre connaissances/conception/sûreté 68

5.3 Les compléments et modifications apportés depuis le dossier d'options de sûreté 69

5.1 Le cadre réglementaire

Selon l'article R. 593-14 du code de l'environnement, « *toute personne qui prévoit d'exploiter une installation nucléaire de base peut demander à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, préalablement à l'engagement de la procédure d'autorisation de création, un avis sur tout ou partie des options qu'elle a retenues pour assurer la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.*

L'autorité, par un avis rendu et publié dans les conditions et les formes qu'elle détermine, précise dans quelle mesure les options de sûreté présentées par le demandeur sont propres à prévenir ou limiter les risques pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1, compte tenu des conditions techniques et économiques du moment. L'autorité peut définir les études et justifications complémentaires qui seraient nécessaires en vue d'une éventuelle demande d'autorisation de création. Elle peut fixer la durée de validité de son avis ».

Selon l'article R. 593-18 VI. du code de l'environnement, « *Si l'installation correspond à un modèle dont les options de sûreté ont fait l'objet d'un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans les conditions définies à l'article R. 593-14, la version préliminaire du rapport de sûreté identifie les questions déjà étudiées dans ce cadre, les études complémentaires effectuées et les justifications complémentaires apportées, notamment celles demandées par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans son avis. Le cas échéant, elle présente les modifications ou les compléments apportés aux options ayant fait l'objet de l'avis de l'autorité ».*

DES COMPLÉMENTS ET MODIFICATIONS ENTRE LE DOSSIER D'OPTIONS DE SURETÉ ET LE DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION DE CRÉATION (DAC) EN RÉPONSE AUX DEMANDES DE L'ASN ET ENGAGEMENTS PRIS PAR L'ANDRA (D&E)

Les options de sûreté jugées par l'ASN (cf. Chapitre 4 du présent volume) dans sa lettre du 12 janvier 2018 (85) (annexe D) « propres à prévenir ou limiter les risques pour les intérêts » sont reconduites.

En réponse à l'article R. 593-18 VI. du code de l'environnement, l'Andra a effectué des études depuis le dossier d'options de sûreté pour apporter des justifications complémentaires, notamment celles demandées par l'Autorité de sûreté nucléaire dans son avis et pour répondre aux engagements pris par l'Andra en instructions. Les résultats de ces études sont présentés principalement dans le présent rapport de sûreté[21] et les documents techniques support référencés.

5.2 Depuis le dossier d'options de sûreté de 2016, une nouvelle boucle d'itération entre connaissances/conception/sûreté

Dans le cadre normal du développement progressif de l'INB en phase de conception initiale, l'Andra a réalisé une nouvelle itération sûreté/conception/connaissances depuis celle menée pour les options de sûreté. Cette nouvelle itération intègre :

- la consolidation de connaissances scientifiques et technologiques obtenue notamment au Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne tel que prévu dans le programme des activités scientifiques et technologiques ;

[21] Quelques demandes et engagements font l'objet de réponses dans les pièces du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) autres que la présente version préliminaire du rapport de sûreté.

- la poursuite des études de conception de la phase d'avant-projet dont les pistes d'optimisation annoncées au stade du dossier d'options de sûreté ;
- les études de la démonstration de sûreté en exploitation en lien avec les avancées de la connaissance et de la conception dont les compléments de démonstration de sûreté annoncés au stade du dossier d'options de sûreté.

Les études d'acquisition des connaissances scientifiques et technologiques, de conception et de sûreté prennent également en compte les retours de l'instruction du dossier d'options de sûreté.

La nouvelle boucle d'itération a amené l'Andra à faire évoluer certains choix en matière de conception et/ou de sûreté.

Les compléments et modifications depuis le dossier d'options de sûreté

Conformément à l'article R. 593-18 VI (cf. Chapitre 5.1 du présent volume), les compléments et modifications depuis le dossier d'options de sûreté résultent de plusieurs sources :

- les compléments :
  - ✓ étaient annoncés dans le dossier d'options de sûreté ;
  - ✓ répondent à des demandes formulées par l'ASN ou des engagements pris par l'Andra lors des instructions.
- les modifications :
  - ✓ résultent de la nouvelle boucle d'itération prévue par l'Andra entre le « Dossier d'options de sûreté » (2, 3) et la demande d'autorisation de création (DAC) intégrant les résultats des études de consolidation des acquis de connaissances scientifiques et technologiques, de la poursuite des études de conception en avant-projet et des études de la démonstration de sûreté associée ;
  - ✓ résultent parfois des études pour répondre aux demandes de l'ASN et engagements pris par l'Andra.

5.3 Les compléments et modifications apportés depuis le dossier d'options de sûreté

Le tableau ci-après synthétise les compléments et modifications importantes en regard des implications sur les choix de conception retenus, des fonctions de sûreté et de la démonstration de sûreté depuis les options de sûreté.

Pour chaque thème/composant, il précise s'il s'agit d'un complément apporté par l'Andra tel que prévu dans les options de sûreté ou en réponse à une demande et un engagement (D&E) ou s'il s'agit d'une modification.

Tableau 5-1 *Synthèse des compléments et modifications importantes depuis les options de sûreté (extrait du document « Compléments et modifications depuis le DOS » (93))*

Thème/composant	Compléments (annoncé dans le « Dossier d'options de sûreté » (2, 3) (O/N))	Modifications (suite à l'instruction des options de sûreté ou dans le cadre de la poursuite des études d'avant-projet)	Volumes concernés de la présente version préliminaire du rapport de sûreté
Colis de déchets	Mode de stockage direct (O) pour certaines familles.	s.o.	Volume 3 pour ce qui concerne les modes de stockage des colis Volumes 8 et 9 relatifs la démonstration de sûreté en exploitation et après fermeture
	s.o.	Deux voies de gestion des colis de déchets bitumés au titre de la flexibilité	Volume 11 avec un chapitre dédié aux voies de gestion
	Ajout d'exigences spécifiées sur le stockage direct et compléments sur les exigences non quantifiées au stade du dossier d'options de sûreté (O).	s.o.	Pièce 19 « Version préliminaire d'acceptation des colis » (94) et appelée par le volume 3
Site d'implantation		Modèle hydrogéologique	Volumes 4 et 7
Évaluation phénoménologique du comportement du système de stockage	Transitoire hydraulique -Gaz (O).	s.o.	Volume 7 pour ce qui concerne la présentation d'un point de vue de la phénoménologie du transitoire H-GAZ Volume 8 pour ce qui concerne l'analyse de risque et incertitudes relative au transitoire H-GAZ Et fiche bilan associée (95)
Bâtiment nucléaire de surface EP1	Précisions sur la zone de contrôles hors-flux (O).	Dimensionnement de la zone hors flux vis-à-vis du risque incendie (sectorisation feu)	Volume 5 présentant la stratégie retenue pour les contrôles hors flux Volume 9 en particulier le chapitre relatif au risque d'incendie

Thème/composant	Compléments (annoncé dans le « Dossier d'options de sûreté » (2, 3) (O/N))	Modifications (suite à l'instruction des options de sûreté ou dans le cadre de la poursuite des études d'avant-projet)	Volumes concernés de la présente version préliminaire du rapport de sûreté
Installation souterraine	Prise en compte pour le quartier de stockage MA-VL du stockage direct (O). Avancées sur la connaissance vis-à-vis de la corrosion et essais au Laboratoire souterrain sur l'alvéole HA. Présence d'une colonne à carburant.	Longueur des alvéoles du quartier de stockage HA, dimensionnement des alvéoles MA-VL ; prise en compte du stockage direct et donc nombre d'alvéoles du quartier de stockage MA-VL. Dispositif de balayage pour l'alvéole HA. Nouvelles alvéoles de stockage de déchets bitumés en conteneur renforcés vis-à-vis de l'incendie Colis HA0 et colis MA-VL vitrifiés en intercalaires dans des alvéoles HA1/HA2	Volume 5 présentant l'installation souterraine, volumes 8 et 9 relatifs à la démonstration de sûreté et les documents justificatifs de la conception des alvéoles HA et MA-VL ainsi que le document justifiant l'architecture souterraine Volume 11 traitant de la prise en charge des déchets bitumés et le « Dossier de justification de la conception des alvéoles dédiés au stockage des fûts de déchet bitumés mis en conteneur renforcé » (96)
Ouvrages de fermeture	s.o	Fonction de sûreté « passant au gaz »	Volume 5 présentant les ouvrages de fermeture, Volume 8 relatif à l'analyse de sûreté après fermeture et le document justifiant la conception des ouvrages de fermeture (97)
Démonstration de sûreté après fermeture	• prise en compte des substances toxiques chimiques (O) ; • traitement de l'ensemble des scénarios, biosphères, groupes et classes d'âges identifiés au stade du dossier d'options de sûreté (O) ; • analyse des risques liée au transitoire Hydraulique-Gaz, criticité, aléa sismique (O).	Évaluation des conséquences de l'ensemble des scénarios de sûreté en lien avec (i) évolution des modèles hydrogéologiques, (ii) prise en compte de deux exutoires complémentaires, (iii) nouvelle spéciation du Sélénium 79	Volume 8

Thème/composant	Compléments (annoncé dans le « Dossier d'options de sûreté » (2, 3) (O/N))	Modifications (suite à l'instruction des options de sûreté ou dans le cadre de la poursuite des études d'avant-projet)	Volumes concernés de la présente version préliminaire du rapport de sûreté
Démonstration de sûreté en exploitation	Risques pour les colis en stockage direct. Évaluation des événements extrêmes. Liste des EIP et exigences définies (O). Évaluation sur l'environnement en fonctionnement normal (présenté dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (15)).	Fonction de sûreté pour certaines alvéoles MA-VL d'évacuation de la puissance thermique Nouvelle conception sur stockage des déchets bitumés et scénario extrême Objectif de protection Aléas externes autres que le séisme Aléa sismique Évaluation des conséquences des scénarios	Volume 9

ANNEXES

Annexe 1 Objectifs de protection retenus pour chaque substance toxique chimique concernée dans le cadre des évaluations d'impact aux populations

Conformément à l'arrêté du 7 février 2012 (5), les valeurs seuils de toxicité aiguë françaises (VSTAF) sont les valeurs de référence pour l'étude des phénomènes dangereux non radiologiques des INB.

En complément, parmi les différentes VSTAF, l'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 (18) préconise de se référer aux valeurs associées aux seuils des effets irréversibles (SEI) pour l'homme. Pour les évaluations d'impact chimique en situation accidentelle, l'Andra fixe ainsi un non-dépassement des seuils d'effet irréversible (SEI) comme objectif de protection. Si le SEI pour la durée d'exposition considérée dans le scénario accidentel n'est pas disponible, le seuil retenu correspond au seuil associé à la durée la plus proche publiée dans la littérature. En l'absence de SEI associé au toxique chimique considéré, l'Andra retient des objectifs de protection alternatifs dits de rang 2 voire de rang en application de la Circulaire du 10 mai 2010 qui indique que des seuils de toxicité aiguë internationaux peuvent également être utilisés (98).

Les objectifs de protection retenus par l'Andra vis-à-vis du risque chimique sont listés ci-après, par ordre de priorité :

- rang 1 : les seuils d'effets irréversibles (SEI) ;
- rang 2 : les *Acute Exposure Guidelines Levels* (AEGL) publiés au *Federal Register* ou les *Emergency Response planning Guidelines* (EPRG) publiés par *l'American Industrial Hygeniest Association* (AIHA) ;
- rang 3 : les *Immediatly Dangerous to Life or Health* (IDLH) déterminés par le *National Institute of occupational Dafety and health* (NIOSH) ou les *Temporary Exposure Emergency Limit* (TEEL définis par le secrétariat d'État américain des transports.

Les seuils retenus comme objectifs de protection Andra correspondent aux valeurs publiées dans la littérature pour une durée d'exposition de 30 minutes.

Les objectifs de protection retenus par l'Andra pour l'évaluation du risque chimique pour le public en situation accidentelle sont présentés dans le tableau 5-2.

Tableau 5-2 Objectifs de protection pour les évaluations d'impact non radiologique pour le public en situation accidentelle

Substances toxiques chimiques	Objectif de protection (mg/m³)	Type d'indicateur	Substances toxiques chimiques	Objectif de protection (mg/m³)	Type d'indicateur
As	0,8	SEI	**Hg**	4	SEI
B	48,2	SEI	**Ni**	0,2	AEGL-2
Be	16	SEI	**Pb**	120	TEEL-2
Cd	1	AEGL-2	**Sb**	15,8	AEGL-2
CN-	1,2	SP	**Se**	0,4	AEGL-2
Cr	15	IDLH	**U**	41	SEI

Pour chaque substance toxique chimique, l'acceptabilité du risque et de sa conséquence potentielle en situation accidentelle est ainsi analysée en évaluant les marges entre les concentrations calculées au niveau des cibles et les objectifs de protection.

TABLEAU DE TRAÇABILITÉ DES PRINCIPALES ÉVOLUTIONS

Le tableau suivant précise les paragraphes qui présentent des évolutions ainsi que leur origine qui peut être de différente nature :

- évolution réglementaire : mise en cohérence avec les évolutions de réglementation post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- instruction technique avec l'ASNR : intégration de précisions apportées à l'ASNR en cours d'instruction technique en lien avec le contenu du dossier de DAC ;
- cohérence dossier : mise en cohérence entre pièces du dossier de DAC ;
- cohérence DR0 : mise en cohérence avec le dossier DR0 déposé post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence dossier de chiffrage : mise en cohérence avec le dossier de chiffrage déposé post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence dossiers PNGMDR : mise en cohérence avec les dossiers en réponse au PNGMDR déposés post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence politique énergétique : mise à jour de l'inventaire de réserve et des études de sûreté associées pour tenir compte des évolutions de politique énergétique. Ces éléments ont été communiqués à l'ASNR dans le cadre de l'instruction technique ;
- cohérence planning : intégration de la mise à jour de la date de mise en service annoncée post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence conditionnement : mise en cohérence avec les évolutions de conditionnement des colis primaires annoncées par les producteurs post-dépôt initial du dossier de DAC.

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
Préambule		X								
1.2.4	Les objectifs de protection	X								
1.3.4	Les objectifs de protection en exploitation			X						

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
2.3.1	Réglementation relative aux installations nucléaires de base	X								
2.3.2	Réglementation applicable aux activités nucléaires	X								
4.1	Le cadre réglementaire	X								
5.1	Le cadre réglementaire	X								

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1	Schéma illustrant l'approche coordonnée entre la sûreté en exploitation et après fermeture	9
Figure 1-2	Illustration schématique des étapes de la démarche d'évaluation de sûreté après fermeture	16
Figure 1-3	Illustration schématique du déroulement de l'analyse des risques et incertitudes après fermeture	18

Tableaux

Tableau 1-1	Objectifs de protection vis-à-vis des risques radiologiques	24
Tableau 1-2	Principes généraux pour les choix de conception en regard des principales fonctions de sûreté après fermeture du système de stockage	30
Tableau 2-1	Dispositions générales relatives aux INB	40
Tableau 2-2	Dispositions spécifiques à l'INB Cigéo	42
Tableau 2-3	Dispositions techniques relatives à la démonstration de sûreté nucléaire	42
Tableau 2-4	Dispositions techniques relatives à la préparation et la gestion des situations d'urgence	43
Tableau 2-5	Dispositions générales et techniques relatives à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement	43
Tableau 2-6	Dispositions générales et techniques relatives à la gestion des déchets	44
Tableau 2-7	Dispositions générales et techniques relatives aux équipements et installations nécessaires à l'exploitation de l'INB	45
Tableau 2-8	Dispositions générales relatives aux équipements sous pression nucléaires	46
Tableau 2-9	Dispositions générales relatives à la santé et sécurité au sein des INB (code du travail)	47
Tableau 2-10	Dispositions générales relatives aux activités nucléaires	48
Tableau 2-11	Dispositions relatives à la radioprotection des travailleurs	49
Tableau 2-12	Dispositions générales et techniques relatives à la gestion des incidents ou accidents	50
Tableau 2-13	Dispositions générales et techniques relatives à la gestion des sources radioactives et sources de rayonnements ionisants	51
Tableau 2-14	Dispositions générales et techniques relatives à la protection des sources de rayonnement ionisants contre les actes de malveillance	52
Tableau 2-15	Transport de substances radioactives	53
Tableau 3-1	Liste des guides et RFS émis par l'ASN applicables à l'INB Cigéo	57
Tableau 3-2	Liste des guides et RFS ASN non applicables à un centre de stockage de déchets radioactifs mais pris en compte pour l'INB	59
Tableau 3-3	Liste des publications internationales	61
Tableau 4-1	Synthèse des dossiers soumis par l'Andra à l'ASN depuis 2005 en préalable de la demande d'autorisation de création de l'INB	66
Tableau 5-1	Synthèse des compléments et modifications importantes depuis les options de sûreté (extrait du document « Compléments et modifications depuis le DOS » (93))	70
Tableau 5-2	Objectifs de protection pour les évaluations d'impact non radiologique pour le public en situation accidentelle	74

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2008). 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/50883/352509?version=2.

2 Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation (DOS-Expl). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASR10000150060. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-exploitation.pdf.

3 Dossier d'options de sûreté - Partie après fermeture (DOS-AF). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASR20000150062. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-apres-fermeture_0.pdf.

4 Arrêté du 11 janvier 2016 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2016). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1600309A.

5 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (version consolidée au 24 septembre 2018). Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement; Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2018). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1202101A.

6 Règle n° III.2.f du 10 juin 1991 - Définition des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1991). 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/rfs/rfs-relatifs-aux-inb-autres-que-rep/rfs-iii.2.f-du-01-06-1991.

7 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-OBS-0000-19-0005.

8 Disposal of Radioactive Waste: Specific Safety Requirements. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011). N°SSR-5. 62 p.

9 Integration Group for the Safety Case. NEA IGSC Scenario Development Workshop, 1-3 June 2015, Issy-les-Moulineaux, France. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Publishing (2016). Vol. NEA-RWM-R-2015-3.

10 The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste - Specific safety guide. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012). N°SSG-23. 140 p.

11 Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique (version consolidée du 1er janvier 2023). Ministère de la Santé et des Solidarités (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°SANP0720201A.

12 Grammont, V., Boudet, C. Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires - Démarche intégrée pour la gestion des émissions et substances chimiques par les installations classées - Impact des activités humaines sur les milieux et la santé. Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) (2013). N°DRC-12-125929-13162B. 102 p.

13 Publication 103 de la CIPR - Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN); International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2009). 417 p. Disponible à l'adresse : https://www.icrp.org/docs/P103_French.pdf.

14 ICRP Publication 122: Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. Annals of the International commission on radiological protection (ICRP) (2013). Weiss, W.,Larsson, C.M.,McKenney, C.,Minon, J.P.,Mobbs, S.,Schneider, T.,Umeki, H.,Hilden, W.,Pescatore, C.,Vesterlind, M. Vol. 42, N°3, 61 p.

15 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 6 - Étude d'impact du projet global Cigéo. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-EDM-AMOA-ESE-0000-22-0005.

16 Règlement (Euratom) 2016/52 du Conseil du 15 janvier 2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique et abrogeant le règlement (Euratom) n° 3954/87 et les règlements (Euratom) n° 944/89 et n° 770/90 de la Commission. Conseil de l'Union européenne (2016). Journal officiel de l'Union européenne, N°CELEX: 32016R0052.

17 Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 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. Conseil de l'Union européenne (2014). Journal officiel de l'Union européenne, N°CELEX:32013L0059.

18 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. Ministère de l'Écologie et du Développement durable (2005). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP0540371A.

19 Arrêté du 18 décembre 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base (version consolidée de la décision au 1er janvier 2025). Ministère de la Transition écologique et solidaire (2025). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1735400A.

20 Arrêté du 16 février 2023 portant homologation de la décision n° 2022-DC-0749 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 novembre 2022 modifiant 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 et la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base. Ministère de la Transition énergétique (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°ENEP2303777A, pp.80-85.

21 Arrêté du 9 février 2024 portant homologation de la décision n° 2023-DC-0770 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 novembre 2023 modifiant la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (2024). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP2404012A, pp.99-102.

22 Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. Assemblée nationale; Sénat (2006). Journal officiel de la République française (JORF), N°ECOX0600036L.

23 Arrêté du 20 mars 2014 portant homologation de la décision n° 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 officiel de la République française (JORF), N°DEVP1405062A.

24 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 (JORF), N°DEVP1425892A.

25 Arrêté du 28 août 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0592 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 13 juin 2017 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. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1724452A.

26 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 (version consolidée de la décision au 23 décembre 2016). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2016). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1319360A; DEVP1634501A.

27 Arrêté du 5 décembre 2016 portant homologation de la décision n° 2016-DC-0569 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 septembre 2016 modifiant 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'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2016). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1634501A.

28 Directive n° 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs. Conseil de l'Union européenne (2011). Journal officiel de l'Union européenne, N°CELEX:32011L0070L199.

29 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 la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base (version consolidée de la décision au 3 mars 2023). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1512738A.

30 Arrêté du 13 juin 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1715555A.

31 Arrêté du 30 décembre 2015 relatif aux équipements sous pression nucléaires (version consolidée du 1er janvier 2019). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2019). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1429850A.

32 Arrêté du 18 décembre 2019 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification des organismes de formation et des organismes compétents en radioprotection (version consolidée du 1er janvier 2022). Ministère du Travail (2022). Journal officiel de la République française (JORF), N°MTRT1920692A.

33 Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Ministère de la Transition écologique (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°ENEP2327278A.

34 Arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision n° 2008-DC-0095 du 29 janvier 2008 de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, prise en application des dispositions de l'article R. 1333-12

du code de la santé publique. Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie Associative (2008). Journal officiel de la République française (JORF), N°SJSP0813721A.

35 Arrêté du 8 juillet 2008 portant homologation de la décision n° 2008-DC-0099 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 avril 2008 portant organisation du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement et fixant les modalités d'agrément des laboratoires, pris en application des dispositions des articles R. 1333-11 et R. 1333-11-1 du code de la santé publique (version consolidée de la décision au 1er janvier 2019). Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie Associative (2019). Journal officiel de la République française (JORF), N°SJSQ0815908A.

36 Arrêté du 18 janvier 2023 portant homologation de la décision n°2022-DC-0747 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 6 décembre 2022 fixant des règles que le responsable de l'activité nucléaire est tenu de faire vérifier en application de l'article R. 1333-172 du code de la santé publique. Ministère de la Transition énergétique (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°ENEP2236512A.

37 Arrêté du 18 janvier 2023 portant homologation de la décision n° 2022-DC-0748 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 6 décembre 2022 fixant les conditions et les modalités d'agrément des organismes chargés des vérifications mentionnées à l'article R. 1333-172 du code de la santé publique. Ministère de la Transition énergétique (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°ENEP2236528A.

38 Décret n° 2023-489 du 21 juin 2023 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants. Premier ministre; Ministère du travail, du Plein emploi et de l'Insertion (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°MTRT2237064D.

39 Décret n° 2024-1238 du 30 décembre 2024 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants. Premier ministre; Ministère du Travail et de l'Emploi (2024). Journal officiel de la République française (JORF), N°TSST2427857D.

40 Arrêté du 15 mai 2006 modifié relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées dites zones délimitées compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants (version consolidée du 7 juin 2024). Ministère de l'Emploi, de la Cohésion sociale et du Logement (2024). Journal officiel de la République française (JORF), N°SOCT0611077A.

41 Arrêté du 27 novembre 2013 relatif aux entreprises intervenant au sein d'établissements exerçant des activités nucléaires et des entreprises de travail temporaire concernées par ces activités (version consolidée du 1er juillet 2015). Ministère du Travail, de l'Emploi, de la Formation professionnelle et du Dialogue social; Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2015). Journal officiel de la République française (JORF), N°ETST1328293A.

42 Arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants (version consolidée du 25 juin 2023). Ministère du Travail; Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°MTRT1901273A.

43 Arrêté du 24 octobre 2022 relatif aux modalités et aux fréquences des vérifications des règles mises en place par le responsable d'une activité nucléaire. Ministère de la Transition énergétique; Ministère des Armées; Ministère de la Santé et de la Prévention (2022). Journal officiel de la République française (JORF), N°ENEP2217428A.

44 Arrêté du 23 juin 2023 relatif aux modalités d'enregistrement et d'accès au système d'information et de surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants « SISERI » et modifiant l'arrêté du 26 juin 2019 relatif à la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. Ministère du travail, du Plein emploi et de l'Insertion (2023). Journal officiel de la République française (JORF), N°MTRT2315019A.

45 Arrêté du 15 mai 2024 relatif à la démarche de prévention du risque radon et à la mise en place d'une zone radon et des vérifications associées dans le cadre du dispositif renforcé pour la

protection des travailleurs. Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités; Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire (2024). Journal officiel de la République française (JORF), N°TSST2409702A.

46 Arrêté du 21 décembre 2007 portant homologation de la décision n° 2007-DC-0074 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 novembre 2007 fixant la liste des appareils ou catégorie d'appareils pour lesquels la manipulation requiert le certificat d'aptitude mentionné au premier alinéa de l'article R. 231-91 du code du travail (version consolidée de la décision au 3 décembre 2009). Ministère du Travail, des Relations sociales, de la Famille, de la Solidarité et de la Ville; Ministère de l'Agriculture et de la Pêche; Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2009). Journal officiel de la République française (JORF), N°MTST0773806A.

47 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. Ministère de la Santé et des Sports (2009). Journal officiel de la République française (JORF), N°SASP0927660A.

48 Arrêté du 23 octobre 2009 portant homologation de la décision n° 2009-DC-0150 du 16 juillet 2009 de l'Autorité de sûreté nucléaire définissant les critères techniques sur lesquels repose la prolongation de la durée d'utilisation des sources radioactives scellées accordée au titre de l'article R. 1333-52 du code de la santé publique. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2010). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP0926296A.

49 Arrêté du 29 septembre 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0591 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 13 juin 2017 fixant les règles techniques minimales de conception auxquelles doivent répondre les locaux dans lesquels sont utilisés des appareils électriques émettant des rayonnements X. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1724452A.

50 Arrêté du 21 novembre 2018 portant homologation de la décision n° 2018-DC-0649 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 octobre 2018 définissant, en application du 2° de l'article R. 1333-109 et de l'article R. 1333-110 du code de la santé publique, la liste des activités nucléaires soumises au régime de déclaration et les informations qui doivent être mentionnées dans ces déclarations avec la mention (version consolidée du 1er juillet 2021). Ministère de la Transition écologique et solidaire; Ministère des Solidarités et de la Santé; Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2021). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1832150A.

51 Arrêté du 4 mars 2021 portant homologation de la décision n° 2021-DC-0703 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 février 2021 établissant la liste des activités nucléaires mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants à des fins industrielle, vétérinaire ou de recherche (hors recherche impliquant la personne humaine) soumises au régime d'enregistrement, et les prescriptions applicables à ces activités. Ministère de la Transition écologique (2021). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP2107549A.

52 Arrêté du 29 mai 2009 relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD », version consolidée au 29 mars 2025). Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire; Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi (2025). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP0911622A.

53 Règle SIN n° A-4212/83 du 12 août 1983 - Moyens de mesures météorologiques. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1983). Autres règles fondamentales de sûreté, pp.487-488.

54 Brinkmann, T., Both, R., Scalet, B., Roudier, S., Delgado Sancho, L. JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations: Industrial emissions directive 2010/75/EU (Integrated pollution prevention and control). European Commission (2018). N°EUR 29261 EN. 196 p. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/files/ROM_2018_08_20.pdf.

55 Règles fondamentales de sûreté relatives aux installations nucléaires de base autres que les réacteurs nucléaires. Prévention des risques de criticité - Règle n° I.3.c. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1984). N°Règle fondamentale de sûreté n° I.3.c. 10 p.

56 RFS I.4.a (28 février 1985) - Tome 1 : conception générale et principes généraux applicables à l'ensemble de l'installation - Chapitre 4 : règles applicables à la prévention des risques chimiques : conception générale et principes généraux applicables à l'ensemble de l'installation - a) Protection contre l'incendie. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1985). N°Règle fondamentale de sûreté n° I.4.a. 9 p.

57 RFS II.2 du 20 décembre 1991 - Conception générale des systèmes élémentaires : systèmes de ventilation. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1991). N°Règle fondamentale de sûreté n° II.2. 5 p.

58 Recommandation pour la rédaction des rapports annuels d'information du public relatifs aux installations nucléaires de base (guide de l'ASN n° 3). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2010). 12 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/guides-de-l-asn/guide-de-l-asn-n-3-recommandation-pour-la-redaction-des-rapports-annuels-d-information-du-public-relatifs-aux-inb.

59 Déterminer le périmètre d'une INB (guide de l'ASN n° 9). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013). 16 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/guides-de-l-asn/guide-de-l-asn-n-9-determiner-le-perimetre-d-une-inb.

60 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 4 - Plans de situation au 1/10 000e indiquant le périmètre proposé. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0-0000-21-0003.

61 Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes (guide de l'ASN n° 13). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013). 44 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/100753/733560/version/1/file/Guide-de-l-ASN-13.pdf.

62 Qualification des outils de calcul scientifique utilisés dans la démonstration de sûreté nucléaire – 1re barrière (guide de l'ASN n° 28). Autorité de sûreté nucléaire (ASN); Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2017). 20 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/guides-de-l-asn/guide-de-l-asn-n-28-qualification-des-outils-de-calcul-scientifique-utilises-dans-la-demonstration-de-surete-nucleaire.

63 Politique en matière de maîtrise des risques et inconvénients des INB et système de gestion intégrée des exploitants (guide ASN n° 30). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2020). 40 p.

64 Établissement et modification du plan de zonage déchets des installations nucléaires de base (guide de l'ASN n° 23). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2016). 22 p.

65 Guide relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux installations nucléaires de base et aux transports de matières radioactives. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2005). 36 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-Guide-INB-et-TMR/Guide-complet?

66 Mise en oeuvre des exigences réglementaires applicables aux opérations de transport interne (guide de l'ASN n° 34). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2017). 22 p.

67 RFS I.1.a du 7 octobre 1992 - Prise en compte des risques liés aux chutes d'avions. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1992). N°Règle fondamentale de sûreté n° 1.1.a. 3 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/rfs/rfs-relatifs-aux-inb-autres-que-rep/rfs-i.1.a-du-07-10-1992.

68 RFS I.1.b du 7 octobre 1992 - Prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1992). N°Règle fondamentale de sûreté n° I.1.b. 17 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/rfs/rfs-relatifs-aux-inb-autres-que-rep/rfs-i.1.b-du-07-10-1992.

69 RFS I.1.c du 31 mai 2001 - Détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2001). N°Règle fondamentale de sûreté n° 2001-01. 15 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/rfs/rfs-relatifs-aux-inb-autres-que-rep/rfs-2001-1-rfs-i.1.c.-du-31-05-2001.

70 Gupta, O., Lacoste, A. 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). N°ASN/GUIDE/2/01. 26 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/guide-relatif-a-la-prise-en-compte-du-risque-sismique.

71 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Liste des guides, codes et normes utiles à la sûreté nucléaire. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-LST-AMOA-SR0-0000-22-0009.

72 Installations nucléaires - Critères pour la conception et l'exploitation des systèmes de ventilation des installations nucléaires autres que les réacteurs nucléaires. Association française de normalisation (Afnor) (2006), NF ISO 17873.

73 An International Peer Review of the Safety Options Dossier of the Project for Disposal of Radioactive Waste in Deep Geological Formations (Cigéo): final report of the IAEA International Review team. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017). N°IAEA/CIG/FRA. 43 p. Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/publications/12223/an-international-peer-review-of-the-safety-options-dossier-of-the-project-for-disposal-of-radioactive-waste-in-deep-geological-formations-cigeo.

74 Avis techniques du CSIN n° 15 : gestion du vieillissement des installations du cycle du combustible nucléaire. Nuclear Energy Agency (NEA); Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2012). N°NEA-6991; NEA/CSNI/R(2012)7. 44 p.

75 Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste: Outcomes of the NEA MeSA initiative. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE); Nuclear Energy Agency (NEA) (2012). N°NEA 6923. 242 p.

76 ICRP Publication 103: The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the International commission on radiological protection (ICRP) (2007). Valentini, C.R. Vol. 37, N°2-4, 330 p.

77 ICRP Publication 89: Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: Reference values. Annals of the International commission on radiological protection (ICRP) (2002). Valentin, J. Vol. 32, N°3-4, 282 p.

78 Eckerman, K.F., Ryman, J.C. Federal guidance report n°12: External exposure to radionuclides in air, water, and soil. United States Environmental Protection Agency (1993). N°EPA 402-R-93-081. 238 p.

79 Prospective radiological environmental impact assessment for facilities and activities. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018). N°GSG-10. 104 p. Disponible à l'adresse : https://www.iaea.org/publications/12198/prospective-radiological-environmental-impact-assessment-for-facilities-and-activities.

80 Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011). N°SSG-14. 104 p.

81 Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014). N°SSG-31. 96 p.

82 Radioactive Waste Disposal Facilities Safety Reference Levels. Western European Nuclear Regulators Working Group on Waste and Decommissioning (WENRA WGWD) (2014). 81 p. Disponible à l'adresse :

http://www.wenra.org/media/filer_public/2015/03/18/srl_disposal_final_version_2014_12_22.pdf.

83 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Référentiel incendie pour la conception des installations souterraines de Cigéo. Andra (2026). Document N°CG-TE-F-RGS-AMOA-FE0-0000-11-0051.

84 Avis n° 2018-AV-0300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). N°2018-AV-0300. 7 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/155337/1525188?version=3.

85 Lettre CODEP-DRC-2018-001635 de l'ASN du 12 janvier 2018 relative au dossier d'options de sûreté pour le projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). N°CODEP-DRC-2018-001635. 45 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/Lettre-adressee-a-l-Andra-precisant-les-options-de-surete-Cigeo.

86 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. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durable (2007). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVQ0762539D.

87 Arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVR1635310A.

88 PNGMDR 2016-2018 - Proposition de types et de quantités de déchets à inclure dans l'inventaire de réserve de Cigéo en application de l'article 56 de l'arrêté du 23 février 2017. Andra (2017). Document N°DGDIR190085.

89 Lettre CODEP-DRC-2022-001873 du 28 février 2022 sur le PNGMDR - Articles 14, 15 et 56 de l'arrêté du 23 février 2017 – Inventaire de réserve et études d'adaptabilité pour l'installation de stockage en projet Cigéo. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2022). N°CODEP-DRC-2022-001873. 7 p.

90 Contenu des études relatives à l'adaptabilité de Cigéo au stockage des déchets de l'inventaire de réserve. Andra (2019). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR0-0000-19-0011. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/Contenu-des-etudes-relatives-a-l-adaptabilite-de-Cigeo-au-stockage-des-dechets-de-l-inventaire-de-reserve?

91 Stockage en l'état des fûts de déchets bitumés dans Cigéo : maîtrise des risques et principes d'évolution et de conception. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NSY-AMOA-SR1-0000-18-0006. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/Stockage-en-l-etat-des-futs-de-dechets-bitumes-dans-Cigeo.

92 Lettre CODEP-DRC-2021-027897 du 18 juin 2021 sur l'étude PNGMDR 2016-2018 : analyse de l'impact des résultats des études relatives au comportement des colis de déchets bitumés sur leurs conditions d'accueil dans Cigéo. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2021). N°CODEP-DRC-2021-027897. 8 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/Courrier-de-l-ASN-a-l-Andra-du-18-juin-2021-concernant-l-analyse-de-l-impact-des-resultats-des-etudes-relatives-au-comportement-des-colis-de-dechets-bitumes-sur-leurs-conditions-d-accueil-dans-Cigeo.

93 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Compléments et modifications depuis les options de sûreté. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NSY-AMOA-SR0-0000-20-0018.

94 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 19 - Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-SPE-AMOA-SR0-0000-19-0040.

95 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo. Recueil des fiches bilan scientifiques et techniques. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-LST-AMOA-TR0-0000-20-0001.

96 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception des alvéoles dédiés au stockage des colis de déchet bitumés mis en conteneur renforcé. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-MT0-0000-20-0017.

97 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la définition des ouvrages de fermeture. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-FER-0000-19-0045.

98 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, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2010). Bulletin officiel du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, N°DEVP1013761C.

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS
1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
www.andra.fr

© Andra • 2026 • Conception-réalisation : www.kazoar.fr • Crédit illustration : Andra