

MÉMOIRE DE SYNTHÈSE POUR LES GÉNÉRATIONS FUTURES

Page : 1/169

Ce document, bien que propriété de l'Andra, peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation

29/02/2008



→ Titre original du document

Centre de stockage de déchets radioactifs de la Manche (50), situé sur la commune de Digulleville

Mémoire de synthèse pour les générations futures

(destinée à maintenir une connaissance minimale aux générations prochaines et à toutes celles qui se succéderont jusqu'en 2500 au moins).

PREAMBULE



Patrick CHARTON

Adjoint du directeur sûreté,
qualité, environnement,
responsable du développement
durable

Rédacteur du document



Bruno CAHEN

Directeur sûreté qualité
environnement

Vérificateur du document

Tous les autres vérificateurs sont
mentionnés en annexe 4 avec
leurs contributions.



Francis CHASTAGNER

Directeur industriel
Approbateur du document

Ecrire pour ses congénères un document technique synthétique reflétant trente années d'une activité est déjà difficile. Ecrire pour des lecteurs qui ne sont pas encore nés et qui ne naîtront que dans quelques siècles est un défi.

Alors, que dire sur ce Centre de stockage de la Manche qui a stocké des déchets radioactifs entre 1969 et 1994 ?

Qu'**il ne présente pas de risque sanitaire tant qu'on n'y touche pas !**

Mais qu'une intrusion à l'intérieur des ouvrages de stockage, sans savoir de quoi il s'agit, peut avoir des conséquences sanitaires plus ou moins importantes selon l'endroit de l'intrusion (voir le paragraphe 4.4.6).

D'où la **nécessité de ne jamais oublier** de transmettre de génération en génération la connaissance de l'existence, dans la Manche, près de la commune de Digulleville, à 20 km au nord-ouest de Cherbourg, d'un site à risques potentiels. Et que s'il y a bien une seule chose à faire, c'est de rien lui faire ! Sauf à avoir étudié les conséquences d'une intrusion (analyse des risques) en s'appuyant sur la mémoire détaillée (voir le paragraphe 7).

Pour ne jamais oublier, il faut donc **préserver la mémoire**. Plusieurs moyens ont été mis en place (gardiennage du site, servitudes aux cadastres, dialogue direct avec le public ou par la commission de surveillance du Centre ...). Au-delà d'éventuels bouleversements dans les institutions de la France, dans ses frontières, dans son avenir ..., **ce document se veut être l'ultime rempart contre l'oubli**.

Sa première version publique est née en 2008. Sa version stabilisée doit intervenir quelques décennies plus tard. Ceci permettra de confronter son contenu :

- à la maintenance du site pendant sa surveillance active (intégration d'éventuelles modifications majeures),
- aux différentes institutions, nationales et locales, en charge du contrôle et de la surveillance du site,
- au public lui-même, directement ou par le biais de ses élus, de médias ou d'associations le représentant.

La version stabilisée sera **très largement diffusée** (voir le paragraphe 8.1). C'est l'ampleur de cette diffusion pertinente qui constituera le rempart contre l'oubli.

Pour atteindre son objectif, ce document aurait pu se limiter aux 2 ou 3 paragraphes les plus importants (ceux liés aux risques et aux impacts, et ne faire que quelques pages).

Mais pour savoir qu'un site est potentiellement dangereux si on le dégrade, surtout durant des siècles, il est apparu utile d'en dire plus : synthétiser les différentes phases de vie du Centre, résumer, décrire à minima les installations, résumer l'approche de sûreté, exposer les impacts attendus, fournir des inventaires pas trop détaillés mais crédibles... L'énergie nucléaire sera-t-elle encore utilisée dans plusieurs siècles ? Impossible de répondre à cette question. Le chapitre introductif résume donc l'histoire de la radioactivité et de l'énergie nucléaire afin d'expliquer pourquoi il y avait des déchets radioactifs à stocker.

Par ailleurs, pour en rendre la lecture agréable, même si elle n'est que partielle, ce document a été abondamment illustré, notamment par des images du site, des ouvrages de stockages, des colis de déchets radioactifs, pour toutes les différentes phases de vie du Centre. Regarder seulement quelques unes de ces images, avec leur légende, doit suffire à mettre en garde contre toute intrusion non préparée.

Enfin, quelques règles importantes de rédaction ont été adoptées :

- sauf mention particulière dans le texte, tous les événements décrits sont à rapporter au tout début des années 2000,
- la désignation des sociétés ou organismes a été réduite au strict minimum et uniquement avec l'appellation en vigueur en 2007 (l'annexe 2 précise les historiques de ces désignations),
- les sigles ont été bannis au profit de leur signification (les sigles les plus courants sont néanmoins donnés en annexe 2),
- certains aspects importants ont été volontairement répétés entre différents chapitres, de sorte qu'ils puissent être connus même en cas de lecture partielle du document,
- enfin, l'Andra a souvent été remplacée par « l'exploitant du Centre de stockage de la Manche » car en 1969 cet exploitant était Infratome et qui sait comment il se nommera quand cette mémoire prendra son sens.

ATTENTION

Les mémoires de synthèse (version stabilisée) et détaillée imprimées sur du papier permanent sont l'ultime rempart contre l'oubli du Centre de stockage de la Manche.

Ces impressions sur papier permanent sont donc destinées à des générations futures lointaines (pas avant de nombreuses décennies, voire plusieurs siècles, donc sans doute pas avant les années 2100 et plus). Leur consultation prématurée, notamment par curiosité, alors que les mêmes informations sont disponibles sous une autre forme (documents sources, fichiers numériques ...), conduirait à en réduire leur durée de vie, donc à porter atteinte à l'objectif visé.

Durant les premières décennies de surveillance, il faut donc faire appel à l'archivage courant (sur papier normal) et aux fichiers numériques des documents pour toute recherche sur le passé du Centre.

AVERTISSEMENT

Tant que le Centre de stockage de la Manche est susceptible d'évoluer, il n'est pas possible de figer la mémoire de synthèse et de la diffuser largement. Néanmoins, il est utile de pouvoir mettre à disposition de toutes les parties prenantes les différentes versions intermédiaires, notamment pour qu'elles puissent contribuer à les enrichir.

Si vous disposez d'une version imprimée sur papier normal avec la mention « Version intermédiaire du jj/mm/aaaa » imprimée en filigrane sur chaque page, c'est qu'il s'agit d'une version intermédiaire. Renseignez-vous auprès de l'Andra ou des autorités pour savoir si la version stabilisée est parue (voir le paragraphe 8.1).

SOMMAIRE

PREAMBULE	3
SOMMAIRE	5
1 LES ELEMENTS DE CONTEXTE.....	7
2 LE CONTEXTE NATUREL ET HUMAIN DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE.....	17
3 LE STOCKAGE DES DECHETS RADIOACTIFS	35
4 LES PRINCIPES DE SURETE EN PHASE DE SURVEILLANCE ET L'ANALYSE DE SURETE	81
5 LA PHASE DE SURVEILLANCE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	97
6 LES IMPACTS PREVISIONNELS DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE SUR SON ENVIRONNEMENT EN SITUATION NORMALE EN TERMES DE DEVELOPPEMENT DURABLE.....	107
7 LA MEMOIRE DETAILLEE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	113
8 LA STABILISATION ET LA DIFFUSION DE LA MEMOIRE DE SYNTHESE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	119
ANNEXE 1 : INVENTAIRE RADIOLOGIQUE PAR OUVRAGE DE STOCKAGE	121
ANNEXE 2 : SIGLES ET TERMINOLOGIE	140
ANNEXE 3 : LISTE DES RADIONUCLEIDES INVENTORIES SUR LE CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	149
ANNEXE 4 : RELECTEURS ET VERIFICATEURS DU DOCUMENT.....	153
ANNEXE 5 : CONSIGNE DE CONSULTATION DE LA MEMOIRE DETAILLEE ET DES TIRAGES SUR PAPIER PERMANENT.....	155
BIBLIOGRAPHIE	157
LISTE DES TABLEAUX DE DONNEES	159
LISTE DES ILLUSTRATIONS	161
SOMMAIRE DETAILLE	167



Illustration 1 : Centre de stockage de la Manche dans son environnement en 2001

1 LES ELEMENTS DE CONTEXTE

1.1 LA RADIOACTIVITE



Illustration 2 : Henri Becquerel

L'allemand Wihlem Röntgen (1845-1923) ayant découvert les rayons X, le français Henri Becquerel cherche si les corps fluorescents émettent un tel rayonnement. Il utilise pour ses expériences des sels d'uranium qu'il expose au soleil pour les rendre fluorescents.

Un jour de mars 1896 il range sa plaque photographique au-dessus des sels d'uranium qu'il n'avait pas eu le temps d'exposer au soleil. Il constate par la suite que la plaque a quand même été impressionnée : il en conclut que l'uranium émet des rayonnements particuliers qu'il appelle « rayons uraniques ». Dès lors, tous les physiciens se passionnent pour ce rayonnement. La radioactivité est découverte.

C'est dans un laboratoire de fortune qu'un jeune couple, Pierre et Marie Curie, aboutit, en juillet et en décembre 1898, à la découverte de deux éléments nouveaux, particulièrement radioactifs, le polonium et le radium.

En juin 1903, Marie Curie soutient sa thèse « sur les nouvelles substances radioactives » et, en décembre de la même année, Pierre et Marie Curie reçoivent, avec Henri Becquerel, le prix Nobel de physique, pour la découverte de la radioactivité naturelle.



Illustration 3 : le hangar de Pierre et Marie Curie à l'école de physique et de chimie

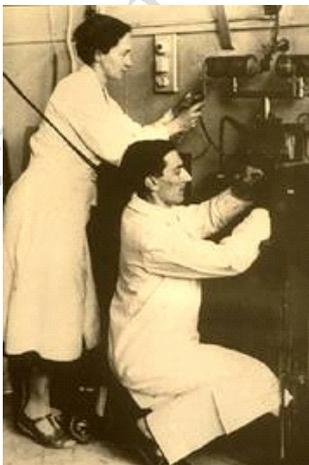


Illustration 4 : Frédéric Joliot et Irène Joliot-Curie

Ce sont les français Frédéric Joliot et Irène Joliot-Curie qui découvrent la radioactivité artificielle. En 1934, en projetant des particules alpha sur une feuille d'aluminium, ils créent un nouvel isotope radioactif, le phosphore 30. Ils viennent ainsi de découvrir la radioactivité artificielle. Cette même année, l'italien Fermi bombarde de l'uranium avec des neutrons et constate la formation de corps nouveaux. L'année suivante, Frédéric Joliot et Irène Joliot-Curie obtiennent le Prix Nobel de chimie pour leur découverte.



Illustration 5 : Enrico Fermi

Réfugié aux Etats-Unis, l'Italien Enrico Fermi, se voit confier la mission de construire un réacteur nucléaire expérimental. La « pile de Fermi », d'une puissance de 0,5 watt, est constituée de 400 tonnes de graphite, 6 tonnes d'uranium métallique et 34 tonnes d'oxyde d'uranium. Des barres de cadmium, qui ont la propriété d'absorber les neutrons, permettent de contrôler la réaction. Le 2 décembre 1942, Enrico Fermi déclenche la première réaction en chaîne de l'histoire. Elle durera plusieurs minutes. C'est le premier réacteur nucléaire.

1.2 LES REACTEURS NUCLEAIRES



Illustration 6 : réacteur G1 à Marcoule

En 1956, le réacteur G1, d'une puissance de 40 MW¹, est mis en service à Marcoule (Gard). Deux autres réacteurs, G2 et G3, suivent en 1959 et 1960. Ils conduisent à la mise au point de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG), première filière choisie par la France pour son équipement en centrales nucléaires. Le combustible y est de l'uranium naturel purifié, le modérateur, destiné à ralentir les neutrons pour permettre la fission, est le graphite, et le fluide caloporteur est du gaz carbonique.

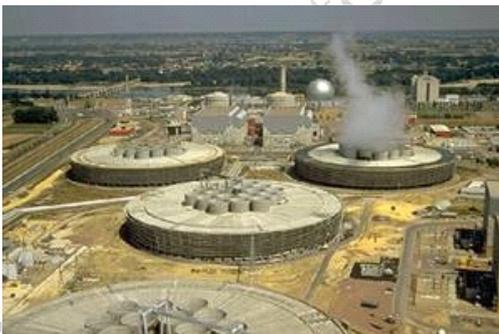


Illustration 7 : centrale nucléaire de Chinon

En 1973, après la guerre du Kippour, le prix du pétrole augmente considérablement alors que la France dépend à 75 % de l'étranger pour ses approvisionnements en énergie. En 1974, le gouvernement français lance un programme nucléaire d'envergure afin d'atteindre un taux d'indépendance énergétique de 50 % en 1990 et de couvrir les trois quarts de la production nationale d'électricité

¹ Tous les symboles des unités de mesure sont explicités en annexe 2

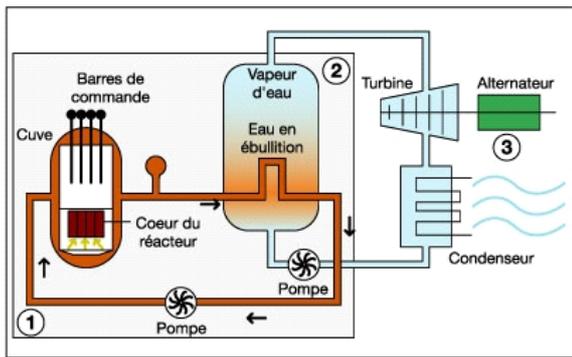


Illustration 8 : schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire

Une réaction en chaîne est entretenue dans le cœur d'un réacteur nucléaire contenant de l'uranium. L'énergie dégagée par cette réaction est contrôlée en descendant ou en remontant dans le cœur du réacteur des barres de contrôle capables d'absorber les neutrons en excès.

Dans le circuit primaire ①, l'eau s'échauffe dans la cuve au contact des assemblages de combustible. Cette eau chauffe l'eau du circuit secondaire ② qui est transformée en vapeur. Cette vapeur sous pression fait tourner la turbine qui entraîne l'alternateur produisant l'électricité. Le circuit de refroidissement ③ assure la réfrigération de l'eau du circuit secondaire dans le condenseur (à partir de l'eau d'une rivière ou de la mer) ou dans des tours de réfrigération atmosphérique.

1.3 LE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE



Illustration 9 : mine d'uranium à ciel ouvert au Canada

L'uranium est présent dans l'écorce terrestre à raison de 3 grammes par tonne en moyenne. On l'extrait de mines à ciel ouvert ou de galeries souterraines là où il existe des concentrations importantes. En France, au début des années 2000, les gisements soit sont en voie d'épuisement, soit n'offrent plus une exploitation économiquement satisfaisante. Les principaux gisements connus à cette époque se situent en Australie, au Canada, au Niger ou au Kazakhstan.



Illustration 10 : yellow cake en fabrication

Pour limiter les coûts de transport, le minerai est concentré sur son lieu d'extraction, dans une installation implantée au plus près de la mine. Les roches sont d'abord concassées et finement broyées et l'uranium est extrait par différentes opérations chimiques. Le concentré ainsi fabriqué a l'aspect d'une pâte appelée « yellow cake » en raison de sa couleur. Il contient environ 75 % d'uranium. Il subit ensuite une transformation chimique pour devenir de l'hexafluorure d'uranium (UF₆).



Illustration 11 : usine « Eurodif » d'enrichissement à Pierrelatte

L'uranium 235 est le seul isotope de l'uranium capable de subir la fission dans les réacteurs nucléaires. La proportion d'atomes d'uranium 235 dans l'uranium naturel n'est que de 0,7 %. Or, les réacteurs nucléaires français utilisent comme combustible un uranium contenant entre 3 et 5 % d'uranium 235. Il faut donc enrichir l'uranium naturel.



Illustration 12 : assemblage combustible

Après enrichissement, l'hexafluorure d'uranium est transformé en oxyde d'uranium. Cette poudre noire est ensuite comprimée en petites pastilles qui sont cuites au four à très haute température. Chacune d'entre elles pèse 7 grammes et peut libérer autant d'énergie qu'une tonne de charbon. Ces pastilles sont ensuite enfilées dans de longs tubes de 4 mètres en alliage à base de zirconium pour constituer les « crayons » de combustibles. Ces « crayons » sont regroupés dans un assemblage combustible.



Illustration 13 : manutention d'un assemblage combustible dans un réacteur nucléaire

Disposés selon une géométrie précise, les assemblages de combustible forment le cœur du réacteur où ils séjournent 3 ou 4 ans. Durant cette période, la fission de l'uranium 235 fournit la chaleur nécessaire à la production d'électricité. Mais le combustible subit également des transformations qui le rendent progressivement moins performant. Lorsqu'il est trop « usé » pour produire de l'énergie de manière performante, le combustible est retiré du cœur du réacteur et remplacé par du combustible neuf. Un réacteur du parc français du début des années 2000 consomme ainsi environ 27 tonnes d'uranium enrichi par an.

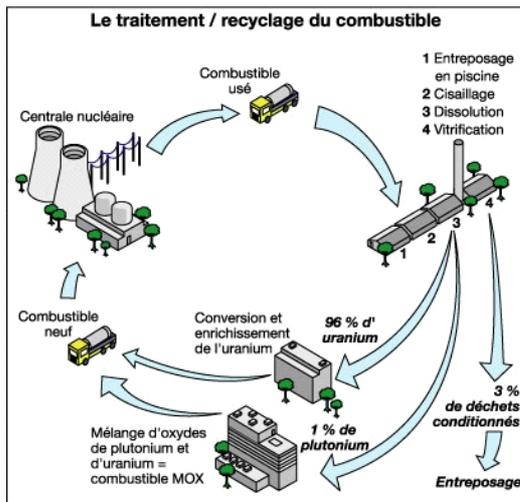


Illustration 14 : traitement et recyclage du combustible

Le combustible utilisé est retraité. Les crayons de combustibles usés sont cisaillés et dissous dans de l'acide nitrique pour parvenir à en séparer les matières. L'uranium récupéré est à nouveau enrichi et suit une voie analogue à celle du combustible ordinaire. Les produits de la fission sont des atomes radioactifs. Ils représentent les seuls vrais déchets ultimes de la combustion nucléaire. Ils sont vitrifiés, entreposés puis stockés comme déchets radioactifs ultimes.

1.4 L'UTILISATION DE LA RADIOACTIVITE HORS ELECTRO-NUCLEAIRE

Au-delà de la production d'électricité par l'énergie nucléaire, la radioactivité a de nombreuses autres applications. C'est notamment le cas en médecine, dans la recherche et dans l'industrie.



Illustration 15 : appareil de radiothérapie

Les sources radioactives sont utilisées en médecine pour établir des diagnostics (localisation de cellules malades...) et pour certaines thérapies (traitement des cancers essentiellement). Ainsi, certains éléments ont la propriété d'être fixés préférentiellement par un organe, l'iode sur la thyroïde par exemple. En injectant à un patient de l'iode radioactif, il est ensuite facile d'observer avec une caméra spéciale l'état de sa thyroïde. C'est la scintigraphie.



Illustration 16 : utilisation de la radioactivité dans la recherche

En recherche, par exemple, on peut marquer une molécule avec un élément radioactif très faiblement dosé pour étudier plus facilement son comportement. La radioactivité permet de visualiser ses déplacements, son évolution, sa résistance ... Cette technique est utilisée pour la mise au point de nouveaux médicaments, pour l'étude de gènes ou encore pour contrôler l'effet des pesticides sur l'environnement.



Illustration 17 : ionisation d'aliments

La radioactivité est utilisée quotidiennement dans l'industrie. Par son pouvoir pénétrant, la radioactivité est utilisée pour radiographier les soudures métalliques pour repérer les microfissures, les inclusions et les pailles. Elle permet aussi de stériliser les instruments médicaux et chirurgicaux. L'agro-alimentaire utilise également des sources radioactives pour la conservation des denrées périssables car elles permettent de détruire les bactéries par rayonnement, sans nuire à la qualité des produits. C'est ce qu'on appelle l'« ionisation ».

1.5 LES DECHETS RADIOACTIFS

L'utilisation de la radioactivité génère des déchets radioactifs qui sont classés selon deux critères : l'intensité de la radioactivité, qui conditionne l'importance des protections à mettre en place pour bien les gérer, et la durée de vie de la plupart des radioéléments contenus dans les déchets, qui définit leur durée de nuisance potentielle.

Chaque type de déchets nécessite un mode de gestion spécifique. Le tableau ci-dessous indique les filières d'élimination des déchets lors de l'élaboration du présent document.

Tableau 1 : classification des déchets radioactifs en France

Activité	Période	Très courte durée de vie < 100 jours	Courte durée de vie < 30 ans	Longue durée de vie > 30 ans
Très faible activité		Gestion par Décroissance Radioactive	Stockage dédié en surface Filières de recyclage	
Faible activité			Stockage de surface (Centre de stockage de l'Aube) sauf déchets tritiés, sources scellées (à l'étude)	Stockages dédiés de faible profondeur à l'étude
Moyenne activité			Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006	
Haute activité			Filières à l'étude dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006	

Les déchets classés de faible et moyenne activité à vie courte sont stockés au Centre de stockage de l'Aube depuis 1994. Entre 1969 et 1994, ces déchets ont été stockés au Centre de stockage de la Manche, objet du présent document.

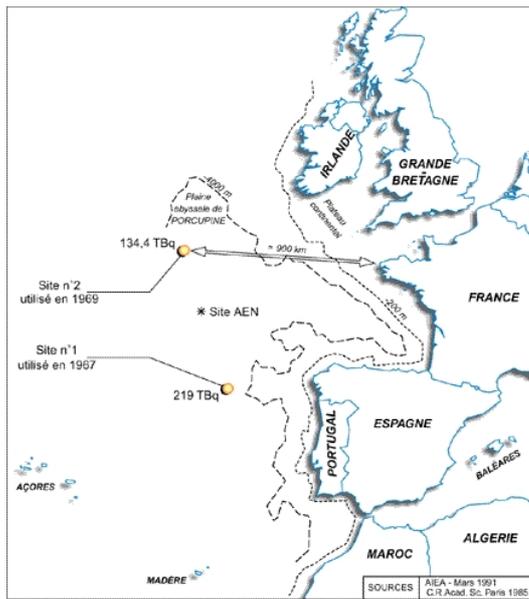


Illustration 18 : emplacement des immersions françaises de déchets radioactifs avant 1969

La France a immergé jusqu'en 1969 (année d'ouverture du Centre de stockage de la Manche), 14 200 tonnes de déchets radioactifs sur deux sites par plus de 4 000 mètres de fond, l'un au large du Portugal, l'autre de la Bretagne. La carte montre l'emplacement de ces sites en eau profonde. L'activité des 46 396 colis immergés s'élève à 353 terabecquerels (TBq), dont 8 de rayonnement alpha et 345 de rayonnements bêta et gamma voir l'annexe 2 pour la définition de ces rayonnements). Cette activité représente 0,8 % des activités immergées par les autres pays européens.

1.5.1 LES DECHETS DE TRES FAIBLE ACTIVITE



Illustration 19 : déchets industriels métalliques banals de très faible activité

Les déchets de très faible activité (TFA) proviennent principalement du démantèlement des installations nucléaires arrêtées, de quelques industries (chimie ou métallurgie) dont les procédés de fabrication concentrent la radioactivité naturelle présente dans certains minerais, de l'assainissement et de la réhabilitation de sites anciennement pollués. Ils sont classés en 3 catégories principales en fonction de leur nature :

- les déchets minéraux inertes (béton, gravats, terres ...),
- les déchets assimilables aux déchets industriels banals produits par des installations nucléaires (plastiques, ferrailles issues d'opérations de démolition ...),
- les déchets assimilables aux déchets dangereux allant en centre de stockage de déchets ultimes.



Illustration 20 : résidus industriels stabilisés de très faible activité

Les déchets de très faible activité ont un niveau de radioactivité généralement compris entre 1 et 100 becquerels par gramme (Bq/g), parfois supérieur pour de très faibles volumes de déchets. Elle décroît en quelques dizaines d'années jusqu'à un niveau moyen de quelques Bq/g. A l'issue de cette période, la radioactivité résiduelle est alors essentiellement représentée par des traces d'éléments à vie longue.

1.5.2 LES DECHETS DE FAIBLE ET MOYENNE ACTIVITE



Illustration 21 : poubelle de déchets hospitaliers de faible et moyenne activité

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte ont une période (« demi-vie ») inférieure à 30 ans. Leur niveau d'activité devient comparable à celui de la radioactivité naturelle en moins de 300 ans (à l'issue de cette période, la radioactivité résiduelle est alors essentiellement représentée par des traces d'éléments à vie longue). Ce sont par exemple des filtres, des résines de traitement de l'eau, des outils, des gants... qui proviennent de plus de 1 000 producteurs en France, travaillant principalement dans l'industrie nucléaire, mais aussi dans des laboratoires de recherche, des universités, des hôpitaux... Pour des raisons techniques, ces déchets peuvent contenir, en faible proportion, des éléments radioactifs à vie longue.

1.5.3 LES DECHETS DE HAUTE ACTIVITE



Illustration 22 : hall d'entreposage des déchets de haute activité à vie longue de l'usine de retraitement des combustibles usés Areva NC de La Hague

Ce sont les déchets a priori les plus dangereux s'ils ne sont pas gérés avec précaution. Ils représentent un niveau élevé de radioactivité ou une durée de vie très longue. Ils nécessitent, pour ceux qui ont les plus longues durées de vie, d'être confinés pendant des périodes de temps de l'ordre du million d'années, avant que leur radioactivité ne devienne équivalente à celle que l'on peut trouver dans le milieu naturel.

1.5.4 LES DECHETS RADIFERES ET GRAPHITES

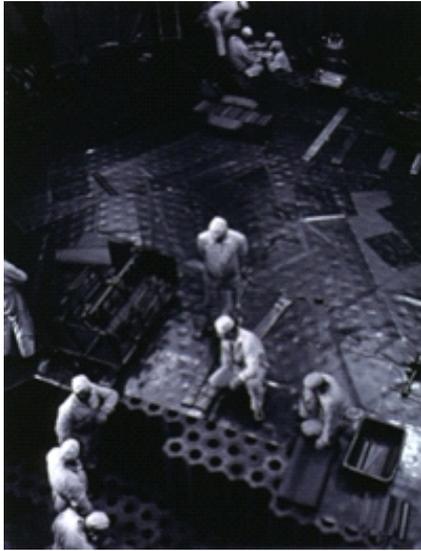


Illustration 23 : empilement de blocs graphites à la centrale nucléaire de Chinon

Les déchets graphites sont des déchets solides, produits essentiellement par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et Electricité de France (EDF). Ils sont issus du démantèlement de la première génération de centrales nucléaires, (uranium naturel - graphite - gaz). Les réacteurs de ce type de centrale ont fonctionné du début des années 1960 à la fin des années 1980. Ils sont en déconstruction au début des années 2000.

Les déchets radifères contiennent des éléments radioactifs descendant des familles de l'uranium et du thorium, que l'on trouve, à l'état naturel, dans l'écorce terrestre : le radium, dont la durée de vie est longue (1 600 ans). Physiquement, les déchets radifères sont constitués de terres contaminées issues de la réhabilitation d'anciens sites industriels ayant utilisé des éléments radioactifs, en particulier le radium. Il peut s'agir également de déchets issus du traitement du minerai, par exemple des sables de zircon ou de monazite utilisés pour la fabrication de composants électroniques, de pots catalytiques dans l'industrie automobile, ou dans la métallurgie fine.

2 LE CONTEXTE NATUREL ET HUMAIN DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

2.1 LA DESCRIPTION DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE ET DE SON ENVIRONNEMENT

2.1.1 LA LOCALISATION DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE



Illustration 24 : Centre de stockage de la Manche (CM en blanc sur fond vert sur la carte) au centre de la presqu'île de La Hague

Le Centre de stockage de la Manche est situé à l'extrême nord-ouest de la presqu'île du Cotentin, à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Cherbourg. Il est en bordure sud de la commune de Digulleville, dans le département de la Manche. Les coordonnées géographiques de son centre sont (en système Lambert 1, zone nord) : X = 297,2 km ; Y = 228,2 km ; Z = 167 m.



Illustration 25 : cérémonie de fin d'exploitation du Centre de stockage de la Manche (1994)

Les côtes sont rocheuses sur la totalité du périmètre marin avec de nombreuses parties en falaises vives. La crête du plateau est située au sud de la presqu'île de La Hague. Elle culmine à 183 mètres à deux kilomètres à l'ouest de Beaumont Hague. Cette crête correspond à la limite de partage des eaux de surface et des eaux souterraines. Les eaux souterraines près du Centre de stockage de la Manche sont drainées vers le nord par les ruisseaux de la Sainte-Hélène, du Grand Bel et des Roteurs.

2.1.2 LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

Au 1^{er} janvier 2005, le département de la Manche comptait 489 000 habitants, soit 1,9 % de plus par rapport à 1990 et 4,9 % de plus qu'en 1982. Le nord du Cotentin regroupe 40 % de la population avec une densité d'environ 120 habitants par km². Le secteur le plus peuplé correspond à l'agglomération cherbourgeoise avec 20 % des habitants du département. Dans un rayon de 5 kilomètres autour du Centre de stockage de la Manche, la population permanente est d'environ 5 000 habitants.



Illustration 26 : trajet de Paris à Cherbourg par la route au début des années 2000

Cherbourg est relié à Paris par la route nationale N13 en prolongement de l'autoroute de Normandie (A13). La liaison du Centre de stockage de la Manche à Cherbourg (20 km) est assurée par la route départementale D901. La desserte ferroviaire de Cherbourg à partir de Paris est assurée par plusieurs liaisons journalières. L'aéroport le plus proche est celui de Cherbourg Maupertuis à 12 km à l'est de Cherbourg. Le port de Cherbourg, en eau profonde, assure un important trafic de voyageurs et de marchandises, essentiellement vers la Grande-Bretagne et l'Irlande.

Le Centre de stockage de la Manche est localisé dans la région agricole de La Hague, essentiellement tournée vers l'élevage et la production laitière. L'élevage laitier constitue un secteur d'activité très important pour l'ensemble du département (deuxième département producteur de France). La viande occupe également une place importante dans l'économie agricole de la Manche (bovins et porcs essentiellement).

Le secteur de l'industrie agro-alimentaire occupe une place importante avec :

- la transformation du lait (plus de 70 % des emplois) et des céréales,
- des conserveries (légumes, produits de la mer, produits carnés élaborés ...) et la fabrication de boissons (cidre ...) et alcools (calvados ...).



Illustration 27 : Centre de stockage de la Manche dans son environnement du Cotentin (2005)

Le nord-ouest du Cotentin relève du quartier maritime de Cherbourg. La criée de Cherbourg a pour vocation de commercialiser la production de la plupart des ports de pêche de la Manche. Un autre port du département, Granville sur la côte sud-ouest, dispose également d'une criée. La pêche est presque exclusivement artisanale : elle est surtout assurée par des unités de petite taille (moins de 12 m). Le chalutage est une activité importante. Il concerne notamment la pêche de poissons de fond (poissons plats) mais aussi de la seiche. Les plus grandes unités (chalutiers notamment) sont armées pour la pêche au large et étendent leurs activités jusqu'à proximité des côtes anglaises. Les petites unités pratiquent surtout la pêche aux casiers (crustacés), aux palangres de fond (raies, congres, roussettes ...) ou à la drague (coquilles Saint-Jacques ou praires).

La conchyliculture est importante sur toute la Basse-Normandie. C'est le plus gros centre français de production de coquillages français (huîtres et moules). Les parcs sont essentiellement situés sur la côte ouest. Les autres formes d'aquaculture concernent des expériences d'élevage de salmonidés, d'oursins, d'ormeaux et d'algues.

Le secteur industriel employait 22,4 % de la population active du département en 1990. Les entreprises les plus importantes se trouvent concentrées autour de l'agglomération cherbourgeoise. L'activité industrielle repose sur un certain nombre de petites et moyennes entreprises qui jouent un rôle moteur dans le développement du département. Les grandes entreprises oeuvrent principalement :

- dans la mécanique : la Direction des constructions navales (DCN) de Cherbourg et les Constructions mécaniques de Normandie (CMN),
- dans l'industrie nucléaire : l'usine de retraitement du combustible usé de Areva NC (anciennement Cogéma, centre de La Hague, après sa sortie du CEA) et la centrale nucléaire de Flamanville,
- dans l'activité portuaire avec le port de commerce de Cherbourg.

Les principaux lieux touristiques sont surtout sur la côte nord-ouest du Cotentin. Le tourisme rural est principalement lié à la qualité du milieu naturel (paysage, réserve ornithologique ou naturelle, écologie ...) et aux loisirs associés (pêche à pied sur le littoral, promenade sur les sentiers des douaniers ...).

Plusieurs zones militaires sont implantées dans les 20 kilomètres autour du Centre de stockage de la Manche : des terrains de manœuvres, mais surtout l'arsenal de construction de sous-marins à propulsion nucléaire localisé à Cherbourg.

2.1.3 LES CONTEXTES METEOROLOGIQUE ET CLIMATOLOGIQUE

Bordé par la mer sur trois côtés, le département de la Manche est soumis à un climat océanique très marqué. Sa façade maritime principale reçoit les courants perturbés d'ouest qui lui fournissent son type de temps caractéristique basé sur une anémométrie forte (vitesse moyenne annuelle du vent de 7 m/s), une pluviométrie moyenne annuelle significative (de l'ordre du mètre par an), une humidité relative élevée (79 à 92 %), une température annuelle moyenne fraîche mais tempérée (de l'ordre de 10°C) et une insolation annuelle moyenne de 1 650 heures.

Les vents dominants viennent du sud-ouest. On les observe pendant 50 % du temps. Ils accompagnent les perturbations atlantiques et apportent l'humidité ainsi qu'un adoucissement de la température. Durant les tempêtes hivernales, on observe des vitesses maximales instantanées pouvant dépasser 200 km/h.



Illustration 28 : entrée du Centre de stockage de la Manche et bâtiment d'accueil du public (2006)

Les précipitations sont réparties en moyenne sur 196 jours avec un maximum en novembre et décembre. Les maximums journaliers sont généralement observés entre octobre et décembre : la valeur maximale a été mesurée le 28 octobre 1996 avec 68 mm. Un épisode pluvieux exceptionnel est survenu dans la nuit du 11 au 12 novembre 1987 provoquant des dégâts sans conséquence sur le Centre de stockage de la Manche et des inondations dans les bassins versants des ruisseaux des Roteures et de la Sainte-Hélène. Localement, les précipitations enregistrées furent de 104 mm. Les chutes de neige sont rares : 5 à 6 par an en moyenne.



Illustration 29 : bâtiment d'accueil du public en fin de construction (1999)

Les maximums d'humidité relative de l'air se situent en été et en hiver. L'humidité relative moyenne annuelle est de 86 %. Les périodes de brouillard correspondent aux périodes de maximum d'humidité relative. Le nombre de jours de brouillard dans l'année est de 147 jours.

L'évapotranspiration annuelle moyenne calculée par la formule de Turc est de 609 mm ; celle calculée par la formule de Penman (albédo 0,20) est de 678 mm ; celle de la surface d'eau libre calculée par la formule de Penman (albédo 0,05) est de 775 mm. L'évapotranspiration mensuelle suit un cycle saisonnier très marqué avec un maximum en juillet (107,9 mm/mois) et minimum en janvier (15,9 mm/mois).

2.1.4 LES CONTEXTES GEOLOGIQUE ET SISMOLOGIQUE

Le cadre géologique régional de la presqu'île de La Hague est relativement complexe. On y observe deux massifs cristallins, d'allongement est-ouest, constitués de gneiss², migmatites³ et granites, souvent cataclasés⁴. Ces massifs encadrent un ensemble sédimentaire d'âge cambro-ordovico-silurien (-450 à -550 millions d'années) faiblement métamorphisé⁵ et comprenant :

- des séries gréseuses⁶ quartzitiques⁷ et quartzo feldspathiques⁸,
- des séries schisteuses⁹,
- des séries grésos-schisteuses variées, appelées alternances.

Il est à noter que c'est dans cette partie du Cotentin que l'on trouve les roches les plus anciennes de France, âgées de plus de 2 milliards d'années. Elles sont issues de l'orogénèse icartienne et se trouvent précisément au lieu « Anse du cul rond ».

La région a été soumise, dès le début du cycle Hercynien (-375 à -320 millions d'années), à une tectonique intense. Celle-ci a conduit, au niveau de l'ensemble sédimentaire, à la formation d'une succession de plissements d'échelle hectométrique. La nature des contacts entre l'ensemble sédimentaire et la zone cristalline au nord n'a jamais été définie de façon précise. En revanche, les contacts entre l'ensemble sédimentaire et la zone cristalline située au sud ont montré l'existence d'un chevauchement vers le sud-ouest de l'ensemble sédimentaire sur le socle. La profondeur du socle peut être estimée grâce aux résultats des études géophysiques. Celles-ci ont montré, sous la série sédimentaire, la présence d'une formation à une profondeur de 850 mètres et s'enfonçant à 1 200 mètres. Cette formation pourrait être assimilée au socle cristallin.



Illustration 30 : Centre de stockage de la Manche face à la Manche (2005)

Les données concernant la géologie locale du Centre de stockage de la Manche proviennent de trois sources différentes :

- des sondages de surface (environ 190 sondages de 6 à 30 mètres de profondeur),
- une campagne de sismique réfraction de la zone superficielle,
- des observations et relevés de terrain exécutés à la faveur d'ouvertures de tranchées.

² Roche métamorphique très commune, à grains moyen ou grossier, issue du métamorphisme général.

³ Ensemble localisé formé d'un mélange de roches de type gneiss et granite.

⁴ Roches ayant subi un broyage sous l'effet de fortes contraintes.

⁵ De métamorphisme, transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une élévation de température et/ou de pression, avec cristallisation de nouveaux minéraux.

⁶ De grès, roche sédimentaire composée à au moins 85 % de grains de quartz.

⁷ De quartz et quartzite, roche siliceuse compacte.

⁸ De quartz et feldspath qui est un minéral essentiel des roches magmatiques.

⁹ De schiste, toute roche susceptible de se débiter en feuillets.

Ces données concernent essentiellement la reconnaissance d'une tranche de terrain comprise entre 0 et 30 mètres de profondeur. Elles permettent de mettre en évidence la présence de formations superficielles d'altérations recouvrant une série sédimentaire plissée. Dans la suite, les développements sont basés sur les seuls résultats issus des sondages et des relevés de terrain. En effet, la campagne de sismique réfraction n'a pas permis d'identifier un marqueur sismique unique sur l'ensemble du périmètre du Centre de stockage de la Manche.

Les terrains qui constituent le soubassement du Centre de stockage de la Manche peuvent être divisés en deux entités distinctes :

- des formations superficielles, d'âge plio-quaternaire (-5,3 millions d'années à nos jours), à stratification subhorizontale, héritées des phénomènes d'altération périglaciaire. Ces formations s'étendent des premiers horizons pédogénétiques¹⁰ (sols proprement dits) et se développent sur plusieurs mètres de profondeur sous la surface du sol (de 1 m à l'aplomb des formations sous-jacentes indurées jusqu'à plus de 10 mètres à l'aplomb des formations les plus tendres). L'étude de ces formations a été rendue nécessaire car elles accueillent les ouvrages enterrés du Centre de stockage de la Manche (tranchées, monolithes ...);
- des formations profondes correspondant à une série sédimentaire plissée dont les principales caractéristiques sont illustrées par les trois coupes ci-après.

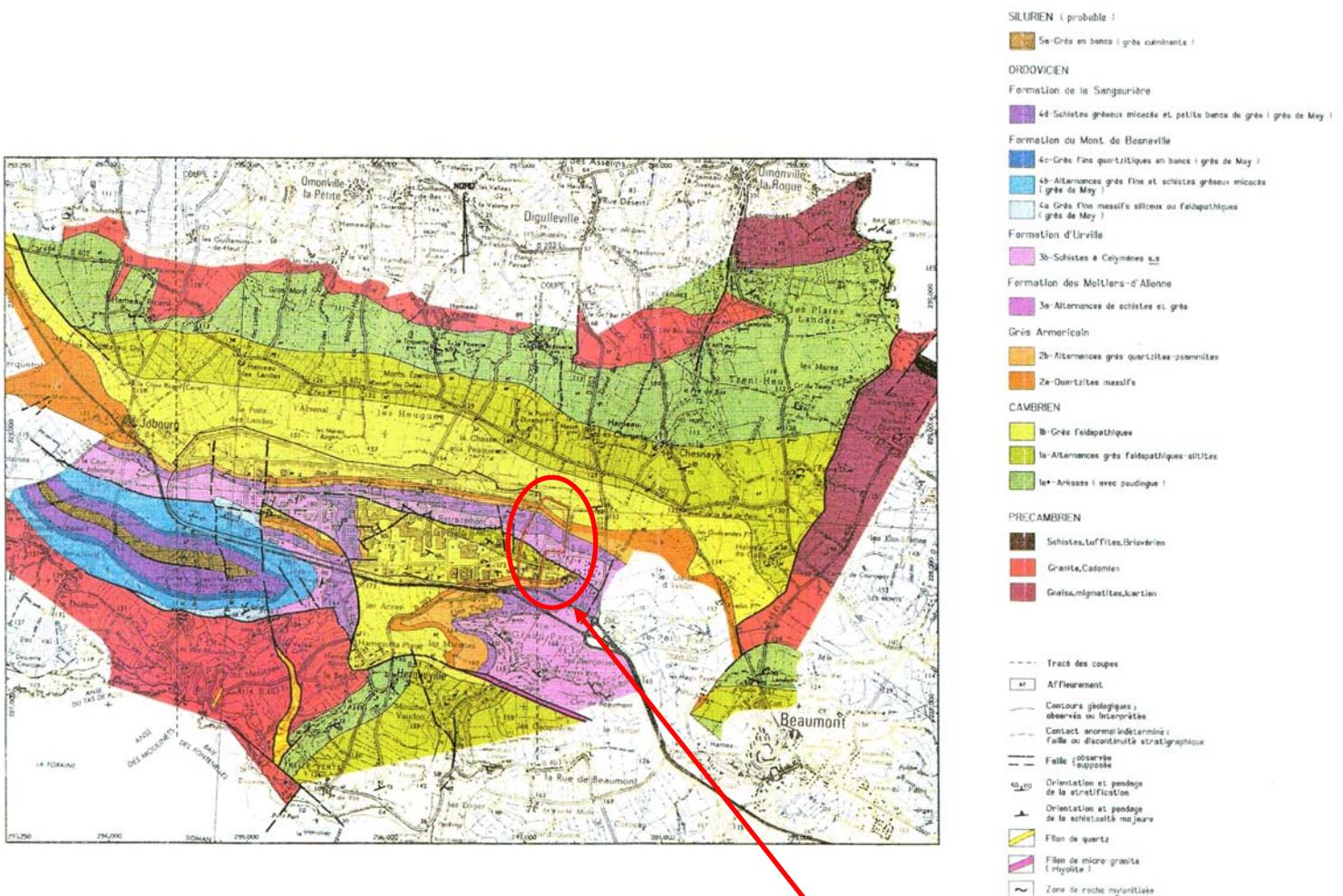


Illustration 31 : carte géologique de positionnement du Centre de stockage de la Manche

¹⁰ Processus amenant à la formation des sols à partir d'une roche mère.

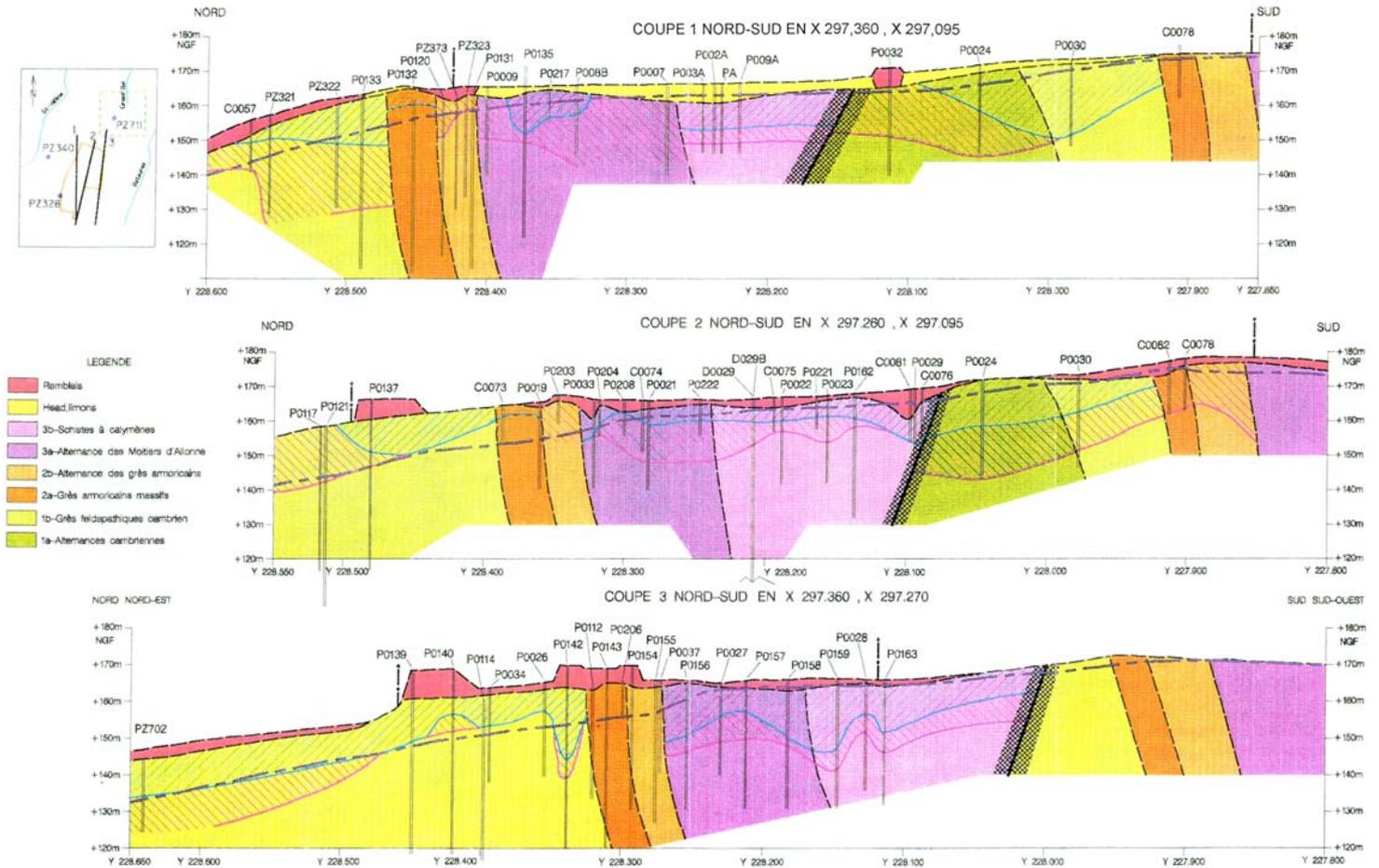


Illustration 32 : coupes géologiques nord-sud au niveau du Centre de stockage de la Manche

Le Centre de stockage de la Manche est rattaché à la province sismo-tectonique du domaine Domnonéen¹¹. Parmi les séismes qui se sont produits dans le passé, ceux qui retiennent l'attention sont les suivants :

- séisme du 30 juillet 1926, localisé entre Jersey et Saint-Malo, d'intensité à l'épicentre VI-VII sur l'échelle MSK¹² et dont la distance minimale au site envisageable est de 50 km,
- séisme du 30 mai 1889, localisé en baie de Seine, d'intensité à l'épicentre ramenée à VI sur l'échelle MSK et dont la distance minimale au site envisageable est de 80 km.

Dans l'analyse de sûreté du Centre de stockage de la Manche, le séisme maximal historiquement vraisemblable retenu au droit du Centre de stockage de la Manche possède une intensité de VI-VII sur l'échelle MSK et a une profondeur focale de 12 à 15 km (séisme de référence du 30/07/1926). C'est sur ces bases que sont calculés les spectres de réponse élastique qui ont permis le dimensionnement des ouvrages.

¹¹ Domaine qui englobe le golfe Normand, le golfe du Cotentin et le golfe Normandie Bretagne.

¹² L'échelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik (appelée échelle MSK) est une échelle de mesure de l'intensité d'un tremblement de terre. Elle décrit le séisme en termes de destructions des installations humaines et de modifications de l'aspect du terrain, mais également en termes d'effets psychologiques sur la population (sentiment de peur, de panique, de panique généralisée).

2.1.5 LE CONTEXTE HYDROLOGIQUE



CARTE IGN - © IGN-PARIS 1998 - AUTORISATION N° 98-8017

Illustration 33 : localisation des ruisseaux au nord du Centre de stockage de la Manche (CM sur la carte)

Le réseau hydrographique est très succinct. Les trois principaux ruisseaux drainant le Centre de stockage de la Manche ont tous un cours dirigé vers le Nord. Ils aboutissent en moins de quatre kilomètres à la mer.

Le ruisseau de la Sainte-Hélène prenait autrefois sa source dans une zone marécageuse près du lieu-dit des « Hauts Marais ». Avec la construction de l'usine Areva La Hague et du Centre de stockage de la Manche, sa source est constituée par le déversoir du bassin d'orage du Centre. La Sainte-Hélène atteint la mer à l'anse Saint Martin, après un parcours d'environ 3 km.

Le ruisseau du Grand Bel prend sa source au nord du Centre de stockage de la Manche, au « Hameau-ès-Clerges ». Il rejoint le ruisseau de la Sainte-Hélène au lieu-dit « l'Etang paysan », près du « Hameau de la Fosse », après un parcours de 1,7 km.

Le ruisseau des Roteurs prend sa source à l'est du Centre de stockage de la Manche. Il rejoint le ruisseau la Vallée après un parcours d'environ 1 km. La Vallée se jette dans la mer à Omonville-la-Rogue, à 2 km en aval.

Les eaux de ruissellement du Centre de stockage de la Manche sont récupérées par un réseau d'eau pluviale dont l'exutoire en phase de surveillance est le ruisseau de la Sainte-Hélène. De 1968 à 1975, des mesures de débit ont été effectuées à une station située à l'aval immédiat du bassin d'orage. Ces données ont servi de base aux études hydrologiques. Le débit moyen à cette station est de 10,5 l/s. Il est à rapporter au débit de 80 et 150 l/s à l'embouchure du ruisseau de la Sainte-Hélène. Une station de mesure en continu du débit du ruisseau de la Sainte-Hélène a été installée au Hameau de la Fosse en 1995. En ce point, le débit moyen est d'environ 30 l/s. Globalement, le débit spécifique annuel moyen du ruisseau de la Sainte-Hélène est de 19,4 l/s/km².

Mesurés entre septembre 1983 et octobre 1985, les débits spécifiques annuels moyens sont de 13,1 l/s/km² pour le ruisseau du Grand Bel (à la ferme de Rantôt) et 10,7 l/s/km² pour le ruisseau des Roteures (en amont de la route D402).

L'écoulement des eaux pluviales se répartit suivant l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration dans le sol :

- Pour le ruisseau de la Sainte-Hélène, l'étude de la relation pluie/débit journalier a été faite à l'aide de modèles hydrologiques globaux. L'analyse des composantes de l'écoulement montre que le volume écoulé total (ruissellement + infiltration) représente 50 % des précipitations, l'autre moitié étant reprise par l'évapotranspiration. Le ruissellement est estimé entre 15 et 20 %. L'infiltration vers la nappe est estimée entre 30 et 35 %.
- Pour les ruisseaux du Grand Bel et des Roteures, un modèle hydrologique global a été calé sur les mesures effectuées sur ces deux ruisseaux entre juillet 1983 et octobre 1985. L'analyse des composantes de l'écoulement montre que les volumes écoulés représentent également environ 50 % des précipitations.

2.1.6 LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

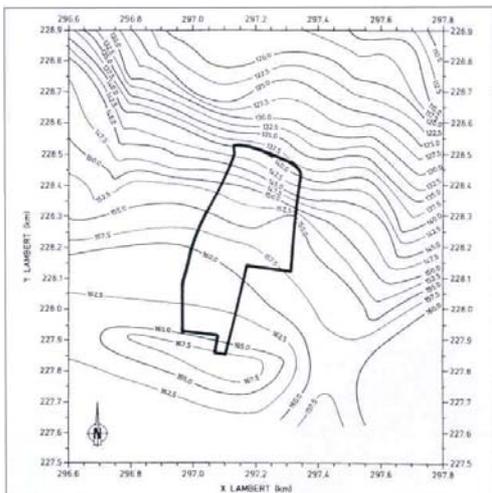


Illustration 34 : carte piézométrique des basses eaux de novembre 1969

La carte piézométrique¹³ des basses eaux de novembre 1969, au tout début de la création et de l'exploitation du Centre de stockage de la Manche montre que :

- la quasi totalité des écoulements souterrains issus du Centre de stockage de la Manche est drainée par le bassin versant du ruisseau de la Sainte-Hélène et de son affluent, le ruisseau du Grand Bel,
- une très faible partie du Centre de stockage de la Manche est drainée souterrainement par le bassin du ruisseau des Roteures,
- les écoulements souterrains issus du Centre de stockage de la Manche n'ont pas d'exutoire vers le sud (ruisseau d'Herquemoulin).

Il faut noter qu'en 1969 la nappe n'était pas influencée par les ouvrages de stockage et l'on se trouvait donc dans des conditions d'écoulement en régime naturel.

¹³ Le niveau piézométrique correspond au niveau atteint par l'eau dans un tube (piézomètre) atteignant la nappe phréatique. Ce niveau peut être reporté sur une carte piézométrique comprenant les relevés d'un ensemble de piézomètres.

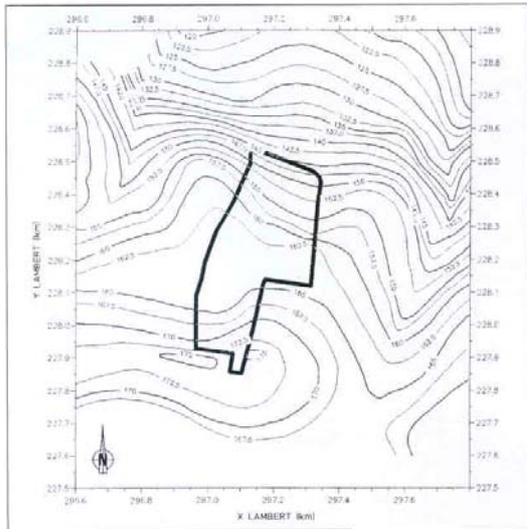


Illustration 35 : carte piézométrique des hautes eaux en février 1970

Sur le plan des gradients d'écoulement, il apparaît que la pente d'ensemble de la nappe est forte. En effet, on note un écart de 25 m entre les cotes de la nappe en bordure sud et en bordure nord. Dans le détail, les gradients sont très contrastés, allant de 2,5 à 3 % au sud du Centre de stockage de la Manche jusqu'à plus de 10 % dans la partie nord.

La carte piézométrique des hautes eaux de février 1970 sert de référence. Elle présente les mêmes caractéristiques générales sur le plan des directions d'écoulement et des limites.

La nappe sous le Centre de stockage de la Manche a été soumise de 1982 à 1990 à l'influence d'un pompage industriel fait par la société Areva NC (mitoyenne du Centre de stockage de la Manche).

La carte piézométrique des hautes eaux de janvier 1990 montre l'influence que ce pompage exerçait sur la nappe au droit du Centre de stockage de la Manche après une dizaine d'années d'exploitation.

L'arrêt du pompage entre mai 1990 et septembre 1992 s'est traduit par un retour très progressif à la situation antérieure sur le plan des niveaux piézométriques et des trajectoires d'écoulement.

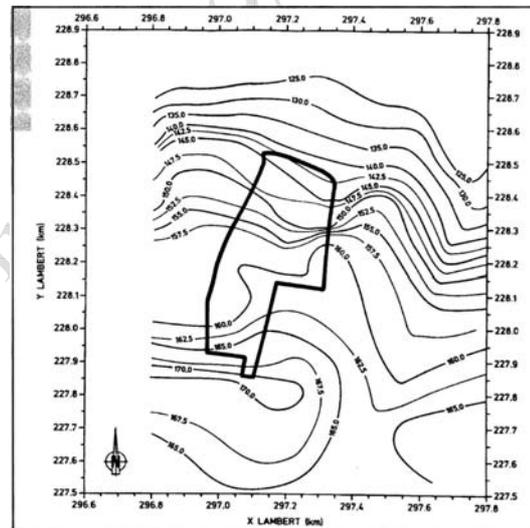


Illustration 36 : carte piézométrique des hautes eaux en janvier 1990

Même en régime influencé, les lignes de crête majeures indiquées ci-dessus n'ont pas été sensiblement perturbées. La ligne de crête est-ouest au sud du Centre de stockage de la Manche (séparant les bassins versants du ruisseau de la Sainte-Hélène et du ruisseau d'Herquemoulin) a été validée après la réalisation de nouveaux piézomètres en 1989 au sud du Centre de stockage de la Manche.

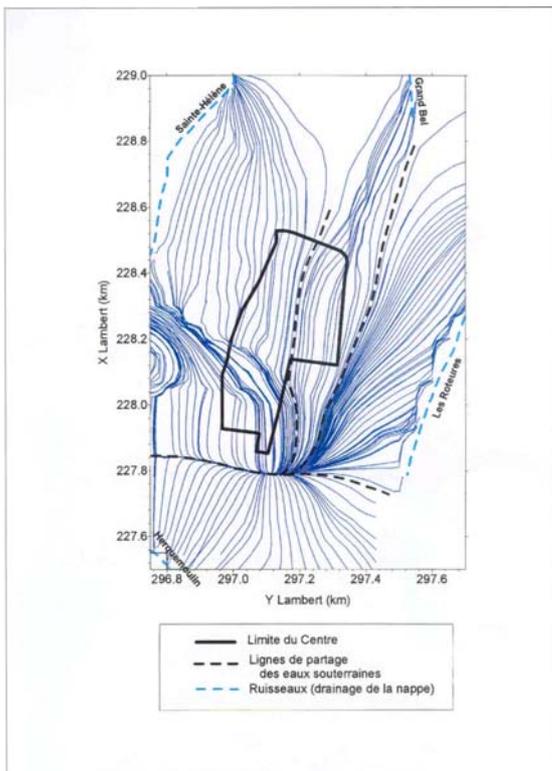


Illustration 37 : directions des écoulements de la nappe en 1991

Dans l'état des aménagements du Centre de stockage de la Manche au début des années 2000, les écoulements souterrains issus du Centre n'ont pas d'exutoire vers le sud (ruisseau d'Herquemoulin). Il y a concordance entre les bassins versants hydrographiques et souterrains.

Tant dans un régime fortement influencé que dans un régime à l'équilibre, le réseau piézométrique montre que la quasi-totalité des écoulements issus du Centre de stockage de la Manche est drainée par les bassins versants des ruisseaux de la Sainte-Hélène et du Grand Bel.

2.1.7 LE CONTEXTE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

Le suivi semestriel des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines du Centre de stockage de la Manche réalisé depuis 1996 jusqu'au début des années 2000 montre :

- des teneurs en ions majeurs (chlorures, calcium, potassium, magnésium, sulfate et nitrate) inférieures aux concentrations fixées pour l'eau destinée à la consommation humaine. Il convient toutefois de noter la teneur importante en ions chlorure qui varie faiblement autour de 50 mg/l ;
- les métaux analysés sont l'aluminium, le béryllium, le cadmium, le chrome, le fer, le manganèse, le mercure, le nickel et le plomb :
 - les teneurs en fer, aluminium et manganèse résultent de l'équilibre chimique des eaux souterraines avec les matériaux naturels environnants. Ces teneurs sont importantes et généralement supérieures aux valeurs recommandées pour les eaux de consommation. Ces teneurs ne sont pas spécifiques aux piézomètres situés en aval du Centre de stockage de la Manche : elles ne peuvent donc pas être considérées comme résultant de l'influence du stockage. Les concentrations mesurées fluctuent aussi bien dans le temps que dans l'espace et dépendent de la géologie, de la recharge et de la composition chimique de l'eau souterraine. La nappe n'apparaît pas comme étant chimiquement homogène au droit du Centre de stockage de la Manche. C'est ce qui explique les variations observées ;
 - le béryllium, le cadmium et le chrome sont très faiblement présents dans les eaux souterraines du Centre de stockage de la Manche : seulement 6 %, 13 % et 38 % respectivement des mesures effectuées ont révélé des concentrations supérieures au seuil des appareils de mesure ;

- le nickel, le plomb et le mercure ont des concentrations significatives en certains points de contrôle. La présence de nickel dans les piézomètres situés en amont hydraulique ne permet pas de considérer les déchets présents sur le Centre de stockage de la Manche comme étant à l'origine des teneurs en nickel de l'aquifère. Le plomb est présent dans l'ensemble de l'aquifère, aussi bien en amont qu'en aval hydraulique du Centre de stockage de la Manche, et sa localisation n'est pas spécifique à une zone particulière. La présence de mercure à des teneurs significatives est limitée à deux zones : celle limitrophe avec la zone industrielle de Digulleville et la zone au nord du Centre de stockage de la Manche. La présence de mercure en amont hydraulique du Centre de stockage de la Manche ne permet pas de considérer le Centre de stockage de la Manche comme étant à l'origine du mercure observé dans l'aquifère ;



Illustration 38 : Centre de stockage de la Manche en exploitation en 1992

- de façon générale, les concentrations moyennes en fer, aluminium et manganèse (éléments d'origine naturelle) ne sont pas compatibles avec celles admises dans l'eau destinée à la consommation humaine. La présence de mercure à certains endroits conforte la non potabilité de l'eau souterraine du Centre de stockage de la Manche.

La présence de mercure en amont et en aval du Centre de stockage de la Manche a également été observée et analysée. Les niveaux de concentration en amont et en aval sont similaires et ont conduit à l'identification d'une source potentielle de mercure par lessivage de terrains situés hors de l'emprise du Centre de stockage de la Manche

2.1.8 LE CONTEXTE MARITIME



Illustration 39 : Manche à la pointe et au phare de Goury

La Manche est une mer intercontinentale de faible profondeur soumise aux influences du rivage. Elle communique au nord avec la Mer du Nord et s'ouvre à l'ouest sur l'océan Atlantique. Elle forme un couloir dissymétrique large de 175 km à l'ouest (Manche occidentale) et de 35 km à l'est (Manche orientale), avec un resserrement médian de 90 km au nord du Cotentin.

La profondeur de la Manche varie de 30 m au Pas-de-Calais à 110 m à l'entrée occidentale, la fosse centrale des Casquets atteignant 174 m. Les courants de marée sont caractérisés par leur grande violence. Ils se renversent entre flot et jusant en entraînant une masse d'eau importante pouvant déplacer des bancs de galets profonds. La vitesse de ces courants atteint 10 nœuds en vives eaux au cap de La Hague, 7 nœuds au large du Nez de Jobourg et 3 à 4 nœuds dans les rentrants de la côte. Le mouvement périodique dû à la marée est accompagné d'une dérive générale des masses d'eau vers l'est. La température moyenne de l'eau à proximité du cap de La Hague varie de 8°C en février à 16,5°C en août.

La faune et la flore sont peu différentes au cap de La Hague de celles que l'on trouve à proximité des côtes de Bretagne, bien que moins abondantes. Les fonds marins de la région du cap de La Hague sont principalement couverts d'un mélange plus ou moins homogène de cailloutis, de graviers et de sables. Les graviers sont d'origine organique ou minérale, ils existent un peu partout mais plus spécialement aux deux extrémités de la Manche. Les sables et les vases occupent les grands estuaires. La tanguie est localisée dans la zone intercotidale¹⁴ dans les estuaires et les baies. C'est une vase sableuse calcaire faisant l'objet d'une sédimentation rythmique, les éléments étant transportés du large vers le littoral depuis des fonds de 20 mètres. La vase est inexistante sur les fonds de la Manche, seul un faible colmatage à l'embouchure des rivières est observé. La surface des fonds rocheux se présente sous la forme de nappes de cailloutis (milieu favorable au développement des organismes).

¹⁴ Zone d'oscillation de la marée.



Illustration 40 : Manche à Port Racine

En résumé, les caractères généraux dominants sont :

- une exubérance de la vie sur les fonds de cailloutis considérés comme des zones de production de sédiments organiques,
- une liaison étroite entre les courants et le caractère sédimentologique, les sédiments les plus fins se déposant vers la côte,
- la violence des courants marins qui est un facteur favorable à la dispersion d'éventuels rejets apportés à la mer par les ruisseaux du Centre de stockage de la Manche.

2.2 LA SITUATION RADIOLOGIQUE DE REFERENCE

2.2.1 INTRODUCTION

Un état radiologique de référence ayant pour but de définir les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle de l'environnement de la presqu'île de La Hague avant le passage en phase de surveillance du Centre de stockage de la Manche a été réalisé. L'année 1991 a servi de référence. En effet, elle précédait les travaux de couverture du Centre de stockage de la Manche qui se sont déroulés entre 1992 et 1997. On ne disposait pas d'un état de référence à l'origine du Centre de stockage de la Manche en 1969. En effet, quand le Commissariat à l'énergie atomique (premier responsable du Centre de stockage de la Manche) s'est installé sur le site de La Hague dans les années 1960, les textes en vigueur ne prévoyaient ni enquête publique, ni état de référence. Les premières données de surveillance générale de l'environnement réalisées datent de 1974. Quelques mesures plus localisées sont néanmoins disponibles durant la première période du Centre de stockage de la Manche.



Illustration 41 : stockage en tumulus (1986)

Certaines données relatives aux années 1960 existent néanmoins mais ne sont pas utilisables pour apprécier l'impact du Centre de stockage de la Manche sur son milieu. En effet, ces données mettent surtout en évidence l'influence des retombées atmosphériques des essais aériens des premières armes nucléaires (bombes). Ces données sont sensiblement les mêmes pour l'ensemble de la France et sont très supérieures aux valeurs mesurées dans les années 1990 et le début des années 2000.

2.2.2 LA REFERENCE RADIOLOGIQUE TERRESTRE

Les activités moyennes mensuelles en alpha et bêta des poussières collectées quotidiennement par les stations de contrôle atmosphérique sont inférieures aux seuils de mesure. Il en est de même sur les eaux de pluie.

Le débit de dose gamma ambiant mesuré dans l'environnement de La Hague est inférieur à $0,18 \mu\text{Gy/h}$ (microgray par heure). Après achèvement de la couverture, les valeurs de débit de dose mesuré à la clôture du Centre de stockage de la Manche sont comprises entre $0,07$ et $0,13 \mu\text{Gy/h}$, valeurs équivalentes au débit de dose ambiant naturel de la région.

Les mesures d'activités volumiques en alpha et bêta effectuées dans les eaux de la nappe phréatique prélevées dans les piézomètres intérieurs et extérieurs au Centre de stockage de la Manche fournissent des résultats qui varient de $0,0735$ à $0,8 \text{ Bq/l}$ en alpha et de $0,166$ à $5,9 \text{ Bq/l}$ en bêta.



Illustration 42 : élevage bovin près du cap de La Hague

La présence de tritium dans l'environnement du Centre de stockage de la Manche, en particulier dans les eaux souterraines, a été détectée en 1976, suite à un incident sur l'ouvrage

de stockage « TB2 » (voir paragraphe 3.2.6). Les activités volumiques observées dans les eaux souterraines sont très variables dans l'espace et dans le temps. Depuis la fin des travaux de couverture, les teneurs en tritium décroissent globalement. Cette décroissance est due pour une large part aux aménagements techniques, notamment la couverture, qui limitent les nouveaux apports en tritium dans la nappe. Fin 2005, le niveau moyen de tritium dans la nappe était de 6 400 Bq/l avec un maximum à 170 000 Bq/l. Dans les ruisseaux, l'activité volumique la plus élevée est mesurée dans la source du Grand Bel avec un niveau de 700 Bq/l en 2007, stable depuis 1996.

Les mesures d'acidité (pH), de potassium et les mesures radiologiques (alpha, bêta et tritium) effectuées sur les réseaux d'eau potable de La Hague sont inférieures aux seuils de mesure tant pour l'année de référence (1991) que pour les suivantes.

Le contrôle des pâturages conduit à des valeurs en radioéléments artificiels inférieures ou proches des seuils de mesure tant pour l'année de référence (1991) que pour les suivantes.

La production laitière de l'environnement de La Hague pour l'année de référence (1991) et pour les années suivantes ne présente aucun point singulier pour les mesures effectuées (émetteurs bêta, césium 137, potassium 40, strontium 90, tritium, iode 131 et spectrométrie gamma).

Des prélèvements d'eau ont été effectués dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène, du Grand Bel et des Roteures :

- pour la radioactivité alpha total et bêta total :
 - pour les ruisseaux sous l'influence du Centre de stockage de la Manche, aucune mesure de radioactivité alpha total n'a donné de résultat significatif (radioactivité inférieure au seuil de détection de 0,076 Bq/l) ; pour la radioactivité bêta total, les concentrations varient de 0,26 Bq/l à 0,39 Bq/l pour un seuil de détection habituel de 0,17 Bq/l ;
 - pour les ruisseaux hors influence du Centre de stockage de la Manche, par exemple le ruisseau d'Herquemoulin (bassin versant sud du Centre de stockage de la Manche) et ses affluents, les mesures en alpha et en bêta sont comparables à celles des eaux de pluie prélevées à la station météorologique du Centre de stockage de la Manche, c'est-à-dire inférieures aux seuils de détection des appareils de mesure (0,076 Bq/l en alpha ; 0,17 Bq/l en bêta) ;
- pour la radioactivité bêta du tritium :
 - pour les ruisseaux sous l'influence du Centre de stockage de la Manche, les valeurs restent toujours inférieures ou proches du seuil de détection (10 Bq/l) dans le ruisseau des Roteures, alors que les activités moyennes sont respectivement de l'ordre de 610 Bq/l pour le ruisseau du Grand Bel, de 439 Bq/l à la source du ruisseau de la Sainte-Hélène et de 228 Bq/l à son confluent avec le Grand Bel ;
 - pour les ruisseaux hors influence du Centre de stockage de la Manche, les niveaux d'activité sont inférieurs au seuil de détection (10 Bq/l).



Illustration 43 : la cascade du ruisseau de la Sainte-Hélène

Des prélèvements de sédiments ont aussi été effectués dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène, du Grand Bel et des Roteures. Du fait de leurs propriétés de fixation et de rétention des radioéléments, l'analyse périodique des boues des ruisseaux constitue un indicateur privilégié pour le suivi de l'impact radiologique du Centre de stockage de la Manche sur son environnement. Les sédiments du ruisseau de la Sainte-Hélène présentent des traces de radioactivité artificielle à hauteur de quelques dizaines à quelques centaines de Bq/kg. Ces traces sont liées aux premières phases du Centre de stockage de la Manche (jusque dans les années 1980) où toutes les eaux pluviales rejoignaient directement le ruisseau de la Sainte-Hélène. Dans l'ensemble des sédiments, la radioactivité en ruthénium et rhodium 106, en césium 134 et en cobalt 60 est inférieure ou proche des seuils de détection. La radioactivité en césium 137 varie de 1,2 à 6,9 Bq/kg dans les sédiments du ruisseau des Roteures, de 6,2 à 13 Bq/kg dans les sédiments du ruisseau du Grand Bel, de 70 à 140 Bq/kg dans les sédiments du ruisseau de la Sainte-Hélène, et de 41 à 96 Bq/kg dans les sédiments à la confluence des ruisseaux du Grand Bel et de la Sainte-Hélène. Comme pour les sédiments, certains végétaux aquatiques de ces trois ruisseaux conservent également la trace de légers marquages en radioactivité artificielle.



Illustration 44 : paysage agricole près du Cap de La Hague

L'activité en tritium et celle des radionucléides naturels et artificiels dans les anguilles prélevées dans le ruisseau de la Sainte-Hélène sont faibles : 101 Bq/kg en tritium sur matière organique, 2,4 Bq/kg sur produit frais pour le césium 137, 9 Bq/kg sur produit frais pour le plomb 210 et 70 Bq/kg sur produit frais pour le potassium 40.

2.2.3 CONCLUSION SUR L'ETAT DE REFERENCE ET SES EVOLUTIONS

Depuis les années 1990, tous les résultats des mesures effectuées par l'Andra, Areva, la Commission d'enquête publique, la commission de surveillance du Centre de stockage de la Manche et l'Autorité de sûreté nucléaire sont cohérents :

- les niveaux de radioactivité, quand ils sont décelables, sont extrêmement faibles et ne remettent pas en cause la santé publique,
- les activités artificielles mesurées dans les sédiments du ruisseau de la Sainte-Hélène constituent les traces « fossiles » des marquages anciens des eaux de ce ruisseau, notamment des incidents de débordement du réseau séparatif dans les années 1980 ou la rupture de tuyauteries par des engins de chantiers. Ces activités décroissent

- progressivement dans le temps par effet d'entraînement mécanique des sédiments par l'eau en aval du ruisseau de la Sainte-Hélène,
- l'activité en tritium décelée autour du Centre de stockage de la Manche diminue régulièrement : son niveau d'activité se situe entre le centième et le millième de la norme sanitaire pour l'eau de boisson (selon l'organisation mondiale pour la santé), sauf en quelques points localisés (par exemple au piézomètre P0113 à l'extérieur du Centre où l'activité en tritium est de 20 000 Bq/l).

Version intermédiaire du 29/02/2008

3 LE STOCKAGE DES DECHETS RADIOACTIFS

3.1 INTRODUCTION

Le 16 octobre 1968, le Commissariat à l'énergie atomique met à la disposition d'Infratome (prédécesseur de l'Andra) via une convention, un terrain de 12,14 hectares pris sur ses propres installations (lesquelles deviendront plus tard l'usine de La Hague de la société Areva). Après quelques acquisitions de parcelles de terrain, l'Andra est propriétaire, au moment du passage en phase de surveillance du Centre de stockage de la Manche, d'une surface de 14,79 hectares. Néanmoins, les limites de l'Installation nucléaire de base (INB 66 au sens de la réglementation) correspondent toujours à la surface mise à la disposition d'Infratome en 1968 et officialisée par l'Autorité de sûreté nucléaire en mars 1978. Tous les stockages de déchets radioactifs sont implantés à l'intérieur de cette Installation nucléaire de base.



Illustration 45 : installation de la centrale à béton sur le Centre de stockage de la Manche en 1969

3.1.1 L'ORIGINE ET LE VOLUME DES DECHETS STOCKES

Les déchets de faible et moyenne activité proviennent de trois secteurs :

- l'industrie électronucléaire à chaque stade du cycle du combustible,
- la recherche dans la plupart des centres du Commissariat à l'énergie atomique et des différents laboratoires des universités et de l'industrie,
- la production et l'utilisation de radionucléides à des fins médicales, industrielles, agricoles ou d'enseignement.

Les déchets à vie courte sont de quatre catégories :

- les déchets de procédés qui résultent du fonctionnement proprement dit d'une installation nucléaire,
- les déchets technologiques et de laboratoire, solides divers jugés non réutilisables et en général très peu actifs : vêtements, gants, chaussures, chiffons, verreries, outillages ...,
- les déchets de démantèlement d'installations nucléaires,
- certaines sources scellées de rayonnement qui ne sont plus assez actives pour l'usage auquel elles étaient destinées dans la médecine, l'industrie, l'enseignement ou l'agriculture.

Les volumes de déchets stockés au Centre de stockage de la Manche sont donnés dans le tableau ci-après en fonction de leur origine.

Tableau 2 : volumes de déchets stockés par producteurs des déchets radioactifs

Producteurs	Volumes stockés de déchets (m ³)
Commissariat à l'énergie atomique	105 353
Areva	184 670
Electricité de France	184 936
Autres (hôpitaux ...)	52 255
TOTAL	527 214

Les premiers colis de déchets ont été entreposés en octobre 1969. Le dernier colis a été livré le 30 juin 1994. Le Centre de stockage de la Manche présente des différences techniques entre les premières et les dernières zones de stockage. Les différences principales portent sur les activités massiques radiologiques, le mode de conditionnement des déchets radioactifs constituant le colis et les ouvrages de stockage.

Hormis les cas particuliers du tritium et du radon (radionucléides potentiellement gazeux), la dispersion de substances radioactives à partir du Centre de stockage de la Manche ne pourra se produire, en conditions normales, pendant la période de surveillance, que par l'intermédiaire des eaux d'infiltration dans le stockage puis des eaux souterraines. Dans le but de prévenir et de retarder cette dispersion, le stockage est donc composé d'une succession de barrières artificielles ou naturelles qui ont pour rôle de confiner les radionucléides contenus dans les déchets.



Illustration 46 : stockage d'un colis en coque béton en 1983

3.2 LES COLIS DE DECHETS RADIOACTIFS

3.2.1 LE CONDITIONNEMENT DES DECHETS RADIOACTIFS

Les déchets radioactifs ont été identifiés et triés dès leur production dans les ateliers et laboratoires pour être ensuite dirigés vers un type de stockage autorisé. Tous les produits ont été solidifiés pour éviter la dispersion de la radioactivité et pour éliminer les liquides qu'ils auraient pu contenir. Tout déchet radioactif renfermant des substances susceptibles de donner lieu spontanément à des réactions chimiques violentes a été éliminé. Ainsi traités et conditionnés, les déchets radioactifs étaient manipulables et transportables sans danger significatif pour les travailleurs et les populations.

Les déchets radioactifs, de nature et de constitution très diverses, ont toujours été conditionnés sous forme de colis avant d'être stockés. Il n'y a donc aucun déchet radioactif « libre » ou « en vrac » à l'intérieur du Centre de stockage de la Manche. Néanmoins, durant la première période de stockage, les déchets n'étaient pas immobilisés par du mortier à l'intérieur du fût.

Ce conditionnement comportait, en général, un traitement préalable des déchets radioactifs eux-mêmes pour les mettre sous une forme solide et aussi compacte que possible. Ensuite, ils étaient placés dans une enveloppe dans laquelle les déchets préparés étaient finalement stockés.



Illustration 47 : entreposage de colis en fûts métalliques en 1978

Les dispositions initiales du décret du 19 juin 1969 prévoyaient que les déchets pouvaient arriver sur le Centre de stockage de la Manche sous différentes formes : des blocs ou fûts bétonnés destinés à un stockage sur plate-forme, des fûts métalliques destinés à un stockage en tranchées normales ou bétonnées selon le conditionnement des déchets qu'ils contenaient.

Par la suite, les caractéristiques du conditionnement à réaliser en fonction de la nature et du niveau de l'activité des déchets radioactifs ont évolué conformément aux prescriptions de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 septembre 1979, puis du 6 février 1985, ainsi qu'aux recommandations énoncées dans les Règles fondamentales de sûreté (RFS I.2 et III 2e). Par ailleurs, une normalisation des différents types de colis s'est progressivement établie au cours des années d'exploitation.



Illustration 48 : stockage de déchets en caisson métallique au centre de colis en coques béton en 1985

Dans la dernière décennie d'exploitation, en fonction du niveau d'activité des déchets radioactifs contenus dans les colis, deux types de conditionnement ont été réalisés :

- pour les déchets radioactifs dont les activités massiques étaient inférieures à des seuils fixés (dits « seuil d'enrobage »), le conditionnement visait essentiellement à donner aux colis une résistance sous charge suffisante pour assurer la stabilité mécanique de l'ouvrage dans lequel ils étaient incorporés : ces colis sont dits « immobilisés » ou « bloqués » et stockés en tumulus,
- pour les déchets radioactifs dont les activités massiques étaient supérieures aux seuils évoqués plus haut, le conditionnement visait également à insolubiliser et à confiner les radionucléides de façon à assurer à long terme leur rétention et à limiter les risques de dispersion : ces colis sont dits « enrobés » et stockés en monolithes.

3.2.2 LES TYPES DE COLIS ET LEUR AGREMENT

L'Andra a établi une liste des colis types acceptables au Centre de stockage de la Manche selon les caractéristiques de leur contenu, la nature et la forme de leur enveloppe. Cette liste comporte une douzaine de types de colis se présentant avec des enveloppes constituées soit de fûts ou caissons en tôle d'acier doux, soit de coques ou caissons en béton armé ou en béton fibré. Chaque type recouvre des modèles de dimensions différentes que l'Andra, en liaison avec les producteurs, s'est efforcé de standardiser afin d'éviter une multiplication du nombre de colis de caractéristiques géométriques diverses.

Les colis de déchets ont été livrés au Centre de stockage de la Manche accompagnés de bordereaux de renseignements. Simples fiches de livraison en 1969, ces bordereaux ont fait l'objet de modifications successives, notamment en 1979 puis en 1984, afin d'inclure toutes les données permettant l'acceptation (contrôles préalables) et la caractérisation radioactive des colis en tenant compte de l'évolution des règles de sûreté.

DIRECTION DU CEN. SACLAY
SERVICE DE PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS
Section INTERVENTION-DECONTAMINATION-STOCKAGE

le 5 mai 1969

AVIS D'EXPEDITION

Réf. : Commande BX 32109.5 R-B 2^{ème} Allumant
N° de la demande de transport 35457

N° d'ordre d'transport	désignation des emballages	nombre d'emballages		radioisotopes contaminants	débit de dose du chargement complet
		200 l.	100 l.		
29	Fûts métalliques hermétiques de déchets de faible activité produit au CERN			PF + produit d'activation	contact 50m ² / _h 3m 5m ² / _h
	Fûts métalliques hermétiques de déchets de faible activité produit au CENFAP			PF + produit d'activation	
TOTAL		152			

Illustration 49 : bordereau de livraison N°40 du 5 mai 1969



Illustration 50 : codes à barre sur les colis (fûts métalliques) assurant la traçabilité de leur contenu et le lien avec le dossier d'agrément en 1990

A partir de 1984, les informations correspondantes ont été informatisées progressivement puis à compter de 1987 contrôlées avant même le départ des colis des sites de production. Depuis, chaque type de colis destiné au Centre de stockage de la Manche a fait l'objet d'un agrément demandé à l'Andra par le producteur sur la base des pièces suivantes :

- un dossier descriptif des déchets radioactifs et de leur procédé de conditionnement,
- un dossier descriptif de la méthode de détermination de l'activité,
- un dossier technique regroupant les essais de caractérisation des déchets conditionnés,
- un dossier décrivant l'organisation contrôle et assurance qualité mise en place.

Les agréments s'étant mis en place progressivement après la parution de la RFS.1.2 en 1984, des premiers agréments provisoires ont été prononcés à partir de 1987. Néanmoins, ce n'est que le 18 janvier 1991 que fut notifié un agrément définitif.

L'agrément a pour buts de s'assurer que le type de colis présenté a des caractéristiques compatibles avec les spécifications de sûreté auxquelles il doit répondre pour son stockage, ainsi que de démontrer a priori que la fabrication industrielle des colis restera conforme à ces caractéristiques.

A la réception du dernier colis sur le Centre de stockage de la Manche, les agréments régularisés formellement couvrent 45% des colis et du volume reçus depuis 1985.

3.2.3 L'INVENTAIRE RADIOLOGIQUE DES COLIS STOCKES

L'inventaire radiologique du Centre de stockage de la Manche traduit les activités des radionucléides qui contribuent potentiellement le plus à l'impact radiologique en phase de surveillance. L'impact radiologique de chaque radionucléide dépend de son activité initiale, de sa période de décroissance radioactive, de sa nuisance exprimée par des facteurs de dose, des propriétés physiques et chimiques contrôlant sa vitesse de migration dans les ouvrages et le milieu géologique. Cet inventaire ne vise donc pas, dans l'absolu, à établir un bilan comptable de tous les radionucléides présents (ou ayant été présents) dans le stockage. Par exemple, les radionucléides de période inférieure à 5 ans (césium 134, ruthénium et rhodium 106 ...) ne sont pas pris en compte car ils ne peuvent contribuer significativement à l'impact radiologique du Centre de stockage de la Manche. A l'inverse, le comportement du stockage sur le long terme nécessite de connaître les quantités des radionucléides à vie longue contenus dans les colis de déchets radioactifs.

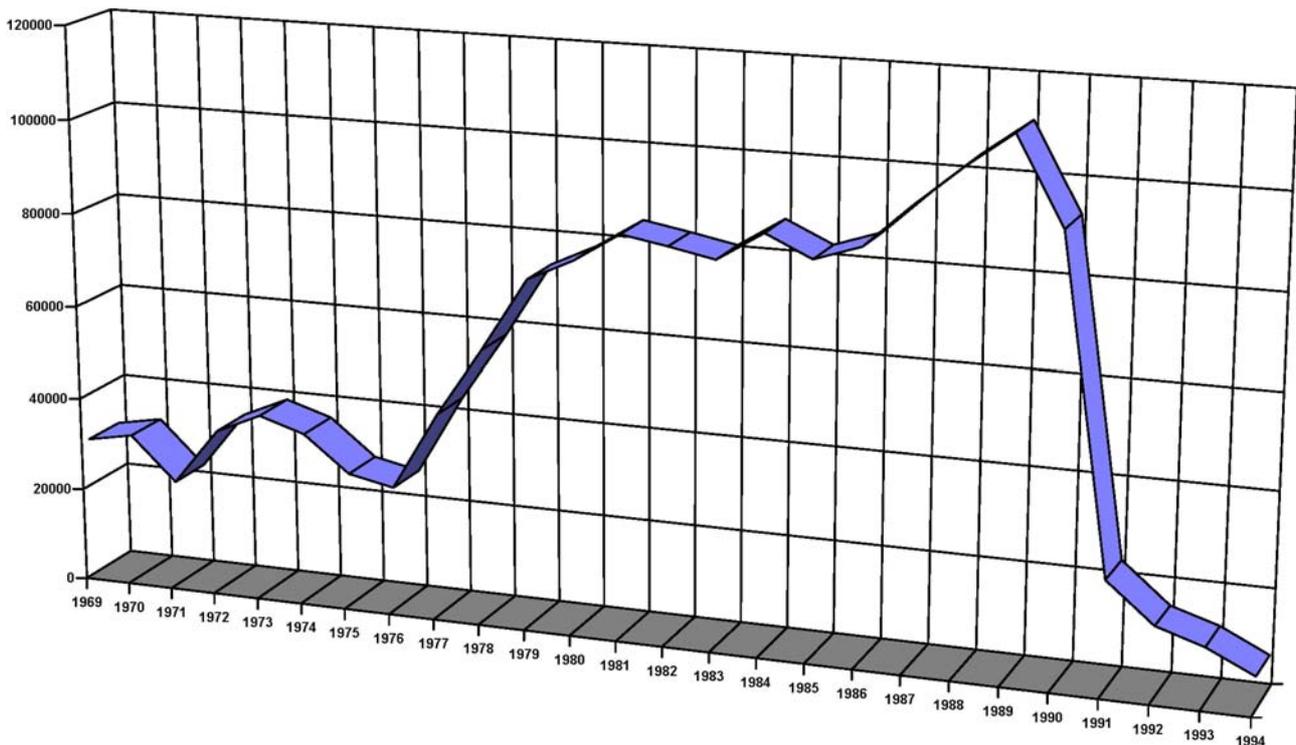


Illustration 51 : nombre de colis reçus par année

Pour établir les bilans des activités alpha et bêta gamma, deux périodes ont été considérées : de 1969 à fin 1984, puis de 1985 à 1994. La transition entre ces deux périodes résulte de la mise en place des démarches qualité, notamment celles dues à l'arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base. Aussi, depuis 1969, les méthodes de caractérisation et de traçabilité des déchets stockés sur le Centre de stockage de la Manche ont fait l'objet de nombreuses améliorations : évolution des méthodes de mesure, élargissement de la gamme des radionucléides recensés, consolidation des spécifications relatives à la fabrication et au contrôle des colis de déchets ...

L'évaluation de l'inventaire radiologique a été réalisée par une exploitation approfondie des données. Cette évaluation a été affinée progressivement au fil des années par des ajustements destinés à réduire au minimum les imprécisions du passé, en particulier pour la période 1969-1984. L'inventaire présenté ci-après (voir Tableau 3) correspond à la connaissance optimale de l'activité radiologique présente sur le Centre de stockage de la Manche à l'issue des travaux de consolidation achevés en février 1997.

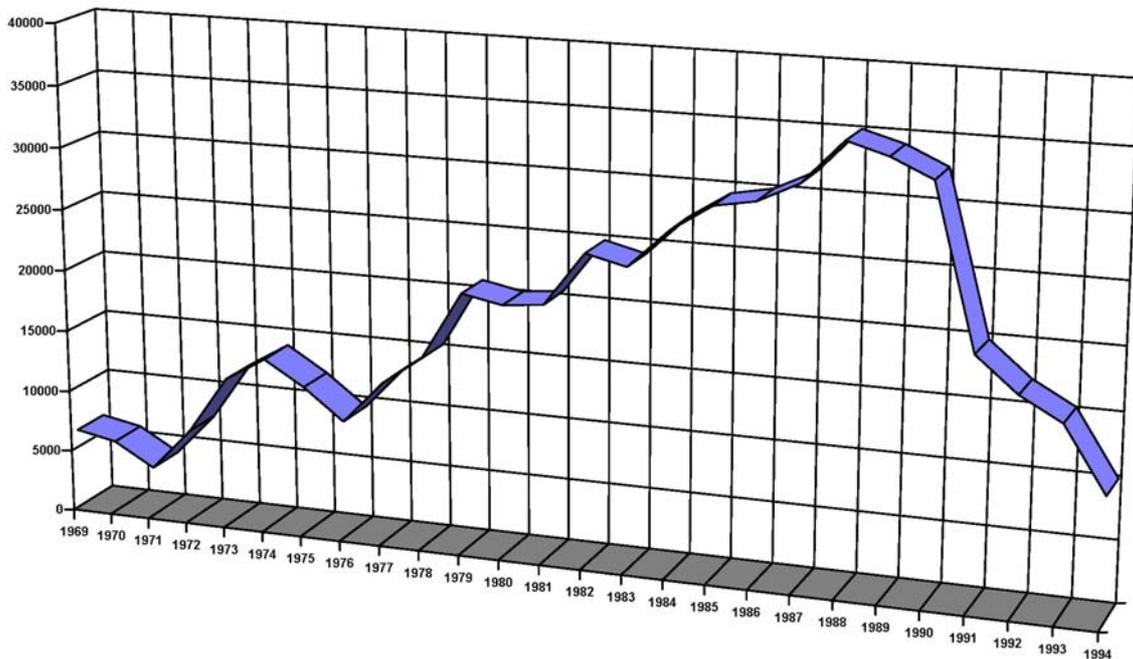


Illustration 52 : volume de déchets radioactifs (en m³) reçus par année

La commission d'évaluation de la situation du Centre de stockage de la Manche avant son passage en phase de surveillance (commission « Turpin ») a évalué l'inventaire réalisé par l'Andra. Dans son rapport de juillet 1996, elle écrit :

« L'Andra a mobilisé des moyens importants pour faire un inventaire aussi précis que possible des colis stockés sur le centre : emplacement, caractéristiques mécaniques et physico-chimiques, contenu radiologique. La commission considère que, malgré de nombreuses lacunes, ce travail est à peu près à son terme et qu'il est illusoire d'espérer améliorer encore la précision des données. Pour le contenu radiologique, compte tenu des méthodes d'estimation empiriques utilisées, faute de meilleure information, elle est d'avis que l'imprécision est supérieure aux valeurs données par l'Andra. Mais, compte tenu du parti systématique de « maximisation » retenu par cet organisme, une valeur critique comme le contenu en alpha à vie longue et très vraisemblablement inférieur à 500 000 GBq pour l'ensemble du site. »

Tableau 3 : inventaire du Centre de stockage de la Manche par radionucléide

Radionucléide	Activité (GBq) à la réception
³ H	1,27.10 ⁶
¹⁰ Be	1,39
¹⁴ C	2,77.10 ⁵
³⁶ Cl	2 600
⁴¹ Ca	34,6
⁵⁹ Ni	4,35.10 ⁴
⁶⁰ Co	1,49.10 ⁷

Radionucléide	Activité (GBq) à la réception
^{63}Ni	$5,42.10^6$
^{79}Se	27,7
^{90}Sr	$2,59.10^6$
^{93}Mo	6,91
^{93}Zr	350
^{94}Nb	2 400
^{99}Tc	1 750
^{107}Pd	15,7
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	6 930
$^{121\text{m}}\text{Sn}$	139
^{126}Sn	62,4
^{129}I	4,27
^{135}Cs	368
^{137}Cs	$1,13.10^7$
^{151}Sm	$6,35.10^4$
^{226}Ra	9 080
^{228}Ra	$3,23.10^4$
^{232}Th	1 110
^{232}U	99,4
^{233}U	5,35
^{234}U	3 310
^{235}U	261
^{236}U	10,4
^{238}U	3 250
^{237}Np	120
^{238}Pu	$9,11.10^4$
^{239}Pu	$2,17.10^5$
^{240}Pu	$4,42.10^4$
^{242}Pu	124
$^{241}\text{Pu}\beta$	$1,06.10^7$
^{241}Am	$3,80.10^4$
^{243}Am	266
^{242}Cm	848

Radionucléide	Activité (GBq) à la réception
^{243}Cm	25,5
^{244}Cm	$2,15 \cdot 10^4$

Cet inventaire par radionucléide peut être complété par l'inventaire des livraisons par producteurs des déchets radioactifs (voir Tableau 4 ci-après). La désignation des radionucléides et leur période sont explicitées en annexe 3.

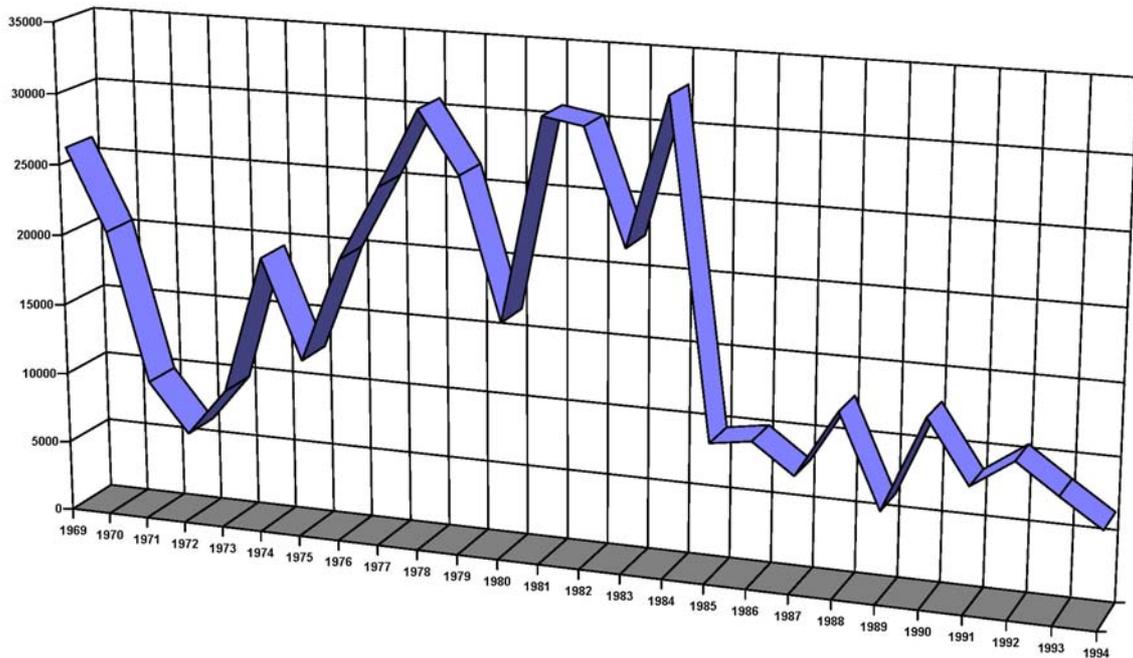


Illustration 53 : somme des activités (en GBq) par année des radionucléides émetteurs alpha reçus

Tableau 4 : inventaire du Centre de stockage de la Manche par producteurs des déchets radioactifs

Producteur	Période	Caisson	Fûts immobilisés	Coques béton	Fûts en vrac	Blocs pour la presse	Total
CEA ⁽¹⁾	1969-1984	4 504	1 119	34 241	19 089	11 795	70 748
	1985-1994	10 037	11 655	1 370	1 147	10 396	34 605
	TOTAL	14 541	12 774	35 611	20 236	22 191	105 353
ARÉVA ⁽²⁾	1969-1984	20 778	32 520	3 563	12 615	9 623	79 099
	1985-1994	59 063	14 458	13 691	331	18 028	105 571
	TOTAL	79 841	46 978	17 254	12 946	27 651	184 670
EDF ⁽³⁾	1969-1984	7 356	267	26 048	14 445	6 693	54 809
	1985-1994	5 735	6 111	59 138	3 154	55 989	130 127
	TOTAL	13 091	6 378	85 186	17 599	62 682	184 936

Producteur	Période	Caisson	Fûts immobilisés	Coques béton	Fûts en vrac	Blocs pour la presse	Total
AUTRES ⁽⁴⁾	1969-1984	92	12 359	99	16 062	2 299	30 911
	1985-1994	1 132	8 186	7	667	11 352	21 344
	TOTAL	1 224	20 545	106	16 729	13 651	52 255
TOTAL	1969-1984	32 730	46 265	63 951	62 211	30 410	235 567
	1985-1994	75 967	40 410	74 206	5 299	95 765	291 647
	1969-1994	108 697	86 675	138 157	67 510	126 175	527 214

- (1) : Commissariat à l'énergie atomique
 (2) : Société qui, entre autres, retraite le combustible usé (anciennement Cogéma, anciennement une direction du CEA)
 (3) : Electricité de France
 (4) : Hors électronucléaire (hôpitaux, laboratoires de recherches, industriels ...)

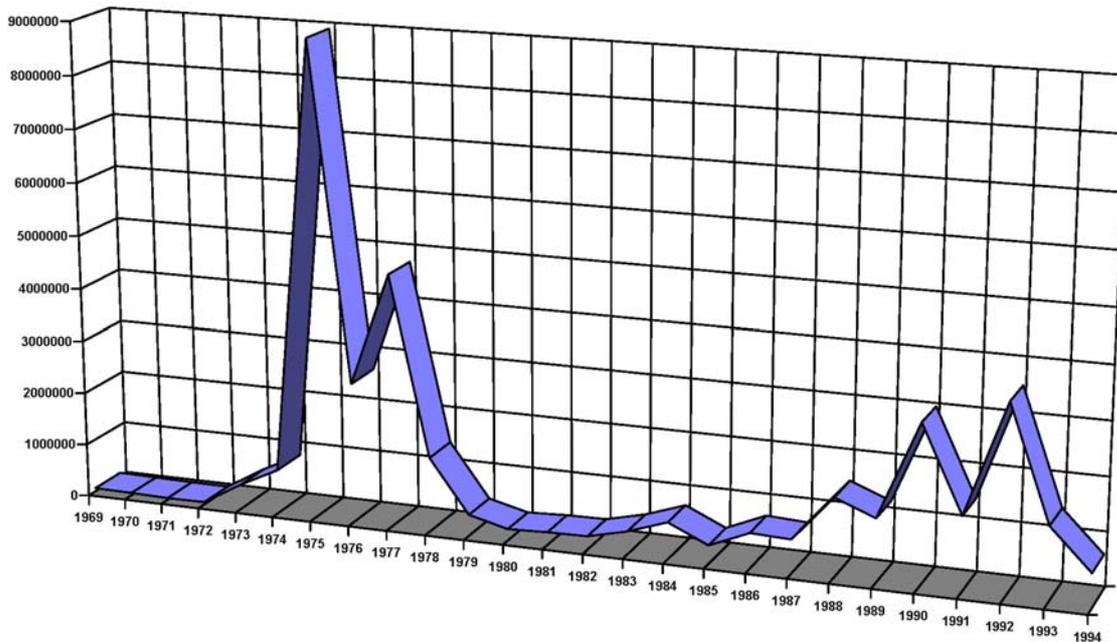


Illustration 54 : somme des activités (en GBq) par année des radionucléides émetteurs bêta gamma reçus

3.2.4 LA METHODOLOGIE DE RECONSTITUTION DE L'INVENTAIRE RADIOLOGIQUE

L'inventaire du tableau précédent (voir Tableau 3) prend en compte les activités des colis à la date de réception sur le Centre de stockage de la Manche depuis le début de l'exploitation en 1969 jusqu'à juillet 1994. Comme indiqué, pour effectuer cet inventaire, deux périodes ont été prises en considération :

- la première période de 1969 à fin 1984 au cours de laquelle la traçabilité des livraisons n'a pas été correctement assurée ou faiblement,
- la période de 1985 à fin 1994 pour laquelle l'amélioration de l'exploitation des installations industrielles, en cohérence avec l'arrêté « qualité » du 10 août 1984 s'est traduite en particulier par une meilleure caractérisation des colis de déchets.

DIRECTION DU CFM SACLAY
SERVICE DE PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS
Section INTERVENTION-DECONTAMINATION-STOCKAGE

le 24 février 1969

AVIS D'EXPEDITION

Réf : Commande Bx 321095 Rd
N° de la demande de transport 35455

N° d'ordre transport	désignation des emballages	nombre d'emballages		radioisotopes contaminants	activité classifiée
		200 l.	100 l.		
2	pus métalliques hermétiques de déchets de faible activité produits au CENSA	60		239 Pu. U. PF, 232 Pa, 228 Ra 227 Ac, 140 Ce 214 Bi	50 mmol/h au contact
	pus métalliques hermétiques de déchets de faible activité produits au CENFAR	92		239 Pu	8 mmol/h à 2m
TOTAL		152			

Pour la période allant de 1969 à fin 1984, il a fallu reconstituer l'inventaire des colis livrés et stockés. Pour ce faire, des fichiers ont été constitués à partir des informations suivantes :

- les bordereaux de livraison manuscrits établis par les producteurs des déchets radioactifs,
- les cahiers manuscrits d'enregistrement des arrivées sur le Centre de stockage de la Manche,
- les documents donnant le positionnement du stockage des colis de déchets,
- des archives spécifiques de l'Andra ou fournies par les producteurs des déchets radioactifs.

Illustration 55 : bordereau livraison manuscrit N°12 du 24 février 1969

N°	N° de colis	Conteneur	Quantité	Description	Radioisotopes	Activité	Classe	Remarques
14003	4815	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³ (déchets) - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4818	FAE	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4819	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4820	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4822	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4823	FAE	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4824	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4825	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4826	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4827	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4828	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4829	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4830	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4831	UP2	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	
14003	4832	FAE	1	100 l. - 2,10 m ³	239 Pu, 232 Pa, 228 Ra, 227 Ac, 140 Ce, 214 Bi	50 mmol/h	5	

Illustration 56 : extrait d'un cahier d'arrivée manuscrit en 1969

L'analyse de l'ensemble de ces données a permis de réduire progressivement au minimum les imprécisions de l'évaluation de l'inventaire radiologique du Centre de stockage de la Manche, en particulier pour la période 1969-1984. En ce qui concerne l'incertitude globale associée aux différentes méthodes utilisées pour déterminer l'activité des colis de déchets radioactifs, on peut classer les différents colis stockés en trois catégories :

- ceux dont l'activité retenue résulte d'une mesure directe ou indirecte (utilisation de ratios correspondant au rapport d'activité de certains radionucléides) et pour lesquels il est possible de calculer une incertitude à partir du traitement statistique des mesures ; si pour un colis isolé, cette incertitude peut atteindre quelques dizaines de pour cent, sur un grand nombre de colis, ces incertitudes se compensent et l'incertitude sur l'activité totale est de l'ordre de quelques pour cent ;
- ceux dont l'activité estimée est systématiquement majorée, comme les colis dont l'activité mesurée se situe au-dessous du seuil de mesure et pour lesquels l'activité prise en compte est celle du seuil de mesure ;
- ceux enfin dont l'activité est évaluée à partir de celle des colis des deux groupes précédents grâce à différentes informations comme :
 - le producteur du colis pour savoir comment il a utilisé les radionucléides et dans quel but, et quels types de déchets radioactifs ces utilisations ont-elles pu produire,
 - l'année d'expédition qui permet de préciser l'alinéa précédent sur chaque année de production des déchets radioactifs,
 - le mode de conditionnement déclaré par le producteur,
 - le ou les radionucléides prédominants, notamment concernant l'impact à long terme du Centre de stockage de la Manche.

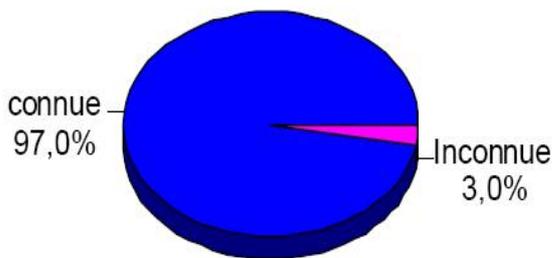


Illustration 57 : taux de maîtrise de la localisation des colis et de la localisation des radionucléides émetteurs alpha après la reconstitution de l'inventaire

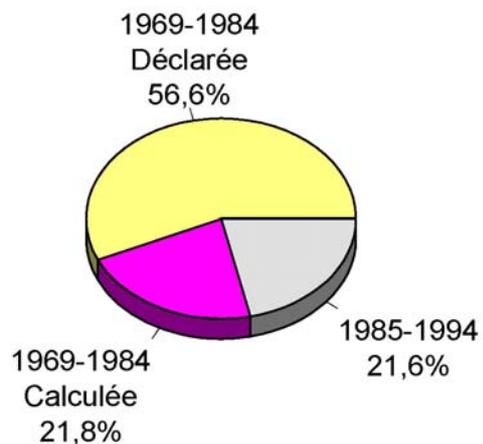


Illustration 58 : taux de maîtrise des radionucléides émetteurs alpha entre ceux déclarés par les producteurs pour chacune des 2 périodes et ceux obtenus par calcul lors de la reconstitution de l'inventaire pour la première période

Cette démarche itérative qui a duré plus d'une dizaine d'années, de 1984 à 1996, a permis de mieux préciser les activités déclarées par chaque producteur et par l'exploitant du Centre de stockage de la Manche. C'est cette méthodologie de reconstitution de l'inventaire radiologique qui a été exposée par l'Andra dans le cadre de la commission « Turpin » (se reporter au paragraphe précédent).

L'inventaire radiologique complet (par radionucléide et par ouvrage) est fourni en annexe 1.

3.2.5 L'INVENTAIRE EN TOXIQUES CHIMIQUES DES COLIS STOCKES

L'Andra a réalisé l'inventaire des toxiques chimiques présents sur le Centre de stockage de la Manche après enquête auprès des producteurs. En effet, ces toxiques chimiques n'étaient pas déclarés au même titre que les radionucléides pour la livraison des colis sur le Centre de stockage de la Manche. Le tableau ci-dessous précise les quantités et formes chimiques des différents toxiques recensés ainsi que, à titre de comparaison, les quantités naturellement présentes dans les bétons.

Tableau 5 : inventaires en toxiques chimiques du Centre de stockage de la Manche

TOXIQUE	Forme chimique dans les déchets	Quantités dans les déchets (tonnes)	Quantités dans les bétons (tonnes)
Plomb	Pb métallique	env. 17 500	100
	PbSO ₄	env. 2 300	
	Pb(IO ₄) ₂	0,9	
Bore	Borate (Na, Ca)	201	20
	Polyborates sur les résines	21	
Cadmium	Cd métallique	5,1	0,3
	Cd(OH) ₂	10,2	
Mercure	Chlorure	0,879	0
Nickel	NiO, Ni(H) ₂	7,4	20
	Nickel sur les résines	4	
	PPFNi(*)	10,4	
Chrome	Cr (III)	2,1	100
	Cr (IV)	0,1	
Béryllium	Métal, oxyde	0,008	6
Cyanures "libres"		0,005	0
Antimoine		0	2
Sélénium		0	1
Arsenic		0	10

(*) Précipité Perforé de Ferrocyanure de Nickel et de Potassium



Illustration 59 : stockage de déchets radioactifs en caissons métalliques et en coques béton en 1989

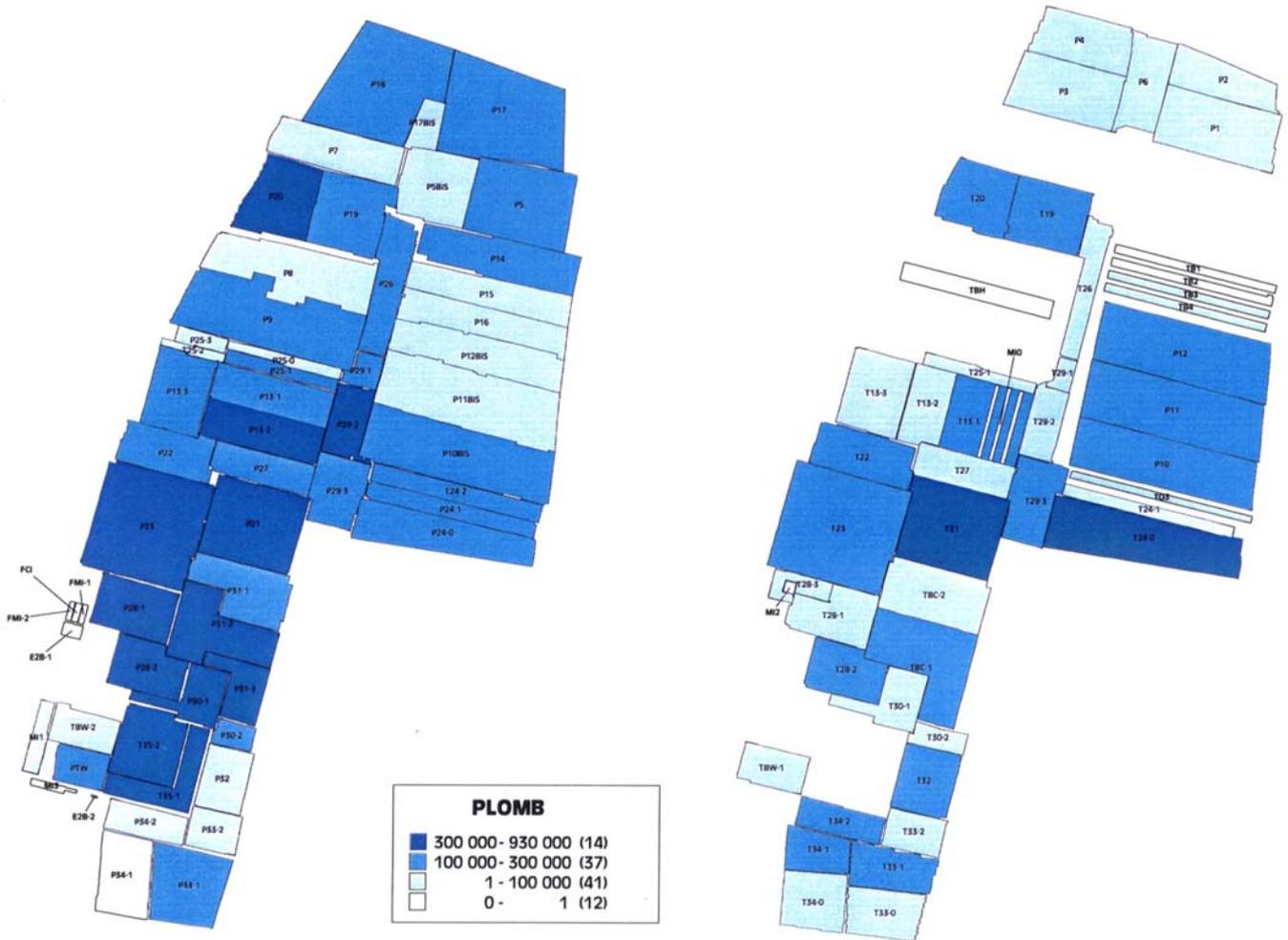


Illustration 60 : répartition du plomb (en kg), en tant que toxique chimique, dans les ouvrages de stockage

Tableau 6 : inventaire des principaux toxiques chimiques par ouvrage de stockage

Ouvrage	Bore (kg)	Cadmium (kg)	Mercuré (kg)	Nickel (kg)	Sulfate de plomb (kg)	Plomb (kg)
E2B-1						
E2B-2						
FCI						
FMI-1	0	0	0	67		0
FMI-2	0	0	0	87		0
MI0	1 940	387	0	343	0	0
MI1	80	0	0	868	0	183
MI2	0	0	0	119	0	0
MI3	0	0	0	28	0	0
P1	0	0	0	0	799 733	27 646
P10	0	0	0	116	0	189 118
P10bis	6 863	0	0	114	29 568	263 613
P11	208	0	0	179	0	254 077
P11bis	7 070	0	0	52	18 258	77 351
P12	1 037	0	0	330	0	139 375
P12bis	1 721	0	390	26	6 912	49 193
P13-1	1 858	281	0	150	0	175 875

Ouvrage	Bore (kg)	Cadmium (kg)	Mercuré (kg)	Nickel (kg)	Sulfate de plomb (kg)	Plomb (kg)
P13-2	1 386	646	0	301	0	673 166
P13-3	2 839	1 640	0	321	0	157 426
P14	2 355	47	240	162	3 840	108 892
P15	763	0		242	3 840	54 410
P16	4 404	0	31	168	3 072	83 868
F17	7 996	0	0	407	2 304	204 776
P17bis	2 118	0	0	61	0	78 743
P18	12 158	0	0	122	10 604	199 445
P19	3 291	0	0	107	0	118 364
F2	0	0	0	27	256 417	3 540
P20	3 000	84	0	247	0	375 095
P21	4 706	618	0	527	0	323 747
P22	3 308	168	0	143	0	114 210
P23	8 177	0	0	829	0	520 576
P24-0	2 741	0	0	146	0	146 515
P24-1	1 553	0	0	67	0	178 980
P25-0	1 205	0	0	99	0	84 736
P25-1	2 652	0	0	249	0	271 966
P25-3	225	0	0	12	0	33 484
P26	3 402	0	0	210	0	227 190
P27	2 205	0	0	143	0	101 998
P28-1	4 446	674	0	186	0	739 337
P28-2	6 233	337	0	249	0	839 526
P29-1	682	0	0	69	0	117 302
P29-2	1 639	0	0	311	0	446 327
P29-3	1 069	0	0	81	0	258 708
P3	0	0	0	55	0	16 199
P30-1	1 192	0	0	142	0	703 000
P30-2	188	0	0	38	0	129 852
P31-1	1 257	197	0	245	0	249 440

3.2.6 L'INCIDENT TRITIUM DE 1976

Un incident a été détecté en octobre 1976 suite à un contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire qui a mesuré une activité en tritium de 7 400 Bq/l dans le ruisseau de la Sainte-Hélène. A partir du dépouillement des résultats d'analyse des mesures mensuelles faites sur les 50 prélèvements d'eau effectués sur le Centre de stockage de la Manche, la localisation de l'origine de cette contamination a été rapidement identifiée. Il s'agissait de la tranchée bétonnée « TB2 » qui contenait depuis le 26/06/1971 des déchets au tritium dans les six cases repérées du numéro 69 au numéro 74. L'inventaire initial en tritium était de l'ordre de 2 200 TBq.

La reprise de ces déchets au tritium a été effectuée du 22/10/1977 au 20/02/1978, à l'exception d'un monolithe en béton renfermant une activité de moins de 200 TBq. Ces déchets ont été reconditionnés dans des conteneurs permettant le dégazage du tritium et transférés pour la majeure partie sur des sites du Commissariat à l'énergie atomique.



Illustration 61 : répartition de l'activité en tritium (en GBq à la réception) dans les ouvrages

Après une phase de mise en sommeil du chantier jusqu'en septembre 1979, la poursuite des opérations a repris (rebouchage des cases de la tranchée, entreposage des déchets conditionnés, travaux d'amélioration de la collecte des eaux, réalisation du réseau séparatif). Les travaux de rebouchage ont été achevés en novembre 1979. L'origine de la contamination était due à la présence d'eau, sur plusieurs centimètres de hauteur, au fond de la tranchée bétonnée « TB2 ». L'activité en tritium de cette eau était de l'ordre de 4 TBq/m³. La diffusion de cette eau à travers la porosité et les fissures des parois de la tranchée bétonnée a ainsi contaminé les eaux du réseau de drainage. Ce réseau de drainage profond, situé sous le niveau inférieur des tranchées, avait pour objectif de protéger ces dernières des eaux de ruissellement des zones de stockage voisines. La reprise des eaux collectées par ce réseau était assurée par une pompe qui les envoyait dans le décanteur collecteur avant rejet dans le ruisseau de la Sainte-Hélène.

La conjonction des fortes pluviosités de la fin de l'année 1976 et d'incidents de fonctionnement de la pompe de reprise a entraîné un débordement en surface du réseau de drainage des tranchées bétonnées. Suite à cet incident, une contamination « chronique » par le tritium du ruisseau de la Sainte-Hélène a été observée. Des mesures d'activité volumique, prenant en compte un débit moyen au point de mesure (Hameau de la Fosse), ont précisé l'estimation des flux annuels d'activité de tritium depuis 1977. Les valeurs maximales correspondent aux années 1979 (3 960 GBq) et 1982 (3 800 GBq). Depuis 1982, une décroissance quasi-constante du flux d'activité de tritium est observée (110 GBq en 1997, par exemple).

Par ailleurs, l'opération de reprise des déchets au tritium présents dans la tranchée « TB2 » a donné lieu, entre décembre 1977 et mars 1978, à des rejets atmosphériques de tritium dont l'activité totale a été estimée à 32 TBq.

3.2.7 LE CAS PARTICULIER DES ACTIVITES ALPHA APRES 300 ANS DE SURVEILLANCE ET L'IMPOSSIBILITE DE BANALISER LE SITE

Durant la période initiale, de 1969 à 1984, de nombreux colis contenaient des radioéléments à vie longue, émetteurs alpha ou bêta gamma, dans des proportions supérieures aux traces qui sont tolérables depuis la parution de la règle fondamentale de sûreté RFS I-2. Par ailleurs, à cette même époque, les écrans en plomb étaient largement utilisés dans l'industrie électronucléaire et sont donc également largement présents au Centre de stockage de la Manche. C'est essentiellement pour ces deux raisons que la commission « Turpin » a estimé que le Centre de stockage de la Manche ne pourrait pas être banalisé à l'issue d'une période de surveillance de 300 ans (dix fois la période la plus longue, 30 ans, des radionucléides à vie courte stockables), contrairement à ce que l'Andra proposait lors de la préparation du passage en phase de surveillance en 1996 [les chiffres mentionnés ci-dessous sont ceux établis lors des auditions de la commission, il convient désormais de prendre les chiffres indiqués par l'Andra] :



Illustration 62 : stockage en tumulus en 1987

« La commission considère qu'on ne peut, après 300 ans, rendre le site disponible pour n'importe quel usage. L'hétérogénéité des structures subsistera et les zones chargées en éléments radioactifs à vie longue présentent des dangers en cas d'intrusion et de destruction des colis. L'émanation de radon restera aussi présente et cet élément pourrait s'accumuler dans le sous-sol d'une habitation construite sur le site. De même, persistera le risque toxique chimique dû en particulier au plomb ...

La notion de banalisation, telle qu'elle est utilisée, suppose que les sols sont rendus à un usage libre. Seuls les risques radiologiques et selon des scénarios conventionnels ont été pris en compte pour définir cette notion. La commission a d'abord réexaminé les analyses faites des risques pour l'environnement et des risques spécifiques liés à l'utilisation des terrains du site lorsque la phase de surveillance aura cessé. La RFS fixe cet événement 300 ans après le début de la phase de surveillance. C'est une durée en grande partie arbitraire basée sur la diminution naturelle du contenu radioactif du site. ... l'activité y passera de 17 millions de GBq en juin 1994 (dont la moitié sous forme de césium 137) à 400 000 GBq. en juin 2294 (dont la moitié sous forme nickel 63). Dans le même temps, l'activité alpha aura atteint au maximum 600 000 GBq, compte tenu de l'évolution isotopique des éléments contenus dans les déchets. ... cette valeur est supérieure aux 345 000 GBq fixés par la RFS de 1985 correspondant à une valeur moyenne de 0,37 GBq/t (le stockage comprend en effet 933 000 tonnes de déchets). »

Après reconstitution historique de l'inventaire (voir paragraphe 3.2.4) et pour tenir compte de la décroissance radioactive, les activités ont été calculées à différentes dates : fin de

l'exploitation (30 juin 1994), 31 mars 1998 (date arbitraire pour illustration, mais qui coïncide avec la fin des ultimes prises en compte des derniers éléments de la reconstitution historique), et 300 ans après la fin de l'exploitation (qui devait être le début de la banalisation, selon ce qui était initialement prévu). Ces calculs mettent en évidence, pour l'inventaire des radionucléides émetteurs alpha, un « paroxysme » d'activité alpha se produisant vers 2040 (environ 680 TBq). Cet accroissement de l'activité alpha jusqu'en 2040 s'explique par la désintégration du plutonium 241 en américium 241.

Tableau 7 : évolution de l'inventaire en alpha et en bêta gamma sur 300 ans

	Inventaire α	Inventaire $\beta \gamma$
A réception	430 TBq	46 500 TBq
Au 30 juin 1994	579 TBq	26 100 TBq
Au 31 mars 1998	604 TBq	22 800 TBq
A 300 ans	526 TBq	974 TBq

Les plus fortes contributions à l'inventaire alpha à réception sont le plutonium 239 (environ 220 TBq) et le plutonium 238 (environ 90 TBq) avec l'américium 241 qui représente près de 40 TBq. Pour l'inventaire en bêta gamma, les plus fortes contributions sont fournies par le cobalt 60 (environ 15 000 TBq), le plutonium 241 (10 600 TBq), le césium 137 (environ 11 000 TBq) et le nickel 63 (plus de 5 000 TBq).



Illustration 63 : stockage des déchets radioactifs en fûts métalliques entre des coques béton en 1974

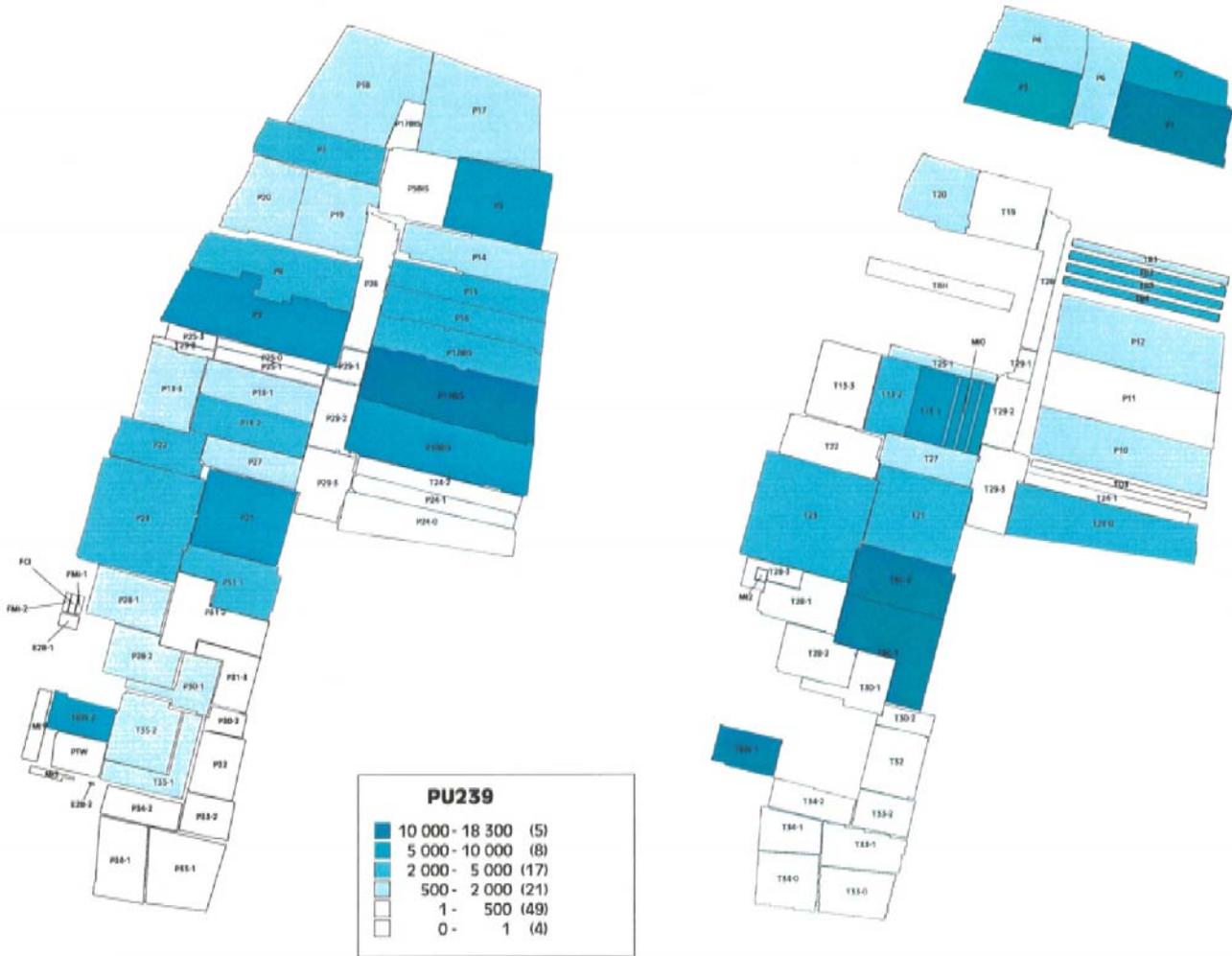


Illustration 64 : répartition du plutonium 239 (en GBq à la réception) dans les ouvrages

L'activité alpha résiduelle à 300 ans aura peu baissé, ce qui est normal compte tenu de la période des radionucléides concernés et de l'apport par filiation. A l'inverse, l'activité bêta gamma résiduelle à 300 ans aura été divisée par 50 par rapport à la réception (du fait d'une période radioactive nettement plus courte des radioéléments concernés que pour les émetteurs alpha) ; cette activité résiduelle provient essentiellement du nickel 63 (environ 600 TBq) et du carbone 14 (260 TBq).



Illustration 65 : arrivée des déchets radioactifs en fûts métalliques avec stockage immédiat en tumulus en 1980



Illustration 66 : répartition de l'activité massique (en GBq) dans les ouvrages de stockage en l'an 2300 (tous radionucléides et tous rayonnements confondus)

3.3 LES OUVRAGES DE STOCKAGE

3.3.1 INTRODUCTION HISTORIQUE

Le Centre de stockage de la Manche a été marqué au cours de ses vingt-cinq ans d'exploitation par une évolution importante des principes de gestion des déchets radioactifs et donc des modalités de stockage qui en résultaient. Comme ce fut le cas pour les colis de déchets (se reporter au paragraphe précédent), il convient de distinguer, au niveau des ouvrages de stockage, ceux de première génération et ceux de deuxième génération. A ces deux générations, s'ajoutent également quelques ouvrages « particuliers ».

L'exploitation du Centre de stockage de la Manche a commencé en appliquant les prescriptions techniques fixées aux termes du décret de création de l'installation du 19 juin 1969. Le retour d'expérience de cette première génération d'ouvrages a progressivement amené les responsables de l'époque à faire évoluer ces règles et les concepts qui en découlent.

A partir de 1982, les dispositions arrêtées (colis, ouvrages de stockage, drainage) pour l'exploitation du Centre de stockage de la Manche ont été améliorées. Ainsi, il a été imposé une immobilisation des déchets à l'intérieur des colis afin d'augmenter la tenue mécanique des stockages. De plus, la conception des ouvrages de stockage a évolué de façon à prendre en compte les exigences de sûreté définies dans la règle fondamentale de sûreté RFS I-2, le système d'assurance qualité défini dans l'arrêté du 10 août 1984 et les efforts mécaniques appliqués à la structure d'accueil par les engins de chargement, par les colis stockés et par le séisme de référence.



Illustration 67 : premiers bâtiments techniques en 1970

Cette prise en compte s'est traduite par la réalisation de dalles en béton dimensionnées aux efforts de poinçonnement et de flexion, et armées de deux nappes d'armature. L'épaisseur de la dalle, donc sa résistance, reste fonction de la nature de sa surface d'appui (terrain ou colis stockés). A dater de 1984, en fonction de l'activité radiologique des colis, les ouvrages de stockage courants, dits de seconde génération, étaient constitués soit par des tumulus (empilements de colis dont les interstices sont comblés par des graviers), soit par des monolithes (structures entièrement bétonnées).

3.3.2 LES TRANCHEES ORDINAIRES DE PREMIERE GENERATION



Illustration 68 : tranchée ordinaire de stockage de première génération (1969)

Les tranchées ordinaires (TO) ont été ouvertes au-dessus de la nappe phréatique telle qu'elle était à cette époque pour ne contenir que des déchets de faible activité en vertu du décret de création de 1969. Elles étaient drainées par un lit de sable placé au fond de la fouille muni à chaque extrémité d'un puisard borgne permettant le contrôle d'une éventuelle montée de la nappe phréatique. Ces puisards étaient surmontés par un tube permettant le contrôle et la vidange éventuelle de l'eau collectée. Lorsque la tranchée était terminée et comblée par du sable et de la terre, elle était recouverte par une feuille de plastique puis par un revêtement bitumineux.

Sur les trois tranchées ordinaires prévues, deux ont été construites (TO1 et TO3). La tranchée initiale TO1 a été vidée de son contenu et comblée, notamment après l'incident tritium de 1976 mais aussi pour construire le réseau séparatif gravitaire enterré. En 1988, cette zone a été surmontée d'une structure conçue et dimensionnée spécialement au regard du risque de tassement sous-jacent.



Illustration 69 : colis de déchets radioactifs stockés en 1969 à même la terre, en tranchée ordinaire, avant leur reprise en 1981

3.3.3 LES PLATEFORMES DE PREMIERE GENERATION

Les plateformes (P) différaient du précédent mode de stockage (tranchée ordinaire) par l'aménagement d'une aire qui facilitait l'approche des engins de transport et de manutention. L'aire de stockage, de 60 à 80 mètres de long pour 25 à 40 mètres de large, était tout d'abord mise à niveau avec une légère pente (0,5 cm/m) pour permettre l'écoulement de l'eau de pluie pendant la période de mise en place des colis de déchets radioactifs. Au point bas de cette pente, un drain buse en béton disposé dans un fossé collecte les eaux pluviales.



Illustration 70 : plateforme de stockage de première génération (1971)

Toutes les plateformes ont été chargées au cours de cette période de la même manière. L'exploitant commençait par construire des cases sur trois côtés, avec des blocs ou des caissons bétonnés, puis il plaçait dans ces cases des colis, bétonnés ou non, avant de fermer chaque case par une rangée simple ou double de blocs. Dans un certain nombre de cas, les parois de ces cases étaient faites avec les lots de fûts bétonnés. Les dimensions de ces cases étaient en moyenne comprises entre 10 et 20 m de côté (voir photographie ci-contre).

De 1970 à 1975, les cinq premières plateformes ont été recouvertes d'une feuille plastifiée. Cette feuille, mise entre deux couches de terre damée, devait permettre l'évacuation naturelle de l'eau de pluie vers le réseau pluvial. Dès 1973, il s'est avéré que cette feuille n'apportait pas les garanties espérées. En effet, certaines zones du stockage s'effondraient légèrement et

la feuille de plastique favorisait les rétentions d'eau. A partir de la fin de l'année 1975, cette feuille a été supprimée et il a été décidé de remplir tous les interstices des stockages par des gravillons calibrés.

3.3.4 LES TRANCHEES BETONNEES DE PREMIERE GENERATION

Les déchets dont l'activité était supérieure au seuil défini dans le décret de création de 1969 ont été stockés dans de longues tranchées munies de parois constituées de plaques de béton préfabriqué de 10 cm d'épaisseur et assemblées sur place (voir photographie ci-dessous). L'étanchéité du fond et des parois est assurée par un joint bitumineux. Le fond de la tranchée a été préalablement nivelé avec une couche de sable qui assure un drainage de l'ensemble.



Illustration 71 : tranchées bétonnées de première génération en cours de construction (1969)

Pour pouvoir reprendre, si nécessaire, les colis de déchets en cas de difficultés constatées, les cases des premières tranchées ont été complétées par du sable sans ciment. Aucune difficulté n'ayant été constatée, les cases des tranchées suivantes ont été complétées par un coulis de ciment. Une fois remplies, les cases ont été recouvertes par une dalle de béton armé sur la structure générale pour assurer l'étanchéité.

3.3.5 LES MONOLITHES DE DEUXIEME GENERATION

Les colis dont le conditionnement ne suffisait pas à assurer, à lui seul, une protection suffisante contre la radioactivité ont été stockés dans des cases ou « monolithes » en béton.



Illustration 72 : stockage en monolithes de deuxième génération (1985)

Les monolithes sont des blocs parallélépipédiques contenant des colis enrobés de béton et dont la cohésion et la résistance mécanique sont renforcées par des nappes d'armatures sur chacune de leurs six faces. Ils ont été réalisés sur une structure d'accueil délimitée par une aire en béton comportant des caniveaux périphériques. La définition et la mise en œuvre des armatures garantissent la bonne tenue mécanique de l'ouvrage dans le temps et son comportement en cas de séisme (voir photographie ci-dessus). En fonction de la nature irradiante ou non des colis de déchets radioactifs, deux types de monolithes ont été construits : des monolithes ordinaires (MO) et des monolithes irradiants (MI).

3.3.6 LES TUMULUS DE DEUXIEME GENERATION

Les tumulus de deuxième génération sont constitués par des empilements de colis de déchets radioactifs dont les interstices ont été comblés par un gravier de remplissage. Afin de garantir à l'ensemble une bonne tenue mécanique et de faciliter les opérations de stockage, l'ossature des ouvrages a été réalisée avec des colis de déchets à enveloppe de béton disposés en gradins en bordure de l'ouvrage pour donner la forme d'une butte aux pentes douces et des empilements verticaux à l'intérieur (voir photographie ci-dessous).



Illustration 73 : stockage en tumulus de deuxième génération (1988)

3.3.7 LES OUVRAGES PARTICULIERS

Au cours de son exploitation, le Centre de stockage de la Manche a été autorisé à recevoir, pour un entreposage temporaire, près de 390 m³ de déchets dont les caractéristiques radiologiques dépassaient les limites réglementaires ou dont le conditionnement n'était pas approprié pour un ouvrage définitif. Ces déchets ont été entreposés dans des ouvrages spécifiques en attente de reconditionnement avant réexpédition vers d'autres centres nucléaires ou en attente d'un stockage définitif sur le Centre de stockage de la Manche.

Tout entreposage devant être évacué avant la fin d'exploitation du Centre de stockage de la Manche en 1994, l'Andra a expédié les colis de déchets radioactifs concernés vers des centres du Commissariat à l'énergie atomique disposant des autorisations adéquates d'entreposage.



Illustration 74 : mise en place de cailloux concassés pour remplir les interstices des colis (1978)

Par exception à cette règle, et dans son cadre réglementaire, l'Andra a aussi mené une campagne de reconditionnement de deux ouvrages temporaires d'entreposage qui ont été transformés en ouvrages de stockage définitifs : « Fosses Elan IIB » et « Fosses alpha » :

- les « fosses ELAN II B » sont une structure conçue pour l'entreposage de colis de déchets radioactifs irradiants contenant essentiellement du césium 137 et du strontium 90 provenant du démantèlement d'une installation du Commissariat à l'énergie atomique sur le site de La Hague appelée « ELAN II B » ; après reprise de la disposition des colis, noyage dans un mélange de sable, d'argile et de pouzzolane¹⁵ présentant des propriétés de rétention du césium et du strontium, puis réalisation d'une dalle d'étanchéité, ces « fosses ELAN II B » sont devenues un ouvrage de stockage définitif du même nom (« ELAN II B ») ;
- les « fosses alpha » sont une structure accolée au nord des « fosses ELAN II B » ; elle comporte trois fosses recouvertes par des dalles ; ces fosses contenaient initialement des déchets irradiants ou des déchets contenant des émetteurs alpha conditionnés en 389 fûts de 200 litres ; après les opérations de désentreposage (envoi des fûts hors normes au Commissariat à l'énergie atomique, centre de Cadarache), les fosses ont été transformées en trois ouvrages de stockage définitif de type monolithe irradiant.

¹⁵ Cendre volcanique



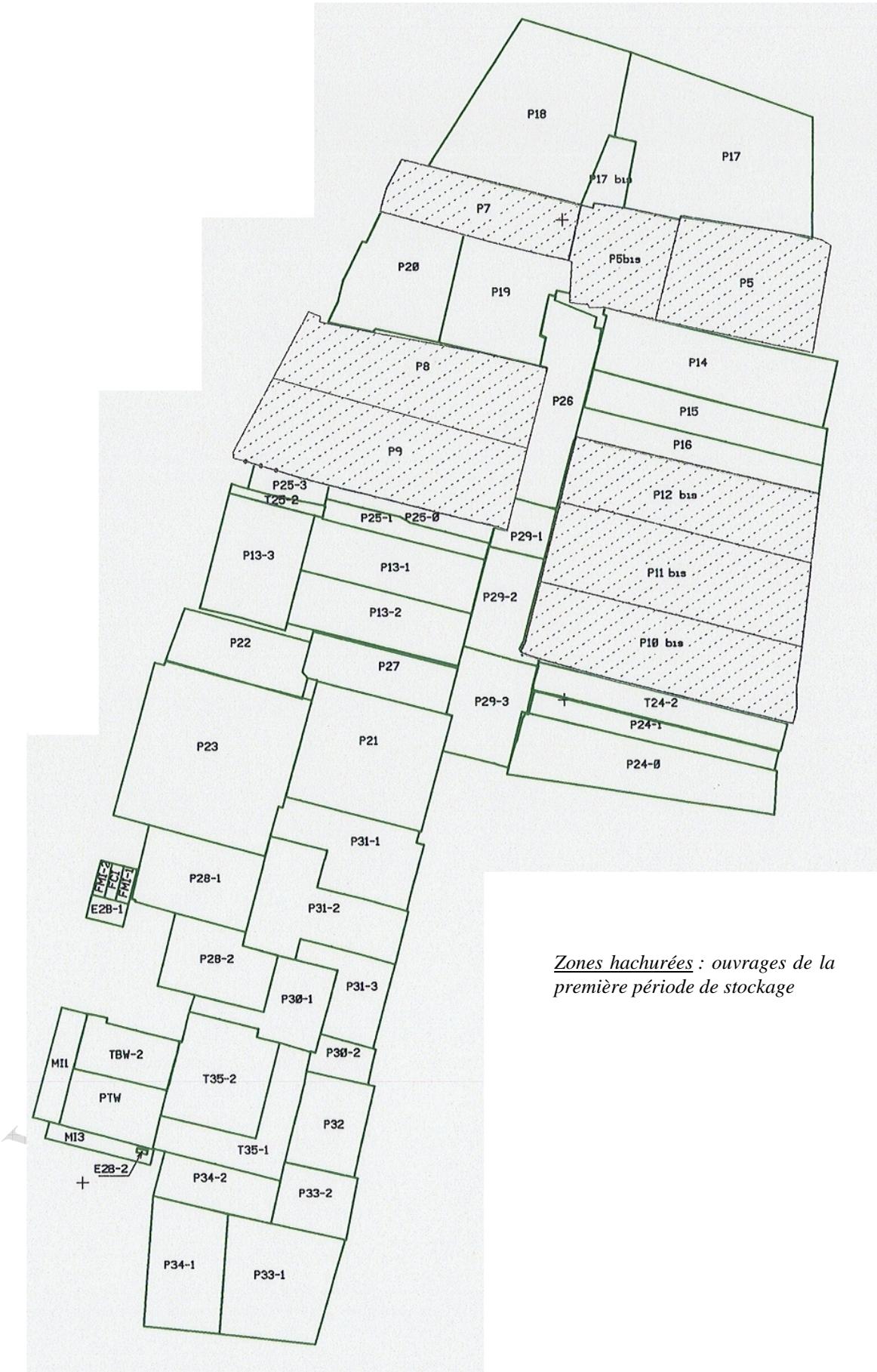
Après chaque opération de désentreposage, des vérifications systématiques de non contamination des zones ont été effectuées (sous un seuil fixé par l'Autorité de sûreté nucléaire). Ensuite, ces différentes zones ont été comblées.

Illustration 75 : mise en place de gravier fin entre les colis

3.3.8 LA REPARTITION DES OUVRAGES SUR LE CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

La répartition des ouvrages de stockage sur les deux niveaux du Centre de stockage de la Manche est donnée par les deux plans ci-après (sont hachurés les ouvrages de la première période de stockage).

Version intermédiaire du 29/02/2008



Zones hachurées : ouvrages de la première période de stockage

Illustration 76 : répartition des ouvrages sur le niveau supérieur du Centre de stockage de la Manche

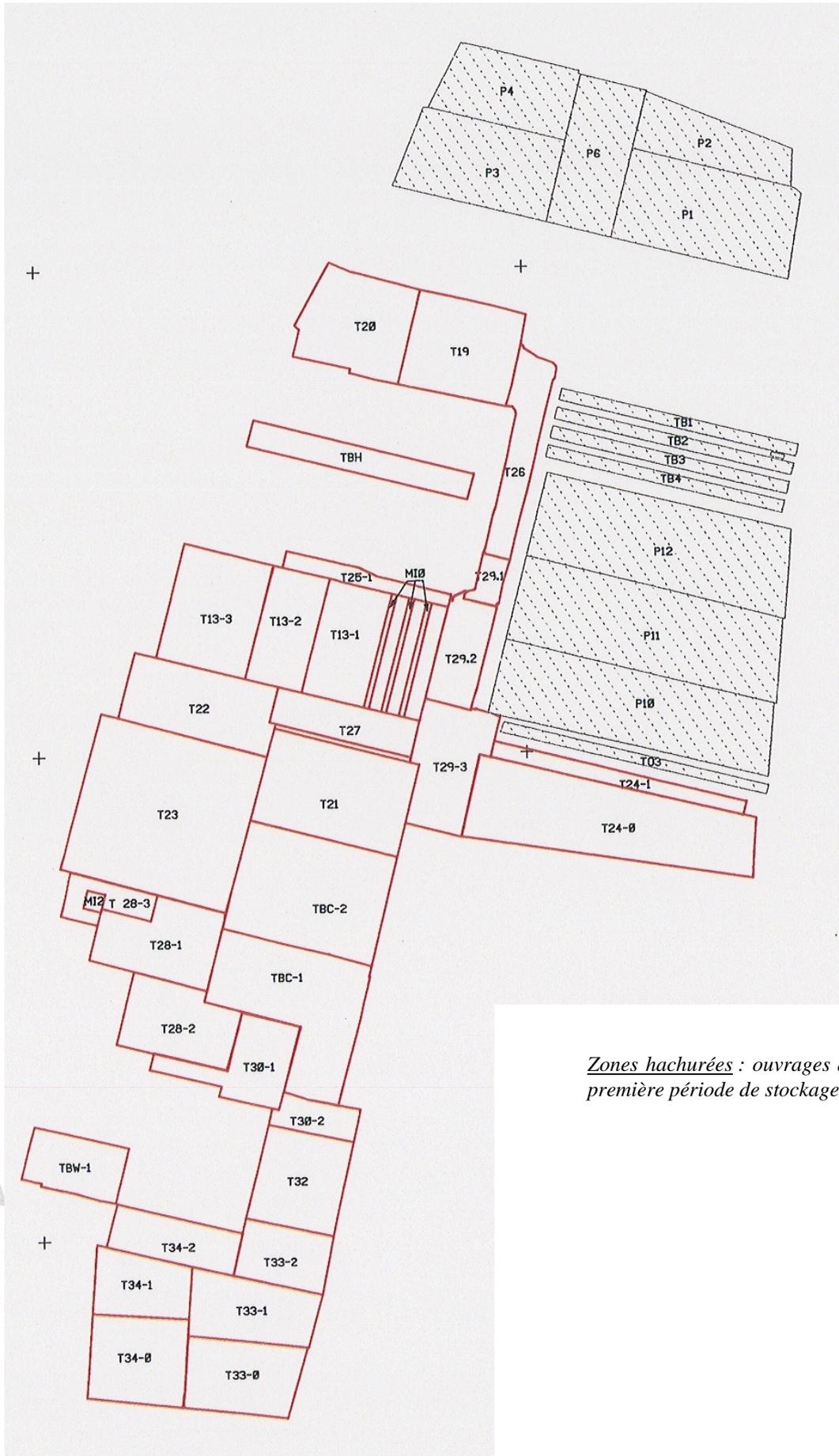


Illustration 77 : répartition des ouvrages sur le niveau inférieur du Centre de stockage de la Manche

3.4 LA COUVERTURE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

3.4.1 INTRODUCTION EN TERMES DE SURETE A LONG TERME

La couverture constitue l'un des éléments de la sûreté du stockage en phase de surveillance. Elle a pour fonction d'isoler les déchets contre les agressions externes qui peuvent être d'origines naturelle (pluie, érosion, variations climatiques ...), humaine (intrusion ...) ou animale (animaux fouisseurs ...) pendant la phase de surveillance. Cet objectif a conduit à retenir trois critères pour cette couverture :

- l'étanchéité : la quantité d'eau de pluie susceptible de traverser la couverture et d'entrer au contact des ouvrages constitue un paramètre de base pour la sûreté ; cette condition d'imperméabilité se traduit par la limitation à quelques litres par mètre carré et par an du débit d'eau susceptible d'atteindre les ouvrages ;
- la pérennité : l'imperméabilité de la couverture doit se maintenir au niveau requis pendant la période considérée (phase de surveillance) pour limiter au strict minimum la charge d'entretien ou de réparation malgré les différentes agressions externes (oxydation, action du sel ...) ou mécaniques (tassement des colis, de la couverture en elle-même ...) ; la couverture doit conserver ses propriétés de limitation et de régulation de l'infiltration sur toute la durée de la phase de surveillance en utilisant des matériaux présentant les meilleures qualités de longévité ;
- la protection ; ce critère vise essentiellement les facteurs d'agression autres que l'infiltration (érosion, effets de température, chimie des eaux, organismes vivants ...) ; une épaisseur de matériaux disposés convenablement a le pouvoir de protéger les ouvrages de stockage de ces agressions.



Illustration 78 : couverture provisoire des ouvrages de la tranche 1 (au fond) pendant l'exploitation de la tranche 2 (au centre) et de la tranche 3 (devant) en 1991

3.4.2 LA COUVERTURE REALISEE APRES L'EXPLOITATION

Les critères de sûreté évoqués précédemment ont conduit à adopter un concept de type « multicouches » reposant sur l'alternance de couches de perméabilités différentes. Le matériau de faible perméabilité retenu est une géomembrane bitumineuse en bitume naturel qui a l'avantage de bien s'adapter aux tassements éventuels de la sous-couche. Pour prendre en compte les possibilités de maintenance et de réparation, si nécessaire, le schéma de la couverture a été conçu de façon à identifier les défaillances éventuelles sur des panneaux de taille restreinte.

L'aspect extérieur de la couverture est une succession de plans orientés d'est en ouest, inclinés de 6 à 14 % selon les panneaux de 50 m de portée entre points bas (voir photographie ci-dessous). La dimension maximale du pan de toiture primaire est de 140 m par 25 m au droit de la largeur maximale du Centre de stockage de la Manche. En bordure du stockage, le système à panneaux s'arrête à la limite haute des ouvrages. Au-delà, la couverture est disposée en un talus à la pente de 2,3/1 (horizontal/vertical) jusqu'à une route périphérique ceinturant la zone couverte pour se terminer ensuite jusqu'à la limite de propriété par un talus de 3/2. Les mêmes limites ont imposé la réalisation de murs de soutènement au nord et à l'est. De plus, longitudinalement à chaque panneau, une pente de 2 % permet d'évacuer les eaux de ruissellement et d'infiltration, respectivement vers l'est et l'ouest.



Illustration 79 : vue aérienne de la couverture en cours de construction pour les tranches 1 et 2 en 1995

La couverture multicouche de couverture comprend (voir schéma en coupe ci-dessous) :

- un système d'alternance de couches drainantes et de couches imperméables assurant l'évacuation gravitaire des eaux de pluie infiltrées dans la couverture vers le réseau de drainage de celle-ci ; de bas en haut, cette alternance est composée :
 - d'une couche de forme de matériaux grossiers destinée à



Illustration 80 : pose de la membrane bitumineuse en 1996

donner la pente de base à la couverture tout en constituant un matelas tampon et semi étanche d'une épaisseur variable de 0,5 à 8,60 m entre les colis et la couverture,

- d'une couche drainante de sable fin d'une épaisseur de 0,20 m ; cette couche sert de support anti-poinçonnement à la géomembrane et recueille les eaux d'infiltration éventuelles en cas de rupture de celle-ci,
 - d'une géomembrane bitumineuse (géotextile imprégné de bitume naturel) d'environ 5 mm d'épaisseur,
 - d'une couche drainante de sable de 0,30 m d'épaisseur séparant la géomembrane des matériaux de la barrière biologique ; cette couche recueille les eaux infiltrées à travers la barrière biologique,
 - d'une barrière biologique en matériaux grossiers compactés d'une épaisseur minimale de 0,75 m en point haut à 1,25 m en point bas,
- une couche de terre végétale engazonnée d'une épaisseur de 0,20 m, évitant le dessèchement et le craquellement des couches sous-jacentes, s'opposant au ravinement et à l'érosion mécanique, et conduisant le ruissellement vers un réseau de collecte des eaux de pluie.



Illustration 81 : mise en place en 1995 des matériaux de la couverture au-dessus de la membrane bitumineuse avec un drain en premier plan



Illustration 82 : soudure automatique de deux panneaux de la membrane bitumineuse en 1995



Illustration 83 : contrôle par ultrason de la qualité de la soudure de la membrane bitumineuse en 1995

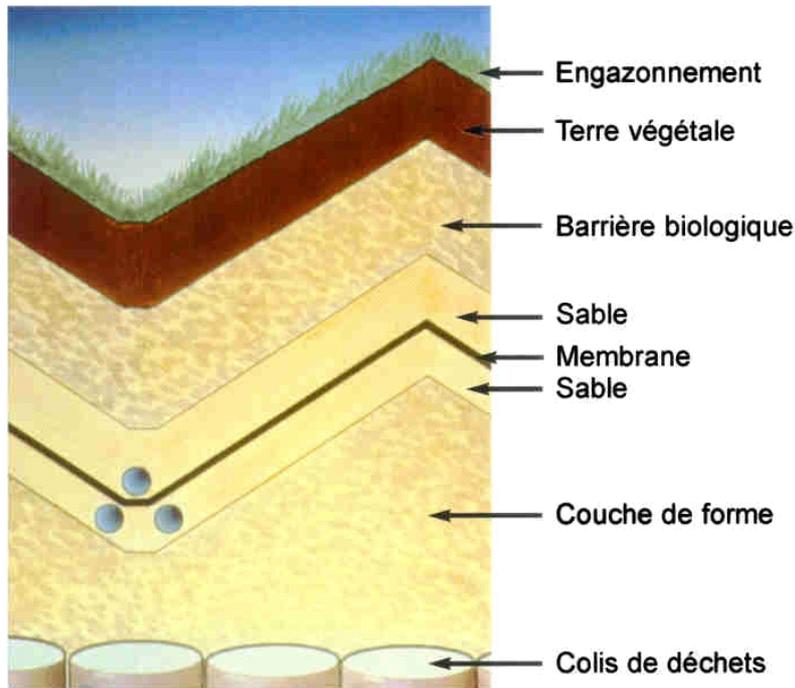


Illustration 84 : schéma en coupe de la couverture réalisée après l'exploitation

3.4.3 LES OUVRAGES SPECIFIQUES DE SOUTÈNEMENT DE LA COUVERTURE



Illustration 85 : mise en place des matériaux au-dessus de la membrane bitumineuse et soutènement de la couverture (devant) en 1994

La topographie et les dimensions du Centre de stockage de la Manche ont imposé la construction de murs de soutènement dont la hauteur maximale atteint 5,50 m en limite nord et 3,5 m du côté nord-est. Il s'agit d'ouvrages en béton armé coulé par plots de 15 m de long et fondés à faible profondeur sur les grès altérés. Pour améliorer l'intégration de cette construction dans le milieu environnant, un bandeau en pierres du pays a été construit en partie basse du parement.

Les ouvrages de renforcement des bassins ont été dimensionnés au séisme lors de leur construction. Pour reprendre la charge des remblais de la couverture et de la route périphérique du Centre de stockage de la Manche, une structure de type « parapluie » couvre la zone des bassins.

Les mouvements en bordure le long des talus sont plus importants dans la partie nord du site. Ils se traduisent par le développement de fissures en crête de talus dans les matériaux au-dessus de la membrane qui sont régulièrement rebouchées. Ils sont la conséquence de la pente de la couverture imposée par l'exiguïté du site. Ils peuvent atteindre une valeur cumulée d'une vingtaine de centimètres avec une vitesse de 10 à 15 mm par an au début des années 2000, en ralentissement ensuite. En bordure des panneaux 109 et 110, le déplacement dépasse la cinquantaine de centimètres avec une vitesse de 32 mm/an au début des années 2000 : pour prévenir un éventuel glissement à ce niveau des dispositions de mise en sécurité ont été réalisées.



Illustration 87 : exemple de fissures en crête de talus en 2006

Cette mise en sécurité consiste à disposer en pied de talus un muret composé de blocs en béton destinés à retenir les terres. Des travaux ultérieurs de confortement réduiront la pente en pied de talus en y rapportant des matériaux appuyés sur le muret. Le dispositif sera complété le cas échéant par des dispositions de drainage des eaux infiltrées dans la couverture.



Illustration 88 : mise en place d'un muret de soutènement de talus en 2007



Illustration 89 : réparation en 2005 du déboîtement d'un drain sur membrane en tête de talus

Une autre conséquence des mouvements de la couverture est le déboîtement de certains drains (décrits au paragraphe 3.5.2) sur membrane en tête de talus, à la jonction entre la portion horizontale et celle inclinée du drain. Le déboîtement provoque l'entrée dans le drain incliné des graviers du massif drainant, qui aboutissent dans la chambre de drainage. La réparation consiste à faire une fouille pour atteindre le manchon, rallonger ce dernier, rétablir la liaison entre les deux portions de drain, et refermer la fouille. A la fin 2006, 5 drains déboîtés ont été réparés.

3.5 LE DISPOSITIF DE COLLECTE DES EAUX

3.5.1 INTRODUCTION

Les eaux du Centre de stockage de la Manche sont collectées par des réseaux permettant d'assurer un contrôle des effluents (débits et caractéristiques) et l'adéquation de leur destination en fonction de leur potentialité de contamination radioactive :

- les eaux ne présentant pas de radioactivité artificielle détectable ajoutée par les activités du Centre de stockage de la Manche en fonctionnement normal : ces eaux, dites « eaux pluviales » sont destinées à être déversées dans le ruisseau de la Sainte-Hélène, après contrôle,
- les eaux susceptibles d'être radiologiquement contaminées en fonctionnement normal, dits « effluents à risques » : ces effluents sont destinés à être rejetés directement en mer, via la canalisation de rejet de l'établissement Areva, centre de La Hague, mitoyen du Centre de stockage de la Manche.



Illustration 90 : construction des réseaux de drainage profond en périphérie du stockage en 1984

Les ouvrages ou aménagements techniques munis de dispositifs de drainage et de collecte des eaux sont la couverture, les murs de soutènement, les galeries du réseau séparatif gravitaire enterré et le bâtiment des bassins, et les ouvrages de stockage.

Par ailleurs, les « eaux pluviales » drainées au droit du bâtiment d'accueil du public (dans lequel se situent également les bureaux du personnel de l'Andra) et de la zone d'aménagement associée, constituant une contribution mineure au regard du Centre de stockage de la Manche, sont dirigées dans le réseau pluvial propre à la couverture.

3.5.2 LES RESEAUX DE LA COUVERTURE

Toutes les eaux de la couverture sont collectées par un ensemble de réseaux ceinturant le Centre de stockage de la Manche :

- un réseau de surface constitué de caniveaux et de canalisations équipées de regards de visite, récupérant les eaux de ruissellement de la couverture et également de la petite zone du bâtiment d'accueil du public,
- un réseau de drainage qui recueille d'une part les eaux infiltrées au travers de la barrière biologique de la couverture, et d'autre part les eaux éventuellement infiltrées au travers de la géomembrane.

Les eaux de ruissellement sont recueillies aux points bas de chaque double panneau dans des caniveaux rectangulaires en béton de pente longitudinale de 2 %. A l'extrémité de chaque double panneau, les eaux sont conduites jusqu'au pied du talus supérieur (au niveau de la route) dans des caniveaux trapézoïdaux posés en tuile pour permettre une dissipation partielle de l'énergie. Des avaloirs sont prévus au droit de chaque profil pair, deux par profil, un à l'est et un à l'ouest, sauf sur la partie est de la zone sud de la couverture où les doubles panneaux sont en pente vers l'ouest. Ils recueillent les eaux venant du toit du stockage ainsi que les eaux qui ruissent sur le talus supérieur et qui sont collectées par un caniveau en bordure de route. Au toit du tumulus et sur les pans inclinés de talus, deux drains agricoles sont placés de part et d'autre du caniveau dans de petits massifs de gravier roulé. Les eaux de ces drains sont déversées dans les avaloirs d'« eaux pluviales ». De chaque avaloir part un conduit qui rejoint un collecteur visitable dont le diamètre est de 0,80 ou de 1 m. Ce collecteur recueille l'ensemble des eaux de ruissellement et est composé de deux branches, est et ouest, qui ceinturent le Centre de stockage de la Manche et rejoignent la chambre de récupération des « eaux pluviales » située au nord-ouest du Centre de stockage de la Manche.

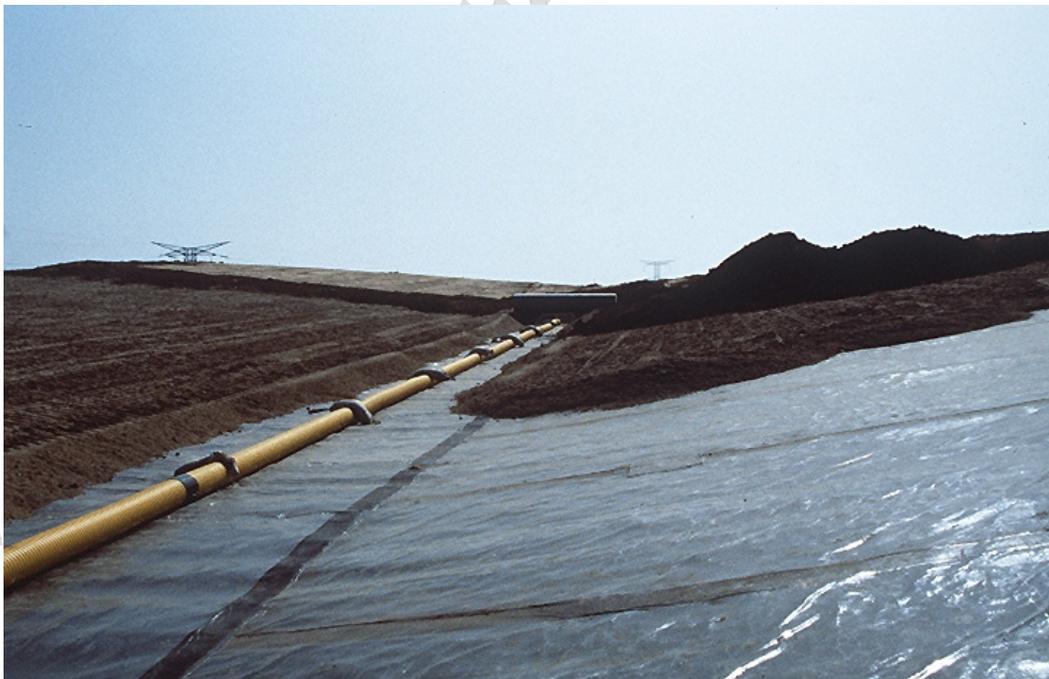


Illustration 91 : drain entre deux panneaux de la membrane bitumineuse lors de la mise en place des matériaux situés au-dessus de cette membrane en 1994

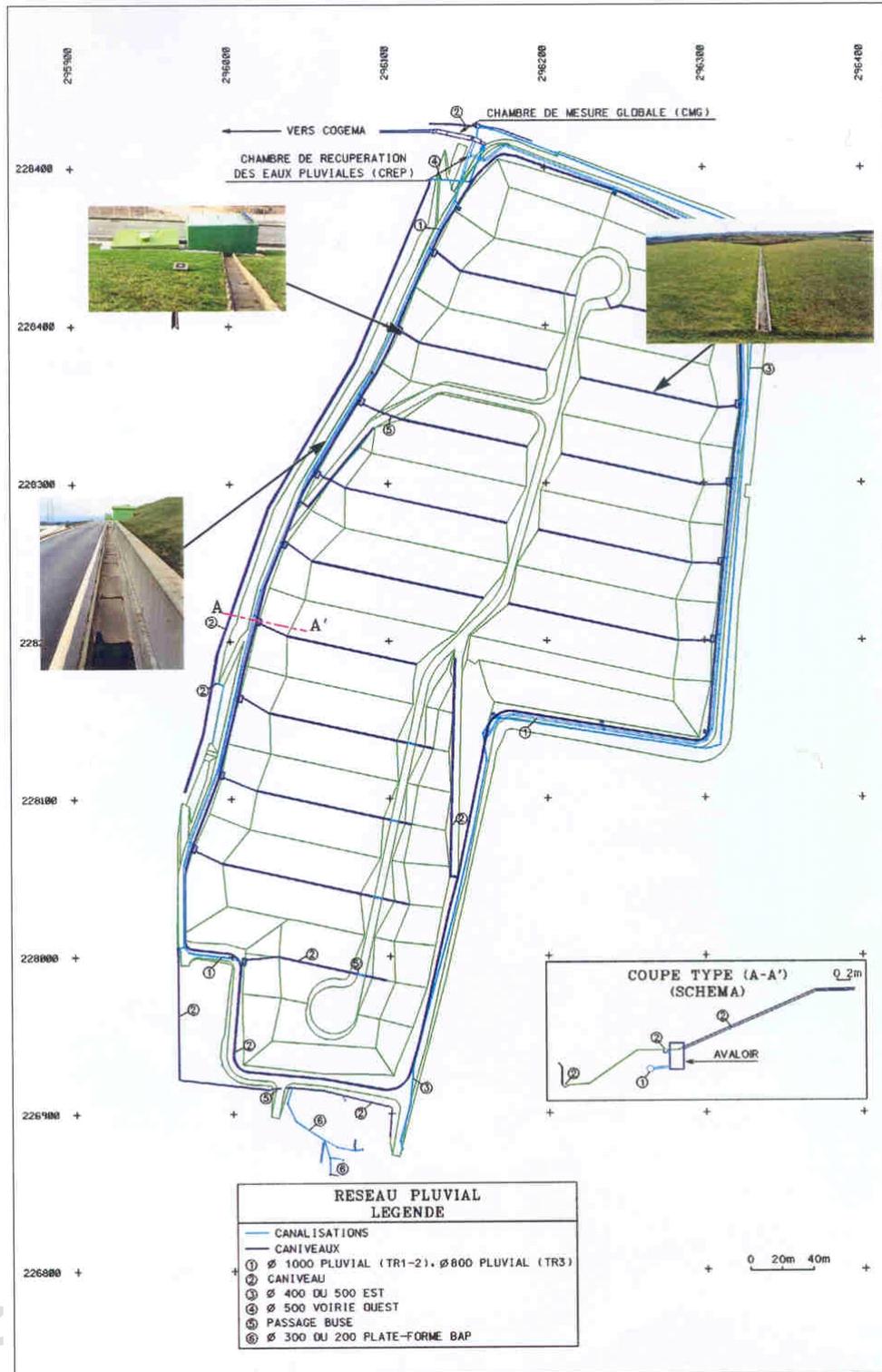


Illustration 92 : plan du réseau des eaux de surface (2002)

Deux systèmes de drainage situés sur et sous la membrane recueillent les eaux d'infiltration de la couverture. Au toit du tumulus, le drainage sur membrane est constitué d'une couche de sable et d'un cordon de gravier en creux dans lequel est placé un tuyau drainant. Le drainage sous membrane comprend une couche de sable et deux tuyaux drainants au droit de chaque panneau de la couverture. En bordure de la zone au pied des talus supérieurs, la membrane bitumineuse assurant l'étanchéité de la couverture est redressée de manière à réaliser un petit fossé étanche dans lequel sont disposés un cordon de gravier et un tuyau drainant. Un deuxième fossé, au fond duquel est disposé un tuyau drainant est également réalisé sous le

premier, au niveau de la couche de sable inférieure. Ces divers tuyaux évacuent les eaux vers des chambres de drainage disposées au bas de chaque panneau. Les différentes chambres sont reliées entre elles par un collecteur de diamètre 700 mm, comportant 2 branches, est et ouest, qui ceinturent le Centre de stockage de la Manche et rejoignent la chambre de récupération des eaux de drainage.

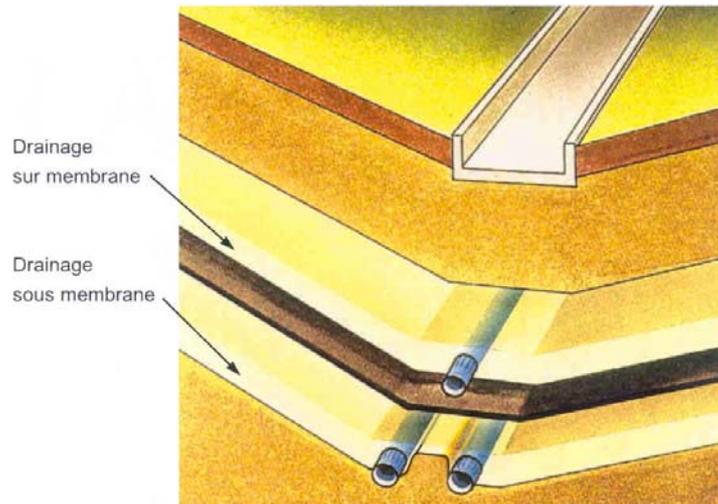


Illustration 93 : schéma des drains sur et sous membrane (2002)

Les murs de soutènement nord et est sont drainés sur leur face intérieure et sur toute la hauteur par un massif drainant (gravier). Les eaux sont collectées en pied de mur à l'intérieur de l'enceinte, par deux drains spécifiques à chaque mur. Ces drains sont constitués de tubes et rejoignent le bâtiment des bassins par un puits de collecte disposé au droit de celui-ci.

Un ensemble de drains profonds, dit « réseau RD », disposé en périphérie ou à proximité des galeries et du bâtiment des bassins a été progressivement constitué au cours du temps. Ce réseau est composé d'un ensemble complexe aux nombreuses ramifications d'un diamètre compris entre 150 et 200 mm :

- un réseau de drainage périphérique au bâtiment des bassins destiné à éviter des mises en charge hydrauliques sous le bâtiment,
- un réseau de drainage collatéral aux galeries du réseau séparatif gravitaire enterré destiné à décharger le remblai dans lequel ces galeries ont été disposées,
- un réseau de drainage situé sous certaines structures d'accueil profondes destiné à décharger le terrain sous ouvrages en cas de remontée de la nappe phréatique.

L'ensemble de ces réseaux est raccordé sur un puits de collecte disposé au droit du bâtiment des bassins. Ce puits récupère également les eaux de drainage des murs de soutènement.

3.5.3 LE RESEAU SEPARATIF GRAVITAIRE ENTERRE

Le réseau séparatif gravitaire enterré (RSGE) est destiné à collecter les éventuelles eaux infiltrées au travers de l'ensemble de la couverture et drainées à la base des ouvrages de stockage. Ce réseau devient donc pour la phase de surveillance un outil de contrôle participant au diagnostic d'une défaillance éventuelle de la membrane. Il est composé de l'aval vers l'amont :

- d'un collecteur général de 300 mm installé dans la galerie visitable dont le point haut se trouve dans l'angle extrême sud-est et son point bas dans l'angle nord-ouest du Centre,
- d'ouvrages de raccordements qui consistent en des canalisations entre l'ouvrage de stockage et le collecteur général.

Le réseau séparatif gravitaire enterré a été placé à un niveau inférieur à celui des plans de pose de tous les ouvrages de stockage du Centre de stockage de la Manche, d'où son nom :

- il permet le contrôle des eaux d'infiltration éventuelles ayant traversé la couverture et recueillies à la base des ouvrages de stockage,
- il a un écoulement entièrement gravitaire (application de la RFS I.2),
- il est à l'abri d'agressions extérieures, aisément accessible, visitable et réparable en cas d'incident.

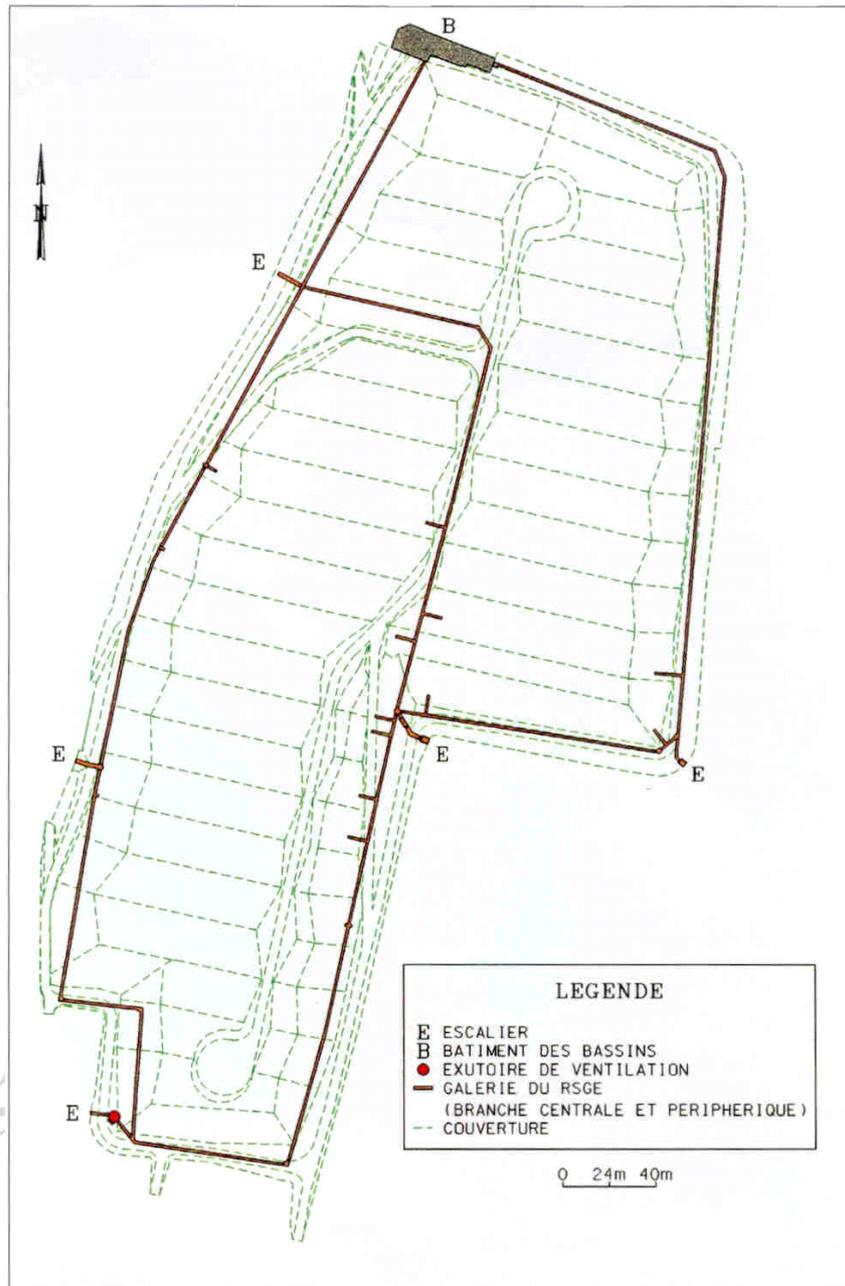


Illustration 94 : implantation des galeries du réseau séparatif gravitaire enterré (2002)

3.5.4 L'EXPLOITATION DES RESEAUX DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

La description technique des différents réseaux faite aux paragraphes ci-dessus permet de diviser ceux-ci en quatre catégories :

- un réseau de surface collectant les eaux de ruissellement de la couverture qui ne comportent pas de marquage radiologique en situation normale,

- un réseau collectant les eaux d'infiltration au travers de la barrière biologique de la couverture et drainées sur et éventuellement sous la membrane bitumineuse : les eaux collectées peuvent présenter un risque de léger marquage radiologique, notamment en tritium, particulièrement lorsque les débits sont faibles (inférieurs à quelques m³/h),
- le réseau séparatif gravitaire enterré dont la vocation est de recueillir les eaux drainées et collectées à la base des ouvrages de stockage, après infiltration au travers des colis de déchets : les eaux collectées présentent donc un risque significatif de contamination radioactive,
- un réseau de drainage profond situé à la base des installations enterrées qui n'est pas en contact direct avec les colis de déchets : étant situé plus bas que le niveau de stockage des déchets radioactifs, il peut présenter un risque de contamination radioactive.

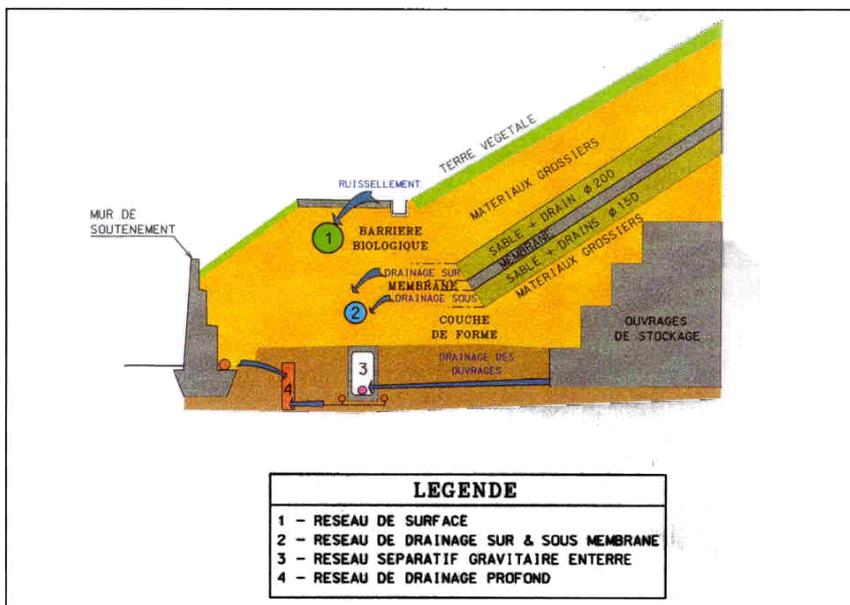


Illustration 95 : schéma de principe des différents réseaux du Centre de stockage de la Manche (2002)

En fonction de leurs caractéristiques radiologiques, les eaux de ces quatre réseaux sont dirigées vers deux exutoires :

- la chambre de mesure globale (« CMG » sur les plans et schémas) par laquelle transitent les « eaux pluviales »,
- le bac du séparatif (« BDS » sur les plans et schémas) par lequel transitent les « effluents à risques ».

3.6 LES DISPOSITIFS POUR LES REJETS

3.6.1 L'EVOLUTION DU MODE DE GESTION DES EFFLUENTS AU FIL DES ANNEES

Les nombreuses évolutions qui ont résulté du retour d'expérience du Centre de stockage de la Manche permettent de dégager trois périodes distinctes, correspondant à des orientations différentes des rejets liquides dans le milieu naturel :

- pendant les dix premières années de fonctionnement (1969-1979), l'ensemble des eaux pluviales recueillies sur le Centre de stockage de la Manche, désignées sous le terme « eau de surface » étaient collectées par des fossés en bordure nord et est du site, et le long de la route centrale d'axe sud nord ; ces fossés de collecte aboutissaient dans un bac de rétention d'une capacité de 50 m³. Les eaux ainsi recueillies passaient par la station de surveillance des eaux avant d'être déversées dans le ruisseau de la Sainte-Hélène ; cette station de surveillance était équipée d'une pompe de reprise permettant de détourner une partie des eaux vers les installations de rejet en mer de l'établissement Areva, centre de La Hague ;
- pendant une seconde période (1980-1987), notamment suite aux premiers retours d'expérience et en particulier à l'« incident tritium » de 1976, il a été décidé la mise en place d'un réseau de collecte spécial, dédié à la collecte des eaux de surface au contact

des ouvrages ; ce nouveau réseau, appelé réseau « séparatif » était en principe indépendant du réseau « pluvial » ; de fait, il s'est avéré trop fragile (rupture des canalisations en surface entraînant le mélange des eaux) et il a été remplacé en 1982 par un collecteur disposé dans une galerie souterraine visitable, et donc protégé ; pendant cette période, les rejets s'effectuaient :

- pour le réseau pluvial, les eaux après collecte en point bas du Centre de stockage de la Manche étaient dirigées vers le ruisseau de la Sainte-Hélène via la station de contrôle de l'établissement Areva, centre de La Hague ;
 - pour le réseau séparatif, les eaux étaient envoyées vers la station de pompage de l'établissement Areva, Centre de La Hague, qui les dirigeait vers l'émissaire de rejet en mer ; néanmoins, lorsque le débit dépassait 10 m³/h, les eaux du réseau séparatif rejoignaient les eaux pluviales ;
- à partir de 1988 et jusqu'au début de la phase de surveillance, l'augmentation des capacités de reprise par pompage des eaux du réseau séparatif a permis de diriger la totalité des eaux collectées par ce réseau vers l'émissaire marin ; le réseau pluvial envoie également les eaux vers l'émissaire marin, sauf en cas de forte pluviosité pour laquelle ces eaux, après contrôle, rejoignent le ruisseau de la Sainte-Hélène ; par ailleurs depuis 1991, année du début des travaux de couverture, le réseau de collecte des eaux pluviales a été remplacé par un nouveau réseau pluvial.



Illustration 96 : environnement général près du Centre de stockage de la Manche

3.6.2 LES DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES EN VIGUEUR (POUR LE PASSAGE EN PHASE DE SURVEILLANCE)

Comme mentionné au paragraphe précédent, l'ensemble des eaux recueillies sous le niveau de base des ouvrages, ainsi qu'une fraction des eaux infiltrées à travers la couverture, sont considérés et gérés comme des effluents radioactifs. Ces effluents, dits « effluents à risques » sont régis par les dispositions de l'article 3.IV du décret du 19 juin 1969 :

« Les effluents liquides seront collectés. Ils seront contrôlés avant rejet et éventuellement, envoyés à l'installation de traitement des effluents liquides du centre de La Hague¹⁶ ».

¹⁶ Centre de la société Aréva (anciennement Cogéma, anciennement une direction du Commissariat à l'énergie atomique)



Illustration 97 : pose d'un drain au-dessus de la membrane bitumineuse en 1994

Les eaux de ruissellement ainsi que les eaux infiltrées à travers la barrière biologique au-dessus de la membrane d'étanchéité de la couverture, dites « eaux pluviales », sont régies par l'article 3.V du décret du 19 juin 1969 :

« Les eaux de surface de l'ensemble du terrain seront recueillies dans un réseau de fossés permettant l'individualisation de chaque aire de stockage. Le collecteur général précédé d'une fosse de rétention qui recueillera toutes les eaux au point le plus bas, rejoindra le ruisseau de la Sainte-Hélène en amont du barrage de contrôle du centre de La Hague¹⁶ ... En outre, les eaux recueillies dans les fosses de rétention pourront, si besoin est, être évacuées jusqu'aux installations de rejet en mer du centre de La Hague¹⁶ ou envoyées à la station de traitement ».

Un protocole signé entre l'Andra et la société Areva décrit les modalités techniques de gestion des eaux en provenance du Centre de stockage de la Manche et dont l'établissement Areva, centre de La Hague, garantit la collecte intégrale et le transfert en direction de l'émissaire marin et du ruisseau de la Sainte-Hélène dans le respect des normes de rejets dont dispose ce centre. Ce protocole correspond à la convention définie dans l'article 9 du décret N° 95-540 du 4 mai 1995 relatif aux rejets d'effluents liquides et gazeux et aux prélèvements d'eau des installations nucléaires de base. Ce protocole a été remis en conformité avec l'arrêté de rejet du 10 janvier 2003 lors du passage administratif du Centre de stockage de la Manche en phase de surveillance.

3.6.3 LES REJETS LIQUIDES DANS LE RUISSEAU DE LA SAINTE-HELENE

La réalisation des travaux de couverture et le passage en phase de surveillance du Centre de stockage de la Manche ont conduit à aménager un point de collecte global unique, appelé « chambre de mesure globale » (« CMG » sur les plans et schémas). Cette chambre recueille :

- la totalité des eaux pluviales de ruissellement collectées par les réseaux de surface de la couverture et de la zone du bâtiment d'accueil du public,
- une fraction des eaux d'infiltration de la couverture collectées par les réseaux de drainage sur la membrane bitumineuse, notamment en cas de pluviométrie importante.

Les quantités d'eaux collectées dépendent principalement de la pluviométrie locale, de la superficie et de la nature des zones drainées, et des conditions d'évapotranspiration liées à la nature des sols, à l'ensoleillement et à l'anémométrie.

En fonctionnement normal, les eaux collectées dans la « chambre de mesure globale », entre 60 000 et 100 000 m³/an, sont dirigées vers le bassin d'orage du Centre de stockage de la Manche. Ce bassin, dimensionné pour un orage centennal, est situé dans l'enceinte mitoyenne de la société Areva (indiquée Cogéma sur le plan ci-après). Ce bassin est destiné à réguler les

débits dirigés vers le ruisseau de la Sainte-Hélène, compte tenu des caractéristiques hydrographiques de ce ruisseau. Au niveau radiologique, les autorisations permettent un rejet en tritium inférieur à 30 Bq/l en moyenne sur l'année, avec ponctuellement un rejet maximal inférieur 100 Bq/l.

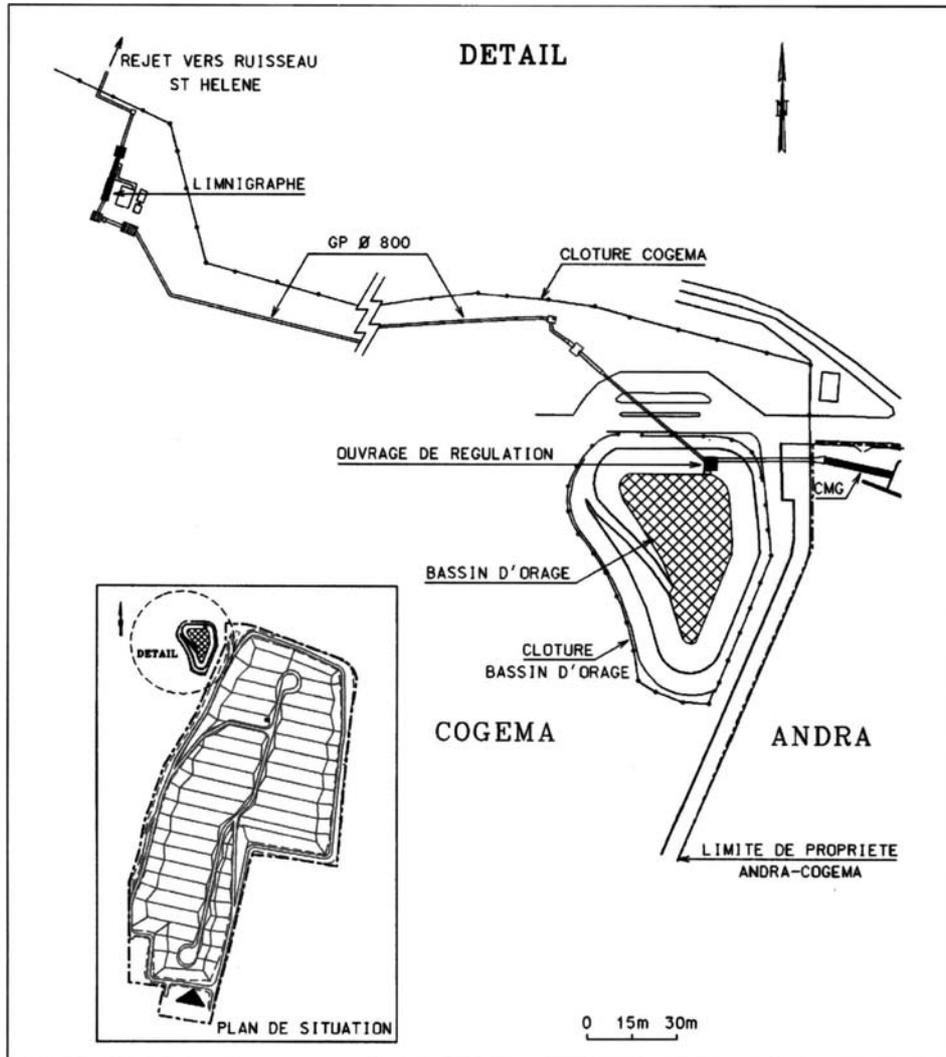


Illustration 98 : schéma du bassin d'orage du Centre de stockage de la Manche (situé dans l'enceinte de la société Areva, Cogéma sur le schéma)

3.6.4 LES REJETS LIQUIDES EN MER

Les rejets liquides en mer concernent les effluents dits « à risques » collectés par le « bac du séparatif » (« BDS » sur les plans et schémas) du Centre de stockage de la Manche :

- l'essentiel des eaux de drainage de la couverture, sur et sous membrane présentant un léger marquage en tritium lorsque les débits sont faibles,
- les eaux des réseaux de drainage profonds associés aux galeries du réseau séparatif gravitaire enterré, au bâtiment des bassins et aux murs de soutènement nord et est,
- les eaux de drainage des ouvrages circulant dans le réseau séparatif gravitaire enterré,
- les effluents produits par l'exploitation des bassins.

Compte tenu de leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques, les effluents dits « à risques » collectés par le « bac du séparatif » (de 15 à 30 000 m³/an) sont transférés vers les installations mitoyennes de l'établissement Areva, centre de La Hague, d'où elles sont rejetées vers l'émissaire marin sans subir de traitement particulier. Ces effluents dits « à risques » collectés par le « bac du séparatif » doivent respecter les valeurs limites annuelles maximales suivantes : 125 GBq/an pour le tritium, 0,25 GBq/an pour les radionucléides émetteurs bêta gamma, et 0,125 GBq/an pour les radionucléides émetteurs alpha.



Illustration 99 : prélèvement d'échantillons à l'extrémité de l'émissaire marin des rejets en mer

L'émissaire marin de la société Areva est une conduite dont la partie terrestre a une longueur de 2 500 mètres et dont la partie marine immergée décrit une ligne de 5 000 mètres de long.

3.6.5 LES EMANATIONS GAZEUSES DANS L'ATMOSPHERE

Le radon et ses produits de filiation sont présents dans le proche environnement du Centre de stockage de la Manche. Ils sont issus de la désintégration du radium et de l'uranium contenus dans le stockage et dans le milieu naturel. La migration du radon vers l'extérieur du Centre de stockage de la Manche est liée aux mécanismes de déplacement de l'air, qui en constitue le vecteur principal. L'air contenu au sein des ouvrages de stockages correspondant à la porosité des matériaux en place (béton, gravier, terre, terrain naturel, ...) est soumis à des déplacements conditionnés principalement par la variation des conditions météorologiques (effets de dilatation ou de compression de l'air en fonction des variations de la pression atmosphérique). Ainsi, une augmentation de la pression atmosphérique favorise le confinement du radon et de ses descendants au sein des ouvrages de stockage. A l'inverse, une diminution de la pression atmosphérique génère, par effet de dilatation, un transfert du radon entre les ouvrages de stockages et les galeries du réseau séparatif gravitaire enterré, et, de façon plus générale, vers tous les exutoires de l'air disponibles. A ce mécanisme de « respiration » naturelle s'ajoute également l'action du vent, favorisant les effets de tirage naturel. Ainsi, l'air des galeries du réseau séparatif gravitaire enterré présente des concentrations en radon très variables, dans une fourchette de 100 à 100 000 Bq/m³ (sans ventilation des galeries). Par conséquent, les interventions humaines effectuées dans ces galeries du réseau séparatif gravitaire enterré



Illustration 100 : soudure manuelle de la membrane bitumineuse à son raccordement avec les chambres de drainage en 1993



Illustration 101 : début de mise en place des matériaux sur 2 panneaux de membrane bitumineuse de la couverture en 1997

nécessitent leur ventilation, sauf à prendre des mesures de radioprotection lourdes (port d'un appareil autonome respiratoire, par exemple). Cette ventilation s'effectue par soufflage grâce à deux ventilateurs disposés au début des deux galeries est et ouest, au niveau du bâtiment des bassins. Cet air ressort en extérieur par une bouche de sortie (exutoire de ventilation), située sur le toit de la galerie, au sud-ouest du Centre de stockage de la Manche. Pendant un temps relativement court (une quinzaine de minutes) faisant suite au démarrage de la ventilation et nécessaire au balayage complet du volume des galeries, l'air extrait présente donc une activité volumique comprise entre 100 et 100 000 Bq/m³, au niveau de l'exutoire de ventilation, avant dilution dans l'atmosphère. En dehors de ces périodes de ventilation, les deux dosimètres radon installés en clôture du Centre de stockage de la Manche ne détectent pas de concentration anormale de ce radionucléide dans l'air ambiant au dessus de la couverture.



Illustration 102 : début des travaux de couverture du Centre de stockage de la Manche en 1992

Les mesures à bas niveau effectuées depuis 1996 n'ont pas mis en évidence des possibilités de relâchement éventuel d'autres radionucléides sous forme volatile (notamment le carbone 14, sous forme de méthane ou de gaz carbonique, ou le tritium gazeux).

3.6.6 LES PRECAUTIONS A PRENDRE EN MATIERE DE SEUIL DES REJETS



Illustration 103 : pose de la membrane bitumineuse (devant) et des matériaux au-dessus de cette membrane (au fond) pour la couverture en 1995

En dehors des considérations historiques, les rejets potentiels qui pourraient être constatés dans le futur au niveau du Centre de stockage de la Manche et de son environnement, que ce soit en situation normale ou en situation accidentelle, devront être particulièrement analysés. En effet, au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, les seuils et limites d'acceptation des rejets des radionucléides ont beaucoup évolué. Rien ne permet d'affirmer que ces seuils soient stabilisés au moment du passage en phase de surveillance du Centre de stockage de la Manche. Aussi, il conviendra de toujours se reporter aux autorisations administratives en vigueur pour juger de l'acceptation ou non d'un rejet. Les valeurs fournies dans les paragraphes précédents ne sont qu'indicatives pour la période du passage en phase de surveillance. Par ailleurs, ces valeurs ne concernent que les radionucléides les plus importants, alors que les autorisations administratives de rejet couvrent bien d'autres aspects (volumétrie, acidité, toxiques chimiques, hydrocarbures, matières en suspension ...).

4 LES PRINCIPES DE SURETE EN PHASE DE SURVEILLANCE ET L'ANALYSE DE SURETE

4.1 INTRODUCTION

L'objectif du stockage des déchets radioactifs est de protéger l'homme et son environnement de toute dissémination de matières radioactives. Il faut pour cela confiner les radionucléides (ainsi que les éventuels éléments chimiques toxiques) présents dans les déchets.

En 1969, selon le décret de création du Centre de stockage de la Manche, la gestion du stockage reposait sur deux principes : respect des limites d'irradiation et de contamination fixées pour les différentes catégories de travailleurs, et respect des limites d'irradiation et de contamination fixées pour les personnes du public, compte tenu des installations existantes. L'ensemble des dispositions techniques a, au départ, été prévu pour respecter ces deux principes. Les règles de construction ont ensuite évolué au cours du temps, en fonction du retour d'expérience lié à l'exploitation du stockage. Il est donc logique que les ouvrages récents ne soient pas de conception similaire aux premiers ouvrages.



Illustration 104 : portique de déchargement des déchets livrés en caisson en 1970

En 1984, les principes généraux de sûreté d'un centre de stockage de surface ont été élaborés sous forme d'une règle fondamentale de sûreté (RFS I.2). Ce texte énonce deux objectifs : la protection des personnes et de l'environnement, et la limitation de la durée nécessaire de surveillance. La création du Centre de stockage de la Manche en 1969 est antérieure à la publication de cette règle fondamentale de sûreté. Par conséquent, le choix du site, la conception du Centre de stockage de la Manche et les critères de conditionnement et de suivi des déchets stockés avant 1984 ne respectent pas la totalité des exigences de cette règle fondamentale de sûreté. Les paragraphes suivants précisent les dispositions prises pour garantir que, malgré tout, les objectifs de sûreté de cette règle fondamentale de sûreté RFS I.2 seront bien atteints durant la phase de surveillance.

4.2 LES PRINCIPES DE PREVENTION

Le respect des objectifs fondamentaux de sûreté s'appuie sur des dispositions préventives destinées à garantir le confinement des radionucléides et des éléments chimiques réputés toxiques. On entend par « confinement » l'isolement des déchets vis-à-vis de l'eau et la limitation et/ou le retard du transfert des matières radioactives et chimiques vers la biosphère.

Le transfert éventuel des radionucléides jusqu'à la biosphère doit être limité et/ou retardé. Pour ce faire, les déchets radioactifs ont été isolés de la biosphère, l'activité initiale des colis de déchets radioactifs acceptés dans le stockage a été limitée et des matériaux de barrière s'opposant à la migration des radionucléides ont été choisis. Le but recherché est que l'impact du stockage sur son environnement soit acceptable. De plus, cet impact se doit d'être le plus bas possible compte tenu des connaissances techniques et des contraintes économiques acceptables à l'époque considérée.



Illustration 105 : ferrailage d'une dalle de fermeture d'un ouvrage au-dessus des colis en 1978

4.2.1 LE PRINCIPE D'ISOLEMENT DES DECHETS

Les produits radioactifs stockés doivent être soustraits à l'action de l'eau et de l'homme, agents susceptibles de provoquer leur dissémination dans l'environnement. Cet isolement a été obtenu en interposant entre les déchets et l'environnement extérieur du Centre de stockage de la Manche un dispositif de barrières multiples composé des colis contenant les déchets, des ouvrages dans lesquels sont disposés les colis, de la couverture, du système de collecte des eaux et du milieu géologique. Les colis de déchets radioactifs sont isolés des eaux météoriques par le dessus via une couverture étanche et par le dessous en plaçant les ouvrages au-dessus de la nappe phréatique.

4.2.2 LE PRINCIPE DE LIMITATION DE L'ACTIVITE

La règle fondamentale de sûreté RFS I.2 impose depuis 1984 des teneurs maximales en émetteurs alpha acceptables dans les déchets. Les valeurs de ces limites, calculées à l'issue d'une phase de surveillance institutionnelle de trois siècles, sont les suivantes :

- pour l'activité massique moyenne en émetteurs alpha de l'ensemble des colis contenus dans le stockage : 370 MBq/t,
- pour l'activité massique de chaque colis contenant des émetteurs alpha : 3 700 MBq/t, en règle générale (l'acceptation de quelques colis particuliers dont l'activité massique est comprise entre 3 700 MBq/t et 18 500 MBq/t a eu un caractère exceptionnel et a fait l'objet d'un agrément spécifique).



Illustration 106 : gravillonnage manuel des interstices entre colis en 1972

4.2.3 LE PRINCIPE DE CONFINEMENT

Les options techniques qui ont été adoptées pendant la phase de construction et d'exploitation du Centre de stockage de la Manche visent à assurer le confinement des déchets radioactifs pendant plusieurs centaines d'années, notamment vis-à-vis des risques de transfert par l'eau. Ces options contribuent également à assurer la sûreté de l'installation vis-à-vis d'agressions d'origine externe ou interne. Le confinement est assuré par un ensemble de dispositions visant à empêcher l'eau d'atteindre les déchets en situation normale. Ce confinement limite la quantité des substances radioactives entraînées par l'eau en cas d'infiltration accidentelle à un niveau tel que les conséquences radiologiques engendrées soient très faibles.

Afin de prévenir les risques de dispersion des matières radioactives dans le milieu ambiant, les dispositions suivantes ont été prises :

- les capacités de rétention de la radioactivité par le milieu géologique ont fait l'objet d'une étude hydrogéologique réalisée en octobre 1967, préalablement à l'implantation du Centre de stockage la Manche ; cette étude a permis d'identifier les zones de schistes à Calymènes comme offrant les meilleures capacités de rétention de la radioactivité ; c'est dans ces zones que furent implantées les premières tranchées ordinaires du Centre de stockage de la manche ;
- des barrières ont été interposées entre les déchets radioactifs et le milieu extérieur ; ces barrières diffèrent selon le type de déchets et leur conditionnement.

Le site est situé en amont du bassin versant, ce qui rend l'apport à la nappe phréatique peu sensible à la pluviométrie.



Illustration 107 : stockage de colis à l'aide d'un camion grue en 1981

D'une manière générale, le confinement des déchets radioactifs stockés est assuré par trois barrières disposées en série, redondantes durant la phase d'exploitation, et qui auront des rôles progressivement complémentaires au fil des siècles de la phase de surveillance :

- la première barrière de confinement est constituée par la forme physico-chimique des déchets (toujours solides) ainsi que par les caractéristiques physiques des colis qui les contiennent (nature du matériau d'immobilisation des déchets et/ou de leur conteneur) ; le décret de création en 1969, puis les prescriptions de 1979 et de 1985, et enfin la règle fondamentale de sûreté RFS III-2-e de 1986 ont fixé les conditions d'acceptation des colis au Centre de stockage de la Manche ;
- la deuxième barrière de confinement est constituée de l'ensemble des ouvrages de stockage, chaque ouvrage comprenant la structure d'accueil dans laquelle les colis ont été disposés puis éventuellement bloqués, les matériaux de couverture rapportés sur les structures en fin d'exploitation, les réseaux de collecte des eaux superficielles et d'infiltration et les dispositifs de surveillance ; cette deuxième barrière limiterait en outre, en l'absence de contrôle institutionnel lié, par exemple, à une crise sociétale (guerre, grande catastrophe naturelle ...), l'intrusion humaine au sein du stockage ;

- la troisième barrière de confinement est constituée par l'ensemble des formations géologiques présentes au droit du stockage ; en phase de surveillance, ces formations interviennent comme une barrière additionnelle vis-à-vis des eaux et des substances radioactives qui pourraient s'échapper accidentellement du stockage.

4.3 LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

4.3.1 LE PRINCIPE DE LA SURVEILLANCE DU SITE

La surveillance du Centre de stockage de la Manche a pour objectif principal de s'assurer de la performance des principes de prévention vus précédemment. Cette surveillance a aussi pour objectif connexe d'anticiper tout problème en le découvrant dès son origine, afin soit d'en réduire les conséquences, soit de mettre en place un dispositif curatif approprié. Cette surveillance concerne particulièrement :

- l'étanchéité de la couverture, notamment celle de la membrane bitumineuse, qui permet donc d'anticiper d'éventuelles défaillances de celle-ci ; cette surveillance s'appuie sur un ensemble d'indicateurs pour lesquels quatre types de contrôles directs sont prévus : contrôle visuel de surface, contrôle topographique, contrôle par prélèvement d'échantillon de membrane, contrôle hydraulique des différents réseaux de drainage) ; cette surveillance s'appuie indirectement sur les résultats des mesures radiologiques et chimiques faites au sein du Centre de stockage de la Manche et dans son environnement ;



Illustration 108 : pose d'une bande de membrane bitumineuse en parallèle à son soudage en 1993

- les relâchements en provenance des ouvrages de stockage ; cette surveillance s'exerce de l'amont vers l'aval du Centre de stockage de la Manche, à trois niveaux différents : suivi des relâchements dans les réseaux ; suivi des relâchements dans la nappe phréatique et suivi des relâchements dans les ruisseaux situés en aval du Centre de stockage de la Manche ;
- les rejets du Centre : cette surveillance vise essentiellement à vérifier le respect des autorisations réglementaires de rejet du Centre de stockage la Manche et à contrôler le bon fonctionnement des installations de rejets ;
- les mesures complémentaires suivantes : contrôles atmosphériques (eau, air), mesure du rayonnement ambiant, mesure du radon, et contrôle des végétaux de la couverture ; ces

mesures visent à s'assurer de l'absence de contamination atmosphérique anormale qui serait de nature à perturber les interprétations des résultats des trois alinéas précédents de la surveillance du Centre de stockage la Manche.

4.3.2 LE PRINCIPE DE MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DANS UNE PREMIERE ETAPE

En phase de surveillance, le Centre de stockage de la Manche ne dispose d'aucune installation présentant un risque potentiel important pour l'environnement ou les travailleurs et qui nécessiterait des systèmes de surveillance ou de sauvegarde ayant un taux de fiabilité élevé, comme dans une installation industrielle. De ce fait, la plupart des contrôles qui s'appliquent aux matériels et équipements relèvent essentiellement d'obligations réglementaires relatives à la protection des travailleurs dans le domaine de la sécurité classique ou de la radioprotection.



Illustration 109 : pluviomètre du Centre de stockage de la Manche en 2002

Par ailleurs, des contrôles sont effectués sur des appareils ou équipements de mesures physiques nécessaires à la surveillance du Centre de stockage de la Manche : débitmètres, pluviomètres, préleveurs d'échantillons, dispositifs de mesure des hauteurs d'eau, appareils de contrôle de la qualité radiologique des eaux, détecteurs de présence d'eau des cuves de collecte des effluents, et ventilation du réseau séparatif gravitaire enterré.

Dans le cas précis de la couverture, la maintenance consiste principalement à assurer l'entretien périodique du couvert végétal par des tontes régulières. Des opérations de maintenance curative peuvent être mises en œuvre en cas de désordre nécessitant une remise en état. Ces désordres peuvent affecter l'état de surface de la couverture, l'intégrité de la membrane bitumineuse en cas de tassements significatifs, les réseaux de surface ou de drainage. Les modalités de réparation font l'objet de procédures spécifiques.

4.3.3 LE PRINCIPE D'INSTALLATION PASSIVE DANS UNE SECONDE ETAPE

En 1996, la commission « Turpin » a émis quelques réserves sur la pérennité à très long terme de la couverture conçue par l'Andra :

« La commission considère que la couverture actuelle convient bien dans le cadre de la surveillance prévue par l'Andra, mais qu'elle ne peut être considérée comme définitive. La stabilité de ses talus n'est pas assurée et on ne peut présumer de la pérennité de la membrane installée. Or, il est essentiel d'empêcher l'eau de parvenir jusqu'aux colis puis jusqu'à la nappe située sous le stockage, nappe dont le niveau ne devra en aucun cas à l'avenir pouvoir atteindre celui des radiers. La commission considère que l'isolement du stockage doit être réalisé, à terme, uniquement en recourant à des matériaux naturels, c'est-à-dire à des schistes et à des argiles. Le recouvrement doit être intrinsèquement stable. Il doit donc présenter une surface dénuée de pente raide. La

définition de la surface à recouvrir sera précisée par les études hydrologiques prévues. »



Illustration 110 : tonte trimestrielle du gazon de la couverture de fin d'exploitation en 2003

Suivant les recommandations de la commission « Turpin », le décret 2003-30 du 10 janvier 2003, autorisant le passage du Centre de stockage de la Manche en phase de surveillance, prescrit à l'Andra d'adresser à l'Autorité de sûreté nucléaire, au plus tard le 10 janvier 2009, un rapport sur l'intérêt de mettre en place une couverture plus pérenne. Il s'agit d'assurer de manière passive la sûreté à long terme du stockage. Ce rapport rappellera le contexte dans lequel a été définie et réalisée la couverture actuelle, en particulier le concept technique retenu quant au maintien de l'étanchéité vis-à-vis du risque de tassements. Il rappellera également les fonctions prises en compte dans la conception de la couverture actuelle, en les réexaminant en regard de l'analyse de sûreté du Centre de stockage de la Manche. Il présentera un bilan du comportement de la couverture actuelle, en décrivant les opérations de maintenance réalisées. Une analyse de l'adéquation du comportement de la couverture avec les fonctions de sûreté sera réalisée. Il envisagera différentes options permettant de pérenniser la sûreté de la couverture, comme le maintien de la couverture actuelle en l'état, moyennant les réparations qui s'avèreraient nécessaires, des options d'amélioration ou de modification notable de la couverture actuelle.



Illustration 111 : vue d'artiste d'un projet de couverture passive arborée en 2007

La couverture mise en place en fin d'exploitation est pérenne sur plusieurs décennies, voire au-delà du siècle, et la décision de l'améliorer ou de la modifier peut donc être longuement différée (d'où la nécessité d'évoquer cette perspective peut être lointaine dans cette mémoire de synthèse du Centre de stockage de la Manche) comme le précise la commission « Turpin » :

« La commission considère que la couverture actuelle convient bien dans le cadre de la surveillance prévue par l'Andra ...

La préparation et la réalisation de cette couverture seront les objectifs essentiels de cette deuxième phase dont la durée peut être très variable et sera en fait définie par une décision politique prise en accord avec la population locale, et après un délai suffisant pour permettre le retour d'expérience sur le comportement de la couverture actuelle. »



Illustration 112 : mise en place progressive de la couverture après la fin d'exploitation en 1995

4.4 L'ANALYSE DE SURETE DE LA PHASE DE SURVEILLANCE

4.4.1 L'ANALYSE DES RISQUES

L'analyse des risques du Centre de stockage de la Manche consiste à :

- examiner les événements susceptibles de provoquer une situation de défaillance des barrières de confinement, dans la configuration du stockage,
- analyser les dispositions de prévention de ces risques (ces dispositions ont été mises en œuvre lors des phases de conception, d'exploitation et de couverture du Centre de stockage de la Manche),
- analyser les moyens de détection des situations et déterminer les actions de limitation de leurs conséquences.

Les événements susceptibles de provoquer des défaillances de l'installation et de perturber son fonctionnement normal concernent des risques propres à l'installation et ceux liés aux activités industrielles et humaines extérieures à l'installation, ainsi que les risques naturels.

Parmi ces événements, seuls ceux qui pourraient conduire à une dissémination de substances radioactives et/ou de toxiques chimiques dans l'environnement ont été retenus. Les risques inhérents à l'installation et ceux d'origine naturels sont décrits dans les deux tableaux ci-dessous. Les risques liés aux activités extérieures à l'installation (proximité des voies de communication, proximité des réseaux collectifs proches, proximité des activités industrielles, risque de malveillance) n'ont pas de conséquences sur la sûreté du Centre de stockage de la Manche.

Tableau 8 : initiateurs, causes et conséquences possibles, et dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences retenues, pour les risques propres à l'installation de stockage

Initiateurs	Causes possibles	Conséquences possibles	Dispositions de prévention	Dispositions de détection	Limitations des conséquences
Perte d'étanchéité de la géomembrane	Défaut de réalisation	Entrée d'eau dans le stockage	Conditions de fabrication et de mise en place Choix du matériau de la couche de forme	Contrôle du volume des eaux dans le réseau sous membrane	Réparation de la membrane endommagée Récupération de la majeure partie de l'eau de pluie par le réseau de collecte des eaux infiltrées sous membrane Les eaux infiltrées au niveau des ouvrages sont normalement récupérées par le réseau séparatif
	Tassement des ouvrages	Entrée d'eau dans le stockage	Remplissage optimal des tumulus récents et consolidation des tumulus anciens Le terrain supporte la charge des ouvrages et de la couverture	Contrôle du volume des eaux dans le réseau sous membrane Suivi des mouvements de la couverture	Réparation de la membrane endommagée La membrane supporte une certaine elongation Récupération de la majeure partie de l'eau de pluie par le réseau de collecte des eaux infiltrées sous membrane Les eaux infiltrées au niveau des ouvrages sont normalement récupérées par un réseau de collecte
	Vieillessement	Entrée d'eau dans le stockage	Spécification à la fabrication Contrôle à la mise en place	Prélèvements réguliers d'échantillons de membrane Mesures en laboratoire des paramètres d'étanchéité	Changement de la membrane ou remplacement par un autre matériau
Perte d'étanchéité du radier	Défaut de réalisation Vieillessement prématuré des joints	Infiltration d'eau contaminée dans le terrain (si membrane déficiente)	Spécifications à la construction des radiers	Contrôle des eaux de la nappe phréatique Contrôle des eaux du drainage profond	Présence du milieu géologique Quantité de radionucléides contenus dans les colis de déchets relativement limitée Relâchement des colis de déchets limité
Défaillance du réseau de drainage profond		Remontée de la nappe phréatique	Dimensionnement des tuyaux de drainage La plupart des ouvrages ont été construits au dessus du niveau des plus hautes eaux de la nappe	Suivi de la hauteur de nappe	Un pompage de la nappe est possible
Défaillance du réseau séparatif gravitaire enterré	Rupture des canalisations des ouvrages	Infiltration d'eau contaminée dans le terrain (si membrane déficiente)	Spécifications de mise en place des tuyaux de drainage (renfort,...)	Possibilité de passage de caméra Nature des tuyaux	La présence de la membrane empêche l'eau d'atteindre les colis Présence du milieu géologique
	Rupture du collecteur général		Choix adéquat des joints d'étanchéité	Contrôles de vérification d'absence d'eau au droit des joints de l'ensemble des canalisations du réseau séparatif gravitaire enterré	Réparation de la conduite Présence de la galerie qui permettrait de recueillir l'eau

Initiateurs	Causes possibles	Conséquences possibles	Dispositions de prévention	Dispositions de détection	Limitations des conséquences
Défaillance de la ventilation du réseau séparatif gravitaire enterré	Défaillance électrique Détérioration mécanique	Présence de radon dans les galeries du réseau séparatif gravitaire enterré	Entretien régulier du système de ventilation Système électrique relié à un groupe électrogène	Déclenchement d'alarmes (avec report) Extinction de l'éclairage principal des galeries	Evacuation du personnel par issues de secours réparties sur la périphérie du Centre de stockage de la Manche

Tableau 9 : initiateurs, causes et conséquences possibles, et dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences retenues, pour les risques naturels

Initiateurs	Causes possibles	Conséquences possibles	Dispositions de prévention	Dispositions de détection	Limitations des conséquences
Intempéries	Fortes pluies	Erosion rapide	Implantation d'une couverture herbacée Entretien des pelouses Surveillance de la présence d'animaux fouisseurs	Observations visuelles effectuées lors d'inspections du Centre de stockage de la Manche	Eventuels ravinements comblés et enherbés
		Remontée anormale du niveau de la nappe phréatique	La plupart des ouvrages est située hors d'atteinte de la nappe Dispositifs de drainage en partie inférieure des ouvrages	Mesure de la hauteur de la nappe phréatique Mesure de la pluviométrie	Possible pompage éventuel de la nappe Présence du milieu géologique
Séisme SMS (intensité VII-VIII MSK)	Mouvements tectoniques	Glissement des talus	Dispositions parasismiques concernant les radiers Dimensionnement des murs de soutènement et de la dalle de recouvrement du bâtiment des bassins Dimension du réseau séparatif gravitaire enterré et les chambres de mesure	Observations visuelles lors d'inspections du Centre de stockage de la Manche	Réparation des talus
Pénétrations animale et végétale		Endommagement de la membrane	Mise en place d'une barrière biologique épaisse Entretien de la couverture	Détection visuelle de la présence d'animaux et de végétaux indésirables sur la couverture	

4.4.2 LA SELECTION DES SCENARIOS ENVELOPPES D'ACCIDENTS ET LA METHODE D'EVALUATION DE LEURS CONSEQUENCES

Les scénarios d'accidents retenus découlent de l'analyse des risques. Chacun des événements définis dans l'analyse des risques peut être à l'origine d'un scénario d'accident. Afin de réduire le nombre de scénarios à analyser :

- seul le scénario dont les conséquences sont les plus graves pour l'homme et son environnement est conservé, comme enveloppe des autres scénarios,
- les scénarios dont la probabilité est intrinsèquement très faible ou ceux dont la prévention des risques de défaillance mise en place a été suffisamment renforcée pour que leur probabilité d'occurrence soit extrêmement faible ne sont pas étudiés.

Ceci a conduit à étudier deux scénarios d'accidents :

- celui qui associe une perte d'étanchéité des radiers à un effondrement d'une partie de la couverture (enveloppe de toutes les situations accidentelles plausibles), sachant que la probabilité d'occurrence de ces deux défaillances simultanées est relativement faible,

- un second correspondant à un risque naturel majeur lié à une remontée exceptionnelle du niveau de la nappe phréatique (cet aspect a été largement analysé et commenté par la commission « Turpin »).



Illustration 113 : préparation d'une plateforme de stockage en 1977



Illustration 114 : stockage de déchets radioactifs en fûts métalliques en 1974

Les deux scénarios accidentels envisagés correspondent à un transfert de radionucléides par l'eau. Le calcul d'impact de ces scénarios correspond à l'enchaînement de quatre modèles de calcul spécifiques :

- le premier modèle simule le relâchement des colis et des ouvrages de stockage en fonction d'un flux d'infiltration d'eau,
- le deuxième modèle simule les écoulements d'eau dans la nappe phréatique,
- le troisième modèle simule la migration des radionucléides ou des toxiques chimiques dans la nappe phréatique,
- le quatrième modèle représente la biosphère et permet d'estimer l'impact (dose annuelle, quantité de toxiques incorporée) reçu par le groupe critique (population agricole qui utilise l'eau du ruisseau de la Sainte-Hélène pour la boisson, l'abreuvement des animaux, l'irrigation du jardin potager et qui consomme occasionnellement des poissons pêchés dans les ruisseaux).

4.4.3 LES CONSEQUENCES D'UNE RUPTURE DES RADIERS SIMULTANEMENT A UN EFFONDREMENT DE LA COUVERTURE (SCENARIO ENVELOPPE DE TOUS LES RISQUES INHERENTS A L'INSTALLATION)

Le scénario enveloppe retenu consiste en un effondrement de couverture sur une emprise de 100 m². Faute de réparation rapide, l'anomalie est supposée durer une année, période pendant laquelle le flux d'eau qui transiterait dans l'ouvrage de stockage sous-jacent serait de 1 000 litres par m² et par an. Ce flux est calculé sur la base d'une pluviométrie décennale ruisselant sur la totalité d'un bassin versant. La partie non effondrée de la couverture est supposée ne pas être affectée par l'effondrement et donc être étanche : l'hypothèse reste néanmoins faite qu'elle laisse s'infiltrer seulement au travers de l'ensemble du stockage un flux d'eau égal à 1,5 litres par m² et par an (cas du fonctionnement normal de la couverture). Dans ce scénario, d'autres hypothèses pessimistes et pénalisantes sont prises en compte :

- tous les fûts métalliques, ainsi que tous les colis anciens dont le conteneur béton n'a pas fait la preuve de sa qualité, ne jouent aucun rôle pour retarder le relâchement éventuel des radionucléides,
- l'intégralité des eaux infiltrées au travers des anciens ouvrages de stockage se dirige instantanément dans la nappe phréatique,
- tous les radiers en béton sur lesquels sont disposés les colis de déchets sont supposés ne plus jouer aucun rôle 25 ans après leur création,

- la défaillance est supposée se produire au début de la phase de surveillance, période à laquelle l'inventaire radiologique reste maximal (peu de décroissance radioactive depuis le stockage des déchets radioactifs).

Avec ces hypothèses très défavorables et dans une telle succession d'événements très majorants des phénomènes réels, l'impact radiologique maximal induit par ce scénario atteindrait 0,12 mSv/an. Cette dose représente le dixième de la limite de 1 mSv/an au sens de la directive Euratom 96/29. Cette dose proviendrait essentiellement de l'uranium 234 et 238, du carbone 14, du strontium 90, du tritium et de l'argent 108m.

La concentration maximale des toxiques chimiques a été évaluée à la confluence des ruisseaux de la Sainte-Hélène et du Grand Bel. Ces concentrations sont au maximum de 0,3 µg/l pour le cadmium, de 0,09 µg/l pour le plomb et de 0,06 µg/l pour le nickel. Les limites réglementaires pour l'eau potable sont respectivement de 5 µg/l pour le cadmium, 50 µg/l pour le plomb et 50 µg/l pour le nickel. L'impact sanitaire est donc jugé négligeable (se reporter à l'analyse détaillée du paragraphe 4.4.5).

4.4.4 LES CONSEQUENCES D'UNE REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE (SCENARIO ENVELOPPE DE TOUS LES RISQUES NATURELS)

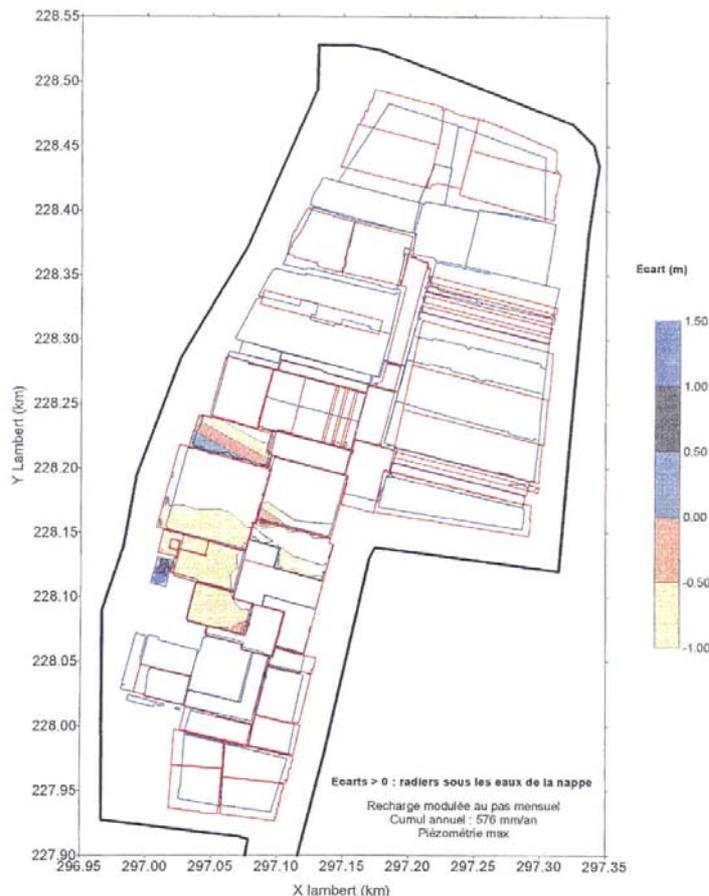
Le scénario enveloppe retenu considère que tous les drainages et pompages sur les terrains d'Areva, centre de La Hague, comme sur le Centre de stockage de la Manche sont hors service. Une pluviométrie d'intensité exceptionnelle ayant une occurrence millénaire (1 600 mm/an) se produit alors, entraînant une remontée des eaux souterraines.

Dans ce scénario, d'autres hypothèses pessimistes sont prises en compte :

- tous les fûts métalliques, ainsi que tous les colis anciens dont le conteneur béton n'a pas fait la preuve de sa qualité, ne jouent aucun rôle pour retarder le relâchement éventuel des radionucléides,
- les radiers des ouvrages sont considérés comme submergés par la nappe phréatique et le réseau séparatif gravitaire enterré est supposé ne plus jouer aucun rôle
- la défaillance est supposée se produire au début de la phase de surveillance, période à laquelle l'inventaire radiologique reste maximal (peu de décroissance radioactive depuis le stockage des déchets radioactifs).



Illustration 115 : mise en place des matériaux sur les talus (à gauche), installation des chambres de drainage (à droite) et pose de la membrane bitumineuse (au fond) en 1995



Le calcul hydraulique montre que seuls quelques ouvrages situés au sud du Centre de stockage de la Manche sont affectés par la remontée de la nappe (voir figure ci-contre).

L'impact dosimétrique n'excède pas 0,10 mSv/an dans toutes les situations. Il est induit par l'uranium 234 et 238, le carbone 14 et l'argent 108m.

Illustration 116 : mise en eau d'ouvrages de stockage suite à une remontée de la nappe phréatique basée sur sa recharge millénaire

4.4.5 L'EVALUATION DU RISQUE D'ARRET DE LA SURVEILLANCE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

Il est prévu deux phases de surveillance du Centre de stockage de la Manche :

- une phase de surveillance active durant laquelle l'exploitant maintiendra les installations et surveillera leurs impacts sur l'environnement : cette première phase commencée en 2003 peut durer plusieurs décennies ; elle doit également permettre de réduire progressivement le système d'interventions de sorte à arriver progressivement à la phase suivante ;
- une seconde phase de surveillance plus passive durant laquelle l'exploitant restera présent sur le site aussi longtemps que possible et maintiendra des mesures de surveillance de l'environnement : cette seconde phase devrait durer plusieurs siècles.

Il est exclu que le site soit banalisé dès la fin de sa surveillance pour quelque usage que ce soit. Seul un bouleversement de société pourrait entraîner une absence prématurée de cette surveillance du site. Néanmoins, même en situation sociétale « normale », la fin de la phase de surveillance passive sera sans doute inéluctable. La phase qui s'ensuivra est appelée phase de « post-surveillance » (au sens du cadre réglementaire de la demande d'autorisation de passage en phase de surveillance). En prévision de cette phase, deux dispositifs sont prévus pour empêcher ou réduire le risque d'intrusion humaine : des servitudes d'utilité publique mentionnées au cadastre et des dispositions de conservation de la mémoire du site dont le présent document fait partie.

Néanmoins, malgré ces dispositions, les conséquences d'un arrêt de la surveillance survenant à 300 ans après le début de la phase de surveillance ont été étudiées. Pour évaluer ce risque, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- la première et la deuxième barrière de confinement n'offrent plus aucune résistance à une intrusion humaine,
- la membrane bitumineuse ne joue plus aucun rôle,
- les réseaux de drainage ne fonctionnent plus,
- l'infiltration de l'eau dans le stockage est égale à celle du terrain naturel, soit 355 mm/an,
- les matériaux du stockage, supposés suffisamment vieillis, sont homogènes et isotropes,
- la zone non saturée sous le stockage, dont l'effet est de retarder l'atteinte éventuelle des radionucléides dans la nappe, n'est pas prise en compte.

Avec ces hypothèses très défavorables et dans une telle succession d'événements très majorants des phénomènes réels et très pénalisants, l'impact calculé à 300 ans après le début de la phase de surveillance atteint 0,48 mSv/an. Il est dû pour l'essentiel aux radionucléides à vie longue : radium 226, argent 108m et technétium 99.



Illustration 117 : répartition du radium 226 (en GBq à la réception) dans les ouvrages

L'étude de sensibilité de l'impact radiologique de ce scénario d'arrêt de la surveillance prend en compte des hypothèses plus pessimistes :

- la destruction totale des deux premières barrières de confinement seulement 100 ans après le début de la phase de surveillance : l'impact maximal calculé est alors de 3 mSv et il est dû au strontium 90,
- la destruction totale des deux premières barrières de confinement 160 ans après le début de la phase de surveillance : l'impact maximal calculé reste alors inférieur à 1 mSv/an.

Au niveau de l'impact des toxiques chimiques, leur concentration maximale a été évaluée à la confluence des ruisseaux de la Sainte-Hélène et du Grand Bel 300 ans après le début de la phase de surveillance. Ces concentrations maximales sont évaluées à 7,8 µg/l pour le plomb, 37,3 µg/l pour le nickel et 1,1 µg/l pour le cadmium, ce qui reste sous le seuil de potabilité qui est de 50 µg/l pour le plomb, 50 µg/l pour le nickel et 5 µg/l pour le cadmium.

En plus de l'évaluation des concentrations chimiques dans l'eau, une étude d'impact sanitaire a été menée selon une méthodologie éprouvée (celle de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques). Cette étude met en évidence :

- l'absence d'impact sanitaire en regard des effets non cancérogènes (effets à seuil) en phase de surveillance et de post-surveillance,
- le cadmium (élément le plus cancérogène) entraîne un risque maximal d'excès cancérogène de 1,7 pour 1 million en phase de post-surveillance.

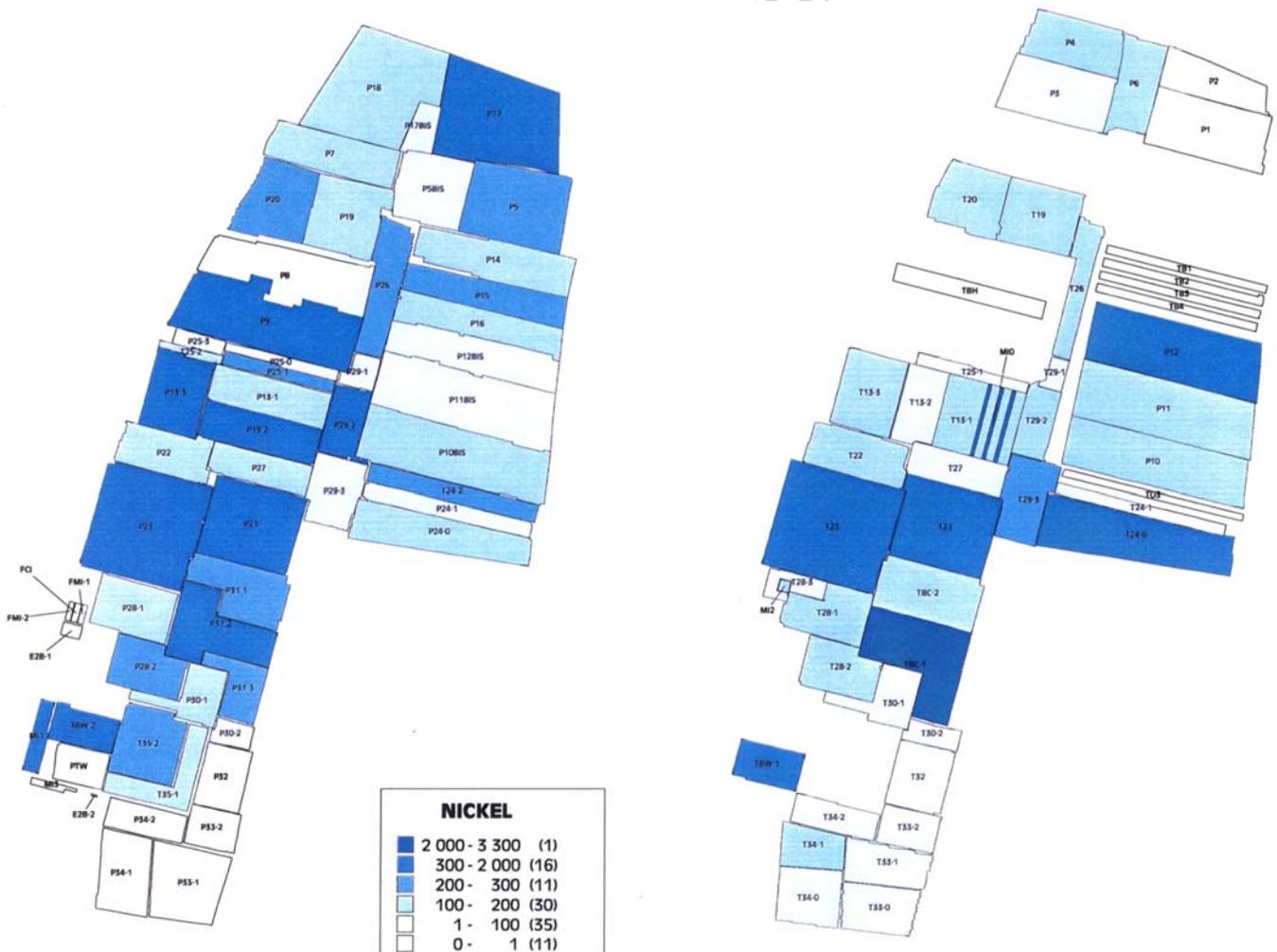


Illustration 118 : répartition du nickel (en kg), en tant que toxique chimique, dans les ouvrages de stockage

4.4.6 L'ÉVALUATION DU RISQUE D'INTRUSION HUMAINE

Les risques d'intrusion humaine qui pourraient survenir malgré les servitudes et les dispositions de conservation de la mémoire du site ont été raisonnablement envisagés 300 ans à partir du début de la phase de surveillance. Ces risques d'intrusion ont été envisagés sous la forme de scénarios conventionnels : un chantier routier au travers du Centre de stockage de la Manche, la construction d'une résidence au-dessus du Centre de stockage de la Manche et des fouilles archéologiques dans le stockage. Ces risques sont décrits dans le tableau ci-après.

Tableau 10 : évaluation de l'impact radiologique pour le risque d'intrusion humaine dans le stockage 300 ans après le début de la phase de surveillance

Cause possible	Conséquences possibles	Dispositions de prévention	Limitation des conséquences	Évaluation de l'impact radiologique
Chantier routier traversant le Centre	Contamination des travailleurs : inhalation de poussières et exposition externe	Mémoire à long terme Présence de servitudes Non prédisposition de la situation géographique du Centre Qualité des barrières : même dégradé, le béton armé des ouvrages limite le risque d'intrusion humaine L'épaisseur de couverture limite le risque de réalisation d'une route en profondeur	« Dilution » de l'activité stockée avec le matériau de remplissage des ouvrages et la couverture	Le dommage radiologique est de 1 mSv à 300 ans (pour une durée d'exposition de 19 heures) Une étude de sensibilité sur la date d'occurrence du scénario (5 000 ans), la longueur du chantier, le facteur de remise en suspension et la teneur en déchets des matériaux creusés montre que l'impact varie entre 0,3 et 3 mSv avec des paramètres volontairement pénalisants
Zone résidentielle Jeux d'enfants (après chantier routier)	Contamination des habitants : inhalation et exposition externe	Mémoire à long terme Présence de servitudes	Épaisseur suffisante de couverture et choix des matériaux qui la constituent	Zone résidentielle : 1,2 mSv/an principalement dû au radium 226 par exposition externe Jeux d'enfants : 3 mSv/an dû en majeure partie au plutonium 239 et 240, à l'américium 241 et au radium 226.
Fouille archéologique	Contamination cutanée, ingestion, inhalation et exposition externe de l'individu	Mémoire à long terme Présence de servitudes	Activité massique alpha restreinte et difficilement accessible	Découverte d'un colis sans contact direct avec son contenu (individu situé à 1 m du colis pendant 2 heures) : 94 mSv dû au radium 226. Individu présent pendant 1h30 autour des déchets puis qui manipule pendant 30 minutes le contenu d'un colis dont l'enveloppe se serait dégradée : 197 mSv



Illustration 119 : archéologue au travail



Illustration 120 : chantier routier en cours

Par ailleurs, les conséquences de la mise à nu de colis à la suite d'un glissement de talus en bordure du Centre de stockage de la Manche en phase de post-surveillance ont été étudiées. Dans le scénario envisagé, le colis a une activité supérieure à 3 700 GBq/t en émetteurs alpha (ce type de colis ayant été stocké entre 1969 et 1984) :

- si un individu peut se trouver à proximité de ce type de colis de déchets intact (à une distance d'un mètre pendant trois heures), son impact dosimétrique atteint 141 mSv et cet impact est principalement dû au radium 226,
- si un individu peut se trouver à proximité de ce type de colis de déchets éventré (à une distance d'un mètre pendant trois heures puis manipule le contenu pendant 30 minutes en ne se lavant les mains que six heures après), son impact dosimétrique atteint 165 mSv et cet impact est aussi principalement dû au radium 226.



Illustration 121 : stockage de déchets radioactifs en caissons métalliques (premier plan) et en fûts métalliques (arrière plan) avec déchargement des camions au sein de la zone de stockage en 1973

Ces résultats montrent que c'est une intrusion de type « archéologique » au sein du stockage qui présente les risques les plus importants avec des doses assez nettement supérieures au seuil minimum réglementaire applicable pour le public (1 mSv/an), sans pour autant être « dramatiques ». Ces risques doivent néanmoins être mis en regard de leur faible probabilité (de l'ordre de 10^{-4}), très peu de colis de ce type étant accessible en premier. Il convient néanmoins de réduire au minimum ce risque d'intrusion en maintenant aussi longtemps que possible une clôture et un gardiennage minimal. Le dernier rempart contre l'intrusion (mais qui couvre peu le risque d'une intrusion humaine isolée quand le site ne sera plus gardienné) consiste en des servitudes déposées au cadastre et les présentes dispositions relatives à la mémoire à long terme.

5 LA PHASE DE SURVEILLANCE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

5.1 LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

5.1.1 INTRODUCTION

La surveillance générale du Centre de stockage de la Manche, notamment de ses rejets, a pour objectifs :

- de vérifier le respect des exigences réglementaires, en particulier en matière de radioprotection du personnel intervenant sur le site et du public,
- de suivre les impacts radiologique et chimique du stockage sur le Centre de stockage de la Manche, mais aussi sur son environnement, par rapport à son état de référence,
- de détecter au plus tôt toute situation ou évolution anormale afin d'en localiser et d'en identifier les causes et, si nécessaire, de pouvoir en traiter les effets, voire les causes elles-mêmes.

Cette surveillance s'appuie sur des critères simples mais exhaustifs visant à réduire au minimum les contraintes de surveillance pour les générations futures. L'ensemble des contrôles est réalisé dans le cadre d'un plan réglementaire de surveillance soumis à l'Autorité de sûreté nucléaire. Ces contrôles s'appuient principalement sur des mesures de radioactivité sur le Centre de stockage de la Manche et sur son environnement, des contrôles d'accès dans les différentes zones classées, des mesures climatologiques et hydrologiques, des contrôles de comportement de la couverture et des ouvrages (suivi des tassements, des déformations ...), des contrôles volumétriques sur les réseaux du Centre de stockage de la Manche, et des mesures de hauteur de la nappe phréatique.



Illustration 122 : sentier et environnement proche du Centre de stockage de la Manche en 2005



Illustration 123 : château dans l'environnement proche du Centre de stockage de la Manche en 2006

5.1.2 LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE

Au sens de l'article 15 du décret 75-306 du 28 avril 1975 modifié relatif à la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants dans les installations nucléaires de base, deux types de zones ont été définis lors du passage en phase de surveillance

- des zones à accès réglementé incluant les zones surveillées et contrôlées (galeries du réseau séparatif gravitaire enterré, certains locaux du bâtiment des bassins, les chambres de drainage de la couverture),

- des zones à accès non réglementé : elles comprennent tout le reste du Centre de stockage de la Manche, c'est à dire le dessus de la couverture, les voiries, le bâtiment d'accueil du public, les chambres pluviales ...

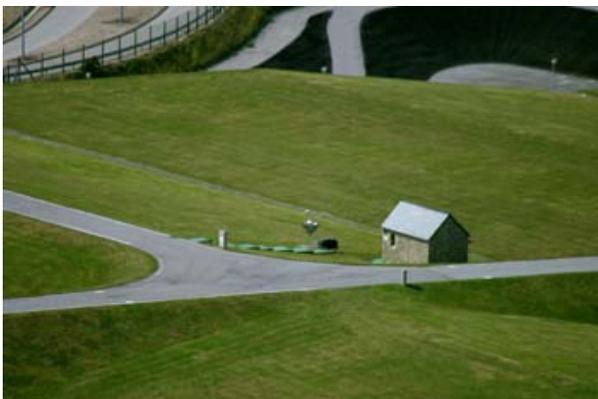


Illustration 124 : station atmosphérique de contrôle radiologique de l'air ambiant au Centre de stockage de la Manche en 2001

La protection individuelle des travailleurs est essentiellement assurée par la surveillance individuelle médicale effectuée par un laboratoire agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire. Elle porte sur la dosimétrie individuelle, éventuellement collective pour les visiteurs, le contrôle des matériels de radioprotection, les contrôles d'accès dans les différentes zones classées, le contrôle d'absence de contamination du personnel en sortie de zone contrôlée. Les dispositions de radioprotection en vigueur sur le Centre de stockage de la Manche sont principalement liées à la présence de radon dans certaines zones, en particulier dans les galeries du réseau séparatif gravitaire enterré. En regard du risque lié au radon, la ventilation de ces galeries, voire des chambres de drainage de la couverture, est systématiquement mise en service avant intervention humaine.

5.1.3 LA SURVEILLANCE DE LA COUVERTURE

La surveillance de la couverture a pour objectif de s'assurer du maintien de ses performances d'étanchéité. Cette surveillance comprend des contrôles visuels, des contrôles topographiques, des contrôles par prélèvements et des contrôles hydrauliques. Par ailleurs, la surveillance radiologique et chimique participe indirectement à la surveillance de la couverture car elle permet de diagnostiquer une éventuelle défaillance de celle-ci en cas de dissémination de substances radioactives ou chimiques.



Illustration 125 : prélèvement d'herbes sur la couverture pour analyses radiologiques en 2003

La surveillance de la couverture a pour objectif de s'assurer du maintien de ses performances d'étanchéité. Cette surveillance comprend des contrôles visuels, des contrôles topographiques, des contrôles par prélèvements et des contrôles hydrauliques. Par ailleurs, la surveillance radiologique et chimique participe indirectement à la surveillance de la couverture car elle permet de diagnostiquer une éventuelle défaillance de celle-ci en cas de dissémination de substances radioactives ou chimiques.



Illustration 126 : repères de suivi d'un tassement de la couverture (piquets alignés) et récupérateur d'eau pour comparer l'analyse radiologique de l'eau de pluie avec celle qui stagne dans le tassement en 2003

Les contrôles visuels d'aspect de la couverture comprennent l'observation externe de la surface de la couverture, de l'état des murs et des ouvrages visitables, l'observation interne des réseaux de canalisation et de drainage par caméra vidéo, l'observation visuelle des ouvrages sous-jacents à la couverture via les galeries du réseau séparatif gravitaire enterré.

Les contrôles topographiques du Centre de stockage de la Manche et de ses abords sont effectués par le biais de plus de 600 repères matérialisés par des petits plots en béton répartis sur la surface de la couverture. Des prises de vue aériennes périodiques de l'ensemble de ces repères jusqu'à la fin des années 1990, puis des mesures topographiques au sol permettent d'en mesurer précisément la position en coordonnées X, Y, Z. Par comparaison des résultats entre les campagnes de mesures, ces contrôles permettent de détecter les mouvements de terrain dont la nature et l'amplitude pourraient conduire à une dégradation des qualités d'étanchéité de la couverture.

Un programme de prélèvements d'échantillons de la membrane bitumineuse in situ est mis en œuvre tous les 5 à 10 ans afin de mesurer ses caractéristiques mécaniques et de déterminer son état de contrainte, son étanchéité et son vieillissement.

Les contrôles hydrauliques ont pour but de surveiller le comportement hydraulique du complexe multicouche de la couverture. Ces contrôles périodiques permettent de mettre en évidence d'éventuelles anomalies, notamment un débit anormalement élevé des drains sous membrane, et de les localiser grâce au réseau de drainage.

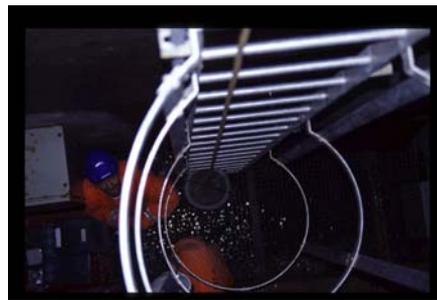


Illustration 127 : prélèvement d'échantillon dans une chambre de drainage en 1998

La surveillance radiologique et chimique de la nappe phréatique au droit du Centre de stockage de la Manche et des eaux collectés par le réseau séparatif gravitaire enterré participe au contrôle des qualités d'étanchéité de la couverture par la vérification d'absence de dissémination anormale de substances radioactives ou chimiques.

5.1.4 LA SURVEILLANCE DES REJETS DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

Le réseau pluvial récupère les eaux de surface et une fraction des eaux de drainage sur et éventuellement sous la membrane en cas de débit important. Ces eaux sont collectées dans la chambre de mesure globale et sont ensuite dirigées vers le bassin d'orage avant d'être évacuées suivant un débit régulé dans la Sainte-Hélène. Ces eaux collectées sont contrôlées en termes de volumes rejetés et de qualité physico-chimique (radiologique et chimique). Par ailleurs, les boues sédimentées dans cette chambre font l'objet d'une analyse radiochimique annuelle par spectrométrie alpha et gamma.



Illustration 128 : prélèvement d'eau dans le ruisseau de la Sainte-Hélène pour analyse en 1999



Illustration 129 : prélèvement de végétaux dans le ruisseau des Roteures pour analyse en 1997

Le bac du séparatif est l'exutoire des « effluents à risques ». Il reçoit les eaux de drainage de la couverture sur et sous membrane (avec un risque de marquage en tritium en cas de débits faibles), exceptée la fraction déviée vers la chambre de mesure globale en cas de débit important (voir paragraphe ci-dessus), les eaux du réseau séparatif gravitaire enterré après transit dans une cuve de stockage, les eaux des réseaux de drainage profond de la galerie du réseau séparatif gravitaire enterré et des murs nord et est du bâtiment des bassins, et les effluents produits par l'exploitation du bâtiment des bassins. Ces eaux font l'objet d'une mesure de volume et de contrôles physico-chimiques (radiologiques et chimiques) périodiques.

Les « eaux pluviales » du Centre de stockage de la Manche rejoignent les eaux pluviales d'Areva, centre de La Hague, au limnigraphe¹⁷ de contrôle, avant déversement dans le ruisseau de la Sainte-Hélène. Au niveau du limnigraphe est effectué en continu un contrôle radiologique alpha et bêta ainsi qu'une prise d'échantillons pour les mesures chimiques et radiologiques de confirmation. Le débit d'écoulement est mesuré en continu au limnigraphe avant déversement dans le ruisseau de la Sainte-Hélène.

Après transfert vers les réseaux d'Areva, centre de La Hague, les effluents du Centre de stockage de la Manche sont mélangés aux effluents de la même catégorie d'Areva, centre de La Hague, puis rejetés dans le milieu naturel. Par analogie, les « effluents à risques » du Centre de stockage de la Manche rejoignent les réseaux à risques de d'Areva, centre de La Hague, avant transfert dans des bacs puis rejet par l'émissaire marin. A ce niveau, Areva, centre de La Hague, assure un contrôle global des effluents rejetés en mer.



Illustration 130 : prélèvement pour analyse de sédiments dans le ruisseau du Grand Bel en 2001

5.1.5 LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE



Illustration 131 : prélèvement pour analyse de sédiments dans le ruisseau de la Sainte-Hélène en 2003

La surveillance radiologique et chimique de l'environnement du Centre de stockage de la Manche s'appuie sur un ensemble de mesures portant sur tous les compartiments de l'écosystème terrestre, aquatique et marin. Les contrôles portent sur l'air atmosphérique, l'eau de pluie, la nappe phréatique au droit du Centre de stockage de la Manche et dans son environnement, les eaux et sédiments des cours d'eau (les ruisseaux de la Sainte-Hélène, du Grand Bel et des Roteurs), les végétaux et le lait, l'eau et les sédiments marins, la faune marine.

Les paramètres météorologiques mesurés sont la vitesse moyenne et la vitesse maximale instantanée du vent, la direction du vent, la turbulence de l'air, la pluviométrie (intensité et hauteur d'eau), l'humidité de l'air et la température sous abri. Des mesures de la radioactivité de l'air portent sur les poussières (un prélèvement d'air par passage sur filtre permet, après décroissance des éléments naturels, de mesurer les activités volumiques alpha et bêta), le tritium, et les concentrations atmosphériques en radon. La surveillance atmosphérique comporte également un contrôle de l'eau de pluie pour mesurer son activité alpha et bêta, et sa teneur en tritium et en potassium.

¹⁷ Le limnigraphe est un appareil de mesure des hauteurs d'eau qui permet leur enregistrement en continu

Le ruisseau de la Sainte-Hélène, exutoire naturel des « eaux pluviales » du Centre de stockage de la Manche, et les autres ruisseaux situés en aval du Centre sont contrôlés en plusieurs points localisés sur la figure ci-dessous.

Les contrôles sont constitués de la mesure des débits, des mesures de la radioactivité et de l'eau et des sédiments, et des analyses chimiques de l'eau.



Illustration 132 : points de contrôle des ruisseaux en aval du Centre de stockage de la Manche

La surveillance des rejets d'effluents radioactifs en mer est effectuée par Areva, centre de La Hague, après mélange avec ses propres rejets (la part du Centre de stockage de la Manche est très faible). Cette surveillance comprend des mesures de radioactivité de l'eau de mer (divers points au sud-ouest et au nord-ouest du cap de La Hague), de sable de plage (entre Granville et Barfleur) et de sédiments marins (entre Granville et la baie de Seine), des algues, des

crustacés (tourteaux), des coquillages (huîtres, moules, patelles) et des poissons côtiers (poissons plats et poissons ronds).

Outre les rejets d'effluents dont la surveillance est décrite précédemment, les eaux souterraines circulant au droit du Centre de stockage de la Manche constituent un vecteur potentiel de radioactivité en cas de défaillance des deux premières barrières de confinement (colis, ouvrages et couverture). Dans une telle situation, les propriétés géologiques de la troisième barrière de confinement permettraient, par retard à la migration des éléments radioactifs dans le terrain, de maintenir l'impact radiologique résultant à un niveau acceptable.

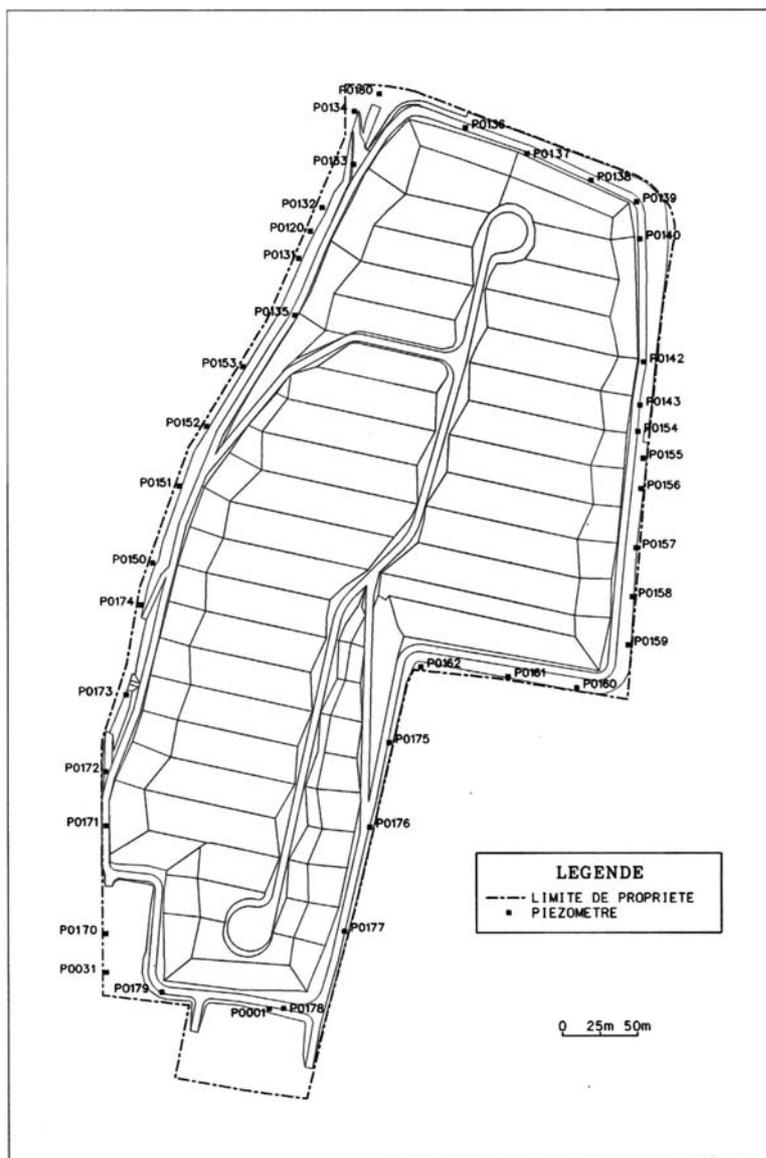


Illustration 133 : réseau des piézomètres internes au Centre de stockage de la Manche

La nappe phréatique fait donc l'objet d'une surveillance spécifique à partir de prélèvements effectués dans des forages appelés piézomètres. Une soixantaine de piézomètres situés en périphérie du Centre et à l'extérieur sont exploités par le Centre de stockage de la Manche. Par ailleurs, une cinquantaine d'autres piézomètres situés dans le proche environnement du Centre de stockage de la Manche sont exploités par Areva, centre de La Hague, qui en communique les résultats. La localisation des piézomètres internes est donnée sur la figure ci-contre.



Illustration 134 : prélèvement dans un piézomètre en 2004

5.2 LE GARDIENNAGE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE



Illustration 135 : poste de gardiennage en 2006 (intégré au bâtiment d'accueil du public qui est aussi le bâtiment des bureaux du personnel)

Le gardiennage du Centre de stockage de la Manche comprend essentiellement la surveillance anti-intrusion sur le site, la surveillance des reports d'informations centralisées, en particulier des alarmes techniques, et la gestion des accès sur le Centre. Des moyens techniques de surveillance et de communication viennent en appui : un ensemble de caméras de surveillance disposées dans les zones du bâtiment d'accueil du public et du bâtiment des bassins, un système de centralisation et de report d'alarmes installé au poste de garde du bâtiment d'accueil du public, et des systèmes de communication radio.

5.3 LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS

La maintenance préventive des installations du Centre de stockage de la Manche comprend essentiellement : l'entretien des voiries, l'entretien du couvert végétal de la couverture, l'entretien du bâtiment des bassins et des galeries du réseau séparatif gravitaire enterré, l'entretien du bâtiment d'accueil du public, la vérification et les contrôles réglementaires des installations électriques et des équipements de surveillance.



Illustration 136 : désordre en mars 2007 (légers tassements et glissement en sommet de talus)

Des opérations de maintenance curative sont mises en œuvre en cas de « désordre » nécessitant une remise en état. Ces « désordres » peuvent affecter l'état de surface de la couverture, l'intégrité de la membrane bitumineuse en cas de tassements importants des ouvrages, les réseaux de surface ou les réseaux de drainage. Dans ces cas de figure, les modalités de réparation font l'objet d'une procédure de réparation spécifiquement établie en fonction de la nature des « désordres » observés et du diagnostic de la situation.

Les maintenances préventive ou curative du Centre de stockage de la Manche sont donc relativement restreintes (notamment par rapport à une installation industrielle classique) car aucune installation ne présente un risque potentiel important pour l'environnement ou les travailleurs. L'objectif est d'ailleurs d'aboutir à terme à une solution la plus passive possible afin de réduire cette maintenance dans les années à venir.

5.4 L'INFORMATION DES POPULATIONS

Le décret 90-918 du 11 octobre 1990 relatif à l'exercice du droit à l'information sur les risques majeurs, pris en application de la loi 87-565 du 22 juillet 1987, fixe le contenu et la forme des informations auxquelles doivent avoir accès les personnes susceptibles d'être exposées à des risques majeurs, ainsi que les modalités selon lesquelles les informations sont portées à la connaissance du public.



Illustration 137 : visite du public près de la station météorologique en 2002



Illustration 138 : exposition « 100 ans d'histoire industrielle dans le Cotentin » au bâtiment d'accueil du public en 2000

Les moyens utilisés pour informer périodiquement la population et les collectivités locales au voisinage du site sur l'état du Centre de stockage de la Manche sont :

- des supports de communication divers :
 - des plaquettes descriptives du Centre de stockage de la Manche, notamment celle qui présente les résultats des mesures radiologiques et non radiologiques effectuées sur le site et sur son environnement, et des brochures consacrées à l'Andra et à la gestion des déchets radioactifs,
 - un journal d'information régulièrement distribué,
 - des communiqués de presse régulièrement diffusés dans la presse locale et régionale
- des réunions périodiques avec les élus locaux,
- l'accueil direct du public soit au bâtiment d'accueil du public aménagé à l'entrée du site, soit par des visites des installations à la demande, soit par des journées portes ouvertes,
- un site Internet qui permet de s'informer sur le Centre de stockage de la Manche de n'importe quel point du globe.

Par ailleurs, une « Commission de surveillance du Centre de stockage de la Manche » (CSCM) a été créée par arrêté préfectoral du 18 décembre 1996. Cette commission réunit des représentants de l'Etat, des élus, les administrations et les associations concernées. Elle a pour mission de se prononcer formellement chaque année sur le fonctionnement du Centre de stockage de la Manche et d'assurer l'information des populations. Son rôle consiste également à donner un avis sur toutes les modifications qui seraient apportées au Centre de stockage de la Manche.

6 LES IMPACTS PREVISIONNELS DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE SUR SON ENVIRONNEMENT EN SITUATION NORMALE EN TERMES DE DEVELOPPEMENT DURABLE

6.1 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LE MILIEU TERRESTRE

6.1.1 INTRODUCTION

Le Centre de la Manche n'aura aucune incidence sur la climatologie et la géologie locales. L'influence sur la topographie locale est réduite (les pans actuels en forme de toits engazonnés) et ne devrait pas évoluer beaucoup au fil des décennies (quelques tassements, voire une « friche » de surface si l'entretien des pans n'était plus assuré). Les seuls impacts prévisionnels sur le milieu terrestre concernent l'hydrogéologie, la biologie (faiblement) et la radio écologie.

6.1.2 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR L'HYDROGEOLOGIE

Les régimes d'écoulement de la nappe phréatique sont soumis à l'influence des précipitations, des conditions d'infiltration dans le terrain, liées à la nature et aux propriétés hydrauliques des surfaces exposées aux intempéries, des caractéristiques hydrogéologiques des formations géologiques situées dans l'environnement du Centre de stockage de la Manche, et des éventuelles opérations de pompage dans la nappe phréatique.

En phase de surveillance, le Centre de stockage de la Manche est assimilable à une surface étanche d'environ 15 hectares (couverture, bâtiments, voiries et parking) au droit de laquelle l'infiltration vers la nappe phréatique est quasi nulle (de quelques l/m²/an, sauf incident sur l'imperméabilité de la couverture). Pour autant, le déficit progressif de réalimentation de la nappe phréatique que cette imperméabilisation entraîne a une influence limitée devant la recharge des zones naturelles environnantes : le site fait 15 hectares par rapport aux 95 hectares du bassin versant concerné.

En matière de physico-chimie des eaux souterraines, le Centre de stockage de la Manche ne devrait pas à être à l'origine d'une modification significative du milieu. En effet, au regard du risque de dispersion des polluants chimiques contenus dans le stockage, la succession des barrières de confinement évitera un transfert vers la nappe phréatique, sauf incident sur l'imperméabilité de la couverture.



Illustration 139 : construction des premiers bâtiments du Centre de stockage de la Manche en 1969



Illustration 140 : construction des premiers ouvrages de stockage bétonnés en 1975

6.1.3 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LA BIOLOGIE

Le Centre de stockage de la Manche est sans influence sur la faune et la flore du milieu terrestre, malgré ses rejets. En effet, les eaux rejetées dans le ruisseau de la Sainte-Hélène sont des eaux pluviales ayant ruisselé sur la couverture engazonnée du Centre de stockage de la Manche. Ces eaux ne sont donc pas susceptibles de générer de perturbations du biotope environnant, sauf incident sur l'imperméabilité de la couverture. A ce titre, il faut éviter toute plantation de végétation ligneuse afin de prévenir d'éventuelles perforations de cette couverture, d'où l'intérêt de maintenir et d'entretenir une végétation herbacée. Bien que la couverture ait été conçue pour résister aux animaux fouisseurs (présence d'une couche de schistes), il sera quand même prudent d'éviter qu'ils ne pénètrent sur le site, d'où l'intérêt de maintenir une clôture et un minimum de gardiennage.



Illustration 141 : Centre de stockage de la Manche en exploitation en 1979

6.1.4 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LA RADIO ECOLOGIE

Le Centre de stockage de la Manche aura peu d'influence sur la radio écologie terrestre. En effet, les dispositions retenues pour la gestion des rejets résultent du souci permanent de compléter les dispositifs de confinement de la radioactivité. La configuration du site permet de contrôler les flux d'eau rejetés en fonction de leurs caractéristiques radiologiques. L'état de référence du site (voir le paragraphe 2.2) n'est donc pas susceptible d'évoluer de façon marquante. Il convient néanmoins de rester vigilant sur quelques points :

- les transferts gazeux (inodores) par la diffusion lente de radon et de tritium, notamment sur le dessus de la couverture (via ses chambres de drainage), le terrain naturel sous-jacent et la nappe phréatique ; il n'y a donc pas de point d'émission unique à ces transferts gazeux ; l'incidence sur la qualité de l'air de ces transferts gazeux s'apprécie principalement à partir de mesures de concentrations volumiques ; ces mesures montrent des concentrations atmosphériques extrêmement faibles qui sont, le plus souvent, équivalentes au « bruit de fond » naturel ou inférieures aux seuils de mesure ; par contre, l'air soufflé par les deux ventilateurs des galeries du réseau séparatif gravitaire enterré

- (ventilateurs mis en fonctionnement uniquement lors d'une intervention humaine dans ces galeries) ressort à l'extérieur par une bouche de sortie située sur le toit de la galerie, au sud-ouest du site : l'activité volumique rejetée en radon est de l'ordre de 10 Bq/m^3 à une distance de 10 à 60 m de l'exutoire, pour des vitesses de vent variant de 0 à 20 m/s ;
- la dosimétrie ambiante en cas de défaillance de la couverture ; en effet, celle-ci constitue un écran aux rayonnements émis par les déchets et l'irradiation résiduelle mesurée sur le Centre de stockage de la Manche et dans son proche environnement est équivalente à l'irradiation naturelle de la région ;
 - la charge en tritium de la nappe phréatique : la décroissance radioactive suite à l'incident de 1976 est plus faible que la période du tritium (12,6 ans) car, via les transferts gazeux, la nappe phréatique se recharge un peu en tritium, ce qui entretient également un certain niveau d'activité en tritium dans les eaux souterraines ; ce niveau sera amené à diminuer progressivement mais restera à surveiller, notamment en cas de défaillance de la couverture ;
 - l'eau potable actuellement disponible n'est pas sous l'influence du Centre de stockage de la Manche, sous réserve de ne pas utiliser à l'avenir l'eau de la nappe phréatique et l'eau des trois ruisseaux comme source potentielle d'eau potable ;
 - la très faible présence du tritium dans le lait diminuera progressivement par la décroissance radioactive de ce radionucléide ; elle s'explique par le fait que des vaches laitières sont susceptibles de s'abreuver dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène et du Grand Bel dans lesquels une présence de tritium demeure suite à l'incident de 1976 et reste mesurée en début de phase de surveillance ;
 - l'impact radiologique sur les pâturages environnants est quasi inexistant, au regard des très faibles transferts gazeux évoqués précédemment.



Illustration 142 : stockage des colis de déchets radioactifs en tumulus en 1986

6.2 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LE MILIEU AQUATIQUE

Le ruisseau de la Sainte-Hélène reçoit les eaux pluviales ayant transité par le bassin d'orage du Centre de stockage de la Manche, en cas de forte pluie. En considérant une contribution supplémentaire annuelle de l'ordre de 60 000 m³ en provenance du Centre de stockage de la Manche, sur la base de précipitations moyennes annuelles de 1 000 mm, les rejets d'eaux du Centre de stockage de la Manche dans le ruisseau de la Sainte-Hélène représenteront environ 1 % du débit moyen du ruisseau à son embouchure (ce débit étant de 80 à 150 l/s). Cette faible contribution est liée à la faible superficie du Centre de stockage de la Manche en regard de la superficie du bassin versant alimentant le ruisseau de la Sainte-Hélène. En ce qui concerne les ruisseaux du Grand Bel et des Roteures, largement alimentés par la nappe phréatique, il n'y aura aucun impact des eaux de pluie, le Centre de stockage de la Manche n'ayant aucun rejet dans ces ruisseaux.



Illustration 143 : stockage de déchets radioactifs en coques béton sur tumulus en 1988

Les sédiments et les végétaux aquatiques du ruisseau de la Sainte-Hélène présentent des traces d'activités artificielles autres que le tritium. Ces activités constituent les traces « fossiles » des marquages anciens des eaux du ruisseau de la Sainte-Hélène liés à des incidents de débordements du réseau séparatif lors de la première phase d'exploitation du Centre de stockage de la Manche. Dans les sédiments, elles décroissent progressivement par effet d'entraînement mécanique des sédiments par l'eau en aval, et par décroissance radioactive. Néanmoins, l'utilisation de ces sédiments et de ces végétaux reste déconseillée.

6.3 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LE MILIEU MARIN

Les effluents rejetés en mer concernant les eaux dites « à risques » collectées au bac du séparatif puis transférées vers l'établissement Areva, centre de La Hague d'où elles sont rejetées vers l'émissaire marin sans subir de traitement particulier. Les volumes prévisionnels annuels recueillis bac du séparatif sont estimés entre 15 000 et 30 000 m³/an (se reporter au paragraphe 3.6.4). La majeure partie des volumes collectés au bac du séparatif provient du réseau de drainage de la couverture sur la membrane bitumineuse, la contribution spécifique du réseau séparatif gravitaire enterré ne représentant que 4 % des volumes collectés sur le Centre de stockage de la Manche.



Illustration 144 : Manche près du Cap de La Hague en 2007

L'impact de ces rejets est :

- peu significatif sur le plan radiologique,
- totalement négligeable sur le régime hydraulique de l'écosystème marin, la sédimentologie marine, la morphologie du littoral, la température de l'eau de mer, et la physico-chimie et la biologie marines, compte tenu du rapport entre le volume d'eau rejeté et le volume marin.

6.4 LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LA SANTE PUBLIQUE

L'impact dosimétrique résultant de situations accidentelles anciennes (en particulier du fait de la présence de tritium dans le ruisseau de la Sainte-Hélène) s'inscrit dans une fourchette de 0,3 à 1,42 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ selon les scénarios envisagés, ce qui représente moins de 0,3 % de la limite de dose fixée par la directive Euratom 96/29 et moins de 0,1 % de la dose due à la radioactivité naturelle. L'utilisation de l'eau à la source du ruisseau Grand Bel conduirait à un impact dosimétrique de l'ordre de 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, lui aussi très inférieur à la limite acceptable.

Le calcul de l'impact dosimétrique des rejets d'effluents en mer conduit à une dose de l'ordre de 0,001 $\mu\text{Sv}/\text{an}$: cette dose est négligeable en regard de la réglementation et de la radioactivité naturelle.

Dans les années 1990, plusieurs organismes internationaux ont proposé des modèles permettant, à partir d'une dose reçue en un temps donné, de calculer l'excès de cancers, par rapport aux cancers non induits par la radioactivité, attendus dans une population. L'une de ces méthodes est décrite dans la publication numéro 60 (en 1990) de la Commission internationale pour la protection radiologique (CIPR). Elle est basée sur un modèle fondé sur le suivi de la mortalité entre 1950 et 1985 sur des survivants des explosions atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki lors de la guerre mondiale de 1939-1945.

Pour calculer l'impact sanitaire du Centre de stockage de la Manche, on considère un individu de référence passant l'intégralité de sa vie (jusqu'à 99 ans) à Goury (extrémité du cap de La Hague) et exerçant une activité de pêcheur à l'âge adulte. Les doses auxquelles cet individu est soumis sont successivement égales à 0,0023 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ quand il est jeune et à 0,0092 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ quand il est adulte. La probabilité que cet individu contracte un cancer radio induit pendant toute sa vie est de $5 \cdot 10^{-8}$ (tous types de cancers confondus). Le risque de décès associé est de $4 \cdot 10^{-8}$. Même en utilisant des modèles plus pénalisants qui prennent pour hypothèse la possibilité d'effets même pour des doses extrêmement faibles, le risque d'incidence de cancer est lui-même particulièrement bas : de l'ordre de 5 sur 100 millions pour un individu de

référence, pour des rejets situés au maximum de ceux autorisés, sachant que dans la pratique les rejets réellement mesurés sont inférieurs à ces maximums.

Si l'individu de référence est agriculteur à proximité du Centre de stockage de la Manche et qu'il utilise l'eau du ruisseau de la Sainte-Hélène pour l'irrigation de son jardin potager et l'abreuvement de ses animaux d'élevage, cet individu est soumis à une dose de $0,3 \mu\text{Sv}/\text{an}$. Si l'on suppose que cet individu est soumis à cette dose pendant toute sa vie, la probabilité de contracter un cancer radio induit sur sa vie entière est de $1,7 \cdot 10^{-6}$ et le risque de décès associé est de $1,4 \cdot 10^{-6}$.

Les deux risques de décès par cancer radio induit évoqués ci-dessus, ramenés à la même échelle de 1 sur 1 million, soit $0,04 \cdot 10^{-6}$ pour un pêcheur à Goury et $1,4 \cdot 10^{-6}$ pour un agriculteur à côté du centre, sont à comparer à d'autres risques de décès (source 1996) : de l'ordre de $3\,068 \cdot 10^{-6}$ pour tous types de cancer, $2\,802 \cdot 10^{-6}$ pour tous types d'accident cardiovasculaire et $572 \cdot 10^{-6}$ par tous les autres types d'accident.



Illustration 145 : Centre de stockage de la Manche en 1989
(vu de l'arrière, entrée au fond)



Illustration 146 : Centre de stockage de la Manche en 1999
(vu de l'arrière, entrée au fond)

7 LA MEMOIRE DETAILLEE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

7.1 INTRODUCTION

La mémoire du Centre de stockage de la Manche se présente sous deux formes répondant à deux finalités distinctes :

- une mémoire de synthèse, le présent document, destiné principalement à la population locale et à ses représentants (élus, chambres consulaires, associations ...), donc avec une assez large diffusion ; son objectif est de disposer d'un document de synthèse assez facile à lire et plaisant à feuilleter (d'où les nombreuses illustrations) pour conserver un minimum d'éléments sur la vie du Centre de stockage de la Manche (de sa création à sa surveillance) et ses impacts à long terme ; cette mémoire de synthèse est l'ultime rempart contre des intrusions intempestives ; en revanche, elle n'est pas suffisamment complète pour comprendre d'éventuels phénomènes complexes qui pourraient survenir, encore moins pour engager des travaux ayant une incidence sur le stockage ;
- une mémoire détaillée qui a pour finalité de répondre de façon précise à toute question précise sur le Centre de stockage de la Manche, notamment pour comprendre d'éventuels phénomènes complexes qui pourraient survenir, leur trouver les meilleures solutions en fonction de la configurations du site et de ses installations, et pour engager des travaux ayant une incidence sur le stockage.

Communiquer aux générations futures des informations pertinentes sur un centre de stockage de déchets radioactifs, qui plus est pendant près de trois à cinq siècles tel a été le challenge lancé aux équipes de gestion documentaire et d'archivage au début des années 1980.

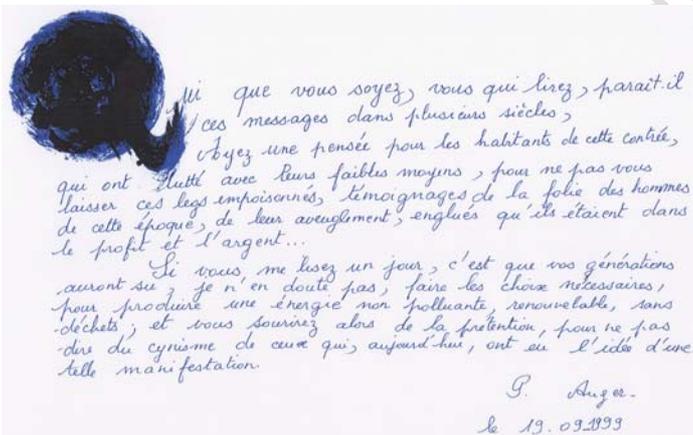


Illustration 147 : message destiné aux générations futures défavorable à l'énergie nucléaire

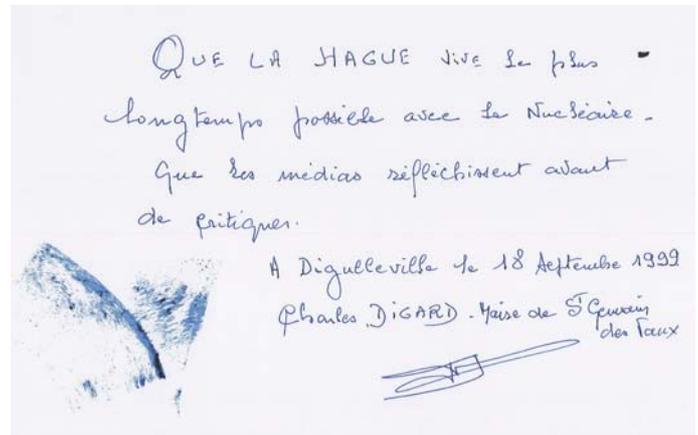


Illustration 148 : message destiné aux générations futures favorable à l'énergie nucléaire

Illustration 149 : messages destinés aux générations futures écrits sur papier permanent par des visiteurs, enfants et adultes, lors de la journée porte ouverte du 19 septembre 1999 consacrée à la mémoire du Centre de stockage de la Manche (plus de 150 pages de cette sorte figurent dans le vingt-deuxième document de la mémoire détaillée). Les deux exemples choisis montrent la controverse relative à l'énergie nucléaire.

Il aura fallu plus de vingt ans de réflexions et d'efforts, pour rassembler les documents, imaginer des scénarios de besoin en informations pour le futur, trier et sélectionner les documents par rapport à ces scénarios pour aboutir à un premier versement le 08 janvier 2004. Vingt ans pour plus de 10 000 heures de travail et plus de 4 millions de francs français (base 1998) de sous-traitances et d'achats. Vingt ans pour préparer 617 boîtes d'archives pour 8 081 documents de toutes tailles, complétées de 2 653 plans et schémas, soit un total de presque

500 000 pages, le tout copié en deux exemplaires sur un papier dit « permanent¹⁸ », celui qui offre la meilleure pérennité sur le long terme en ce début des années 2000.

Trop ou trop peu ? Pertinent ou non par rapport aux besoins durant ces siècles ? Ces questions lancinantes ont hanté les esprits des équipes durant ces vingt années de préparation. Seuls les lecteurs des générations futures pourront y répondre.

7.2 LE VERSEMENT INITIAL DE LA MEMOIRE DETAILLEE

Le versement initial évoqué précédemment a été hiérarchisé selon trois niveaux pour faciliter l'accès aux informations :

- des documents, peu nombreux, courts et faciles à lire pour comprendre les motivations et la logique de cette mémoire à long terme,
- des listes et un glossaire pour faciliter la recherche d'informations,
- les documents et les plans porteurs des connaissances nécessaires.



Illustration 150 : duplication sur papier permanent d'une sélection d'originaux pour constituer la mémoire détaillée du Centre de stockage de la Manche en 1998



Illustration 151 : vérification de la duplication sur papier permanent d'une sélection d'originaux pour constituer la mémoire détaillée du Centre de stockage de la Manche en 1998

La mémoire détaillée se compose de trois niveaux :

- le niveau 1 pour comprendre, avec les documents suivants :
 - une présentation générale de la mémoire détaillée (document 01 : DOC.NSY.ADSQ.03.240/A) pour comprendre les objectifs, la logique d'ensemble et la finalité en termes de sûreté,
 - la structuration de la mémoire détaillée (document 02 : DOC.NSY.ADSQ.03.241/A) pour comprendre les trois niveaux évoqués ci-dessus, les compléments périodiques et leurs interactions,
 - les méthodes de recherche au sein de la mémoire détaillée (document 03 : DOC.NSY.ADSQ.03.242/A) pour comprendre les méthodes les plus aisées qui ont été prévues pour faciliter les recherches d'informations,
 - l'historique de la mise en place de cette mémoire détaillée (document 04 : DOC.NSY.ADSQ.03.243/A) pour comprendre les grandes étapes des vingt ans qui ont abouti au versement initial,

complétés de documents permettant d'approfondir l'histoire du centre de stockage :

- « Le chemin parcouru : vingt-cinq ans du Centre de stockage de la Manche (du premier colis en 1969 au dernier en 1994) » (document 05 :

¹⁸ Voir définition en annexe 2

- la liste des documents classés par mot clé (document 11 : DOC.LI.ADSQ.03.250/A) pour rechercher des documents par un ou plusieurs des 83 mots clés sélectionnés comme les plus représentatifs des connaissances du Centre de stockage de la Manche,
- la liste des documents classés par ouvrage de stockage (document 12 : DOC.LI.ADSQ.03.251), pour rechercher des documents liés à un ouvrage de stockage bien défini,
- la liste des documents classés par agrément des colis (document 13 : DOC.LI.ADSQ.03.252/A) pour rechercher des documents liés à un type de colis bien défini,
- la liste des documents classés par référence (document 14 : DOC.LI.ADSQ.03.253/A) pour rechercher un document dont l'identification est connue,
- la liste des documents classés par date chronologique d'émission (document 15 : DOC.LI.ADSQ.03.254/A) pour rechercher des documents dans une tranche de dates donnée,
- la liste des documents classés par société les ayant émis (document 16 : DOC.LI.ADSQ.03.255/A) pour rechercher des documents liés à une société donnée,
- la liste des documents classés par boîte d'archivage (document 17 : DOC.LI.ADSQ.03.256/A) pour rechercher le contenu complet d'une boîte d'archives,
- la liste des résumés du contenu de chaque boîte d'archives (document 18 : DOC.LI.ADSQ.03.257/A) pour rechercher de façon synthétique le contenu des boîtes d'archives,
- la liste des résumés des plans (document 19 : DOC.LI.ADSQ.03.247/A) pour rechercher de façon synthétique un plan,

complétés de documents de « communication » :

- la liste de correspondance entre le code article des Archives nationales de France et le code Andra des boîtes d'archives et les numéros des plans (document 20 : DOC.LI.ADSQ.03.258/A) pour communiquer avec les Archives nationales de France, notamment s'il fallait récupérer des documents détruits ou endommagés,
- la liste (glossaire) des sigles et mots spécifiques utilisés dans les documents conservés (document 21 : DOC.LI.ADSQ.03.259/A) pour communiquer sur le vocabulaire utilisé,
- des messages aux générations futures (document 22 : DOC.NSY.ADSQ.03.246/A) pour un « clin d'œil » aux générations futures



Illustration 154 : bordereau d'expédition d'un colis de déchets au sein de la mémoire détaillée (tous les bordereaux y sont) à manipuler uniquement avec des gants

pour leur indiquer des éléments sur la culture et les préoccupations dans le dernier quart du 20ème siècle,

- le niveau 3 avec les 8 059 autres documents et les 5 052 folios des plans et schémas.

7.3 LES VERSEMENTS COMPLEMENTAIRES DE LA MEMOIRE DETAILLEE

Des versements réguliers sont prévus tous les 5 ans (phase de surveillance active) ou 10 ans (phase de surveillance passive) de façon à compléter ou amender ce versement initial en fonction de l'évolution du Centre de stockage de la Manche durant sa phase de surveillance. Un versement complémentaire exceptionnel est prévu vers l'année 2050 pour transférer l'ensemble de l'inventaire détaillé des colis stockés sur le Centre de stockage de la Manche. Cette date de 2050 pourra être reculée : en effet, tant que l'Andra dispose de centres de stockage en activité elle dispose des moyens qui lui permettent de gérer « automatiquement » les inventaires de ces centres et de migrer d'une solution technique à une autre toutes les données détaillées de l'inventaire. Lorsque l'Andra n'aura plus de centre en exploitation (vers 2050 à la date d'écriture du présent document), rien ne garantit qu'elle disposera bien des moyens nécessaires aux migrations périodiques entre les solutions techniques de gestion automatisée des données. C'est pour cette raison qu'il faudra envisager une impression sur papier permanent des données de cet inventaire détaillé.

A titre d'exemple, pour le Centre de stockage de la Manche, cette impression sur papier représenterait plus d'un million de feuilles : il faut en effet une page (parfois deux) pour imprimer toutes les données relatives à un seul colis de déchets radioactifs ... et il y a 920 033 colis stockés sur le Centre de stockage de la Manche ...



Illustration 155 : entrée principale du Centre des archives contemporaines des Archives nationales de France à Fontainebleau, en 2004



Illustration 156 : bâtiments d'archives (avec 5 niveaux en sous-sol) du centre des archives contemporaines des Archives nationales de France à Fontainebleau, en 2004



Illustration 157 : salle de lecture du centre des archives contemporaines des Archives nationales de France à Fontainebleau, en 2004

7.4 CONSULTATION DE LA MEMOIRE DETAILLEE

La mémoire détaillée n'est disponible qu'en deux exemplaires :

- un premier exemplaire au Centre de stockage de la Manche,
- un second exemplaire aux Archives nationales de France, centre des archives contemporaines, au titre des archives publiques (livre II du Code du patrimoine.).

ATTENTION

Les mémoires de synthèse (version stabilisée) et détaillée imprimées sur du papier permanent sont l'ultime rempart contre l'oubli du Centre de stockage de la Manche.

Ces impressions sur papier permanent sont donc destinées à des générations futures lointaines (pas avant de nombreuses décennies, voire plusieurs siècles, donc sans doute pas avant les années 2100 et plus). Leur consultation prématurée, notamment par curiosité, alors que les mêmes informations sont disponibles sous une autre forme (documents sources, fichiers numériques ...), conduirait à en réduire leur durée de vie, donc à porter atteinte à l'objectif visé.

Durant les premières décennies de surveillance, il faut donc faire appel à l'archivage courant (sur papier normal) et aux fichiers numériques des documents pour toute recherche sur le passé du Centre.

Compte tenu de la remarque très importante faite en préambule et rappelée ci-dessus, l'exemplaire versé aux Archives nationales, centre des archives contemporaines, fait partie des archives publiques historiques. Au titre de la loi sur les archives publiques, les documents peuvent donc y être consultés par le public après les délais légaux prévus par la loi.

A titre très exceptionnel accordé par la direction générale (toujours compte tenu de la remarque faite en rouge au paragraphe précédent, l'Andra peut autoriser la consultation de son propre exemplaire. A noter que l'Andra dispose de fac-similés de certaines boîtes, ce qui est suffisant pour avoir un aperçu rapide de cette mémoire détaillée.

Enfin, la mémoire détaillée se manipule avec une certaine logique et avec certaines précautions. Cet ensemble est rappelé dans chacune de ses boîtes et figure en annexe 5.

8 LA STABILISATION ET LA DIFFUSION DE LA MEMOIRE DE SYNTHÈSE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

8.1 ELABORATION ET STABILISATION DE LA MEMOIRE DE SYNTHÈSE

Le présent document constitue la première édition de la mémoire de synthèse du Centre de stockage de la Manche. Elle a été élaborée en cohérence avec les dispositions prises pour le passage en phase de surveillance de ce Centre et les dossiers afférents.

Le Centre de stockage de la Manche peut continuer à évoluer après parution de cette première version, notamment suite à des demandes de l'Autorité de sûreté nucléaire. Par exemple, l'Andra étudie pour fin 2008 la possibilité d'avoir une couverture plus pérenne et un système plus passif de surveillance du Centre. Si ces études devaient se concrétiser, elles modifieraient de façon significative certains paragraphes du présent document.

La stratégie retenue par l'Andra est d'analyser cette mémoire de synthèse à chaque fois qu'elle met à jour le rapport de sûreté du Centre de stockage de la Manche. Cette analyse a pour but de déterminer si la mémoire de synthèse reste cohérente avec la description physique et technique des installations, mais aussi avec les démonstrations et justifications apportées au niveau du rapport de sûreté. En cas d'incohérence, il serait produit, dans l'année suivant l'instruction du rapport de sûreté une nouvelle version de la mémoire de synthèse. Ce dispositif sera itératif jusqu'à ce que le Centre de stockage de la Manche soit dans un état suffisamment stabilisé pour qu'il n'y ait plus d'incidence sur la mémoire de synthèse.

En attendant cette version stabilisée de la mémoire de synthèse, les versions intermédiaires seront éditées sur papier normal sans reliure particulière et diffusées aux membres de la « Commission de surveillance du Centre de stockage de la Manche (CSCM) » ainsi qu'à l'Autorité de sûreté nucléaire. Par ailleurs, chaque version intermédiaire sera téléchargeable sur le site Internet de l'Andra et le public pourra ainsi participer à l'enrichissement des versions par ses questions et ses propositions.

8.2 DIFFUSION DE LA MEMOIRE DE SYNTHÈSE

La date à laquelle la « mémoire de synthèse stabilisée » sera disponible n'est pas encore connue. Les réflexions actuelles conduisent à situer son élaboration au moment où le Centre de stockage de la Manche entrera dans une configuration relativement passive et que ce document pourra être considéré comme « stabilisé » après prise en compte du retour d'expérience acquis pendant la phase de surveillance. C'est à partir de cette échéance que ce document commencera à présenter un intérêt en termes de ligne de défense contre le risque d'oubli. Diffuser trop tôt un document de ce type ferait courir le risque, en cas de besoin de mise à jour ultérieure, que circulent plusieurs versions du document, sans aucun contrôle sur leur devenir. Une telle situation serait à l'opposé de l'objectif recherché. D'où la mention en filigrane sur toutes les pages des versions intermédiaires.

Quand la mémoire de synthèse sera stabilisée il est prévu de la diffuser :

- aux décideurs et responsables locaux et régionaux concernés par le Centre de stockage de la Manche (préfet, sous-préfets, députés, conseillers généraux et régionaux, maires, notaires, directeur régional de l'Autorité de sûreté nucléaire, organismes de contrôles locaux et régionaux ...),
- aux organismes nationaux (directions concernées des ministères de tutelle de l'Andra, Autorité de sûreté nucléaire et ses appuis techniques ...),
- aux organismes internationaux (Agence pour l'énergie nucléaire, Agence internationale de l'énergie atomique ...),

- aux associations de protection et de défense de l'environnement locales et régionales, voire nationales (pour celles qui en feront la demande),
- aux membres de la « Commission de surveillance du Centre de stockage de la Manche (CSCM) »,
- à toute personne du public qui en fera la demande.

Cette mémoire de synthèse stabilisée sera éditée sur papier permanent et relié sous deux formes :

- une reliure de type « plein cuir » avec tirages sur papier parchemin pour les décideurs d'un rayon de vingt kilomètres autour du Centre de stockage de la Manche : cette édition restreinte offre encore une plus grande pérennité de conservation qu'un document normal (lors d'un déménagement, par exemple, on hésite davantage à jeter un beau livre qu'un livre ordinaire)
- une reliure « classique » avec tirages sur papier permanent pour les autres destinataires.

Version intermédiaire du 29/02/2000

ANNEXE 1 : INVENTAIRE RADIOLOGIQUE PAR OUVRAGE DE STOCKAGE

L'inventaire radiologique par ouvrage du centre de stockage de la Manche se présente sous forme de tableaux ayant la présentation ci-dessous :

E2B-1	
SR90	1.64E+05
I129	2.23E-01

- Identification de l'ouvrage (voir Illustration 76 et Illustration 77)
- Elément radioactif et son activité (en GBq en 1994), par exemple
 - SR90 : strontium 90 $\rightarrow 1,64 \cdot 10^5$ GBq
 - I129 : iode 129 $\rightarrow 2,23 \cdot 10^{-1}$ GBq

L'activité de chaque radionucléide est exprimée en giga becquerels (GBq) rapportés à l'année 1994 (fin du stockage). Cette activité est présentée en notation informatique 1997 (ou notation anglo-saxonne), soit « rEn » équivalente à la notation scientifique « $r \cdot 10^n$ » ou :

- « r » est un nombre réel positif et inférieur à 10 (écrit soit avec une virgule comme séparateur [écriture française], soit avec un point [écriture anglo-saxonne] ; exemple : 1,64 est identique à 1.64),
- « E » ou « 10 » expriment tous deux la puissance de 10,
- « n » est un entier relatif (positif ou négatif).

Les radionucléides sont indiqués par leur symbole chimique en majuscule suivi du numéro de l'isotope radioactif de cet élément chimique. La table de présentation des radionucléides inventoriés sur le Centre de stockage de la Manche est fournie en annexe 3.

Tableau 11 : inventaire des radionucléides contenus dans chaque ouvrage de stockage

E2B-1		E2B-2		T13-1		T13-2	
SR90	1.64E+05	SR90	3.35E+04	H3	2.34E+04	H3	3.51E+03
TC99	1.02E+02	TC99	1.45E+01	BE10	1.79E-03	BE10	4.41E-03
PD107	8.93E-01	PD107	1.27E-01	C14	1.61E+03	C14	1.03E+03
I129	2.23E-01	I129	3.17E-02	CL36	1.77E+02	CL36	2.41E+01
CS135	2.23E+01	CS135	3.17E+00	CA41	4.49E-02	CA41	1.10E-01
CS137	6.38E+05	CS137	9.05E+04	CO60	9.31E+03	CO60	2.21E+04
SM151	3.83E+03	SM151	5.43E+02	NI59	1.94E+01	NI59	1.42E+02
FCI		FMI-1		NI63	3.26E+03	NI63	1.43E+04
BE10	4.01E-02	H3	1.65E+01	SE79	3.59E-02	SE79	8.83E-02
C14	1.00E+04	BE10	1.08E-04	SR90	1.44E+04	SR90	1.57E+04
CL36	2.00E-01	C14	1.69E+02	MO93	7.82E-03	MO93	2.19E-02
CA41	1.00E+00	CL36	5.40E-04	ZR93	4.23E-01	ZR93	5.14E-01
CO60	2.00E+05	CA41	2.70E-03	NB94	1.79E+00	NB94	7.85E+00
NI59	2.00E+03	CO60	2.55E+03	TC99	4.38E+00	TC99	6.71E+00
NI63	1.20E+05	NI59	4.24E+00	PD107	3.87E-02	PD107	9.28E-02
SE79	8.02E-01	NI63	2.79E+02	AG108M	8.97E+00	AG108M	2.21E+01
SR90	1.90E+03	SE79	2.16E-03	SN121M	1.79E-01	SN121M	4.41E-01
MO93	2.00E-01	SR90	5.87E+01	SN125	8.08E-02	SN126	1.99E-01
ZR93	2.57E+00	MO93	5.40E-04	I129	9.58E-03	I129	1.73E-02
NB94	1.00E+02	ZR93	5.90E-02	CS135	9.52E-01	CS135	9.40E-01

TC99	5.86E-01	NB94	2.25E-01	CS137	2.94E+04	CS137	3.43E+04
PD107	5.13E-03	TC99	3.29E-01	SM151	1.63E+02	SM151	1.81E+02
AG108M	2.00E+02	PD107	3.80E-03	U234	9.90E-01	U234	9.35E+01
SN121M	4.01E+00	AG108M	5.40E-01	U235	4.77E-01	U235	4.17E+00
SN126	1.80E+00	SN121M	1.08E-02	U238	9.90E-01	U238	8.44E+01
I129	1.28E-03	SN126	4.86E-03	NP237	2.03E-03	NP237	9.08E-01
CS135	1.28E-01	I129	7.32E-04	PU238	7.58E+03	PU238	1.95E+03
CS137	3.66E+03	CS135	5.91E-02	PU239	6.72E+03	PU239	2.79E+03
SM151	2.20E+01	CS137	7.80E+03	PU240	2.69E+03	PU240	1.19E+03
PU238	1.42E+00	SM151	1.06E+01	PU241 b	1.22E+06	PU241 b	6.27E+05
PU239	8.27E-01	U238	7.05E-02	PU242	6.68E-01	PU242	5.95E-01
PU240	1.28E+00	NP237	8.53E-04	AM241	1.60E+03	AM241	3.71E+02
PU241 b	1.65E+02	PU238	1.24E+00	AM243	4.98E+00	AM243	7.04E-01
AM241	2.91E+00	PU239	1.74E+01	CM242	2.28E+02	CM242	2.89E+01
AM243	1.80E-02	PU240	3.21E-02	CM244	6.34E+02	CM244	8.29E+01
CM242	3.99E-01	PU241 b	7.54E+00	T13-3		T19	
CM244	3.01E+00	AM241	9.10E+01	H3	3.45E+04	H3	1.40E+03
FMI-2		AM243	6.65E-02	BE10	1.82E-03	BE10	1.40E-02
H3	6.86E+02	CM242	5.96E-02	C14	2.19E+03	C14	1.34E+03
BE10	2.03E-04	CM244	8.22E+00	CL36	2.65E+02	CL36	1.11E+00
C14	2.26E+02	MIO		CA41	4.56E-02	CA41	3.50E-01
CL36	2.93E-02	H3	6.49E+03	CO60	9.12E+03	CO60	7.00E+04
CA41	5.08E-03	BE10	8.15E-04	NI59	7.73E+00	NI59	1.04E+02
CO60	1.75E+03	C14	1.24E+03	NI63	3.76E+03	NI63	8.17E+04
NI59	7.99E+00	CL36	3.91E-03	SE79	3.65E-02	SE79	2.80E-01
NI63	8.01E+02	CA41	2.04E-02	SR90	1.54E+02	SR90	5.23E+03
SE79	4.07E-03	CO60	1.23E+04	MO93	7.40E-03	MO93	7.00E-02
SR90	6.78E+01	NI59	2.10E+01	ZR93	2.95E-01	ZR93	8.39E-01
MO93	1.02E-03	NI63	1.89E+03	N394	1.37E+00	N394	9.93E+00
ZR93	7.89E-02	SE79	1.63E-02	TC99	4.14E+00	TC99	8.39E+00
NB94	4.15E-01	SR90	7.49E+02	PD107	9.82E-02	PD107	1.57E-01
TC99	5.38E-01	MO93	4.07E-03	AG108M	9.12E+00	AG108M	7.00E+01
PD107	3.24E-03	ZR93	1.94E-01	SN121M	1.82E-01	SN121M	1.40E+00
AG108M	1.02E+00	NB94	1.26E+00	SN126	8.21E-02	SN126	6.30E-01
SN121M	2.03E-02	TC99	1.05E+00	I129	1.00E-02	I129	2.76E-02
SN126	9.15E-03	PD107	1.75E-02	CS135	3.01E-02	CS135	4.71E-01
I129	3.59E-03	AG108M	4.07E+00	CS137	1.00E+04	CS137	3.50E+04
CS135	8.25E-02	SN121M	8.15E-02	SM151	3.94E+01	SM151	1.31E+02
CS137	8.63E+03	SN126	3.67E-02	U232	8.42E-04	U234	3.03E+01
SM151	1.47E+01	I129	2.41E-03	U234	7.12E-02	U235	1.47E+00
U234	6.07E-02	CS135	1.13E-01	U235	1.84E-03	U238	3.64E+01
U238	4.22E-02	CS137	5.738+04	U236	9.81E-03	NP237	4.23E-01
NP237	5.70E-04	SM151	2.39E+01	U238	3.67E-02	PU238	1.97E+02
PU238	1.80E+01	NP237	2.52E-02	NP237	2.95E-01	PU239	4.68E+02
PU239	3.25E+00	PU238	3.73E+01	PU238	5.16E+00	PU240	1.46E+02
PU240	9.52E-02	PU239	2.10E+03	PU239	6.09E-01	PU241 b	4.27E+04
PU241 b	3.73E+01	PU240	9.77E+01	PU240	9.46E-01	PU242	3.31E-02
AM241	1.21E+01	PU241 b	6.66E+03	PU241 b	2.46E+02	AM241	1.22E+02

AM243	7.62E-01	PU242	9.58E-03	PU242	2.16E-05	AM243	3.34E+00
CM242	1.86E-02	AM241	3.39E+01	AM241	4.33E-01	CM242	1.83E-01
CM244	1.12E+00	AM243	5.95E-05	AM243	3.35E-04	CM244	9.53E+01
MI1		CM244	8.99E-05	CM242	1.56E-04	T21	
H3	1.83E+04	MI2		T20		H3	2.43E+03
BE10	9.14E-04	H3	1.76E+03	H3	9.60E+02	BE10	2.42E-02
C14	3.61E+03	BE10	2.24E-04	BE10	1.33E-02	C14	2.83E+03
CL36	8.94E-03	C14	2.05E+02	C14	2.13E+03	CL36	5.81E+00
CA41	2.29E-02	CL36	2.97E-02	CL36	1.31E+00	CA41	6.06E-01
CO60	2.86E+04	CA41	5.60E-03	CA41	3.34E-01	CO60	1.21E+05
NI59	1.36E+01	CO60	1.54E+03	CO60	6.70E+04	NI59	3.29E+02
NI63	2.31E+03	NI59	1.02 ^E +01	NI59	3.07E+02	NI63	8.83E+04
SE79	1.83E-02	NI63	7.95E+02	NI63	6.53E+04	SE79	4.85E-01
SR90	1.26E+03	SE79	4.48E-03	SE79	2.67E-01	SR90	5.05E+03
MO93	4.57E-03	SR90	7.82E+01	SR90	1.24E+03	MO93	1.21E-01
ZR93	2.03E-01	MO93	1.12E-03	MO93	6.67E-02	ZR93	3.10E+00
NB94	1.01E+00	ZR93	6.61E-02	ZR93	3.97E-01	NB94	2.47E+01
TC99	3.56E-01	NB94	5.18E-01	NB94	1.82E+01	TC99	8.57E+00
PD107	3.13E-03	TC99	4.40E-01	TC99	8.03E+00	PD107	1.26E-01
AG108M	4.57E+00	PD107	2.38E-03	PD107	1.57E-01	AG108M	1.21E+02
SN121M	9.14E-02	AG108M	1.12E+00	AG108M	6.67E+01	SN121M	2.42E+00
SN126	4.11E-02	SN121M	2.24E-02	SN121M	1.33E+00	SN126	1.09E+00
I129	8.49E-04	SN126	1.01E-02	SN125	6.01E-01	I129	4.47E-02
CS135	7.59E-02	I129	3.39E-03	I129	3.28E-02	CS135	5.83E-01
CS137	9.13E+04	CS135	6.09E-02	CS135	2.15E-01	CS137	5.33E+04
SM151	1.31E+01	CS137	6.48E+03	CS137	3.56E+04	SM151	1.42E+02
U234	2.93E-01	SM151	1.10E+01	SM151	9.24E+01	RA226	1.13E+02
U235	1.20E-02	NP237	5.72E-04	U232	6.66E+00	TH232	5.77E+00
U236	1.33E-04	PU238	1.19E+01	U234	1.08E+01	U234	3.95E+00
U238	3.21E-01	PU239	1.85E+00	U235	4.04E-01	U235	1.26E+01
NP237	3.27E-05	PU240	2.90E-01	U238	4.83E+00	U235	9.26E-04
PU238	2.02E+02	PU241 b	7.21E+01	NP237	7.12E+00	U238	3.67E+00
PU239	1.15E+02	AM241	5.08E+00	PU238	3.96E+02	NP237	3.17E-01
PU240	7.11E+00	CM242	3.97E-01	PU239	1.71E+03	PU238	3.25E+03
PU241 b	1.74E+03	CM244	2.30E+00	PU240	5.50E+02	PU239	3.01E+03
PU242	9.21E-06	P1		PU241 b	2.13E+05	PU240	1.59E+03
AM241	4.30E+02	H3	3.43E+02	PU242	6.83E+00	PU241 b	2.99E+05
AM243	1.38E+01	BE10	5.09E-03	AM241	3.42E+02	PU242	4.76E-01
CM242	2.49E-01	NI59	2.23E+02	AM243	2.20E+00	AM241	3.00E+02
CM243	3.27E-02	NI63	1.41E+04	CM242	1.17E+01	AM243	8.66E+00
CM244	1.09E+02	MO93	2.55E-02	CM244	1.09E+02	CM242	1.01E+01
MI3		ZR93	1.74E+00	T22		CM244	5.01E+01
H3	1.16E+02	NB94	1.15E+01	H3	7.18E+02	T23	
BE10	1.15E-03	TC99	3.81E+00	BE10	4.85E-03	H3	6.16E+03
C14	2.87E+02	PD107	3.37E-02	C14	4.89E+02	BE10	3.79E-03
CL36	1.04E-02	AG108M	2.55E+01	CL36	2.24E+00	C14	6.35E+02
CA41	2.88E-02	SN121M	5.09E-01	CA41	1.21E-01	CA41	9.48E-02
CO60	:5.75E+03	SN126	2.29E-01	CO60	2.43E+04	CO60	1.90E+04

NI59	5.73E+01	I129	8.33E-03	NI59	3.79E+01	NI59	1.97E+01
NI63	3.47E+03	CS135	8.27E-01	NI63	1.86E+04	NI63	1.69E+04
SE79	2.30E-02	CS137	2.43E+04	SE79	9.70E-02	SE79	7.59E-02
SR90	6.80E+02	SM151	1.42E+02	SR90	7.09E+02	SR90	9.65E+02
MO93	5.75E-03	RA226	2.07E+02	MO93	2.42E-02	MO93	1.87E-02
ZR93	3.05E-01	TH232	1.65E+02	ZR93	6.38E-01	ZR93	4.34E-01
NB94	2.87E+00	U234	1.31E+01	N394	3.80E+00	NB94	2.52E+00
TC99	4.97E-01	U235	5.91E-01	TC99	8.49E+00	TC99	2.09E+00
PD107	4.11E-03	U238	1.31E+01	PD107	1.93E-01	AG108M	1.90E+01
AG108M	5.75E+00	NP237	8.71E-04	AG108M	2.43E+01	SN121M	3.79E-01
SN121M	1.15E-01	PU239	8.53E+03	SN121M	4.85E-01	SN126	1.71E-01
SN126	5.18E-02	PU238	1.15E+04	SN126	2.18E-01	I129	1.08E-02
I129	1.48E-03	PU240	5.38E+02	I129	2.31E-02	CS135	1.13E-01
CS135	1.03E-01	PU241 b	7.60E+05	CS135	1.25E-01	CS137	1.24E+04
CS137	3.36E+03	AM241	3.55E-01	CS137	2.42E+04	SM151	3.07E+01
SM151	1.77E+01	P10bis		SM151	8.84E+01	RA226	2.50E+02
NP237	9.16E-05	H3	2.43E+04	U232	6.30E-03	RA228	1.72E+03
PU238	9.01E+01	BE10	1.50E-01	U234	2.02E+01	TH232	8.30E+00
PU239	8.16E00	C14	3.73E+04	U235	9.58E-01	U232	1.25E-02
PU240	1.05E+01	CL36	7.85E-01	U236	7.55E-02	U234	1.69E+01
PU241 b	3.08E+02	CA41	3.75E+00	U238	1.74E+01	U235	1.16E+00
AM241	3.53E+01	CO60	7.49E+05	NP237	1.08E+00	U236	1.45E-01
AM243	6.80E-02	NI59	7.42E+03	PU238	8.39E+01	U238	1.44E+01
CM242	2.39E+00	NI63	4.50E+05	PU239	4.62E+02	NP237	8.87E-02
CM244	5.46E+00	SE79	3.00E+00	PU240	9.83E+01	PU238	7.99E+02
P10		SR90	1.14E+04	PU241 b	5.20E+04	PU239	2.88E+03
H3	1.59E+04	MO93	7.49E-01	PU242	4.86E-02	PU240	1.21E+03
BE10	1.17E-01	ZR93	5.64E+01	AM241	3.60E+01	PU241 b	1.66E+05
C14	2.92E+04	NB94	3.72E+02	AM243	1.05E-01	PU242	7.00E-01
CL36	5.84E-01	TC99	1.54E+02	CM242	2.79E+00	AM241	5.08E+02
CA41	2.92E+00	PD107	1.35E+00	CM244	7.79E+00	AM243	6.45E+00
CO60	5.84E+05	AG108M	7.49E+02	T24-0		CM242	6.40E+00
NI59	5.84E+03	SN121M	1.50E+01	H3	9.41E+02	CM244	2.70E+01
NI63	3.51E+05	SN126	6.74E+00	BE10	1.06E-02	T24-1	
SE79	2.34E+00	I129	3.40E-01	C14	9.76E+02	H3	1.71E+01
SR90	9.89E+03	CS135	3.36E+01	CL36	1.15E-01	BE10	5.57E-05
MO93	5.84E-01	CS137	9.63E+05	CA41	2.65E-01	C14	7.02E+00
ZR93	5.03E+01	RA226	5.76E+03	CO60	5.30E+04	CL36	8.41E-03
NB94	2.92E+02	SM151	6.41E+02	NI59	7.19E+01	CA41	1.39E-03
TC99	1.68E+02	RA228	3.66E+03	NI63	6.26E+04	CO60	2.78E+02
PD107	1.47E+00	TH232	3.15E+01	SE79	2.12E-01	NI59	7.09E-01
AG108M	5.84E+02	U232	9.72E-04	SR90	3.03E+03	NI63	1.49E+02
SN121M	1.17E+01	U234	1.85E+02	MO93	5.30E-02	SE79	1.11E-03
SN126	5.26E+00	U235	1.52E+01	ZR93	5.36E-01	SR90	1.82E+01
I129	3.69E-01	U236	1.13E-02	NB94	7.23E+00	MO93	2.78E-04
CS135	3.69E+01	U238	1.84E+02	TC99	3.09E+00	ZR93	1.11E-02
CS137	1.05E+06	NP237	9.79E-03	PD107	4.14E-02	NB94	5.63E-02
SM151	6.32E+03	PU238	9.14E+02	AG108M	5.30E+01	TC99	1.29E-01

PU238	5.30E-02	PU239	7.92E+03	SN121M	1.06E+00	PD107	1.64E-03
PU239	7.61E+02	PU240	1.33E+03	SN126	4.77E-01	AG108M	2.78E-01
PU240	9.41E-02	PU241 b	1.62E+05	I129	1.59E-02	SN121M	5.57E-03
AM241	1.10E+01	PU242	1.73E-01	CS135	2.69E-01	SN126	2.50E-03
P11		AM241	3.34E+02	CS137	2.01E+04	I129	9.88E-04
H3	1.45E+04	AM243	1.86E-03	SM151	5.90E+01	CS135	5.29E-03
BE10	1.22E-01	CM242	4.49E-01	U234	2.90E+01	CS137	1.03E+03
C14	3.02E+04	CM243	1.93E-04	U235	1.49E+00	SM151	1.57E+00
CL36	6.08E-01	CM244	1.11E+00	U236	6.84E-04	RA226	2.51E+02
CA41	3.04E+00	P11 bis		U238	2.91E+01	RA228	1.65E+03
CO60	6.08E+05	H3	4.52E+03	NP237	9.56E-02	TH232	1.09E+01
NI59	6.03E+03	BE10	4.24E-03	PU238	1.98E+03	U233	1.50E-03
NI63	3.63E+05	C14	9.34E+02	PU239	2.43E+03	U234	6.65E+00
SE79	2.43E+00	CL36	5.17E-02	PU240	1.14E+03	U235	6.69E-01
SR90	1.14E+04	CA41	1.06E-01	PU241 b	5.12E+05	U236	4.17E-03
MO93	6.08E-01	CO60	2.12E+04	PU242	1.30E+00	U238	7.48E+00
ZR93	5.04E+01	NI59	1.69E+02	AM241	2.78E+02	NP237	1.02E+00
NB94	3.02E+02	NI63	1.27E+04	AM243	2.32E+00	PU238	3.70E+01
TC99	1.61E+02	SR90	8.49E-02	CM242	5.26E+01	PU239	4.29E+01
PD107	1.41E+00	SE79	5.52E+03	CM244	8.50E+01	PU240	3.95E+00
AG108M	6.08E+02	MO93	2.12E-02	T24-2		PU241 b	3.07E+03
SN121M	1.22E+01	ZR93	1.57E+00	H3	1.11E+03	PU242	4.96E-03
SN126	5.47E+00	NB94	8.88E+00	BE10	9.99E-03	AM241	1.67E+01
I129	3.53E-01	TC99	5.90E+00	C14	9.32E+02	AM243	1.02E-01
CS135	3.53E+01	PD107	5.56E-02	CL36	1.20E-01	CM242	2.26E-01
CS137	1.01E+06	AG108M	2.12E+01	CA41	2.50E-01	CM244	1.03E+00
SM151	6.05E+03	SN121M	4.24E-01	CO60	5.00E+04	T25-1	
NP237	1.29E-03	SN126	1.91E-01	NI59	5.95E+01	H3	2.79E+01
PU238	2.68E+00	I129	1.57E-02	NI63	5.80E+04	BE10	3.49E-04
PU239	4.09E+02	CS135	1.17E+00	SE79	2.00E-01	C14	3.33E+01
PU240	4.91E-01	CS137	3.72E+04	SR90	7.46E+02	CL36	1.66E-03
PU241 b	1.26E+03	SM151	2.04E+02	MO93	4.99E-02	CA41	8.73E-03
AM241	2.27E-01	RA226	3.82E+02	ZR53	5.26E-01	CO60	1.75E+03
P12		RA228	2.26E+03	NB94	6.51E+00	NI59	2.54E+00
H3	1.18E+04	TH232	1.86E+01	TC99	1.04E+00	NI63	2.32E+03
BE10	6.23E-02	U232	2.15E-03	PD107	5.30E-03	SE79	6.98E-03
C14	1.55E+04	U234	1.30E+02	AG108M	4.99E+01	SR90	4.30E+02
CL36	3.13E-01	U235	7.18E+00	SN121M	9.99E-01	MO93	1.75E-03
CA41	1.56E+00	U236	1.76E-02	SN126	4.49E-01	ZR93	2.12E-02
CO60	3.12E+05	U238	1.29E+02	I112	1.15E-02	N394	2.38E-01
NI59	3.09E+03	NP237	3.53E-03	CS135	6.87E-02	TC99	2.65E-01
NI63	1.86E+05	PU238	1.19E+03	CS137	1.22E+04	PD107	2.40E-03
SE79	1.25E+00	PU239	1.41E+04	SM151	1.48E+01	AG108M	1.75E+00
SR90	1.13E+04	PU240	2.08E+03	RA226	4.48E-02	SN121M	3.49E-02
MO93	3.12E-01	PU241 b	2.19E+05	TH232	4.57E-03	SN126	1.57E-02
ZR93	2.22E+01	PU242	5.61E-01	U232	5.97E-04	I129	7.12E-04
NB94	1.55E+02	AM241	3.95E+02	U234	7.24E+00	CS135	5.39E-02
TC99	5.34E+01	AM243	9.34E-03	U235	6.75E-01	CS137	1.70E+03

PD107	4.67E-01	CM242	2.05E-04	U236	2.07E-02	SM151	9.35E+00
AG108M	3.12E+02	CM243	9.39E-05	U238	1.29E+01	U234	1.09E-01
SN121M	6.23E+00	CM244	4.80E-02	NP237	7.26E-01	NP237	7.90E-04
SN126	2.81E+00	P12bis		PU238	2.95E+02	PU238	2.33E+02
I129	1.17E-01	H3	9.49E+02	PU239	3.46E+02	PU239	6.77E+02
CS135	1.17E+01	BE10	2.91E-03	PU240	2.02E+02	PU240	2.05E+02
CS137	3.34E+05	C14	6.30E+02	PU241 b	2.82E+04	PU241 b	9.63E+04
SM151	2.00E+03	CL36	2.52E-02	PU242	2.40E-01	PU242	8.97E-02
NP237	9.07E-04	CA41	7.28E-02	AM241	7.85E+01	AM241	1.17E+02
PU238	1.88E+00	CO60	1.46E+04	AM243	5.74E-01	CM242	8.76E+00
PU239	5.08E+02	NI59	1.11E+02	CM242	2.21E+00	CM244	3.08E+01
PU240	3.44E-01	NI63	8.38E+03	CM243	1.04E-03	T26	
PU241 b	8.94E+01	SE79	5.83E-02	CM244	3.45E+00	H3	2.30E+02
AM241	1.55E-01	SR90	1.88E+04	T25-2		BE10	2.02E-03
P13-1		MO93	1.46E-02	H3	9.24E+00	C14	1.80E+02
H3	1.94E+03	ZR93	1.25E+00	BE10	3.01E-05	CL36	3.12E-02
BE10	1.77E-02	NB94	5.91E+00	C14	3.73E+00	CA41	5.05E-02
C14	1.63E+03	TC99	9.66E+00	CL36	1.50E-04	CO60	1.01E+04
CL36	6.33E+00	PD107	8.70E-02	CA41	7.52E-04	NI59	1.08E+01
CA41	4.42E-01	AG108M	1.46E+01	CO60	1.50E+02	NI63	1.28E+04
CO60	1.03E+05	SN121M	2.91E-01	NI59	3.46E-01	SE79	4.04E-02
NI59	1.01E+02	SN126	1.31E-01	NI63	4.50E+01	SR90	7.12E+01
NI63	1.15E+05	I129	2.21E-02	SE79	6.02E-04	MO93	1.01E-02
SE79	3.54E-01	CS135	2.06E+00	SR90	1.63E+01	ZR93	6.37E-02
SR90	1.78E+04	CS137	6.02E+04	MO93	1.50E-04	NB94	1.24E+00
MO93	8.84E-02	SM151	3.54E+02	ZR93	7.81E-03	TC99	2.89E-01
ZR93	6.33E-01	RA226	1.42E+02	NB94	3.00E-02	PD107	1.90E-03
NB94	1.11E+01	RA228	8.56E+02	TC99	8.49E-03	AG108M	1.01E+01
TC99	4.71E+00	TH232	6.95E+00	PD107	9.73E-05	SN121M	2.02E-01
PD107	3.93E-02	U232	5.40E-04	AG108M	1.50E-01	SN126	9.09E-02
AG108M	8.85E+01	U234	1.69E+02	SN121M	3.01E-03	I129	3.18E-03
SN121M	1.77E+00	U235	8.10E+00	SN126	1.35E-03	CS135	1.36E-02
SN126	7.96E-01	U236	4.86E-03	I129	1.89E-05	CS137	3.26E+03
I129	1.40E-02	U238	1.69E+02	CS135	1.53E-03	SM151	3.39E+00
CS135	9.70E-01	NP237	2.05E-03	CS137	4.72E+01	RA226	3.17E+02
CS137	3.20E+04	PU238	1.25E+03	SM151	2.76E-01	RA228	8.40E+02
SM151	1.67E+02	PU239	4.54E+03	TH232	3.70E-05	TH232	1.37E+01
RA226	3.78E-01	PU240	1.85E+03	U234	2.09E+00	U232	3.57E-03
TH232	3.22E-02	PU241 b	1.60E+05	U235	7.96E-02	U233	1.90E-04
U232	7.79E-02	PU242	8.36E-01	U236	1.62E-03	U234	6.87E+00
U233	9.60E-02	AM241	1.64E+02	U238	8.75E-01	U235	4.37E-01
U234	1.83E+01	AM243	3.69E-07	NP237	1.22E-03	U236	5.69E-02
U235	6.93E-01	CM242	5.24E+00	PU238	1.31E+01	U238	7.63E+00
U236	7.16E-01	CM244	1.37E+01	PU239	6.01E+00	NP237	5.32E-02
U238	1.81E+01	P13-2		PU240	3.35E+00	PU238	3.54E+01
NP237	2.97E+00	H3	5.11E+03	PU241 b	7.89E+02	PU239	3.11E+02
PU238	3.96E+02	BE10	2.51E-02	PU242	2.24E-03	PU240	1.00E+01
PU239	1.42E+03	C14	2.43E+03	AM241	4.05E+00	PU241 b	5.90E+03

PU240	4.24E+02	CL36	3.19E+01	AM243	4.54E-02	PU242	1.28E-03
PU241 b	2.35E+04	CA41	6.28E-01	CM242	1.58E-01	AM241	8.39E+00
PU242	1.81E-01	CO60	1.67E+05	CM244	1.97E+00	AM243	7.51E-02
AM241	3.89E+02	NI59	1.35E+02	T27		CM242	8.20E-01
AM243	1.73E+00	N163	1.57E+05	H3	2.29E+02	CM244	2.44E+00
CM242	1.16E+01	SE79	5.02E-01	BE10	3.69E-03	T28-1	
CM244	1.61E+02	SR90	4.87E+04	C14	3.22E+02	H3	1.02E+02
P13-3		MO93	1.25E-01	CL36	2.64E-02	BE10	3.14E-03
H3	9.23E+02	ZR93	1.25E+00	CA41	9.23E-02	C14	2.77E+02
BE10	6.63E-03	NB94	1.57E+01	CO60	1.85E+04	CL36	2.33E-02
C14	6.12E+02	TC99	1.36E+01	NI59	1.80E+01	CA41	7.85E-02
CL36	1.58E-01	PD107	1.13E-01	NI63	2.10E+04	CO60	1.57E+04
CA41	1.66E-01	AG108M	1.26E+02	SE79	7.38E-02	NI59	1.73E+01
CO60	7.06E+06	SN121M	2.51E+00	SR90	2.43E+02	NI63	2.02E+04
NI59	4.13E+01	SN126	1.13E+00	MO93	1.85E-02	SE79	6.28E-02
NI63	3.86E+04	I129	4.06E-02	ZR93	2.21E-01	SR90	7.65E+02
SE79	1.33E-01	CS135	2.81E+00	NB94	2.26E+00	MO93	1.57E-02
SR90	1.90E+03	CS137	9.21E+04	TC99	5.13E-01	ZR93	8.58E-02
MO93	3.31E-02	SM151	4.85E+02	PD107	7.67E-03	NB94	1.94E+00
ZR93	3.78E-01	RA226	3.13E-01	AG108M	1.85E+01	TC99	3.64E-01
NB94	4.39E+00	U232	3.76E-03	SN121M	3.69E-01	PD107	2.18E-03
TC99	1.98E+00	U233	1.90E-04	SN126	1.66E-01	AG108M	1.57E+01
PD107	1.16E-02	U234	4.02E+00	I129	3.06E-03	SN121M	3.14E-01
AG108M	3.31E+01	U235	1.38E+00	CS135	2.43E-02	SN126	1.41E-01
SN121M	6.63E-01	U236	6.90E-02	CS137	3.35E+03	I129	2.64E-03
SN126	2.98E-01	U238	1.02E+01	SM151	6.96E+00	CS135	5.14E-02
I129	1.71E-02	NP237	1.04E+00	RA226	2.21E+02	CS137	3.47E+03
CS135	2.22E-01	PU238	8.80E+02	RA228	6.82E+02	SM151	9.27E+00
CS137	2.04E+04	PU239	2.41E+03	TH232	1.25E+01	RA226	4.12E+02
SM151	4.18E+01	PU240	8.54E+02	U232	2.46E+01	RA228	2.81E+03
RA226	1.75E+00	PU241 b	5.93E+04	U234	3.85E+00	TH232	7.12E+01
TH232	2.97E-02	PU242	2.53E+00	U235	1.81E-01	U232	5.57E-03
U233	1.10E-04	AM241	9.43E+02	U238	3.86E+00	U234	6.16E+01
U234	2.34E+01	AM243	3.63E+00	NP237	2.47E+01	U235	2.83E+00
U235	1.37E+00	CM242	3.23E+01	PU238	7.60E+01	U236	1.11E-01
U236	1.28E-01	CM244	3.40E+02	PU239	8.64E+02	U238	6.22E+01
U238	1.79E+01	P13-4		PU240	1.51E+02	NP237	5.53E-01
NP237	7.74E-01	H3	6.30E+04	PU241 b	1.20E+04	PU238	1.67E+02
PU238	2.00E+02	BE10	2.92E-03	PU242	2.47E+01	PU239	1.55E+02
PU239	1.27E+03	C14	4.16E+03	AM241	5.19E+01	PU240	1.00E+02
PU240	2.93E+02	CL36	4.82E+02	AM243	1.63E-04	PU241 b	1.37E+04
PU241 b	1.90E+04	CA41	7.31E-02	CM242	4.25E-02	PU242	1.46E-01
PU242	1.35E-01	CO60	1.46E+04	CM244	4.93E+01	AM241	2.29E+01
AM241	7.64E+01	NI59	4.58E+01	T28-2		AM243	9.76E-01
AM243	9.47E-02	NI63	8.76E+03	H3	1.95E+02	CM242	1.45E+00
CM242	1.17E+01	SE79	5.85E-02	BE10	2.17E-02	CM243	8.76E-05
CM244	2.38E+01	SR90	6.67E+03	C14	1.77E+03	CM244	2.32E+00
P15		MO93	1.15E-02	CL36	6.77E-02	T28-3	

H3	1.87E+03	ZR93	5.06E-01	CA41	5.43E-01	H3	5.86E+01
BE10	2.86E-02	NB94	3.48E+00	CO60	1.09E+05	BE10	1.50E-03
C14	7.13E+03	TC99	3.75E+00	NI59	1.04E+02	C14	1.00E+02
CL36	1.61E-01	PD107	2.82E-02	NI63	1.21E+05	CL36	9.56E-03
CA41	7.16E-01	AG108M	1.46E+01	SE79	4.34E-01	CA41	3.74E-02
CO60	1.43E+05	SN121M	2.92E-01	SR90	7.56E+02	CO60	7.49E+03
NI59	1.41E+03	SN126	1.32E-01	MO93	1.09E-01	NI59	5.80E+00
NI63	8.53E+04	I129	1.89E-02	ZR93	1.39E+00	NI63	4.23E+03
SE79	5.72E-01	CS135	6.38E-01	N394	1.33E+01	SE79	2.99E-02
SR90	5.35E+03	CS137	3.00E+04	TC99	3.11E-01	SR90	3.96E+02
MO93	1.43E-01	SM151	1.13E+02	PD107	8.25E-04	MO93	7.49E-03
ZR93	1.13E+01	RA226	8.38E+01	AG108M	1.09E+02	ZR93	2.74E-01
NB94	7.08E+01	RA228	4.76E+02	SN121M	2.17E+00	N394	9.77E-01
TC99	3.47E+01	TH232	4.09E+00	SN126	9.77E-01	TC99	1.27E-01
PD107	3.03E-01	U234	1.31E+01	I129	4.14E-03	PD107	9.15E-04
AG108M	1.43E+02	U235	7.31E-01	CS135	1.52E-02	AG108M	7.49E+00
SN121M	2.86E+00	U238	1.31E+01	CS137	4.19E+03	SN121M	1.50E-01
SN126	1.29E+00	NP237	1.14E-02	SM151	3.47E+00	SN126	6.74E-02
I129	7.74E-02	PU238	3.12E+02	RA226	3.70E+02	I129	6.31E-04
CS135	7.57E+00	PU239	1.86E+03	RA223	2.19E+03	CS135	2.22E-02
CS137	2.18E+05	PU240	4.87E+02	TH232	6.62E+01	CS137	1.02E+03
SM151	1.30E+03	PU241 b	5.60E+04	U232	2.92E-02	SM151	3.90E+00
RA226	8.33E+01	PU242	2.28E-01	U234	4.55E+01	RA226	7.37E+01
RA228	4.76E+02	AM241	1.82E+01	U235	2.01E+00	RA228	5.14E+02
TH232	4.09E+00	CM242	3.12E-02	U236	2.76E-01	TH232	5.27E+00
U232	1.62E-03	CM244	8.13E-02	U238	4.43E+01	U232	7.72E-03
U234	2.05E+01	P16		NP237	2.89E-01	U234	2.60E+00
U235	1.21E+00	H3	6.70E+02	PU238	8.01E+01	U235	1.01E-01
U236	1.46E-02	BE10	7.57E-03	PU239	1.45E+02	U236	6.07E-02
U238	2.04E+01	C14	1.38E+03	PU240	5.19E+01	U238	2.35E+00
NP237	2.40E-03	CL36	3.71E-01	PU241 b	3.91E+03	NP237	3.46E-04
PU238	5.89E+02	CA41	1.89E-01	PU242	3.86E-02	PU238	1.65E+01
PU239	4.40E+03	CO60	3.79E+04	AM241	3.62E+01	PU239	3.53E+01
PU240	6.90E+02	NI59	2.44E+02	AM243	1.85E-01	PU240	2.35E+01
PU241 b	8.38E+04	NI63	1.89E+04	CM242	1.06E-01	PU241 b	1.93E+03
PU242	2.76E-01	SE79	1.51E-01	CM244	1.73E+00	PU242	1.83E-02
AM241	7.31E+01	SR90	1.36E+04	T29-1		AM241	2.95E+01
AM243	5.33E-04	MO93	3.79E-02	H3	4.95E+01	AM243	1.14E-02
CM242	2.86E+00	ZR93	1.32E+00	BE10	3.87E-03	CM242	5.72E-02
CM244	7.44E+00	NB94	1.36E+01	C14	3.46E+02	CM243	7.81E-05
P17		TC99	7.15E+00	CL36	1.08E-02	CM244	6.16E-01
H3	1.15E+03	PD107	6.29E-02	CA41	9.66E-02	T29-2	
BE10	6.87E-03	AG108M	3.79E+01	CO60	1.93E+04	H3	6.49E+03
C14	1.08E+03	SN121M	7.57E-01	NI59	2.11E+01	BE10	2.14E-03
CL36	5.73E-02	SN126	3.41E-01	NI63	2.66E+04	C14	1.67E+02
CA41	1.72E-01	I129	2.27E-02	SE79	7.73E-02	CL36	9.59E-03
CO60	3.44E+04	CS135	1.40E+00	SR90	1.21E+02	CA41	5.34E-02
NI59	1.60E+02	CS137	4.82E+04	MO93	1.93E-02	CO60	1.07E+04

N163	2.89E+04	SM151	2.44E+02	ZR93	3.03E-02	NI59	9.76E+00
SE79	1.37E-01	RA226	6.67E+01	N394	2.33E+00	NI63	1.02E+04
SR90	4.24E+03	RA228	3.81E+02	TC99	1.03E-01	SE79	4.27E-02
MO93	3.44E-02	TH232	3.27E+00	PD107	3.99E-04	SR90	5.74E+02
ZR93	1.09E+00	U232	9.18E-03	AG108M	1.93E+01	MO93	1.07E-02
NB94	9.58E+00	U234	4.94E+01	SN121M	3.87E-01	ZR93	2.06E-01
TC99	2.19E+00	U235	2.26E+00	SN126	1.74E-01	NB94	1.33E+00
PD107	1.93E-02	U236	8.29E-02	I129	1.10E-03	TC99	1.64E-01
AG108M	3.44E+01	U238	4.89E+01	CS13-5	9.36E-03	PD107	1.22E-03
SN121M	6.87E-01	NP237	2.26E-02	CS137	1.22E+03	AG108M	1.07E+01
SN126	3.09E-01	PU238	9.12E+02	SM151	1.81E+00	SN121M	2.14E-01
I129	7.91E-03	PU239	3.60E+03	U232	1.53E-03	SN126	9.61E-02
CS135	4.07E-01	PU240	8.58E+02	U234	4.08E+00	I129	8.30E-04
CS137	1.52E+04	PU241 b	1.07E+05	U235	1.83E-01	CS135	2.81E-02
SM151	7.15E+01	PU242	3.33E-01	U236	1.39E-02	CS137	1.32E+03
RA226	5.00E+01	AM241	2.30E+02	U238	4.60E+00	SM151	4.96E+00
RA228	2.85E+02	CM242	5.77E+00	NP237	1.76E-03	RA226	1.56E+02
TH232	1.32E+02	CM244	3.73E+01	PU238	1.64E+00	RA228	1.08E+03
U234	6.58E+01	P17bis		PU239	3.75E+00	TH232	1.06E+01
U235	1.08E+01	H3	6.09E+02	PU240	2.00E+00	U232	2.81E-02
U236	2.11E-02	BE10	9.12E-03	PU241 b	4.72E+01	U234	7.96E+00
U238	6.63E+01	C14	1.70E+03	AM241	2.04E+00	U235	2.77E-01
NP237	1.02E-02	CL36	1.15E-01	AM243	2.28E-03	U236	2.32E-01
PU238	3.55E+02	CA41	2.28E-01	CM242	1.81E-03	U238	5.87E+00
PU239	1.14E+03	CO60	4.56E+04	CM244	6.02E-02	NP237	4.41E-04
PU240	2.71E+02	NI59	3.05E+02	T29-3		PU238	2.13E+01
PU241 b	3.36E+04	N163	2.64E+04	H3	8.61E+02	PU239	4.13E+01
PU242	1.20E-01	SE79	1.82E-01	BE10	1.92E-02	PU240	2.31E+01
AM241	2.58E+01	SR90	1.91E+03	C14	1.55E+03	PU241 b	1.73E+03
AM243	4.64E-03	MO93	4.56E-02	CL36	1.27E-01	PU242	1.05E-02
CM242	2.77E+00	ZR93	2.98E+00	CA41	4.80E-01	AM241	1.60E+01
CM244	6.92E+00	NB94	1.68E+01	CO60	9.60E+04	AM243	2.17E-03
P18		TC99	7.91E+00	NI59	9.31E+01	CM242	5.32E-04
H3	6.90E+02	PD107	6.65E-02	NI63	1.01E+05	CM243	2.66E-04
BE10	8.06E-03	AG108M	4.56E+01	SE79	3.84E-01	CM244	4.32E-01
C14	1.32E+03	SN121M	9.12E-01	SR90	1.69E+03	T30-1	
CL36	1.33E-01	SN126	4.10E-01	MO93	9.60E-02	H3	2.43E+02
CA41	2.01E-01	I129	2.35E-02	ZR93	1.47E+00	BE10	3.58E-03
CO60	4.03E+04	CS135	1.62E+00	N394	1.20E+01	C14	2.95E+02
NI59	2.10E+02	CS137	5.33E+04	TC99	9.87E-01	CL36	1.79E-02
NI63	3.05E+04	SM151	2.80E+02	PD107	3.78E-03	CA41	8.95E-02
SE79	1.61E-01	U234	7.05E-01	AG108M	9.60E+01	CO60	1.24E+05
SR90	1.36E+03	U235	5.27E-02	SN121M	1.92E+00	NI59	1.57E+01
MO93	4.03E-02	U238	7.05E-01	SN126	8.64E-01	N163	3.61E+04
ZR93	2.00E+00	NP237	6.63E-03	I129	1.05E-02	SE79	7.16E-02
NB94	1.22E+01	PU238	1.34E+01	CS135	9.24E-02	SR90	4.52E+02
TC99	5.72E+00	PU239	4.28E+01	CS137	1.16E+04	MO93	1.79E-02
PD107	4.70E-02	PU240	6.51E+00	SM151	1.78E+01	ZR93	3.59E-01

AG108M	4.03E+01	PU241 b	9.33E+02	RA226	1.73E+02	NB94	2.42E+00
SN121M	8.06E-01	PU242	1.55E-03	RA228	1.21E+03	TC99	4.51E-01
SN126	3.63E-01	AM241	7.66E-01	TH232	1.24E+01	PD107	3.51E-03
I129	2.14E-02	AM243	1.33E-03	U232	3.72E-02	AG108M	1.79E+01
CS135	1.09E+00	CM244	2.00E-03	U233	2.00E-04	SN121M	3.58E-01
CS137	4.11E+04	P19		U234	1.21E+01	SN126	1.61E-01
SM151	1.90E+02	H3	2.56E+03	U235	4.49E-01	I129	1.90E-03
RA226	1.33E+02	BE10	6.99E-03	U236	3.23E-01	CS135	8.37E-02
TH232	8.86E+00	C14	7.19E+02	U238	1.02E+01	CS137	3.40E+03
U234	1.20E+01	CL36	1.46E+01	NP237	1.68E-02	SM151	1.46E+01
U235	2.66E+01	CA41	1.75E-01	PU238	1.15E+02	R_k226	3.91E+02
U238	1.20E+01	CO60	3.50E+04	PU239	8.83E+01	RA228	2.73E+03
NP237	1.32E-02	NI59	3.98E+01	PU240	5.37E+01	LH232	3.22E+01
PU238	5.04E+02	NI63	3.92E+04	PU241 b	5.97E+03	U232	2.25E-04
PU239	1.54E+03	SE79	1.40E-01	PU242	7.82E-02	U233	9.99E-07
PU240	1.56E+02	SR90	5.89E+03	AM241	9.02E+00	U234	8.18E+00
PU241 b	5.74E+04	MO93	3.49E-02	AM243	3.75E-02	U235	3.66E-01
PU242	2.24E-02	ZR93	7.10E-01	CM242	1.15E-02	U236	9.42E-04
AM241	1.64E+02	NB94	4.53E+00	CM243	1.34E-03	U238	7.67E+00
AM243	2.34E+00	TC99	3.00E+00	CM244	1.69E+00	NP237	1.19E-02
CM242	5.51E+00	PD107	2.62E-02	T30-2		PU238	9.81E+00
CM244	1.79E+01	AG108M	3.50E+01	H3	2.57E+03	PU239	2.75E+01
P2		SN121M	6.99E-01	BE10	3.27E-03	PU240	1.02E+01
H3	3.22E+02	SN126	3.15E-01	C14	1.82E+02	PU241 b	4.42E+02
BE10	1.82E-03	I129	9.99E-03	CL36	1.64E-02	PU242	9.12E-04
C14	4.64E+02	CS135	5.78E-01	CA41	8.18E-02	AM241	1.68E+01
CL36	9.08E-03	CS137	2.05E+04	CO60	2.71E+04	AM243	1.83E-02
CA41	4.54E-02	SM151	1.01E+02	NI59	8.69E+00	CM242	8.21E-02
CO60	9.09E+03	RA226	3.29E-07	NI63	5.41E+03	CM244	1.28E+00
NI59	8.73E+01	U232	1.85E-02	SE79	6.54E-02	T32	
NI63	5.31E+03	U234	3.49E+01	SR90	1.51E+03	H3	1.28E+04
SE79	3.63E-02	U235	8.07E-01	MO93	1.64E-02	BE10	2.48E-03
SR90	5.74E+03	U236	1.55E-01	ZR93	8.18E-01	C14	9.88E+02
MO93	9.08E-03	U238	3.34E+01	NB94	2.14E+00	CL36	9.64E+01
ZR93	6.51E-01	NP237	3.80E-01	TC99	1.58E+00	CA41	6.19E-02
N394	4.40E+00	PU238	6.14E+02	PD107	1.38E-02	CO60	1.24E+04
TC99	1.59E+00	PU239	6.15E+02	AG108M	1.64E+01	NI59	1.49E+01
PD107	1.40E-02	PU240	5.31E+02	SN121M	3.27E-01	NI63	1.45E+04
AG108M	9.08E+00	PU241 b	1.23E+04	SN126	1.47E-01	SE79	4.95E-02
SN121M	1.82E-01	PU242	3.87E-02	I129	3.46E-03	SR90	1.40E+04
SN126	8.17E-02	AM241	6.28E+02	CS135	3.46E-01	MO93	1.18E-02
I129	3.48E-03	AM243	2.61E-01	CS137	9.88E+03	ZR93	1.28E-01
CS135	3.46E-01	CM242	3.45E+01	SM151	5.92E+01	NB94	1.66E+00
CS137	9.90E+03	CM243	4.71E-03	RA226	3.85E-07	TC99	3.62E+00
SM151	5.94E+01	CM244	8.01E+01	U234	1.70E+00	PD107	3.03E-02
RA226	1.62E+02	P20		U235	6.97E-02	AG108M	1.24E+01
RA228	1.59E+01	H3	2.50E+03	U236	4.08E-03	SN121M	2.48E-01
TF1232	5.03E+01	BE10	1.49E-02	U238	1.62E+00	SN126	1.11E-01

U234	1.92E+01	C14	1.19E+03	NP237	1.77E-03	I129	1.02E-02
U235	8.63E-01	CL36	2.47E-01	PU238	6.16E+01	CS135	7.58E-01
U238	1.92E+01	CA41	3.72E-01	PU239	1.32E+02	CS137	2.45E+04
PU238	5.35E+03	CO60	7.44E+04	PU240	7.81E+01	SM151	1.30E+02
PU239	9.66E+03	NI59	7.52E+01	PU241 b	3.86E+03	RA226	2.21E-02
PU240	5.76E+02	NI63	7.40E+04	PU242	3.53E-02	RA228	7.22E-02
PU241 b	5.79E+05	SE79	2.97E-01	AM241	7.54E+01	U232	1.26E-02
AM241	1.78E-02	SR90	5.22E+03	AM243	1.23E-01	U234	2.34E+00
P21		MO93	7.44E-02	CM242	3.70E-02	U235	8.98E-02
H3	9.87E+03	ZR93	1.49E+00	CM244	7.96E+00	U236	9.26E-02
BE10	8.06E-03	N394	9.50E+00	T33-0		U238	2.34E+00
C14	1.37E+03	TC99	3.70E+00	H3	7.51E+02	NP237	1.33E-01
CL36	7.02E+01	PD107	2.62E-02	BE10	4.34E-03	PU238	4.68E+02
CA41	2.02E-01	AG108M	7.44E+01	C14	3.80E+02	PU239	4.09E+02
CO60	4.04E+04	SN121M	1.49E+00	CL36	1.04E-02	PU240	2.25E+02
NI59	7.84E+01	SN126	6.69E-01	CA41	1.08E-01	PU241 b	7.24E+04
NI63	3.98E+04	I129	2.69E-02	CO60	2.40E+05	PU242	8.38E-01
SE79	1.61E-01	CS135	4.66E-01	NI59	2.08E+01	AM241	4.28E+02
SR90	1.68E+04	CS137	3.42E+04	NI63	5.44E+04	AM243	7.13E-01
MO93	3.99E-02	SM151	8.68E+01	SE79	8.68E-02	CM242	4.15E-04
ZR93	7.65E-01	U232	2.18E-02	SR90	1.55E+03	CM243	2.66E-04
NB94	6.70E+00	U234	1.39E+01	MO93	2.17E-02	CM244	9.53E+01
TC99	5.97E+00	U235	2.32E-01	ZR93	3.43E-01	T33-1	
PD107	4.91E-02	U236	1.72E-01	NB94	3.02E+00	H3	5.52E+03
AG108M	4.03E+01	U238	5.83E+00	TC99	4.58E-01	BE10	1.48E-03
SN121M	8.06E-01	NP237	2.88E-02	PD107	3.97E-03	C14	1.69E+02
SN126	3.63E-01	PU238	1.59E+03	AG108M	2.17E+01	CL36	4.82E+00
I129	2.31E-02	PU239	1.12E+03	SN121M	4.34E-01	CA41	3.71E-02
CS135	1.12E+00	PU240	9.56E+02	SN126	1.95E-01	CO60	7.42E+03
CS137	4.34E+04	PU241 b	6.21E+04	I129	1.32E-03	NI59	8.44E+00
SM151	1.95E+02	PU242	1.09E-01	CS135	9.33E-02	NI63	9.15E+03
RA226	1.30E-02	AM241	6.34E+02	CS137	3.03E+03	SE79	2.97E-02
TH232	1.02E-01	AM243	2.70E-01	SM151	1.62E+01	SR90	8.97E+04
U232	2.77E-03	CM242	9.25E+01	RA226	9.08E-07	MO93	7.39E-03
U233	9.30E-04	CM243	2.07E-03	U232	5.07E-04	ZR93	8.18E-02
U234	9.28E+00	CM244	1.66E+02	U234	1.14E+00	NB94	9.38E-01
U235	6.76E-01	P22		U235	5.03E-02	TC99	2.10E+01
U236	1.31E-01	H3	9.26E+02	U235	1.47E-02	PD107	1.84E-01
U238	1.09E+01	BE10	3.96E-03	U239	4.83E+00	AG108M	7.42E+00
NP237	4.57E-01	C14	3.72E+02	NP237	2.30E-03	SN121M	1.48E-01
PU238	1.61E+03	CL36	5.05E-02	PU238	3.06E+01	SN126	6.68E-02
PU239	7.78E+03	CA41	9.91E-02	PU239	9.35E+01	I129	4.63E-02
PU240	2.36E+03	CO60	1.98E+04	PU240	4.44E+01	CS135	4.59E+00
PU241 b	2.18E+05	NI59	3.69E+01	PU241 b	1.15E+03	CS137	1.32E+05
PU242	9.15E-01	NI63	1.62E+04	PU242	1.84E-03	SM151	7.88E+02
AM241	1.03E+03	SE79	7.93E-02	AM241	4.01E+01	RA226	2.20E-08
AM243	9.54E-01	SR90	2.81E+04	AM243	3.61E-02	TH232	1.00E+00
CM242	7.57E+01	MO93	1.98E-02	CM242	3.53E-02	U232	1.97E-03

CM244	1.20E+02	ZR93	5.22E-01	CM244	7.49E+00	U234	3.07E+00
P23		NB94	3.31E+00	T33-2		U235	1.26E-01
H3	9.34E+03	TC99	7.64E+00	H3	1.42E+03	U236	1.83E-02
BE10	1.81E-02	PD107	6.81E-02	BE10	2.78E-03	U238	2.30E+00
C14	2.19E+03	AG108M	1.98E+01	C14	1.79E+02	NP237	1.06E-01
CL36	5.50E+01	SN121M	3.96E-01	CL36	1.06E-02	PU238	3.74E+02
CA41	4.52E-01	SN126	1.78E-01	CA41	6.95E-02	PU239	2.94E+02
CO60	9.05E+04	I129	2.01E-02	CO60	2.49E+04	PU240	1.98E+02
NI59	1.52E+02	CS135	1.58E+00	NI59	9.51E+00	PU241 b	2.27E+04
NI63	1.03E+05	CS137	4.92E+04	NI63	9.43E+03	PU242	1.33E-01
SE79	3.62E-01	SM151	2.73E+02	SE79	5.56E-02	AM241	9.58E+02
SR90	5.55E+03	RA226	6.30E-02	SR90	5.73E+04	AM243	7.02E+00
MO93	9.00E-02	U232	1.23E-02	MO93	1.39E-02	CM242	1.41E-01
ZR93	1.19E+00	U233	7.10E-05	ZR93	5.65E-01	CM243	3.96E-01
NB94	1.37E+01	U234	7.66E+00	NB94	1.81E+00	CM244	7.12E+02
TC99	4.79E+00	U235	2.87E-01	TC99	1.41E+01	T34-0	
PD107	3.04E-02	U236	1.44E-01	PD107	1.23E-01	H3	4.98E+03
AG108M	9.04E+01	U238	9.59E+00	AG108M	1.39E+01	BE10	1.02E-03
SN121M	1.81E+00	NP237	1.28E-01	SN121M	2.78E-01	C14	3.84E+02
SN126	8.14E-01	PU238	3.80E+02	SN126	1.25E-01	CL36	3.56E+01
I129	3.33E-02	PU239	4.29E+03	I129	3.08E-02	CA41	2.56E-02
CS135	6.86E-01	PU240	1.12E+03	CS135	3.08E+00	CO60	5.12E+03
CS137	4.46E+04	PU241 b	6.90E+04	CS137	8.81E+04	NI59	8.59E+00
SM151	1.24E+02	PU242	1.73E-01	SM151	5.28E+02	NI63	6.13E+03
RA226	1.80E-02	AM241	6.70E+02	RA226	2.52E-01	SE79	2.05E-02
TH232	6.54E-01	AM243	3.45E+00	U234	8.22E-01	SR90	1.93E+04
U232	6.53E+01	CM242	8.38E+00	U235	3.29E-02	MO93	4.88E-03
U233	7.40E-05	CM244	2.42E+02	U238	1.55E+00	ZR93	5.80E-02
U234	8.43E+01	P24-0		NP237	9.19E-02	NB94	7.76E-01
U235	4.81E+00	H3	3.10E+03	PU238	2.19E+02	TC99	5.06E+00
U236	8.48E-01	BE10	4.34E-03	PU239	2.87E+02	PD107	4.39E-02
U238	6.95E+01	C14	3.91E+02	PU240	1.45E+02	AG108M	5.11E+00
NP237	6.53E+01	CL36	1.26E+00	PU241 b	1.30E+04	SN121M	1.02E-01
PU238	1.21E+03	CA41	1.09E-01	PU242	1.05E-01	SN126	4.60E-02
PU239	2.16E+03	CO60	2.17E+04	AM241	6.28E+02	I129	1.18E-02
PU240	8.04E+02	NI59	2.99E+01	AM243	5.79E+00	CS135	1.10E+00
PU241 b	1.54E+05	NI63	2.14E+04	CM242	7.91E-02	CS137	3.22E+04
PU242	6.57E+01	SE79	8.68E-02	CM244	4.24E+02	SM151	1.88E+02
AM241	4.34E+02	SR90	1.03E+03	T34-1		U232	4.64E-03
AM243	3.70E-01	MO93	2.17E-02	H3	4.17E+03	U234	4.96E+00
CM242	7.91E+01	ZR93	3.91E-01	BE10	1.43E-02	U235	2.21E-01
CM244	2.39E+02	NB94	3.10E+00	C14	1.29E+03	U236	1.23E+00
P24-1		TC99	8.71E-01	CL36	2.66E+01	U238	9.16E+00
H3	4.15E+02	PD107	3.87E-03	CA41	3.57E-01	NP237	3.98E-01
BE10	6.47E-03	AG108M	2.17E+01	CO60	7.14E+04	PU238	2.82E+02
C14	6.69E+02	SN121M	4.34E-01	NI59	6.18E+01	PU239	4.59E+02
CL36	7.72E-02	SN126	1.95E-01	NI63	6.49E+04	PU240	1.97E+02
CA41	1.62E-01	I129	8.33E-03	SE79	2.86E-01	PU241 b	1.83E+04

CO60	3.24E+04	CS135	9.51E-02	SR90	1.56E+03	PU242	1.20E-01
NI59	3.70E+01	CS137	9.67E+03	MO93	7.12E-02	AM241	5.66E+02
NI63	4.02E+04	SM151	1.78E+01	ZR93	1.51E+00	AM243	2.34E+00
SE79	1.29E-01	RA226	7.84E-07	NB94	8.89E+00	CM242	9.03E-01
SR90	1.52E+03	TH232	4.23E-01	TC99	5.67E-01	CM243	1.05E+00
MO93	3.23E-02	U232	2.57E-03	PD107	3.44E-03	CM244	1.97E+02
ZR93	2.67E-01	U234	1.69E+01	AG108M	7.14E+01	T34-2	
NB94	4.08E+00	U235	7.22E-01	SN121M	1.43E+00	H3	1.08E+04
TC99	1.01E+00	U236	1.51E-01	SN126	6.42E-01	BE10	8.50E-03
PD107	5.27E-03	U238	1.36E+01	I129	5.01E-03	C14	6.93E+02
AG108M	3.23E+01	NP237	2.22E+00	CS135	5.88E-02	CL36	3.84E+00
SN121M	6.47E-01	PU238	1.25E+02	CS137	5.85E+03	CA41	2.12E-01
SN126	2.91E-01	PU239	1.24E+02	SM151	1.13E+01	CO60	4.25E+04
I129	8.38E-03	PU240	7.43E+01	U232	8.13E-03	NI59	3.87E+01
CS135	1.31E-01	PU241 b	9.31E+03	U234	1.06E+00	NI63	4.24E+04
CS137	1.06E+04	PU242	8.75E-02	U235	3.08E-02	SE79	1.70E-01
SM151	2.38E+01	AM241	2.54E+01	U236	6.45E-02	SR90	6.09E+05
RA226	6.40E-08	AM243	1.77E-01	U238	3.48E+00	MO93	4.25E-02
TH232	2.07E-01	CM242	6.34E+00	NP237	1.12E-01	ZR93	7.44E-01
U232	1.38E-03	CM244	6.02E+00	PU238	3.67E+01	NB94	5.26E+00
U233	1.10E-03	P25-0		PU239	5.98E+01	TC99	2.67E+02
U234	3.27E+00	H3	1.76E+02	PU240	2.69E+01	PD107	2.33E+00
U235	1.60E-01	BE10	7.37E-03	PU241 b	1.73E+03	AG108M	4.25E+01
U236	3.39E-02	C14	6.48E+02	PU242	5.19E-03	SN121M	8.50E-01
U238	5.56E+00	CL36	1.71E-02	AM241	1.47E+01	SN126	3.82E-01
NP237	3.09E-01	CA41	1.84E-01	AM243	5.31E-02	I129	5.95E-01
PU238	8.33E+01	CO60	3.69E+04	CM242	2.59E-03	CS135	5.83E+01
PU239	1.19E+02	NI59	3.93E+01	CM243	3.01E-04	CS137	1.68E+06
PU240	6.62E+01	NI63	4.87E+04	CM244	1.39E+00	SN151	1.00E+04
PU241 b	5.70E+03	SE79	1.47E-01	T35-1		U232	9.87E-03
PU242	5.60E-02	SR90	2.55E+02	H3	1.36E+03	U234	2.10E+01
AM241	1.14E+01	MO93	3.68E-02	BE10	9.13E-03	U235	1.06E+00
AM243	1.84E-02	ZR93	1.41E-01	C14	1.01E+03	U236	7.86E-02
CM242	1.55E+01	NE94	4.45E+00	CL36	1.32E-01	U238	2.07E+01
CM244	4.36E+00	TC99	1.58E-01	CA41	2.28E-01	NP237	7.28E-03
P25-1		PD107	7.37E-04	CO60	4.57E+04	PU238	1.40E+02
H3	8.75E+02	AG108M	3.68E+01	NI59	1.05E+02	PU239	3.36E+02
BE10	2.46E-02	SN121M	7.37E-01	NI63	5.75E+04	PU240	4.29E+01
C14	2.19E+03	SN126	3.32E-01	SE79	1.83E-01	PU241 b	7.50E+03
CL36	2.87E-01	I129	1.58E-03	SR90	5.69E+04	PU242	1.18E-01
CA41	6.16E-01	CS135	1.51E-02	MO93	4.57E-02	AM241	2.27E+02
CO60	1.23E+05	CS137	1.78E+03	ZR93	1.04E-01	AM243	2.17E-01
NI59	1.31E+02	SM151	2.92E+00	N394	7.86E+00	CM242	1.48E-05
NI63	1.61E+05	RA226	7.84E-02	TC99	1.37E+01	CM244	1.40E+01
SE79	4.93E-01	TH232	1.08E+00	PD107	1.13E-01	T35-2	
SR90	6.41E+03	U232	8.11E-03	AG108M	4.57E+01	H3	2.25E+03
MO93	1.23E-01	U234	2.01E+00	SN121M	9.13E-01	BE10	1.89E-02
ZR93	5.39E-01	U235	7.24E-02	SN126	4.11E-01	C14	1.46E+03

NB94	1.49E+01	U236	5.91E-02	I129	4.05E-02	CL3 6	1.70E-01
TC99	5.81E+00	U238	1.32E+00	CS135	2.83E+00	CA41	4.73E-01
PD107	5.46E-02	NP237	7.81E-04	CS137	9.24E+04	CO60	9.45E+04
AG108M	1.23E+02	PU238	2.02E+01	SM151	4.88E+02	NI59	9.13E+01
SN121M	2.46E+00	PU239	1.46E+01	RA226	1.65E-04	NI63	8.49E+04
SN126	1.11E+00	PU240	1.32E+01	RA228	1.59E-06	SE79	3.78E-01
I129	3.64E-02	PU241 b	1.90E+03	U232	1.14E-02	SR90	6.68E+04
CS135	6.75E-01	PU242	2.04E-02	U234	1.51E+02	MO93	9.45E-02
CS137	4.73E+04	AM241	2.94E+01	U235	7.09E+00	ZR93	2.06E+00
SM151	1.31E+02	AM243	4.44E-02	U236	1.00E-01	NB91	1.22E+01
RA226	4.91E-01	CM242	4.97E-04	U238	1.50E+02	TC99	1.58E+01
TH232	1.36E-02	CM243	5.07E-04	NP237	9.13E-02	PD107	1.31E-01
U232	8.62E-04	CM244	1.09E+00	PU238	2.81E+02	AG108M	9.45E+01
U234	5.14E-01	P25-3		PU239	1.11E+03	SN121M	1.89E+00
U235	1.80E-02	H3	6.57E+03	PU240	1.66E+02	SN126	8.51E-01
U236	1.29E-02	BE10	2.49E-04	PU241 b	1.51E+04	I129	4.54E-02
U238	3.93E-01	C14	3.90E+02	PU242	7.88E-01	CS135	3.29E+00
NP237	3.35E-01	CL36	4.72E+01	AM241	9.43E+02	CS137	1.06E+05
PU238	3.12E+02	CA41	6.22E-03	AM243	4.30E+00	SM151	5.66E+02
PU239	6.63E+01	CO60	1.24E+03	CM242	2.24E-05	TH232	1.84E+00
PU240	1.13E+02	NI59	1.42E+00	CM243	1.69E+00	U232	9.58E-03
PU241 b	1.48E+04	NI63	6.57E+02	CM244	2.57E+02	U234	2.83E+02
PU242	1.01E-02	SE79	4.97E-03	TB1		U235	1.33E+01
AM241	9.89E+01	SR90	3.97E+02	H3	2.20E+01	U236	9.40E-02
AM243	2.12E+00	MO93	9.37E-04	BE10	2.39E-06	U238	2.83E+02
CM242	2.97E-01	ZR93	3.26E-02	C14	8.92E-01	NP237	9.71E-02
CM243	1.20E+00	NB94	2.01E-01	CL36	1.20E-05	PU238	2.79E+02
CM244	1.44E+02	TC99	1.24E-01	CA41	5.98E-05	PU239	1.06E+03
P26		PD107	1.10E-03	CO60	1.21E+01	PU240	1.15E+02
H3	1.28E+03	AG108M	1.24E+00	NI59	7.23E-02	PU241 b	1.60E+04
BE10	1.36E-02	SN121M	2.49E-02	NI63	5.33E+00	PU242	1.74E-01
C14	1.23E+03	SN126	1.12E-02	SE79	4.78E-05	AM241	1.13E+03
CL36	9.09E-02	I129	3.85E-04	SR90	3.15E+00	AM243	4.24E+00
CA41	3.40E-01	CS135	2.45E-02	MO93	1.20E-05	CM243	2.39E+00
CO60	6.80E+04	CS137	8.32E+02	ZR93	1.09E-03	CM244	2.27E+02
NI59	8.66E+01	SM151	4.27E+00	NB94	4.13E-03	TB2	
NI63	7.72E+04	U232	9.42E-03	TC99	5.04E-03	H3	6.00E+05
SE79	2.72E-01	U234	6.55E-01	PD107	4.40E-05	BE10	1.57E-05
SR90	1.25E+04	U235	1.58E-02	AG108M	1.20E-02	C14	9.17E+00
MO93	6.80E-02	U236	7.11E-02	SN121M	2.39E-04	CL36	7.86E-05
ZR93	7.84E-01	U238	4.61E-01	SN126	1.08E-04	CA41	3.93E-04
N394	9.13E+00	NP237	3.91E-03	I129	1.10E-05	CO60	7.88E+01
TC99	3.57E+00	PU238	1.33E+01	CS135	1.10E-03	NI59	7.86E-01
PD107	2.98E-02	PU239	8.55E+00	CS137	3.15E+01	NI63	4.72E+01
AG108M	6.80E+01	PU240	9.37E+00	SM151	1.91E-01	SE79	3.14E-04
SN121M	1.36E+00	PU241 b	8.86E+02	RA226	3.89E+01	SR90	1.79E+01
SN126	6.12E-01	PU242	4.40E-04	TH232	1.08E+02	MO93	7.86E-05
I129	1.42E-02	AM241	1.07E+01	U234	3.92E+00	ZR93	6.42E-03

CS135	6.55E-01	AM243	9.07E-02	U235	1.77E-01	NB94	3.93E-02
CS137	2.59E+04	CM242	6.19E-03	U238	3.92E+00	TC99	2.16E-02
SM151	1.15E+02	CM243	2.67E-04	PU238	3.21E+02	PD107	1.89E-04
RA226	1.40E+00	CM244	8.18E+00	PU239	1.13E+03	AG108M	7.86E-02
TH232	3.08E-02	P27		PU240	1.06E+02	SN121M	1.57E-03
U232	5.63E-02	H3	3.41E+03	PU241 b	5.31E+04	SN126	7.07E-04
U233	1.90E-04	BE10	1.70E-02	AM241	5.56E-02	I129	4.72E-05
U234	1.67E+01	C14	3.49E+03	TB3		CS135	4.72E-03
U235	5.90E-01	CL36	1.39E+01	H3	1.91E+01	CS137	1.35E+02
U236	5.08E-01	CA41	4.24E-01	BE10	5.38E-06	SM151	8.12E-01
U236	1.71E+01	CO60	8.49E+04	C14	2.75E+00	RA226	4.17E+01
NP237	2.70E-01	NI59	6.08E+02	CL36	2.69E-05	TH232	1.19E+02
PU238	3.55E+02	NI63	6.73E+04	CA41	1.35E-04	U234	8.94E+00
PU239	2.34E+02	SE79	3.40E-01	CO60	6.37E+01	U235	4.02E-01
PU240	1.50E+02	SR90	1.40E+04	NI59	2.50E-01	U238	8.94E+00
PU241 b	2.13E+04	MO93	8.48E-02	NI63	1.54E+01	PU238	7.58E+02
PU242	4.63E-02	ZR93	3.25E+00	SE79	1.08E-04	PU239	2.19E+03
AM241	2.30E+02	NB94	3.23E+01	SR90	3.75E+01	PU240	2.40E+02
AM243	1.67E+00	TC99	6.76E+00	MO93	2.69E-05	PU241 b	1.11E+05
CM242	8.20E+00	PD107	5.66E-02	ZR93	2.45E-03	PU242	4.26E-02
CM244	1.70E+02	AG108M	8.49E+01	NB94	1.27E-02	AM241	2.40E+00
P28-1		SN121M	1.70E+00	TC99	1.20E-02	CM242	1.41E-02
H3	9.15E+03	SN126	7.64E-01	PD107	1.05E-04	CM244	3.53E-02
BE10	2.18E-02	I129	1.95E-02	AG108M	2.69E-02	TB4	
C14	1.74E+03	CS135	1.41E+00	SN121M	5.38E-04	H3	3.35E+01
CL36	3.26E+01	CS137	4.53E+04	SN126	2.42E-04	BE10	2.69E-05
CA41	5.45E-01	SM151	2.42E+02	I129	2.63E-05	C14	1.80E+01
CO60	1.09E+05	RA226	6.16E-01	CS135	2.63E-03	CL36	1.34E-04
NI59	8.91E+01	TH232	1.64E-02	CS137	1.51E+02	CA41	6.72E-04
NI63	6.26E+04	U232	1.16E-03	SM151	4.51E-01	CO60	1.82E+02
SE79	4.36E-01	U234	1.47E+01	RA226	3.03E+03	NI59	1.07E+00
SR90	3.43E+05	U235	7.01E-01	RA228	3.23E+03	NI63	7.01E+01
MO93	1.09E-01	U236	3.74E-01	TH232	1.30E+01	SE79	5.38E-04
ZR93	3.94E+00	U238	1.41E+01	U234	8.16E+00	SR90	2.34E+02
NB94	1.44E+01	NP237	5.90E-02	U235	3.67E-01	MO93	1.34E-04
TC99	9.20E+01	PU238	5.24E+02	U238	8.16E+00	ZR93	9.39E-03
PD107	8.12E-01	PU239	5.18E+02	PU238	5.46E+02	NB94	5.67E-02
AG108M	1.09E+02	PU240	3.12E+02	PU239	2.91E+03	TC99	4.56E-02
SN121M	2.18E+00	PU241 b	3.08E+04	PU240	2.83E+02	PD107	4.01E-04
SN126	9.81E-01	PU242	4.45E-01	PU241 b	1.20E+05	AG108M	1.34E-01
I129	2.07E-01	AM241	2.45E+02	AM241	1.01E-04	SN121M	2.69E-03
CS135	1.99E+01	AM243	1.89E+00	TBC-1		SN126	1.21E-03
CS137	5.76E+05	CM242	5.56E+01	H3	8.75E+03	I129	9.98E-05
SM151	3.42E+03	CM243	1.10E+00	BE10	2.70E-03	CS135	9.96E-03
U232	1.77E-02	CM244	2.35E+02	C14	1.16E+03	CS137	3.80E+02
U233	1.13E-02	P28-2		CL36	5.60E+01	SM151	1.71E+00
U234	1.58E+00	H3	1.10E+04	CA41	6.76E-02	RA226	2.66E-01
U235	6.00E-02	BE10	3.00E-02	CO60	2.04E+04	RA228	6.04E+02

U236	2.02E-01	C14	2.56E+03	NI59	1.03E+02	TH232	2.27E-01
U238	1.11E+00	CL36	7.19E+01	NI63	7.03E+03	U234	1.84E+00
NP237	8.86E-01	CA41	7.50E-01	SE79	5.41E-02	U235	8.27E-02
PU238	6.22E+02	CO60	1.50E+05	SR90	2.79E+04	U238	1.84E+00
PU239	8.66E+02	NI59	1.14E+02	MO93	1.32E-02	PU238	7.74E+02
PU240	4.40E+02	NI63	8.63E+04	ZR93	4.34E-01	PU239	2.94E+03
PU241 b	5.42E+04	SE79	6.00E-01	NB94	5.51E+00	PU240	2.52E+02
PU242	1.33E+00	SR90	8.79E+04	TC99	3.90E+00	PU241 b	7.08E+04
AM241	3.86E+03	MO93	1.50E-01	PD107	3.49E-02	AM241	5.75E-04
AM243	4.28E+01	ZR93	5.32E+00	AG108M	1.35E+01	TBC-2	
CM242	4.04E-02	NB94	1.94E+01	SN121M	2.70E-01	H3	5.08E+04
CM243	1.01E-01	TC99	2.12E+01	SN126	1.22E-01	BE10	5.81E-03
CM244	3.25E+03	PD107	1.76E-01	I129	8.53E-03	C14	3.53E+03
P29-1		AG108M	1.50E+02	CS135	8.42E-01	CL36	3.85E+02
H3	3.33E+02	SN121M	3.00E+00	CS137	3.23E+04	CA41	1.45E-01
SE10	1.18E-02	SN126	1.35E+00	SM151	1.45E+02	CO60	2.98E+04
C14	9.40E+02	I129	6.40E-02	RA226	6.25E-02	NI59	3.10E+01
CL36	4.24E-02	CS135	4.36E+00	RA22B	2.16E+01	NI63	1.00E+04
CA41	2.95E-01	CS137	1.44E+05	U231	1.79E+01	SE79	1.16E-01
CO60	5.90E+04	SM151	7.52E+02	U235	8.05E-01	SR90	2.43E+03
NI59	5.59E+01	RA226	1.50E+01	U238	1.79E+01	MO93	2.65E-02
NI63	6.08E+04	RA228	5.78E+00	NP237	5.12E-04	ZR93	1.24E+00
SE79	2.36E-01	TH232	3.00E-05	PU238	1.07E+04	NB94	4.47E+00
SR90	7.43E+02	U232	2.49E-03	PU239	1.83E+04	TC99	2.08E+00
MO93	5.90E-02	U233	6.43E-02	PU240	3.97E+03	PD107	1.94E-02
ZR93	9.53E-01	U234	2.47E+00	PU241 b	5.00E+05	AG108M	2.90E+01
NB94	7.32E+00	U235	2.16E-01	PU242	1.19E+00	SN121M	5.81E-01
TC99	2.53E-01	U236	1.98E-02	AM241	1.43E+03	SN126	2.61E-01
PD107	1.14E-03	U238	2.58E+00	AM243	5.59E+01	I129	7.46E-03
AG108M	5.90E+01	NP237	2.52E-01	CM242	1.37E-01	CS135	3.73E-01
SN121M	1.18E+00	PU238	3.34E+02	CM244	2.61E+03	CS137	1.87E+04
SN126	5.31E-01	PU239	5.66E+02	TBH		SM151	6.62E+01
I129	2.57E-03	PU240	2.60E+02	H3	3.66E+00	U234	1.09E+00
CS135	2.41E-02	PU241 b	2.57E+04	BE10	5.85E-07	U235	7.91E-01
CS137	2.88E+03	PU242	2.14E-01	C14	1.46E-01	U238	1.09E+00
SM151	4.64E+00	AM241	1.06E+03	CL36	2.92E-06	NP237	1.21E-02
RA226	3.79E-02	AM243	8.54E+00	CA41	1.46E-05	PU238	9.77E+02
U232	5.28E-03	CM242	2.21E-03	CO60	2.92E+00	PU239	1.15E+04
U234	1.92E+00	CM243	1.28E+00	NI59	2.92E-02	PU240	1.93E+03
U235	7.60E-02	CM244	5.99E+02	NI63	1.75E+00	PU241 b	1.38E+05
U236	4.27E-02	P29-2		SE79	1.17E-05	PU242	7.60E-01
U238	1.60E+00	H3	8.10E+02	SR90	1.77E+02	AM241	3.16E+02
NP237	1.67E-02	BE10	3.47E-02	MO93	2.92E-06	AM243	6.82E-01
PU238	3.28E+01	C14	3.05E+03	ZR93	1.23E-02	CM242	1.47E-02
PU239	1.81E+01	CL36	1.54E-01	NB94	1.46E-03	CM244	2.93E+01
PU240	1.22E+01	CA41	8.67E-01	TC99	9.75E-02	TBW-1	
PU241 b	1.66E+03	CO60	1.79E+05	PD107	8.53E-04	H3	5.88E+04
PU242	1.08E-02	NI59	1.91E+02	AG108M	2.92E-03	BE10	7.84E-04

AM241	1.27E+01	NI63	2.26E+05	SN121M	5.85E-05	C14	5.39E+02
AM243	6.27E-02	SE79	6.94E-01	SN126	2.63E-05	CL36	3.92E-03
CM242	2.64E-03	SR90	6.12E+03	I129	2.13E-04	CA41	1.96E-02
CM243	1.40E-03	MO93	1.73E-01	CS135	2.13E-02	CO60	7.27E+04
CM244	3.43E+00	ZR93	8.57E-01	CS137	6.09E+02	NI59	3.90E+01
P5bis		NB94	2.13E+01	SM151	3.66E+00	NI63	2.34E+03
H3	7.53E+03	TC99	2.59E+00	RA226	2.85E+02	SE79	1.57E-02
BE10	6.66E-03	PD107	1.57E-02	TH232	9.63E+00	SR90	1.94E+03
C14	1.66E+03	AG108M	1.73E+02	U235	7.33E-01	MO93	3.92E-03
CL36	3.33E-02	SN121M	3.47E+00	PU239	2.93E+01	ZR93	1.08E+00
CA41	1.66E-01	SN126	1.56E+00	PU239	6.52E+01	NB94	1.95E+00
CO60	3.33E+04	I129	1.74E-02	PU240	4.90E+01	TC99	7.30E+00
NI59	3.33E+02	CS135	3.93E-01	PU241 b	3.88E+03	PD107	6.39E-02
NI63	2.00E+04	CS137	2.39E+04	PU242	2.72E-02	AG108M	3.92E+00
SE79	1.33E-01	SM151	7.00E+01	PM241	1.48E+00	SN121M	7.84E-02
SR90	5.67E+01	RA226	1.23E-06	TBW-2		SN126	3.53E-02
MO93	3.33E-02	U232	3.59E-02	H3	1.28E+03	I129	1.60E-02
ZR93	3.35E+00	U234	3.93E+00	BE10	3.98E-04	CS135	1.60E+00
N394	1.66E+01	U235	1.24E-01	C14	1.91E+02	CS137	5.99E+04
TC99	1.35E+01	U236	2.83E-01	CL36	1.99E-03	SM151	2.74E+02
PD107	1.18E-01	U238	3.62E+00	CA41	9.94E-03	RA226	1.78E+01
AG108M	3.33E+01	NP237	1.44E+00	CO60	3.65E+03	RA228	1.52E+02
SN121M	6.66E-01	PU238	1.04E+02	NI59	1.56E+01	U234	4.65E+00
SN126	3.00E-01	PU239	1.66E+02	NI63	1.02E+03	U235	2.09E-01
I129	2.96E-02	PU240	9.10E+01	SE79	7.95E-03	U238	4.65E+00
CS135	2.96E+00	PU241 b	6.86E+03	SR90	1.23E+03	NP237	8.84E-05
CS137	8.45E+04	PU242	3.34E-02	MO93	1.99E-03	PU233	8.96E+03
SM151	5.07E+02	AM241	1.48E+02	ZR93	2.40E-01	PU239	1.47E+04
U234	2.04E+00	AM243	1.39E+00	NB94	8.25E-01	PU240	1.91E+03
U235	9.16E-02	CM242	1.05E+01	TC99	1.64E+00	PU241 b	2.17E+05
U238	2.04E+00	CM243	2.84E-03	PD107	1.44E-02	PU242	2.50E-01
NP237	1.23E-05	CM244	5.10E+01	AG108M	1.99E+00	AM241	2.59E+03
PU238	3.20E-03	P6		SN121M	3.98E-02	AM243	2.67E+00
PU239	1.19E+02	H3	4.94E+01	SN126	1.79E-02	CM244	3.70E+03
PU240	5.87E-04	BE10	6.16E-04	I129	3.58E-03	TO3	
PU241 b	9.09E+02	C14	1.48E+02	CS135	3.58E-01	H3	7.28E+00
AM241	2.67E-04	CL36	3.08E-03	CS137	1.43E+04	BE10	1.48E-05
P7		CA41	1.54E-02	SM151	6.14E+01	C14	5.02E+00
H3	2.75E+03	CO60	3.08E+03	RA226	9.25E+01	CL36	7.41E-05
BE10	3.28E-02	NI59	2.66E+01	RA228	4.50E+01	CA41	3.70E-04
C14	8.12E+03	NI63	1.69E+03	U234	1.56E+01	CO60	7.41E+01
CL36	1.64E-01	SE79	1.23E-02	U235	7.03E-01	NI59	6.23E-02
CA41	8.21E-01	SR90	3.44E+02	U238	1.56E+01	NI63	1.79E+01
CO60	1.64E+05	MO93	3.08E-03	NP237	1.21E-04	SE79	2.96E-04
NI59	1.62E+03	ZR93	3.33E-01	PU238	4.27E+03	SR90	7.25E+01
NI63	9.76E+04	N394	1.38E+00	PU239	7.97E+03	MO93	7.41E-05
SE79	6.57E-01	TC99	1.69E+00	PU240	1.08E+03	ZR93	3.71E-03
SR90	1.66E+03	PD107	1.49E-02	PU241 b	1.48E+05	NB94	1.05E-02

MO93	1.64E-01	AG108M	3.08E+00	PU242	2.12E-01	TC99	1.01E-02
ZR93	1.21E+01	SN121M	6.16E-02	AM241	1.75E+03	PD107	8.87E-05
NB94	8.12E+01	SN126	2.77E-02	AM243	1.40E+00	AG108M	7.41E-02
TC99	3.08E+01	I129	3.71E-03	CM244	1.72E+03	SN121M	1.48E-03
PD107	2.69E-01	CS135	3.70E-01	a-CSM		SN126	6.67E-04
AG108M	1.64E+02	CS137	1.06E+04	H3	4.59E+03	I129	2.22E-05
SN121M	3.28E+00	SM151	6.34E+01	BE10	2.39E-02	CS135	2.22E-03
SN126	1.48E+00	RA226	1.30E+02	C14	5.42E+03	CS137	6.34E+01
I129	6.73E-02	RA228	3.00E+02	CL36	1.76E+01	SM151	3.80E-01
CS135	6.73E+00	TH232	6.18E+01	CA41	5.98E-01	RA226	1.85E+01
CS137	1.92E+05	U234	7.52E+02	CO60	1.24E+05	TH232	1.55E+01
SM151	1.15E+03	U235	3.56E+01	NI59	9.33E+02	U234	7.57E-02
RA226	8.49E+01	U238	7.52E+02	NI63	8.24E+04	U235	3.41E-03
RA228	4.85E+02	NP237	2.44E-04	SE79	4.79E-01	U238	7.57E-02
TH232	4.17E+00	PU238	7.52E-01	SR90	1.48E+04	PU238	4.30E-02
U234	1.86E+01	PU239	1.07E+03	MO93	1.20E-01	PU239	7.53E+01
U235	7.50E+00	PU240	8.94E+01	ZR93	6.14E+00	PU240	8.21E+00
U238	1.86E+01	PU241 b	4.56E+03	NB94	4.90E+01	PU241 b	2.68E+03
NP237	4.56E-04	AM241	7.13E-03	TC99	2.01E+01	AM241	3.58E-03
PU238	6.05E+02	P8		PD107	2.06E-01	PTW	
PU239	2.90E+03	H3	3.66E+04	AG108M	1.20E+02	H3	5.60E+01
PU240	1.02E+02	BE10	3.18E-02	SN121M	2.39E+00	BE10	1.16E-04
PU241 b	5.15E+04	C14	7.90E+03	SN126	1.08E+00	C14	1.23E+01
AM241	1.92E+01	CL36	1.70E-01	I129	6.15E-02	CL36	5.79E-04
P9		CA41	7.96E-01	CS135	3.59E+00	CA41	2.90E-03
H3	1.76E+04	CO60	1.59E+05	CS137	1.29E+05	CO60	5.79E+02
BE10	7.62E-02	NI59	1.56E+03	SM151	6.41E+02	NI59	1.74E+00
C14	1.86E+04	NI63	9.58E+04	RA226	1.35E+02	NI63	1.89E+02
CL36	4.05E-01	SE79	6.37E-01	RA229	1.42E+02	SE79	2.32E-03
CA41	1.90E+00	SR90	6.57E+03	TH232	7.72E+01	SR90	6.20E+03
CO60	3.81E+05	MO93	1.59E-01	U232	2.00E+00	MO93	5.79E-04
NI59	3.69E+03	ZR93	1.50E+01	U233	4.07E+00	ZR93	5.24E-02
NI63	2.34E+05	N394	7.84E+01	U234	1.05E+02	N394	1.31E-01
SE79	1.52E+00	TC99	5.72E+01	U235	4.20E+01	TC99	1.47E+00
SR90	1.04E+04	PD107	5.02E-01	U238	9.93E+01	PD107	1.29E-02
MO93	3.81E-01	AG108M	1.59E+02	NP237	2.14E+00	AG108M	5.79E-01
ZR93	2.76E+01	SN121M	3.18E+00	PU238	3.55E+03	SN121M	1.16E-02
N394	1.85E+02	SN126	1.43E+00	PU239	7.05E+03	SN126	5.21E-03
TC99	7.44E+01	I129	1.26E-01	PU240	9.27E+02	I129	3.22E-03
PD107	6.50E-01	CS135	1.25E+01	PU241 b	1.72E+06	CS135	3.22E-01
AG108M	3.81E+02	CS137	3.58E+05	PU242	2.11E+00	CS137	9.21E+03
SN121M	7.62E+00	SM151	2.14E+03	AM241	7.49E+02	SM151	5.52E+01
SN126	3.43E+00	RA226	9.11E+01	AM243	3.45E-01	U232	5.74E-04
I129	1.66E-01	RA228	8.53E+02	CM242	9.46E+00	U234	3.09E+01
CS135	1.62E+01	TH232	4.47E+00	CM244	6.80E+01	U235	1.42E+00
CS137	4.67E+05	U234	1.61E+02			U236	8.59E-03
SM151	2.78E+03	U235	7.61E+00			U238	3.08E+01
RA226	2.01E+02	U238	1.61E+02			NP237	8.82E-03

RA228	1.43E+03
TH232	1.03E+01
U232	2.51E-03
U234	1.60E+02
U235	7.36E+00
U236	1.83E-02
U238	1.60E+02
NP237	5.66E-03
PU238	1.27E+03
PU239	5.61E+03
PU240	3.34E+02
PU241 b	1.19E+05
PU242	8.13E-02
AM241	7.59E+01
AM243	4.70E-02
CM242	4.99E+00
CM243	7.80E-04
CM244	5.60E-01

NP237	3.93E-03
PU238	7.16E+02
PU239	3.74E+03
PU240	7.47E+02
PU241 b	1.42E+05
PU242	3.01E-01
AM241	3.57E+01
CM242	6.48E-01
CM244	1.68E+00

PU238	1.91E+02
PU239	1.78E+02
PU240	7.04E+01
PU241 b	8.93E+03
PU242	1.81E-01
AM241	1.51E+02
AM243	2.75E-01
CM242	2.66E-02
CM243	1.67E-01
CM244	2.97E+01

Version intermédiaire du 29/02/2008

ANNEXE 2 : SIGLES ET TERMINOLOGIE

Alpha	Voir « Rayon alpha (α) »
Areva	Société privée, dont la branche NC (nuclear combustible), appelée Cogéma jusqu'au 1 ^{er} mars 2006, exploite un établissement (usine de retraitement de La Hague) mitoyen du Centre de stockage de la Manche.
ASN	Autorité de sûreté nucléaire (voir cette définition).
Autorité de sûreté nucléaire	L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est une autorité administrative indépendante créée par la loi 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Cette Autorité est chargée de contrôler les activités nucléaires civiles en France. Elle assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés aux activités nucléaires. Elle contribue à l'information des citoyens. Dans tout le présent document, pour en faciliter sa lecture, toutes les appellations précédentes de cette Autorité et des ses appuis techniques (DGSNR, DSIN, SCSIN, OPRI, SCPRI, DRIRE, DIN, DSNR, GPD, IRSN, IPSN ...) ont été remplacées par la désignation actuelle de cette Autorité.
BDS	Bac du séparatif, par lequel transitent les effluents à risques du Centre de stockage de la Manche.
Becquerel (Bq)	<p>Unité de mesure de la radioactivité. Elle correspond à la désintégration d'un atome par seconde. Ses multiples sont très souvent utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none">- MBq : mégabecquerel = 10^6 Bq- GBq : gigabecquerel = 10^9 Bq- TBq : terabecquerel = 10^{12} Bq <p>L'ancienne unité de radioactivité était le curie (Ci) : $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}$ Bq. L'activité d'une substance est définie comme le nombre de désintégrations radioactives par seconde au sein d'une certaine quantité de matière ; par exemples :</p> <ul style="list-style-type: none">- eau de mer : 12 Bq/kg- être humain : 120 Bq/kg- granite : 1000 Bq/kg- terre : 500 à 5 000 Bq/kg- engrais phosphatés : 5 000 Bq/kg
Bêta	Voir « Rayon bêta (β) »
Bq	Voir « Becquerel »

Cataclase	Roche ayant subi un broyage sous l'effet de fortes contraintes.
CEA	Commissariat à l'énergie atomique : établissement public français créé dans les années 1950 pour développer l'arme atomique et le nucléaire civil. Certaines de ses directions sont devenues au fil des années des établissements indépendants (l'Andra par la loi du 30/12/1991, par exemple).
CIPR	Commission internationale de protection radiologique. Cette commission fixe notamment les doses maximales de radioactivité admissibles pour les travailleurs et le public. Elle étudie également l'impact de ces doses sur la santé.
CM	Ancien sigle (antérieur à 1996) du « Centre de stockage de la Manche ».
CMG	Chambre de mesure globale, par laquelle transitent les eaux pluviales du Centre de stockage de la Manche.
CSM	Sigle du « Centre de stockage de la Manche ».
CSCM	Commission de surveillance du Centre de la Manche. Présidée par le préfet de la Manche, cette commission indépendante a en charge la surveillance des activités se déroulant sur le Centre de stockage de la Manche et l'information des populations avoisinantes.
Cogéma	Sigle de la « Compagnie générale des matières nucléaires » (ancienne direction du CEA jusqu'en 1976) devenu Areva NC (nuclear combustible) le 1 ^{er} mars 2006, et dont un établissement (usine de retraitement de La Hague) est mitoyen du Centre de stockage de la Manche.
Commission « Turpin »	Commission d'évaluation de la situation du Centre de stockage de la Manche, présidée par Michel Turpin et composée d'experts indépendants, mise en place le 2 février 1996 par le gouvernement, notamment à la demande d'associations de protection de l'environnement, pour donner un avis sur l'impact du Centre de stockage de la Manche sur l'environnement et les dispositions prévues par l'Andra avant la fin de la couverture du site et son passage en phase de surveillance du site. Cette commission a rendu son rapport le 16 juillet 1996.
DGSNR	Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (2002 à 2006) → voir « Autorité de sûreté nucléaire ».

DIN	Divisions des installations nucléaires (1991 à 2002), placées au sein des DRIRE, → voir « Autorité de sûreté nucléaire ».
Domnonéen	Domaine qui englobe le golfe Normand, le golfe du Cotentin et le golfe entre Normandie et Bretagne.
DRIRE	Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement, au sein desquelles étaient les DIN de 1991 à 2002 (DRIRE) → voir « Autorité de sûreté nucléaire ».
DSIN	Direction de la sûreté des installations nucléaires (1991 à 2002) → voir « Autorité de sûreté nucléaire ».
DSNR	Division (régionale) de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (2002 à 2006) → voir « Autorité de sûreté nucléaire ».
EDF	Electricité de France : établissement public en charge de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique, de toutes origines.
ELAN II B	Ouvrage particulier de stockage de deuxième génération au Centre de stockage de la Manche.
Euratom	Communauté européenne de l'énergie atomique, créée en 1957. Elle avait, à l'origine, pour mission générale de contribuer à la formation et à la croissance des industries nucléaires. Désormais, Euratom constitue le cadre d'une abondante législation dérivée qui encadre le fonctionnement de l'énergie nucléaire, notamment en matière de radioprotection des populations et de contrôle des matières nucléaires.
FA	Faible activité (déchets de).
Feldspath	Minéral essentiel des roches magmatiques.
Gamma	Voir « Rayon gamma (γ) ».
GBq	Voir « Becquerel ».
Gneiss	Roche métamorphique très commune, à grains moyen ou grossier, issue du métamorphisme général.
GPD	Groupe permanent déchets, appui technique de l'Autorité de sûreté nucléaire (voir cette définition).
Gray (Gy)	Unité de mesure du rayonnement ambiant. Le gray est l'unité dérivée d'énergie massique ou de dose de radiation

absorbée. Un gray est la dose d'énergie absorbée par un milieu homogène d'une masse de 1 kg lorsqu'il est exposé à un rayonnement ionisant apportant une énergie de 1 joule, 1 Gy = 1 J/kg. Le gray est cent fois plus grand que l'ancienne unité, le rad, qu'il a remplacé en 1986. Ses sous-multiples sont très souvent utilisés :

- mGy : milligray = 10^{-3} Gy
- μ Gy : microgray = 10^{-6} Gy

Grès	Roche sédimentaire composée à au moins 85 % de grains de quartz.
Gy	Voir « Gray ».
HA	Haute activité (déchets de)
INB	Installation nucléaire de base au sens du décret N°63-1228 du 11 décembre 1963. Le Centre de stockage de la Manche est une INB (N°66).
IPSN	Institut de protection et de sûreté nucléaire, remplacé par IRSN, appui technique de l'Autorité de sûreté nucléaire (voir cette définition).
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, anciennement IPSN, appui technique de l'Autorité de sûreté nucléaire (voir cette définition).
Lambert (système)	Système de projection officielle pour les cartes de France métropolitaine depuis le décret du 26 décembre 2000 liée au système géodésique. Cette projection utilise un cône sécant au globe terrestre en deux parallèles isométriques (44°N et 49°N) et fixe comme origine l'intersection du méridien de Greenwich (3°E) et du parallèle 46°30' avec pour coordonnées d'origine $X_0 = 700\,000$ m et $Y_0 = 6\,600\,000$ m.
Limnigraphe	Appareil de mesure des hauteurs d'eau qui permet leur enregistrement en continu.
MA	Moyenne activité (déchets de)
MBq	Voir « Becquerel ».
Métamorphisme	Transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une élévation de température et/ou de pression, avec cristallisation de nouveaux minéraux.
mGy	Voir « Gray ».

MI	Monolithe irradiant (ouvrage de stockage de deuxième génération au Centre de stockage de la Manche).
Migmatite	Ensemble localisé formé d'un mélange de roches de type gneiss et granite.
MO	Monolithe ordinaire, non irradiant (ouvrage de stockage de deuxième génération au Centre de stockage de la Manche).
MSK	Echelle sismique. L'échelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik (appelée échelle MSK) est une échelle de mesure de l'intensité d'un tremblement de terre. Elle décrit ses effets en termes de destructions des installations humaines et de modifications de l'aspect du terrain, mais également en termes d'effets psychologiques sur la population (sentiment de peur, de panique, de panique généralisée).
mSv	Voir « Sievert ».
MW	Mégawatt = 10^6 watts
OPRI	Office de protection contre les rayonnements ionisants, anciennement SCPRI, intégré en 2002 à l'Autorité de sûreté nucléaire (voir cette définition).
P	Plateforme (ouvrage de stockage de première génération au Centre de stockage de la Manche).
Papier permanent	Jusqu'au milieu du XIX ^e siècle, le papier était fabriqué à partir de chiffons. Au début de l'ère industrielle, il évolue par l'utilisation massive de pâtes de bois et de colophane dans l'encollage. Ces éléments provoquent l'apparition d'acides et la destruction du papier en quelques décennies. Dans les années 1950, d'abord en Grande-Bretagne puis aux Etats-Unis, les papetiers commencent à produire un papier de longue conservation sans que des règles précises soient établies. La première norme définissant le papier permanent date de 1975 aux Etats-Unis. Suivront une première norme internationale en 1994 (ISO 9706 : exigences de permanence ¹⁹) puis une seconde en 1996 (ISO 11108 : exigences de durabilité ¹⁹). Ces deux normes intègrent plus d'un siècle de retour d'expérience des principaux services archivistiques internationaux. Le papier permanent est fabriqué à partir de pure cellulose sans pâte de bois mécanique, sans papier recyclé, sans matériaux composites ou mélanges de pâte ; son pH est légèrement basique (de 7,5 à 8,5) ; son indice Kappa ³ ²⁰ est

¹⁹ Permanence : capacité à rester stable à travers le temps ; durabilité : capacité à résister à l'usure normale et aux manipulations

²⁰ Il caractérise la résistance à l'oxydation sur une échelle de 0 à 100. Le papier blanc usuel au début des années 2000 a en général un indice Kappa entre 25 et 50 avant blanchiment

inférieur à 5 ; sa résistance à la déchirure est supérieure à 350 mN pour un grammage courant de 80 g/m². Il devrait être stable sur plusieurs siècles sous réserve de le manier avec précautions et de le conserver dans des lieux adaptés (faibles variations de température et d'hygrométrie).

Pédogénétique	Processus amenant à la formation des sols à partir d'une roche mère.
Période (radioactive)	C'est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes d'un isotope radioactif (radionucléide) se désintègrent naturellement. Le terme « demi-vie » est parfois utilisé comme synonyme de période radioactive.
PWR	Pressurized water reactor (réacteur à eau pressurisé), filière de réacteurs électronucléaires, d'origine américaine, choisie par la France au début des années 1970.
Quartz	Minéral siliceux.
Quartzite	Roche siliceuse compacte.
Radioélément	Élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs.
Radionucléide	Un isotope radioactif d'un élément chimique.
Radioprotection	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.
Rayon alpha (α)	Les rayons alpha (ou particules alpha) sont une forme de rayonnement émis par des particules hautement ionisées et peu pénétrantes. Elles sont constituées de deux protons et deux neutrons combinés en une particule identique au noyau d'hélium. Lorsque le noyau de l'atome est lourd, il peut émettre un rayonnement alpha. Les rayons alpha sont arrêtés par une simple feuille de papier.
Rayon bêta (β)	Lorsqu'il existe un déséquilibre entre le nombre de neutrons et le nombre de protons au sein du noyau d'un atome, celui-ci éjecte un électron pour compenser ce déséquilibre. Cette éjection produit des rayons bêta. Les rayons bêta sont stoppés par une feuille d'aluminium ou par une vitre.
Rayon gamma (γ)	Les rayons gamma sont une forme de rayonnement électromagnétique de haute énergie produits par la

désintégration d'un atome ou d'autre processus nucléaire ou subatomique. Les rayons gamma sont plus pénétrants que les rayonnements alpha et bêta, mais sont moins ionisants. Ils sont de même nature que les rayons X mais sont d'origine différente. Les rayons gamma sont produits par des transitions nucléaires tandis que les rayons X sont produits par des transitions électroniques provoquées en général par la collision d'un atome avec un électron à haute vitesse. Le blindage contre les rayons gamma requiert de grandes quantités de matière. Par exemple un blindage qui réduit de 50 % l'intensité des rayons gamma nécessite 1 cm de plomb, 6 cm de béton ou 9 cm de terre.

Rayon X	Les rayons X sont une forme de rayonnement électromagnétique à haute fréquence. La distinction entre les rayons X et les rayons gamma (qui sont de même nature et d'énergie semblable) vient de leur mode de production : les rayons X sont des photons produits par les électrons des atomes alors que les rayons gamma sont produits par les noyaux des atomes.
RD	Réseau de drains profonds, disposés en périphérie ou à proximité des galeries et du bâtiment des bassins du Centre de stockage de la Manche.
RFS	Règle fondamentale de sûreté. Ces règles sont émises par l'autorité de sûreté nucléaire. Chaque exploitant se doit de les respecter ou, s'il en adopte d'autres (les siennes, par exemple), de faire la démonstration que ses règles sont au moins aussi performantes que celle de la RFS.
RSGE	Réseau séparatif gravitaire enterré, destiné à collecter les éventuelles eaux infiltrées au travers de l'ensemble de la couverture et drainées à la base des ouvrages de stockage.
Schiste	Roche susceptible de se débiter en feuillets.
SCPRI	Service central de protection contre les rayonnements ionisants, remplacé par OPRI puis intégré pour partie en 2002 à l'Autorité de sûreté nucléaire (voir cette définition).
SCSIN	Service central de la sûreté des installations nucléaires (1973 à 1991) → voir « Autorité de sûreté nucléaire ».
Sécurité nucléaire	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.

Sievert (Sv)	<p>Le sievert est l'unité d'équivalent de dose (gray) reçu par un organisme. Le sievert permet aussi de quantifier un risque. Pour les fortes doses, les effets sur l'organisme sont déterministes : par exemple 8 Sv est la dose létale (mortelle) pour un être humain. Pour les faibles doses, l'effet est stochastique : par exemple une dose de 1 mSv/an pour un être humain correspond à une probabilité de diminution de son espérance de vie de 0,005 % (source : CIPR). Ses sous- multiples sont très souvent utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none">- mSv : millisievert = 10^{-3} Sv- μSv : microsievert = 10^{-6} Sv
Sûreté nucléaire	<p>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.</p>
Sv	Voir « Sievert ».
TBq	Voir « Becquerel ».
TFA	Très faible activité (déchets de).
TB	Tranchée bétonnée (ouvrage de stockage de première génération au Centre de stockage de la Manche).
TO	Tranchée ordinaire (ouvrage de stockage de première génération au Centre de stockage de la Manche).
Turpin	Voir « Commission Turpin ».
UF6	Hexafluorure d'uranium (dans sa forme gazeuse, il est utilisé dans le cycle d'enrichissement de l'uranium pour fabriquer le combustible des réacteurs électronucléaires).
UNGG	Uranium naturel graphite gaz : première filière de réacteurs électronucléaires choisie par la France dans les années 1960, avant de la remplacer par la filière PWR (pressurized water reactor) d'origine américaine au début des années 1970.
VC	Vie courte (déchets à) : déchets radioactifs dont la période radioactive (ou demi-vie) n'excède pas 30 ans.
VL	Vie longue (déchets à) : déchets radioactifs dont la période radioactive (ou demi-vie) est supérieure à 30 ans.
α	Voir « Rayon alpha ».

β	Voir « Rayon bêta ».
γ	Voir « Rayon gamma ».
μGy	Voir « Gray ».
μSv	Voir « Sievert ».

Version intermédiaire du 29/02/2008

ANNEXE 3 : LISTE DES RADIONUCLEIDES INVENTORIES SUR LE CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

Tableau 12 : différentes désignations des radionucléides inventoriés au Centre de stockage de la Manche

Tri par sigles anglo-saxons			Tri par numéros atomiques			Tri par désignations		
Sigle anglo-saxon	Sigle français	Désignation	Sigle français	Sigle anglo-saxon	Désignation	Désignation	Sigle français	Sigle anglo-saxon
AG108M	^{108m} Ag	Argent 108m	³ H	H3	Tritium 3	Américium 241	²⁴¹ Am	AM241
AM241	²⁴¹ Am	Américium 241	¹⁰ Be	BE10	Béryllium 10	Américium 243	²⁴³ Am	AM243
AM243	²⁴³ Am	Américium 243	¹⁴ C	C14	Carbone 14	Argent 108m	^{108m} Ag	AG108M
BE10	¹⁰ Be	Béryllium 10	³⁶ Cl	CL36	Chlore 36	Béryllium 10	¹⁰ Be	BE10
C14	¹⁴ C	Carbone 14	⁴¹ Ca	CA41	Calcium 41	Calcium 41	⁴¹ Ca	CA41
CA41	⁴¹ Ca	Calcium 41	⁵⁹ Ni	NI59	Nickel 59	Carbone 14	¹⁴ C	C14
CL36	³⁶ Cl	Chlore 36	⁶⁰ Co	CO60	Cobalt 60	Césium 135	¹³⁵ Cs	CS135
CM242	²⁴² Cm	Curium 242	⁶³ Ni	NI63	Nickel 63	Césium 137	¹³⁷ Cs	CS137
CM243	²⁴³ Cm	Curium 243	⁷⁹ Se	SE79	Sélénium 79	Chlore 36	³⁶ Cl	CL36
CM244	²⁴⁴ Cm	Curium 244	⁹⁰ Sr	SR90	Strontium 90	Cobalt 60	⁶⁰ Co	CO60
CO60	⁶⁰ Co	Cobalt 60	⁹³ Mo	MO93	Molybdène 93	Curium 242	²⁴² Cm	CM242
CS135	¹³⁵ Cs	Césium 135	⁹³ Zr	ZR93	Zirconium 93	Curium 243	²⁴³ Cm	CM243
CS137	¹³⁷ Cs	Césium 137	⁹⁴ Nb	NB94	Niobium 94	Curium 244	²⁴⁴ Cm	CM244
H3	³ H	Tritium 3	⁹⁹ Tc	TC99	Technétium 99	Etain 121m	^{121m} Sn	SN108M
I129	¹²⁹ I	Iode 129	¹⁰⁷ Pd	PD107	Palladium 107	Etain 126	¹²⁶ Sn	SN126
MO93	⁹³ Mo	Molybdène 93	^{108m} Ag	AG108M	Argent 108m	Iode 129	¹²⁹ I	I129
NB94	⁹⁴ Nb	Niobium 94	^{121m} Sn	SN108M	Etain 121m	Molybdène 93	⁹³ Mo	MO93
NI59	⁵⁹ Ni	Nickel 59	¹²⁶ Sn	SN126	Etain 126	Neptunium 237	²³⁷ Np	NP237
NI63	⁶³ Ni	Nickel 63	¹²⁹ I	I129	Iode 129	Nickel 59	⁵⁹ Ni	NI59
NP237	²³⁷ Np	Neptunium 237	¹³⁵ Cs	CS135	Césium 135	Nickel 63	⁶³ Ni	NI63
PD107	¹⁰⁷ Pd	Palladium 107	¹³⁷ Cs	CS137	Césium 137	Niobium 94	⁹⁴ Nb	NB94
PU238	²³⁸ Pu	Plutonium 238	¹⁵¹ Sm	SM151	Samarium 151	Palladium 107	¹⁰⁷ Pd	PD107
PU239	²³⁹ Pu	Plutonium 239	²²⁶ Ra	RA226	Radium 226	Plutonium 238	²³⁸ Pu	PU238

Tri par sigles anglo-saxons		
Sigle anglo-saxon	Sigle français	Désignation
PU240	^{240}Pu	Plutonium 240
PU241	$^{241}\text{Pu}\beta$	Plutonium 241
PU242	^{242}Pu	Plutonium 242
RA226	^{226}Ra	Radium 226
RA228	^{228}Ra	Radium 228
SE79	^{79}Se	Sélénium 79
SM151	^{151}Sm	Samarium 151
SN108M	$^{121\text{m}}\text{Sn}$	Étain 121m
SN126	^{126}Sn	Étain 126
SR90	^{90}Sr	Strontium 90
TC99	^{99}Tc	Technétium 99
TH232	^{232}Th	Thorium 232
U232	^{232}U	Uranium 232
U233	^{233}U	Uranium 233
U234	^{234}U	Uranium 234
U235	^{235}U	Uranium 235
U236	^{236}U	Uranium 236
U238	^{238}U	Uranium 238
ZR93	^{93}Zr	Zirconium 93

Tri par numéros atomiques		
Sigle français	Sigle anglo-saxon	Désignation
^{228}Ra	RA228	Radium 228
^{232}Th	TH232	Thorium 232
^{232}U	U232	Uranium 232
^{233}U	U233	Uranium 233
^{234}U	U234	Uranium 234
^{235}U	U235	Uranium 235
^{236}U	U236	Uranium 236
^{237}Np	NP237	Neptunium 237
^{238}Pu	PU238	Plutonium 238
^{238}U	U238	Uranium 238
^{239}Pu	PU239	Plutonium 239
^{240}Pu	PU240	Plutonium 240
^{241}Am	AM241	Américium 241
$^{241}\text{Pu}\beta$	PU241	Plutonium 241
^{242}Cm	CM242	Curium 242
^{242}Pu	PU242	Plutonium 242
^{243}Am	AM243	Américium 243
^{243}Cm	CM243	Curium 243
^{244}Cm	CM244	Curium 244

Tri par désignations		
Désignation	Sigle français	Sigle anglo-saxon
Plutonium 239	^{239}Pu	PU239
Plutonium 240	^{240}Pu	PU240
Plutonium 241	$^{241}\text{Pu}\beta$	PU241
Plutonium 242	^{242}Pu	PU242
Radium 226	^{226}Ra	RA226
Radium 228	^{228}Ra	RA228
Samarium 151	^{151}Sm	SM151
Sélénium 79	^{79}Se	SE79
Strontium 90	^{90}Sr	SR90
Technétium 99	^{99}Tc	TC99
Thorium 232	^{232}Th	TH232
Tritium 3	^3H	H3
Uranium 232	^{232}U	U232
Uranium 233	^{233}U	U233
Uranium 234	^{234}U	U234
Uranium 235	^{235}U	U235
Uranium 236	^{236}U	U236
Uranium 238	^{238}U	U238
Zirconium 93	^{93}Zr	ZR93

Tableau 13 : période (demi-vie) des radionucléides inventoriés au Centre de stockage de la Manche

Période (demi-vie) des radionucléides inventoriés sur le Centre de stockage de la Manche			
Sigle français	Sigle anglo-saxon	Désignation	Période (ans)
³ H	H3	Tritium 3	1,23 10 ¹
¹⁰ Be	BE10	Béryllium 10	1,60 10 ⁶
¹⁴ C	C14	Carbone 14	5,73 10 ³
³⁶ Cl	CL36	Chlore 36	3,02 10 ⁵
⁴¹ Ca	CA41	Calcium 41	1,03 10 ⁵
⁵⁹ Ni	NI59	Nickel 59	7,94 10 ⁴
⁶⁰ Co	CO60	Cobalt 60	5,27 10 ⁰
⁶³ Ni	NI63	Nickel 63	1,00 10 ²
⁷⁹ Se	SE79	Sélénium 79	6,50 10 ⁴
⁹⁰ Sr	SR90	Strontium 90	2,91 10 ¹
⁹³ Mo	MO93	Molybdène 93	3,50 10 ³
⁹³ Zr	ZR93	Zirconium 93	1,53 10 ⁶
⁹⁴ Nb	NB94	Niobium 94	2,03 10 ⁴
⁹⁹ Tc	TC99	Technétium 99	2,13 10 ⁵
¹⁰⁷ Pd	PD107	Palladium 107	6,50 10 ⁶
^{108m} Ag	AG108M	Argent 108m	4,18 10 ²
^{121m} Sn	SN108M	Etain 121m	5,00 10 ¹
¹²⁶ Sn	SN126	Etain 126	1,00 10 ⁵
¹²⁹ I	I129	Iode 129	1,57 10 ⁷
¹³⁵ Cs	CS135	Césium 135	2,30 10 ⁶
¹³⁷ Cs	CS137	Césium 137	3,00 10 ¹
¹⁵¹ Sm	SM151	Samarium 151	8,87 10 ¹
²²⁶ Ra	RA226	Radium 226	1,60 10 ³
²²⁸ Ra	RA228	Radium 228	5,75 10 ⁰
²³² Th	TH232	Thorium 232	1,41 10 ¹⁰

Période (demi-vie) des radionucléides inventoriés sur le Centre de stockage de la Manche			
Sigle français	Sigle anglo-saxon	Désignation	Période (ans)
^{232}U	U232	Uranium 232	$6,98 \cdot 10^1$
^{233}U	U233	Uranium 233	$1,59 \cdot 10^5$
^{234}U	U234	Uranium 234	$2,46 \cdot 10^5$
^{235}U	U235	Uranium 235	$7,04 \cdot 10^8$
^{236}U	U236	Uranium 236	$2,34 \cdot 10^7$
^{237}Np	NP237	Neptunium 237	$2,14 \cdot 10^6$
^{238}Pu	PU238	Plutonium 238	$8,77 \cdot 10^1$
^{238}U	U238	Uranium 238	$4,47 \cdot 10^9$
^{239}Pu	PU239	Plutonium 239	$2,41 \cdot 10^4$
^{240}Pu	PU240	Plutonium 240	$6,58 \cdot 10^3$
^{241}Am	AM241	Américium 241	$4,33 \cdot 10^2$
^{241}Pu	PU241	Plutonium 241	$1,44 \cdot 10^1$
^{242}Cm	CM242	Curium 242	$0,45 \cdot 10^1$
^{242}Pu	PU242	Plutonium 242	$3,74 \cdot 10^5$
^{243}Am	AM243	Américium 243	$7,36 \cdot 10^3$
^{243}Cm	CM243	Curium 243	$3,00 \cdot 10^1$
^{244}Cm	CM244	Curium 244	$1,81 \cdot 10^1$

Tableau 14 : rappel sur la signification des puissances de 10 utilisées notamment pour les périodes radioactives

10^0	1	10^4	10 000	10^8	100 000 000 100 millions
10^1	10	10^5	100 000	10^9	1 000 000 000 1 milliard
10^2	100	10^6	1 000 000 1 million	10^{10}	10 000 000 000 10 milliards
10^3	1 000	10^7	10 000 000 10 millions	10^{11}	100 000 000 000 100 milliards

ANNEXE 4 : RELECTEURS ET VERIFICATEURS DU DOCUMENT

Tous les relecteurs et vérificateurs sont listés par ordre alphabétique. Pour chacun d'eux, il est mentionné sa fonction actuelle, lorsque nécessaire son ancienne fonction en lien avec le Centre de stockage de la Manche (CSM), et sa contribution au présent document.

ANDRE Alain	Responsable environnement du CSM, chargé du stockage au CSM pendant son exploitation Vérification des aspects environnement
DURAND Alain	Chargé de mission auprès du directeur industriel, chargé pour le CSM de l'interface avec la commission Turpin et des aspects sûreté à cette époque Relecture de tous les aspects liés à la commission Turpin et vérification des chapitres 2 et 6
DRESSAYRE Catherine	Responsable des études de sûreté du CSM Vérification des chapitres 2, 4 et 6
DUTZER Michel	Adjoint du directeur industriel, en charge des études sur une couverture passive au CSM Relecture générale
FONTAINE Manuel	Responsable de la réalisation de la mémoire détaillée des centres de surface (CSM et CSA) Vérification du chapitre 7
LANGLOIS Guy	Chef du service support et administration, en charge de la gestion de l'inventaire détaillé du CSM Vérification des aspects inventaire
MEURVILLE Charles	Responsable des calculs de sûreté et d'impact du CSM Vérification des chapitres 2 et 6
MUZERELLE Sophie	Chargée de communication Relecture générale
NICOLAS Michel	Chef du service administratif des centres de l'Aube, chargé du stockage au CSM pendant son exploitation Vérification du chapitre 3
OSSENA Gérard	Responsable d'assainissement de sites pollués, chef du projet couverture du CSM Vérification du chapitre 3
SUEUR Philippe	Chef du service système d'informations, responsable de la mise en place de l'inventaire informatisé du CSM Vérification du chapitre 3 et de l'annexe 1

VERVIALLE Jean-Pierre

Directeur du CSM à la date de parution du document
Relecture générale

VOIZARD Patrice

Responsable de la veille internationale, directeur du CSM
du 01/09/1991 au 30/06/1995
Relecture générale

Version intermédiaire du 29/02/2008

**ANNEXE 5 : CONSIGNE DE CONSULTATION DE LA MEMOIRE
DETAILLÉE ET DES TIRAGES SUR PAPIER PERMANENT**

Consignes de consultation

Dans un souci de préservation des documents, les boîtes d'archives et les documents qu'elles contiennent, ainsi que les plans, doivent être manipulés avec des gants.

Avant toute recherche,
se reporter à la boîte GEN 01 (ou 20040001 article 001) qui contient toutes les règles d'utilisation de l'archivage à long terme du Centre de stockage de la Manche.

BIBLIOGRAPHIE

Liste des documents qui ont permis d'élaborer cette mémoire de synthèse et qui sont disponibles dans la mémoire détaillée :

- dernier rapport de sûreté du Centre de stockage de la Manche à l'Autorité de sûreté nucléaire à la date de parution du présent document (SUR.RP.ACSM.04.003/A de juin 2004 en date d'origine),
- notice de présentation pour la demande d'autorisation de modification du Centre de stockage de la Manche pour son passage en phase de surveillance (SUR.RP.ADSU.01.002/A de janvier 2001 en date d'origine),
- catalogue RP2 (INF.NT.AGDI.97.018/A de juin 1997 en date d'origine) correspondant à la synthèse détaillée de l'inventaire des déchets radioactifs du Centre de stockage de la Manche après les derniers retraitements liés aux incertitudes de la période 1969/1984,
- rapport de la « Commission d'évaluation de la situation du Centre de stockage de la Manche » (dite « Commission Turpin ») rendu public par un communiqué du gouvernement en date du 16 juillet 1996,
- tous les comptes rendus et courriers échangés avec cette commission « Turpin » (13/02/1996 sur les travaux à finir sur la couverture, 29/02/1996 sur le rapport préliminaire de sûreté de 1994, 10/04 et 09/05/1996 sur la présentation de l'inventaire, 10/05/1996 sur les sujets soumis à controverses [déchets étrangers, déchets militaires, plutonium, tritium, incident de 1976 et autres incidents, et radon], 17/05/1996 sur le tritium, 24/05/1996 sur la dosimétrie du personnel, 30/05/1996 sur les ouvrages et le stockage, 03/06/1996 sur les toxiques chimiques, 12/06/1996 sur les scénarios de sûreté et 19/06/1996 sur le démantèlement du centre).

Version intermédiaire

LISTE DES TABLEAUX DE DONNEES

Tableau 1 : classification des déchets radioactifs en France	12
Tableau 2 : volumes de déchets stockés par producteurs des déchets radioactifs.....	36
Tableau 3 : inventaire du Centre de stockage de la Manche par radionucléide	41
Tableau 4 : inventaire du Centre de stockage de la Manche par producteurs des déchets radioactifs.....	43
Tableau 5 : inventaires en toxiques chimiques du Centre de stockage de la Manche.....	47
Tableau 6 : inventaire des principaux toxiques chimiques par ouvrage de stockage.....	48
Tableau 7 : évolution de l'inventaire en alpha et en bêta gamma sur 300 ans.....	52
Tableau 8 : initiateurs, causes et conséquences possibles, et dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences retenues, pour les risques propres à l'installation de stockage.....	88
Tableau 9 : initiateurs, causes et conséquences possibles, et dispositions de prévention, de détection et de limitation des conséquences retenues, pour les risques naturels.....	89
Tableau 10 : évaluation de l'impact radiologique pour le risque d'intrusion humaine dans le stockage 300 ans après le début de la phase de surveillance	95
Tableau 11 : inventaire des radionucléides contenus dans chaque ouvrage de stockage.....	121
Tableau 12 : différentes désignations des radionucléides inventoriés au Centre de stockage de la Manche	149
Tableau 13 : période (demi-vie) des radionucléides inventoriés au Centre de stockage de la Manche.....	151
Tableau 14 : rappel sur la signification des puissances de 10 utilisées notamment pour les périodes radioactives.....	152

Version intermédiaire
29/02/2008

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 : Centre de stockage de la Manche dans son environnement en 2001.....	5
Illustration 2 : Henri Becquerel.....	7
Illustration 3 : le hangar de Pierre et Marie Curie à l'école de physique et de chimie.....	7
Illustration 4 : Frédéric Joliot et Irène Joliot-Curie.....	7
Illustration 5 : Enrico Fermi.....	8
Illustration 6 : réacteur G1 à Marcoule.....	8
Illustration 7 : centrale nucléaire de Chinon.....	8
Illustration 8 : schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire.....	9
Illustration 9 : mine d'uranium à ciel ouvert au Canada.....	9
Illustration 10 : yellow cake en fabrication.....	9
Illustration 11 : usine « Eurodif » d'enrichissement à Pierrelatte.....	10
Illustration 12 : assemblage combustible.....	10
Illustration 13 : manutention d'un assemblage combustible dans un réacteur nucléaire.....	10
Illustration 14 : traitement et recyclage du combustible.....	11
Illustration 15 : appareil de radiothérapie.....	11
Illustration 16 : utilisation de la radioactivité dans la recherche.....	11
Illustration 17 : ionisation d'aliments.....	12
Illustration 18 : emplacement des immersions françaises de déchets radioactifs avant 1969.....	13
Illustration 19 : déchets industriels métalliques banals de très faible activité.....	13
Illustration 20 : résidus industriels stabilisés de très faible activité.....	14
Illustration 21 : poubelle de déchets hospitaliers de faible et moyenne activité.....	14
Illustration 22 : hall d'entreposage des déchets de haute activité à vie longue de l'usine de retraitement des combustibles usés Areva NC de La Hague.....	14
Illustration 23 : empilement de blocs graphites à la centrale nucléaire de Chinon.....	15
Illustration 24 : Centre de stockage de la Manche (CM en blanc sur fond vert sur la carte) au centre de la presqu'île de La Hague.....	17
Illustration 25 : cérémonie de fin d'exploitation du Centre de stockage de la Manche (1994).....	18
Illustration 26 : trajet de Paris à Cherbourg par la route au début des années 2000.....	18
Illustration 27 : Centre de stockage de la Manche dans son environnement du Cotentin (2005).....	19
Illustration 28 : entrée du Centre de stockage de la Manche et bâtiment d'accueil du public (2006).....	20
Illustration 29 : bâtiment d'accueil du public en fin de construction (1999).....	20
Illustration 30 : Centre de stockage de la Manche face à la Manche (2005).....	21
Illustration 31 : carte géologique de positionnement du Centre de stockage de le Manche.....	22
Illustration 32 : coupes géologiques nord-sud au niveau du Centre de stockage de la Manche.....	23
Illustration 33 : localisation des ruisseaux au nord du Centre de stockage de la Manche (CM sur la carte).....	24
Illustration 34 : carte piézométrique des basses eaux de novembre 1969.....	25

Illustration 35 : carte piézométrique des hautes eaux en février 1970	26
Illustration 36 : carte piézométrique des hautes eaux en janvier 1990.....	26
Illustration 37 : directions des écoulements de la nappe en 1991	27
Illustration 38 : Centre de stockage de la Manche en exploitation en 1992.....	28
Illustration 39 : Manche à la pointe et au phare de Goury	29
Illustration 40 : Manche à Port Racine.....	30
Illustration 41 : stockage en tumulus (1986).....	31
Illustration 42 : élevage bovin près du cap de La Hague	31
Illustration 43 : la cascade du ruisseau de la Sainte-Hélène	32
Illustration 44 : paysage agricole près du Cap de La Hague.....	33
Illustration 45 : installation de la centrale à béton sur le Centre de stockage de la Manche en 1969.....	35
Illustration 46 : stockage d'un colis en coque béton en 1983	36
Illustration 47 : entreposage de colis en fûts métalliques en 1978.....	37
Illustration 48 : stockage de déchets en caisson métallique au centre de colis en coques béton en 1985	37
Illustration 49 : bordereau de livraison N°40 du 5 mai 1969	38
Illustration 50 : codes à barre sur les colis (fûts métalliques) assurant la traçabilité de leur contenu et le lien avec le dossier d'agrément en 1990.....	39
Illustration 51 : nombre de colis reçus par année.....	40
Illustration 52 : volume de déchets radioactifs (en m ³) reçus par année.....	41
Illustration 53 : somme des activités (en GBq) par année des radionucléides émetteurs alpha reçus	43
Illustration 54 : somme des activités (en GBq) par année des radionucléides émetteurs bêta gamma reçus.....	44
Illustration 55 : bordereau livraison manuscrit N°12 du 24 février 1969	45
Illustration 56 : extrait d'un cahier d'arrivage manuscrit en 1969.....	45
Illustration 57 : taux de maîtrise de la localisation des colis et de la localisation des radionucléides émetteurs alpha après la reconstitution de l'inventaire	46
Illustration 58 : taux de maîtrise des radionucléides émetteurs alpha entre ceux déclarés par les producteurs pour chacune des 2 périodes et ceux obtenus par calcul lors de la reconstitution de l'inventaire pour la première période.....	46
Illustration 59 : stockage de déchets radioactifs en caissons métalliques et en coques béton en 1989	47
Illustration 60 : répartition du plomb (en kg), en tant que toxique chimique, dans les ouvrages de stockage	48
Illustration 61 : répartition de l'activité en tritium (en GBq à la réception) dans les ouvrages	50
Illustration 62 : stockage en tumulus en 1987.....	51
Illustration 63 : stockage des déchets radioactifs en fûts métalliques entre des coques béton en 1974.....	52
Illustration 64 : répartition du plutonium 239 (en GBq à la réception) dans les ouvrages	53
Illustration 65 : arrivée des déchets radioactifs en fûts métalliques avec stockage immédiat en tumulus en 1980	53

Illustration 66 : répartition de l'activité massique (en GBq) dans les ouvrages de stockage en l'an 2300 (tous radionucléides et tous rayonnements confondus)	54
Illustration 67 : premiers bâtiments techniques en 1970.....	55
Illustration 68 : tranchée ordinaire de stockage de première génération (1969).....	55
Illustration 69 : colis de déchets radioactifs stockés en 1969 à même la terre, en tranchée ordinaire, avant leur reprise en 1981.....	56
Illustration 70 : plateforme de stockage de première génération (1971).....	56
Illustration 71 : tranchées bétonnées de première génération en cours de construction (1969).....	57
Illustration 72 : stockage en monolithes de deuxième génération (1985).....	57
Illustration 73 : stockage en tumulus de deuxième génération (1988).....	58
Illustration 74 : mise en place de cailloux concassés pour remplir les interstices des colis (1978).....	59
Illustration 75 : mise en place de gravier fin entre les colis.....	60
Illustration 76 : répartition des ouvrages sur le niveau supérieur du Centre de stockage de la Manche.....	61
Illustration 77 : répartition des ouvrages sur le niveau inférieur du Centre de stockage de la Manche.....	62
Illustration 78 : couverture provisoire des ouvrages de la tranche 1 (au fond) pendant l'exploitation de la tranche 2 (au centre) et de la tranche 3 (devant) en 1991.....	63
Illustration 79 : vue aérienne de la couverture en cours de construction pour les tranches 1 et 2 en 1995.....	64
Illustration 80 : pose de la membrane bitumineuse en 1996.....	64
Illustration 81 : mise en place en 1995 des matériaux de la couverture au-dessus de la membrane bitumineuse avec un drain en premier plan.....	65
Illustration 82 : soudure automatique de deux panneaux de la membrane bitumineuse en 1995.....	65
Illustration 83 : contrôle par ultrason de la qualité de la soudure de la membrane bitumineuse en 1995.....	65
Illustration 84 : schéma en coupe de la couverture réalisée après l'exploitation.....	66
Illustration 85 : mise en place des matériaux au-dessus de la membrane bitumineuse et soutènement de la couverture (devant) en 1994.....	66
Illustration 86 : représentation des déplacements cumulés de la couverture à fin 2006.....	67
Illustration 87 : exemple de fissures en crête de talus en 2006.....	68
Illustration 88 : mise en place d'un muret de soutènement de talus en 2007.....	68
Illustration 89 : réparation en 2005 du déboîtement d'un drain sur membrane en tête de talus.....	69
Illustration 90 : construction des réseaux de drainage profond en périphérie du stockage en 1984.....	69
Illustration 91 : drain entre deux panneaux de la membrane bitumineuse lors de la mise en place des matériaux situés au-dessus de cette membrane en 1994.....	70
Illustration 92 : plan du réseau des eaux de surface (2002).....	71
Illustration 93 : schéma des drains sur et sous membrane (2002).....	72
Illustration 94 : implantation des galeries du réseau séparatif gravitaire enterré (2002).....	73

Illustration 95 : schéma de principe des différents réseaux du Centre de stockage de la Manche (2002)	74
Illustration 96 : environnement général près du Centre de stockage de la Manche.....	75
Illustration 97 : pose d'un drain au-dessus de la membrane bitumineuse en 1994.....	76
Illustration 98 : schéma du bassin d'orage du Centre de stockage de la Manche (situé dans l'enceinte de la société Areva, Cogéma sur le schéma).....	77
Illustration 99 : prélèvement d'échantillons à l'extrémité de l'émissaire marin des rejets en mer.....	78
Illustration 100 : soudure manuelle de la membrane bitumineuse à son raccordement avec les chambres de drainage en 1993	78
Illustration 101 : début de mise en place des matériaux sur 2 panneaux de membrane bitumineuse de la couverture en 1997	78
Illustration 102 : début des travaux de couverture du Centre de stockage de la Manche en 1992.....	79
Illustration 103 : pose de la membrane bitumineuse (devant) et des matériaux au-dessus de cette membrane (au fond) pour la couverture en 1995	79
Illustration 104 : portique de déchargement des déchets livrés en caisson en 1970	81
Illustration 105 : ferrailage d'une dalle de fermeture d'un ouvrage au-dessus des colis en 1978.....	82
Illustration 106 : gravillonnage manuel des interstices entre colis en 1972.....	82
Illustration 107 : stockage de colis à l'aide d'un camion grue en 1981	83
Illustration 108 : pose d'une bande de membrane bitumineuse en parallèle à son soudage en 1993	84
Illustration 109 : pluviomètre du Centre de stockage de la Manche en 2002.....	85
Illustration 110 : tonte trimestrielle du gazon de la couverture de fin d'exploitation en 2003.....	86
Illustration 111 : vue d'artiste d'un projet de couverture passive arborée en 2007	86
Illustration 112 : mise en place progressive de la couverture après la fin d'exploitation en 1995.....	87
Illustration 113 : préparation d'une plateforme de stockage en 1977	90
Illustration 114 : stockage de déchets radioactifs en fûts métalliques en 1974.....	90
Illustration 115 : mise en place des matériaux sur les talus (à gauche), installation des chambres de drainage (à droite) et pose de la membrane bitumineuse (au fond) en 1995	91
Illustration 116 : mise en eau d'ouvrages de stockage suite à une remontée de la nappe phréatique basée sur sa recharge millénaire.....	92
Illustration 117 : répartition du radium 226 (en GBq à la réception) dans les ouvrages	93
Illustration 118 : répartition du nickel (en kg), en tant que toxique chimique, dans les ouvrages de stockage	94
Illustration 119 : archéologue au travail.....	95
Illustration 120 : chantier routier en cours	95
Illustration 121 : stockage de déchets radioactifs en caissons métalliques (premier plan) et en fûts métalliques (arrière plan) avec déchargement des camions au sein de la zone de stockage en 1973	96

Illustration 122 : sentier et environnement proche du Centre de stockage de la Manche en 2005.....	97
Illustration 123 : château dans l'environnement proche du Centre de stockage de la Manche en 2006.....	97
Illustration 124 : station atmosphérique de contrôle radiologique de l'air ambiant au Centre de stockage de la Manche en 2001.....	98
Illustration 125 : prélèvement d'herbes sur la couverture pour analyses radiologiques en 2003.....	98
Illustration 126 : repères de suivi d'un tassement de la couverture (piquets alignés) et récupérateur d'eau pour comparer l'analyse radiologique de l'eau de pluie avec celle qui stagne dans le tassement en 2003.....	99
Illustration 127 : prélèvement d'échantillon dans une chambre de drainage en 1998.....	99
Illustration 128 : prélèvement d'eau dans le ruisseau de la Sainte-Hélène pour analyse en 1999.....	100
Illustration 129 : prélèvement de végétaux dans le ruisseau des Roteures pour analyse en 1997.....	100
Illustration 130 : prélèvement pour analyse de sédiments dans le ruisseau du Grand Bel en 2001.....	101
Illustration 131 : prélèvement pour analyse de sédiments dans le ruisseau de la Sainte-Hélène en 2003.....	101
Illustration 132 : points de contrôle des ruisseaux en aval du Centre de stockage de la Manche.....	102
Illustration 133 : réseau des piézomètres internes au Centre de stockage de la Manche.....	103
Illustration 134 : prélèvement dans un piézomètre en 2004.....	103
Illustration 135 : poste de gardiennage en 2006 (intégré au bâtiment d'accueil du public qui est aussi le bâtiment des bureaux du personnel).....	104
Illustration 136 : désordre en mars 2007 (légers tassement et glissement en sommet de talus).....	104
Illustration 137 : visite du public près de la station météorologique en 2002.....	105
Illustration 138 : exposition « 100 ans d'histoire industrielle dans le Cotentin » au bâtiment d'accueil du public en 2000.....	105
Illustration 139 : construction des premiers bâtiments du Centre de stockage de la Manche en 1969.....	107
Illustration 140 : construction des premiers ouvrages de stockage bétonnés en 1975.....	107
Illustration 141 : Centre de stockage de la Manche en exploitation en 1979.....	108
Illustration 142 : stockage des colis de déchets radioactifs en tumulus en 1986.....	109
Illustration 143 : stockage de déchets radioactifs en coques béton sur tumulus en 1988.....	110
Illustration 144 : Manche près du Cap de La Hague en 2007.....	111
Illustration 145 : Centre de stockage de la Manche en 1989 (vu de l'arrière, entrée au fond).....	112
Illustration 146 : Centre de stockage de la Manche en 1999 (vu de l'arrière, entrée au fond).....	112
Illustration 147 : message destiné aux générations futures défavorable à l'énergie nucléaire.....	113
Illustration 148 : message destiné aux générations futures favorable à l'énergie nucléaire.....	113

Illustration 149 : messages destinés aux générations futures écrits sur papier permanent par des visiteurs, enfants et adultes, lors de la journée porte ouverte du 19 septembre 1999 consacrée à la mémoire du Centre de stockage de la Manche (plus de 150 pages de cette sorte figurent dans le vingt-deuxième document de la mémoire détaillée). Les deux exemples choisis montrent la controverse relative à l'énergie nucléaire.....	113
Illustration 150 : duplication sur papier permanent d'une sélection d'originaux pour constituer la mémoire détaillée du Centre de stockage de la Manche en 1998.....	114
Illustration 151 : vérification de la duplication sur papier permanent d'une sélection d'originaux pour constituer la mémoire détaillée du Centre de stockage de la Manche en 1998	114
Illustration 152 : consigne de consultation de la mémoire détaillée déposée dans chaque carton d'archives au-dessus des boîtes	115
Illustration 153 : différents moyens de conservation de la mémoire dans la deuxième partie du XXe siècle (exposition sur la mémoire au bâtiment d'accueil du public en 2002)	115
Illustration 154 : bordereau d'expédition d'un colis de déchets au sein de la mémoire détaillée (tous les bordereaux y sont) à manipuler uniquement avec des gants	116
Illustration 155 : entrée principale du Centre des archives contemporaines des Archives nationales de France à Fontainebleau, en 2004	117
Illustration 156 : bâtiments d'archives (avec 5 niveaux en sous-sol) du centre des archives contemporaines des Archives nationales de France à Fontainebleau, en 2004.....	117
Illustration 157 : salle de lecture du centre des archives contemporaines des Archives nationales de France à Fontainebleau, en 2004	117

Version intermédiaire 2008

SOMMAIRE DETAILLE

PREAMBULE	3
SOMMAIRE	5
1 LES ELEMENTS DE CONTEXTE.....	7
1.1 LA RADIOACTIVITE.....	7
1.2 LES REACTEURS NUCLEAIRES	8
1.3 LE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE.....	9
1.4 L'UTILISATION DE LA RADIOACTIVITE HORS ELECTRO-NUCLEAIRE	11
1.5 LES DECHETS RADIOACTIFS	12
1.5.1 Les déchets de très faible activité	13
1.5.2 Les déchets de faible et moyenne activité	14
1.5.3 Les déchets de haute activité	14
1.5.4 Les déchets radifères et graphites	15
2 LE CONTEXTE NATUREL ET HUMAIN DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE.....	17
2.1 LA DESCRIPTION DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE ET DE SON ENVIRONNEMENT	17
2.1.1 La localisation du Centre de stockage de la Manche.....	17
2.1.2 Le contexte socio-économique	18
2.1.3 Les contextes météorologique et climatologique	20
2.1.4 Les contextes géologique et sismologique	21
2.1.5 Le contexte hydrologique	24
2.1.6 Le contexte hydrogéologique	25
2.1.7 Le contexte physico-chimique des eaux souterraines.....	27
2.1.8 Le contexte maritime	29
2.2 LA SITUATION RADIOLOGIQUE DE REFERENCE.....	30
2.2.1 Introduction	30
2.2.2 La référence radiologique terrestre.....	31
2.2.3 Conclusion sur l'état de référence et ses évolutions.....	33
3 LE STOCKAGE DES DECHETS RADIOACTIFS	35
3.1 INTRODUCTION.....	35
3.1.1 L'origine et le volume des déchets stockés	35
3.2 LES COLIS DE DECHETS RADIOACTIFS	36
3.2.1 Le conditionnement des déchets radioactifs.....	36
3.2.2 Les types de colis et leur agrément.....	38
3.2.3 L'inventaire radiologique des colis stockés.....	39
3.2.4 La méthodologie de reconstitution de l'inventaire radiologique.....	44
3.2.5 L'inventaire en toxiques chimiques des colis stockés	47
3.2.6 L'incident tritium de 1976.....	49
3.2.7 Le cas particulier des activités alpha après 300 ans de surveillance et l'impossibilité de banaliser le site	51
3.3 LES OUVRAGES DE STOCKAGE	54
3.3.1 Introduction historique	54

3.3.2	Les tranchées ordinaires de première génération	55
3.3.3	Les plateformes de première génération.....	56
3.3.4	Les tranchées bétonnées de première génération	57
3.3.5	Les monolithes de deuxième génération	57
3.3.6	Les tumulus de deuxième génération	58
3.3.7	Les ouvrages particuliers	58
3.3.8	La répartition des ouvrages sur le Centre de stockage de la Manche.....	60
3.4	LA COUVERTURE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE.....	63
3.4.1	Introduction en termes de sûreté à long terme.....	63
3.4.2	La couverture réalisée après l'exploitation.....	64
3.4.3	Les ouvrages spécifiques de soutènement de la couverture	66
3.4.4	Les constats liés à l'observation de la couverture	67
3.5	LE DISPOSITIF DE COLLECTE DES EAUX.....	69
3.5.1	Introduction	69
3.5.2	Les réseaux de la couverture	70
3.5.3	Le réseau séparatif gravitaire enterré.....	72
3.5.4	L'exploitation des réseaux du Centre de stockage de la Manche.....	73
3.6	LES DISPOSITIFS POUR LES REJETS	74
3.6.1	L'évolution du mode de gestion des effluents au fil des années	74
3.6.2	Les dispositions réglementaires en vigueur (pour le passage en phase de surveillance).....	75
3.6.3	Les rejets liquides dans le ruisseau de la Sainte-Hélène	76
3.6.4	Les rejets liquides en mer	77
3.6.5	Les émanations gazeuses dans l'atmosphère.....	78
3.6.6	Les précautions à prendre en matière de seuil des rejets.....	79
4	LES PRINCIPES DE SURETE EN PHASE DE SURVEILLANCE ET L'ANALYSE DE SURETE	81
4.1	INTRODUCTION.....	81
4.2	LES PRINCIPES DE PREVENTION	82
4.2.1	Le principe d'isolement des déchets.....	82
4.2.2	Le principe de limitation de l'activité.....	82
4.2.3	Le principe de confinement	83
4.3	LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT	84
4.3.1	Le principe de la surveillance du site	84
4.3.2	Le principe de maintenance des installations dans une première étape	85
4.3.3	Le principe d'installation passive dans une seconde étape.....	85
4.4	L'ANALYSE DE SURETE DE LA PHASE DE SURVEILLANCE.....	87
4.4.1	L'analyse des risques.....	87
4.4.2	La sélection des scénarios enveloppes d'accidents et la méthode d'évaluation de leurs conséquences.....	89
4.4.3	Les conséquences d'une rupture des radiers simultanément à un effondrement de la couverture (scénario enveloppe de tous les risques inhérents à l'installation)	90
4.4.4	Les conséquences d'une remontée de la nappe phréatique (scénario enveloppe de tous les risques naturels).....	91
4.4.5	L'évaluation du risque d'arrêt de la surveillance du Centre de stockage de la Manche.....	92
4.4.6	L'évaluation du risque d'intrusion humaine.....	95

5	LA PHASE DE SURVEILLANCE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	97
5.1	LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT	97
5.1.1	Introduction	97
5.1.2	La surveillance radiologique	97
5.1.3	La surveillance de la couverture	98
5.1.4	La surveillance des rejets du Centre de stockage de la Manche.....	100
5.1.5	La surveillance de l'environnement du Centre de stockage de la Manche	101
5.2	LE GARDIENNAGE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE.....	104
5.3	LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS.....	104
5.4	L'INFORMATION DES POPULATIONS.....	105
6	LES IMPACTS PREVISIONNELS DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE SUR SON ENVIRONNEMENT EN SITUATION NORMALE EN TERMES DE DEVELOPPEMENT DURABLE.....	107
6.1	LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LE MILIEU TERRESTRE.....	107
6.1.1	Introduction	107
6.1.2	Les impacts prévisionnels sur l'hydrogéologie	107
6.1.3	Les impacts prévisionnels sur la biologie.....	108
6.1.4	Les impacts prévisionnels sur la radio écologie	108
6.2	LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LE MILIEU AQUATIQUE.....	110
6.3	LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LE MILIEU MARIN	110
6.4	LES IMPACTS PREVISIONNELS SUR LA SANTE PUBLIQUE	111
7	LA MEMOIRE DETAILLEE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	113
7.1	INTRODUCTION.....	113
7.2	LE VERSEMENT INITIAL DE LA MEMOIRE DETAILLEE.....	114
7.3	LES VERSEMENTS COMPLEMENTAIRES DE LA MEMOIRE DETAILLEE	117
7.4	CONSULTATION DE LA MEMOIRE DETAILLEE	118
8	LA STABILISATION ET LA DIFFUSION DE LA MEMOIRE DE SYNTHESE DU CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	119
8.1	ELABORATION ET STABILISATION DE LA MEMOIRE DE SYNTHESE.....	119
8.2	DIFFUSION DE LA MEMOIRE DE SYNTHESE.....	119
	ANNEXE 1 : INVENTAIRE RADIOLOGIQUE PAR OUVRAGE DE STOCKAGE	121
	ANNEXE 2 : SIGLES ET TERMINOLOGIE	140
	ANNEXE 3 : LISTE DES RADIONUCLEIDES INVENTORIES SUR LE CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE	149
	ANNEXE 4 : RELECTEURS ET VERIFICATEURS DU DOCUMENT.....	153
	ANNEXE 5 : CONSIGNE DE CONSULTATION DE LA MEMOIRE DETAILLEE ET DES TIRAGES SUR PAPIER PERMANENT.....	155
	BIBLIOGRAPHIE	157
	LISTE DES TABLEAUX DE DONNEES	159
	LISTE DES ILLUSTRATIONS	161
	SOMMAIRE DETAILLE	167