

LICENCE PROFESSIONNELLE

Mention « Chimie Analytique, Contrôle, Qualité,
Environnement »

Spécialité « Métrologie Chimique et Nucléaire »

Année Universitaire 2019-2020



Rapport de Projet Tuteuré

La gestion des déchets radioactifs de A à Z



CORMERAIS Joanne

MAZE Sara

PINABEL Sunniva

Tuteur Universitaire : Mme LE GUENNEC

Table des matières

1. Introduction	3
2. Historique	4
3. Caractéristiques des déchets nucléaires	7
3.1. La classification des déchets	7
3.2. Les différents types de colis	10
3.3. La réglementation	11
4. La gestion des déchets	11
4.1. Déchets et combustibles usés	11
4.2. L'entreposage	12
4.3. Le transport	13
4.4. Les risques	14
4.4.1. Risques liés aux transports	
4.4.2. Mesure des incidents/accidents	
5. Conclusion	17
6. Bibliographie	18

Table des figures

Figure 1 : Arrêt des rayonnements ionisants selon leur nature	3
Figure 2 : Immersion de déchets radioactifs dans les océans	4
Figure 3 : Stockage des déchets au CSM avant la couverture	5
Figure 4 : Site du CSM avec sa couverture végétale	7
Figure 5 : Répartition des volumes et niveaux de radioactivités de déchets, fin 2016	9
Figure 6 : Classification des colis	10
Figure 7 : Schéma des différentes couches de la couverture	13
Figure 8 : Echelle internationale des événements nucléaires	15

Liste des tableaux

Tableau I : Classification des déchets radioactifs et filières de gestion associées	8
---	---

1. Introduction

La radioactivité est un phénomène physique que les atomes instables utilisent afin d'atteindre la stabilité. Ce phénomène peut être naturel ou provoqué par l'homme. En effet, il existe 70 atomes à l'état naturel ayant des noyaux instables, donc radioactifs. Ils sont appelés radionucléides. Cette radioactivité peut se manifester sous différents rayonnements, appelés rayons α , β et γ . Ces rayons ne possèdent pas les mêmes caractéristiques (Figure 1). En effet, les rayons α sont très énergétiques mais sont arrêtés par une simple feuille de papier. Ce sont pourtant les rayons les plus dangereux. Les rayons β sont moins énergétiques et peuvent être arrêtés par une feuille d'aluminium. Les rayonnements γ sont quant-à-eux moyennement dangereux bien qu'étant arrêtés par un blindage très épais, par exemple 6 cm de plomb.

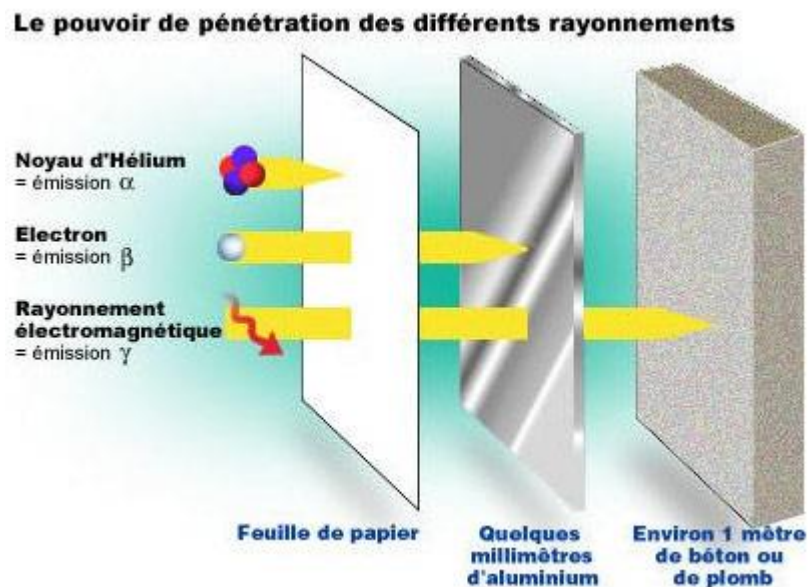


Figure 1 : Arrêt des rayonnements ionisants selon leur nature [1]

L'homme utilise cette radioactivité naturelle mais également de la radioactivité créée par lui-même. Cependant, il s'est rendu-compte que l'utilisation de la radioactivité présentait des dangers. C'est pourquoi, il a décidé de mettre en place une gestion des déchets nucléaires. C'est de ce sujet dont traite ce rapport.

2. Historique

En 1945, suite à la Seconde Guerre Mondiale, le Général De Gaulle décide de développer un projet nucléaire afin de mener des recherches sur l'utilisation de la radioactivité dans différents domaines (militaire, médecine, industrie...). Il créa le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) en 1945 avec la signature de l'ordonnance du 18 octobre 1945. Cette ordonnance définit le rôle du CEA.

Le CEA doit poursuivre les recherches sur l'utilisation de l'énergie atomique dans les différents domaines cités ci-dessus. Il doit également étudier les mesures de radioactivité permettant d'assurer la protection des biens et des personnes contre les effets négatifs de la radioactivité.

Le CEA possède bien d'autres rôles comme celui de s'occuper des gisements de matières premières, de réaliser les dispositifs générateurs d'énergie atomique, d'éclairer le gouvernement sur des négociations, ou encore de fournir toute information nécessaire au gouvernement concernant l'énergie atomique. Suite à cette création, le domaine du nucléaire se développe rapidement et en grande quantité. [2]

Toutes ces activités sont génératrices de déchets mais aucune gestion de ceux-ci n'est réalisée dans un premier temps. Bien qu'il n'y ait pas de stockage organisé et réglementé comme aujourd'hui, deux règles devaient être appliquées. La première est que les déchets devaient être conditionnés de manière sûre et adéquate. La seconde est que ces déchets conditionnés devaient être stockés sur un site du CEA. [2]

Afin de protéger l'Homme de la radioactivité émise par ces déchets nucléaires, de 1967 à 1982, des campagnes d'immersion des déchets dans l'Océan Pacifique Ouest et en Atlantique Nord-Est sont effectuées par plus de 4 000 mètres de profondeur (Figure 2). [3]



Figure 2 : Immersion de déchets radioactifs dans les océans [4]

Cette solution a été jugée comme la plus rationnelle. Les jeter dans des volcans s'avérait bien trop dangereux et les envoyer dans l'espace extrêmement compliqué. De plus, la quantité de radioactivité immergée était infime par rapport à la quantité d'eau présente dans les océans. La dilution est donc considérable et cette solution a été retenue comme étant la plus sûre pour l'homme. Plus de 14 200 tonnes de déchets nucléaires ont été immergées par la France. Les lieux d'immersions ont été choisis et les campagnes d'immersions coordonnées par l'AEN (Agence pour l'Energie Nucléaire) de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économique).

Lors des immersions, deux types de produits ont été immergés en mer. Les déchets liquides sont soit directement déversés dans les océans, soit mis en fûts, mais non solidifiés. Les déchets solides sont quant-à-eux placés dans une matrice de béton ou de bitume et incorporés dans des fûts métalliques. Par ailleurs, l'URSS et les USA ont également jeté des cuves de réacteurs nucléaires dans la mer lors de campagnes d'immersions. [3]

Les pays ayant participé à ces campagnes restent chacun responsables de leurs déchets propres. Les Etats-Unis sont les premiers à avoir immergé leurs déchets, dès 1946. En 1982, la dernière immersion est effectuée (hors URSS). En 1993, la convention de Londres est signée. Elle interdit l'immersion de tout type de déchet radioactif dans la mer. [3]

Aujourd'hui, les fûts sont toujours entiers mais présentent des traces de corrosion.

Dès l'arrivée des premières centrales nucléaires, les déchets radioactifs se sont accumulés, notamment les combustibles usagés. Le gouvernement a donc décidé en 1969 de construire un site de retraitement pour ces derniers, sur le site de La Hague. Dans la même année, le Centre de Stockage de la Manche (CSM) est ouvert, juste à côté de l'usine de retraitement, sous la responsabilité du CEA. Le CSM (Figure 3) est le premier site de stockage et d'enfouissement de déchets nucléaires en France. Il accueillera ainsi 1500 000 colis soit 527 225 m³ de déchets de faible ou moyenne radioactivité, entre 1969 et 1994. Ces déchets sont majoritairement issus de l'industrie électronucléaire.



Figure 3 : Stockage des déchets au CSM avant la couverture [7]

Le CSM étant le premier site de stockage par enfouissement en France, tout est à concevoir et à imaginer. Tout d'abord, les fûts sont déposés à même la terre dans des tranchées. Cette méthode est cependant rapidement abandonnée au profit de tranchées bétonnées ou de plateformes, selon la radioactivité des déchets. Le début de l'exploitation du site est ainsi une perpétuelle recherche d'amélioration et de correction d'erreurs. Cette première période d'exploitation a été marquée par deux incidents, le premier en 1973 et le second en 1976. [5, 6]

En 1973, le béton, utilisé pour l'enrobage des déchets radioactifs, contenait des restes d'eau. Cette eau en coulant, permettait à des radionucléides de Césium de sortir des colis positionnés sur la plateforme. Une fuite est alors détectée. Elle a rapidement été stoppée et maîtrisée. Le propriétaire de ces déchets a dû revoir et repenser sa méthode d'enrobage afin d'éviter tout nouveau problème.

En 1976, un taux anormal de tritium a été détecté dans un ruisseau situé non loin du site de stockage. Des recherches sont alors menées par le CEA afin de déterminer d'où pouvait provenir ce tritium. Il a été démontré que le tritium provenait d'une fuite dans l'une des tranchées bétonnées du site, la numéro 2, là où étaient stockés des déchets tritiés depuis 1971. Le tritium fuyait des fûts conditionnés et s'introduisait dans le sol. Par infiltration et ruissellement d'eau, le tritium arrivait dans le ruisseau de Sainte-Hélène. Afin de stopper cette contamination, les déchets sont retirés de la tranchée. Une partie est restockée au CSM avec des techniques plus adaptées et une autre partie, la plus contaminée, est envoyée au CEA pour entreposage. Cet incident a généré environ 120 m³ de déchets, soit trois fois le volume initial. Cette conséquence est l'un des problèmes liés à la contamination. Plus de déchets sont créés et doivent être stockés. Aujourd'hui, le ruisseau est toujours surveillé. [8]

Le CSM a ainsi été le premier site de stockage, a résolu les problèmes un à un et trouvé les solutions les plus adéquates pour réaliser l'entreposage des déchets radioactifs. Ce site a été fermé (Figure 4) en juin 1994 et n'accueillera plus aucun colis.



Figure 4 : Site du CSM avec sa couverture végétale [9]

En 1992, le site de stockage de l'Aube est créé pour accueillir les déchets de faible et moyenne activités afin de compenser la fermeture du site du CSM.

En 1979, une agence de gestion des déchets nucléaires est créée au sein du CEA, l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADIOactifs (ANDRA) est née.

En 1991, des recherches sont lancées afin de déterminer le meilleur moyen de stocker les déchets radioactifs les plus dangereux, c'est-à-dire ayant une durée de vie longue et une forte radioactivité. En effet, ces derniers ne peuvent pas être stockés comme les autres, en surface ou en faible profondeur, du fait de leur radioactivité plus élevée et leur temps de demi-vie important. Cela représenterait un danger pour l'homme. [10, 11]







En 2006, les chercheurs trouvent une meilleure solution : un site de stockage géologique. Un nouveau projet a été créé, le projet CIGEO, actuellement en phase de développement. Il s'agit d'un stockage géologique profond qui se situe dans la Meuse/Haute-Marne. Ce site a été choisi pour son sol argileux. Il permettra de stocker les déchets les plus radioactifs.

3. Caractéristiques des déchets nucléaires

3.1. La classification des déchets

Les déchets radioactifs sont classés en six catégories distinctes (Tableau I). Ces catégories ont été créées à partir de deux caractéristiques, le temps de demi-vie des radionucléides et le niveau de radioactivité de ces derniers.

Tableau I : Classification des déchets radioactifs et filières de gestion associées [12]

Catégorie	Déchets dits à vie très courte	Déchets dits à vie courte	Déchets dits à vie longue
Très faible activité (TFA)	 Gestion par décroissance radioactive	 Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA)		 Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	 Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA)			 Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA)	Non applicable		

Il y a trois types de déchets radioactifs :

- ceux dits à vie très courte (VTC), définis par une période radioactive des nucléides inférieure à 100 jours,
- ceux à vie courte (VC), caractérisés par une période inférieure ou égale à 31 ans,
- ceux à vie longue (VL), qui ont une période radioactive supérieure à 31 ans. La limite est fixée à 31 ans car elle correspond au temps de demi-vie du Césium 137.

Les déchets dits de haute activité (HA), ont une activité de plusieurs milliards de Becquerels par gramme. Ces déchets proviennent du retraitement du combustible usé utilisé dans un réacteur nucléaire. Ils sont conditionnés dans du verre (vitrification) et placés dans des conteneurs en acier inoxydable. [12]

Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ont une activité d'un million à un milliard de Becquerels par gramme. Ces déchets sont principalement des structures métalliques enveloppant les combustibles. Il peut s'agir des coques recouvrant les crayons ou des embouts servant à maintenir les crayons ensemble. Ils résultent majoritairement du retraitement des combustibles usés et des déchets liés à la maintenance des installations nucléaires. [12]

Les déchets de faible et moyenne activités à vie courte (FMA-VC), ont une activité de quelques centaines à un million de Becquerels par gramme. Ils sont issus du traitement des effluents liquides ou filtration des effluents gazeux mais également de la recherche médicale, de la maintenance ou encore du démantèlement des centrales nucléaires. [12]

Les déchets de très faible activité (TFA), activité inférieure à 100 Becquerels par gramme, découlent du fonctionnement, de la maintenance et de la recherche médicale ou du démantèlement.

Ils sont sous la forme de déchets inertes (béton, gravats) ou de déchets métalliques et plastiques. [12]

Les déchets à vie très courte (VTC) ont une activité très faible. Ils proviennent du domaine médical et sont sous forme d'effluents liquides ou gazeux, mais aussi de déchets solides ou liquides contaminés (utilisation de radionucléides). [12]

Enfin, les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), activité de quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de Becquerels par gramme, sont des déchets issus du démantèlement des premières centrales nucléaires ou des déchets contenant du Radium, autrement appelés déchets radifères. [12]

La figure 5 indique la répartition en volumes et niveaux de radioactivité de ces différents déchets :

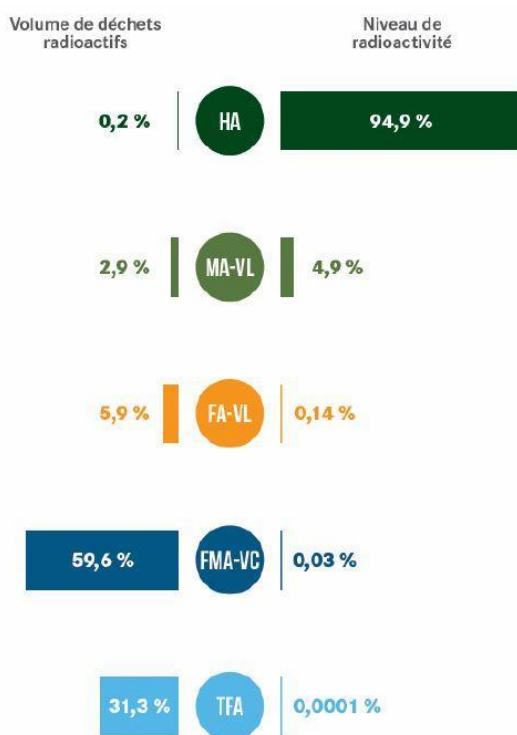


Figure 5 : Répartition des volumes et niveaux de radioactivités de déchets, fin 2016 [8]

3.2. Les différents types de colis

Les colis sont composés d'un emballage et d'un contenu radioactif. Il existe 5 types de colis (Figure 6) selon le contenu et le type d'emballage :

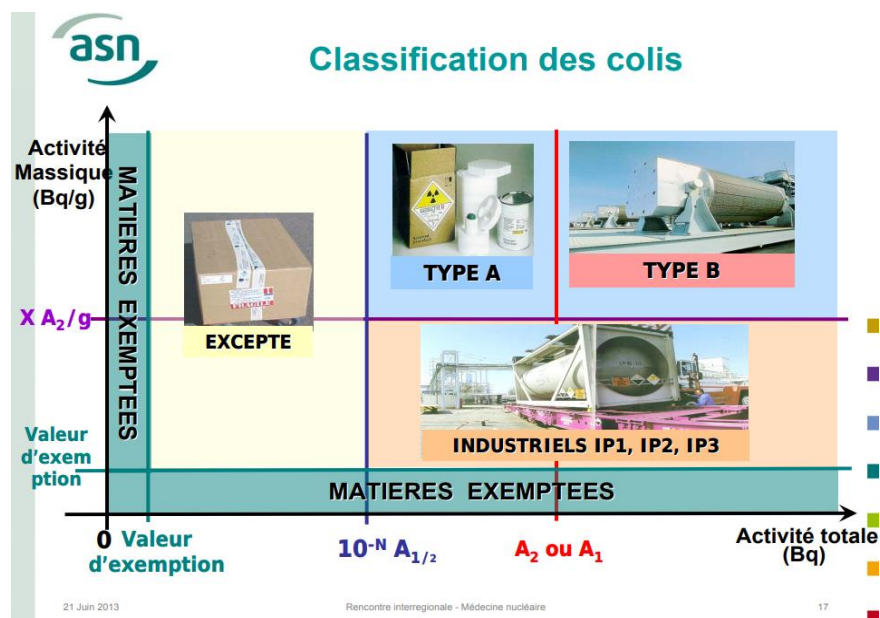


Figure 6 : Classification des colis [13]

Les colis de type A, contiennent les déchets médicaux, ils contiennent des radionucléides. L'emballage est petit, car il n'y a pas une grande quantité de produit, et doit résister aux petits chocs, à l'empilement des colis, la chute d'un objet perforant sur le colis et l'exposition à la pluie.

Les colis de type B, sont les combustibles irradiés, les déchets nucléaires vitrifiés de haute activité et les appareils de gammagraphie.

Les colis de type C, sont des substances hautement radioactives et transportés par voie aérienne.

Contrairement aux colis de type B ou C, les colis « Industriels » ne contiennent pas de produit fissile. Il s'agit de produits de faible activité, comme par exemple les déchets des hôpitaux, ou des objets non radioactifs avec une faible contamination de surface.

Il existe trois sous-catégories d'emballages : IP-1, IP-2 et IP-3. Ces sous-catégories classifient les emballages en fonction des exigences impliquées sur la résistance des colis (de IP-1, soumis uniquement au design, à IP-3, soumis au design et à la résistance aux conditions de transport).

Les colis « Exceptés » contiennent des produits de très faible activité (par exemple des horloges contenant du radium). Il n'y a pas de condition précise sur l'emballage et quelque réglementation de radioprotection en fonction de l'activité du produit.

3.3. La réglementation

Avant le décret n°2015-231 du 27 février 2015, les entreprises ayant vendu des appareils aux établissements étaient tenues de récupérer ces matériels gratuitement. Mais ce décret relatif à la gestion des sources radioactives scellées usagées, entré en vigueur le 1er juillet 2015, dit « *Les détenteurs de sources radioactives scellées usagées sont tenus de faire reprendre les sources périmées ou en fin d'utilisation pour leur élimination ; le décret leur permet de faire appel, pour se conformer à cette obligation, non seulement à leur fournisseur initial, mais aussi à tout fournisseur de sources radioactives ou à l'ANDRA. Le fait de conserver des sources radioactives scellées périmées est puni de l'amende prévue pour les contraventions de cinquième classe.* » [14]. Cette amende a une valeur de 1500 euros ou plus.

Par ailleurs, dans le monde du nucléaire, il y a une loi importante qui est la loi Bataille (n°91-1381 de la loi française rédigée le 30 Décembre 1991, mais rectifiée en 2006) ; nom dû à son initiateur Christian Bataille. Cette loi correspond aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs. Elle est centrée sur trois axes. Le premier axe concerne la séparation et la transmutation, c'est-à-dire extraire des actinides mineurs (éléments chimiques dangereux dont leur numéro atomique est compris entre 89 et 103) en les transformant en éléments radioactifs ayant une durée de vie plus courte. Le second axe est porté sur le stockage en profondeur. Enfin, le dernier axe relève du conditionnement et de l'entreposage des déchets radioactifs. [15]

4. La gestion des déchets

4.1. Déchets et combustibles usés

Les combustibles usagés représentent une grande partie de la radioactivité à traiter en France. Les combustibles sont envoyés en usines de recyclage, comme celle située à La Hague. Dès leur arrivée les combustibles sont pris en charge de façon automatisée. En effet les opérations se passent dans des salles dont les murs sont faits de béton armé sur 1,20 mètres. Ces salles sont entièrement

automatisées. En effet, la radioactivité est tellement élevée qu'aucun être vivant n'a pénétré dans l'une des salles depuis 50 ans.

Les crayons de combustible usé arrivent à l'usine de retraitement dans des « châteaux », d'où ils sont sortis et stockés en piscine cinq ans afin de faire baisser leur température et de permettre à la radioactivité de diminuer. Après ce séjour en piscine, les crayons sont cisailés et mis en solution dans de l'acide nitrique. Cette solution permet de dissoudre le combustible. Puis les déchets ultimes et produits de fission sont séparés des déchets recyclables qui seront utilisés pour fabriquer de nouveaux combustibles, appelés MOX. Les produits de fission sont ensuite traités à La Hague. Ils sont chauffés et introduits dans une matrice de verre, c'est la vitrification. Ce mélange est ensuite coulé dans des fûts en inox. Ce conditionnement assure que les déchets soient stockés de façon sûre et stable pour plusieurs milliers d'années. [16]

Par ailleurs, outre les milieux industriels nucléaires, médicaux et autres, la radioactivité se retrouve partout dans notre quotidien : environnement, alimentation, milieux scolaires, etc. D'après les rapports d'apprentissage de M. Le Quéré et J. Lacharme [17, 18], il a été retrouvé des objets radioactifs stockés dans de nombreux établissements scolaires de l'Académie d'Orléans-Tours. En effet, ils ont retrouvé différentes sources radioactives scellées (sel d'uranium et de thorium) et non scellées (strontium 90 et polonium 210), ainsi que naturelles (roches et minerais). De la radioactivité a aussi été retrouvée dans des réveils, des aiguilles de montre, dans des pots de peintures, etc. Tous ces objets font l'objet d'une centralisation en vue d'un retraitement.

4.2. L'entreposage

En France, il y a quatre centres de stockages de déchets radioactifs : deux dans l'Aube, un dans le Gard et un autre dans la Manche. Ces différents centres de stockages prennent en compte 90% des déchets radioactifs produits chaque année. Les 10% restants sont entreposés dans des installations spécifiques en attendant l'ouverture de d'autres centres de stockages.

Il y a trois types de stockages de déchets radioactifs en fonction du niveau de radioactivité et de sa durée de vie :

- le stockage de surface situé dans deux centres dans l'aube pour les déchets TFA et FMA-VC,
- le stockage à faible profondeur, encore à l'étude, concernant les déchets FA-VL,

- le stockage géologique profond, mis en place avec le projet CIGEO pour les déchets HA et MA-VL.

Le site de l'ANDRA :

Pour rappel, le site de l'ANDRA est fermé depuis juin 1994. Tous les déchets sont recouverts par une couverture ayant pour objectif d'empêcher l'eau d'atteindre les colis afin d'éviter la dispersion de substances radioactives dans l'environnement. Cette couverture a mis six ans (de 1991 à 1997) à être réalisée car elle comporte six couches (Figure 7). De haut en bas : la couche externe, composée de terre agricole, d'une barrière anti-intrusion d'animaux comportant des matériaux bruts (schistes, grès). La troisième couche, est appelé couche drainante car elle est formée de sable fins et de drains. En quatrième positions, il y a une membrane imperméable en bitume. De plus, une deuxième couche drainante est ajoutée. Enfin, la dernière couche est composée de matériaux bruts.

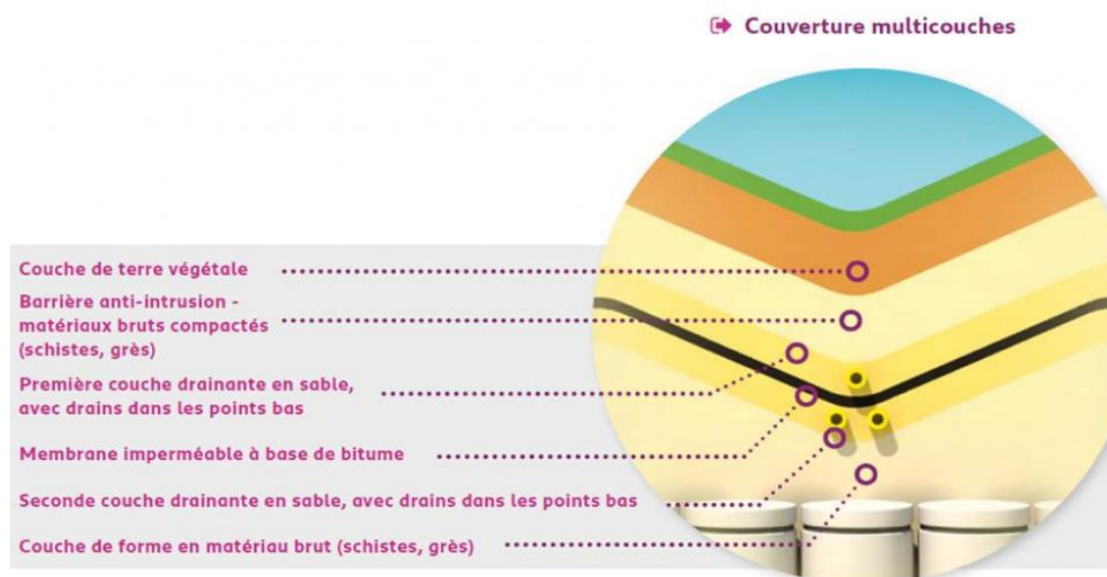


Figure 7 : Schéma des différentes couches de la couverture [19]

4.3. Le transport

Les déchets radioactifs sont transportés vers les différents lieux de stockages en fonction de leur classification.

En France, les déchets sont transportés par camion et/ou par train. Le réseau routier permet plus de souplesse pour les différentes cargaisons et livraisons des déchets circulant à travers les villes du pays. Le réseau ferroviaire permet la sûreté des colis gros et encombrants. Pour leur transport, les déchets nucléaires sont placés dans des conteneurs spéciaux, appelés « châteaux », conçus pour

résister à des accidents violents sans rejeter des éléments radioactifs en dehors des colis. Ces transports se font sous haute surveillance pour les déchets les plus radioactifs (escorte de gendarmes, suivi par satellites, trajets chronométrés). La majorité des déchets à retraiter passe par voie ferroviaire jusqu'à Valognes puis par transport routier jusqu'à La Hague.

Les autres modes de transports utilisés, lorsque les pays sont en partenariat avec Orano, sont :

- le bateau pour les combustibles MOX (cela représente 4% des transports de déchets radioactifs),
- l'avion lorsque ce sont des petits colis qui doivent être livrés urgemment (tels que des produits radiopharmaceutiques à courte durée de vie).

Il peut arriver quelquefois que des petits objets radioactifs de très faible activité soient envoyés par voie postale.

Quelques chiffres datant de 2015 [11] :

- 96% des transports se font par voie routière, 4% par route, avion et bateau ;
- 15 % des transports concernent le cycle du combustible nucléaire. Parmi ceux-ci, 200 chargements annuels pour les combustibles neufs, 200 pour les combustibles irradiés, une cinquantaine pour la poudre d'oxyde de plutonium et une vingtaine pour les combustibles MOX neufs. Cela équivaut à 114 000 colis par année.
- 56 % des colis sont transportés pour réaliser des contrôles techniques (530 000 colis/an et 28 % sont destinés à un usage médical (260 000 colis/an).

L'expéditeur est responsable de la sûreté du colis durant tout le transport et le transporteur a la responsabilité du bon déroulement de l'acheminement (selon le règlement du CEE-ONU, Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies, pour l'ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) l'accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route). [21, 22, 24, 25]

4.4. Les risques

4.4.1. Risques liés aux transports

Quel que soit le mode de transport utilisé pour amener les déchets sur leur site de stockage ou vers leur pays d'origine, les risques, même maîtrisés, sont toujours présents.

Il existe principalement cinq risques lors du transport de déchet nucléaires : l'irradiation, la contamination, la criticité, le vol ou le détournement et les risques chimiques. [22, 23, 24, 25]

- L'irradiation : Les déchets radioactifs émettent des rayonnements qui peuvent être dangereux pour la santé. Les colis sont conditionnés afin d'éviter ce risque aux travailleurs et à la population grâce aux différents types de conditionnement (matrice béton, ciment, bitume).

- La contamination : Les rayonnements peuvent irradier de deux manières : en interne (inhalation, ingestion) et en externe (contact avec la peau ou le sol). Le transfert de cette irradiation peut être provoqué par une mauvaise décontamination de la surface du colis (la matière du colis irradie alors qu'elle ne devrait pas) ou une fuite de produits radioactifs du colis. Il s'agit d'un enchaînement de réactions neutroniques qui dégagent de l'énergie thermique et de grandes émissions de rayonnements gammas et neutroniques.

- Le plutonium et l'uranium enrichi peuvent être des cibles de vol pour des utilisations malveillantes.

- Lors de la fabrication du combustible, un élément est très sensible à l'humidité (l'hexafluorure d'uranium) et peut provoquer un nuage toxique (l'acide fluorhydrique et d'oxyfluorure d'uranium). [22]

4.4.2. Mesure des incidents/accidents

L'échelle internationale des événements nucléaires (INES) permet de catégoriser la gravité des différents accidents et incidents qui peuvent arriver (Figure 8).

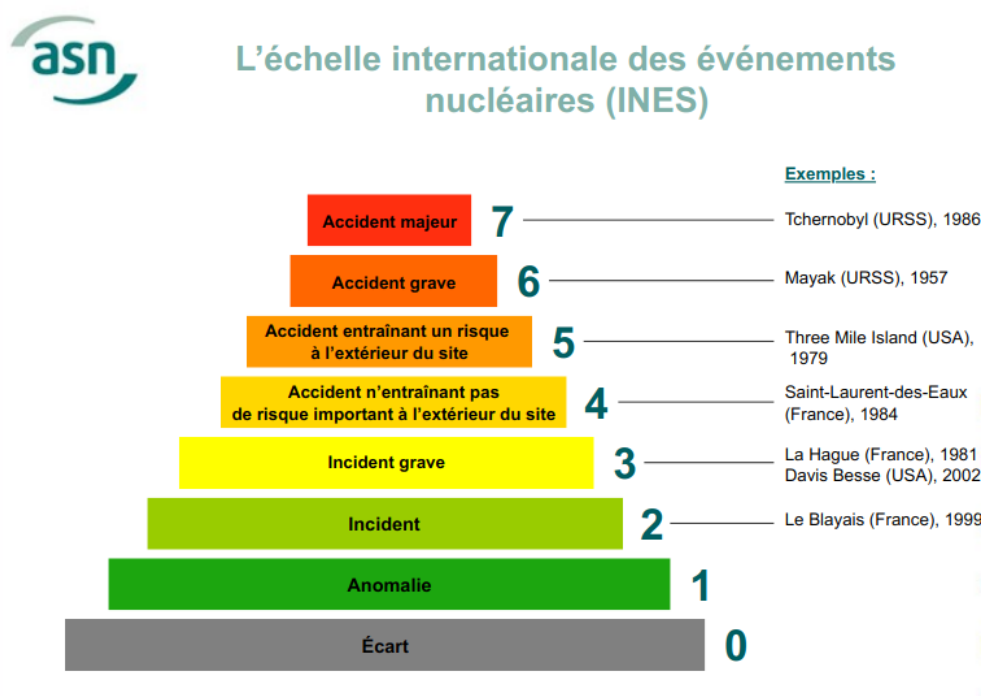


Figure 8 : Echelle internationale des événements nucléaires [13]

Il y a majoritairement deux catégories d'évènements nucléaires : les incidents (niveaux 1 à 3) et les accidents (niveaux 4 à 7). La différence entre ces deux termes est qu'un incident est un événement qui n'amène pas de conséquences grave alors qu'un accident entraîne des dommages importants.

5. Conclusion

La gestion des déchets est complexe et en perpétuelle évolution. Elle doit pouvoir protéger l'homme, résister au temps et être transmise aux générations futures. C'est l'essentielle tâche actuelle de l'ANDRA. Le projet CIGEO s'inscrit également dans cette optique.

La gestion des déchets est donc extrêmement suivie, minutieusement, que ce soit pour la récupération des déchets, leur transport, le retraitement de combustibles usagés ou bien encore l'enfouissement. Les risques liés à ces activités sont limités par des réglementations et des contrôles continuels et poussés. Chaque étape de la gestion des déchets nucléaires est précisément définie.

Par ailleurs, au lieu de stocker ces déchets, il serait peut-être possible, à l'avenir, de les recycler. En effet, des scientifiques de l'Université de Bristol ont réussi à fabriquer, à partir de déchets nucléaires, un diamant capable de fournir de l'électricité de façon presque infinie, pour 5730 ans [25]. Ce diamant a été créé à partir du gaz radioactif émanant du ^{14}C provenant de caissons de graphites, devenus radioactifs avec l'uranium qu'ils contiennent. Une deuxième couche de diamant non radioactif entoure l'objet permettant d'utiliser cette nouvelle source d'énergie sans risque.

Les déchets nucléaires pourront-ils un jour être entièrement recyclés et produire de l'énergie propre et sans danger ?

6. Bibliographie

- [1]- IRSN, *Qu'est ce qu'un rayonnement ionisant ?* [en ligne], Disponible sur :<https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire_et_societe/education-radioprotection/bases_radioactivite/Pages/8-rayonnement-ionisant.aspx?dId=fdfbf94-5a08-4374-99a7-e772c13d6efc&dwId=4ebb03d4-cee6-4f60-b75e-bf421cc5b46c#.Xjp6iWhKiUk> (Consulté le 05/02/2020)
- [2]- CEA, *L'histoire de la création du CEA* [en ligne], (Publié le 21 avril 2017) , Disponible sur :<<http://www.cea.fr/Pages/le-cea/histoire-creation-CEA.aspx>> , (Consulté le 05/02/2020)
- [3]- ANDRA, *Les déchets radioactifs immergés*, [en ligne], (publié en Mars 2017) , Disponible sur :<https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/dossier_dechets_immerges.pdf> (Consulté le 05/02/2020)
- [4]- ANDRA, *Immersion de déchets radioactifs en mer dans les années 1960*, (sans date), [photographie] **In** : *ANDRA : Les déchets radioactifs immergés*, Disponible sur :<https://www.andra.fr/sites/default/files/styles/content_image/public/2017-12/immersion_0.png?itok=A-wyyfae>, (Consulté le 05/02/2020)
- [5]- ANDRA, *Historique de la gestion des déchets radioactifs*, [en ligne], Disponible sur :<<https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/les-solutions-de-gestion/historique-de-la-gestion-des-dechets-radioactifs>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [6]- ANDRA, *Histoire*, [en ligne], Disponible sur :< <https://www.andra.fr/nous-connaître/histoire>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [7]- ANDRA, *épisode 50 ans du CSM*, (sans date), [photographie] **In** : *ANDRA : Décryptage*, Disponible sur :<https://manche.andra.fr/sites/manche/files/styles/media_crop/public/2019-08/episode_2_50_ans_csm.jpg?itok=mb9u2eXc> , (Consulté le 05/02/2020)
- [8]- *Déchets Radioactifs : Le Centre de la Manche : un peu d'histoire I Nos différents centres de stockage* [3 Octobre 2014] [enregistrement vidéo], **In** : ANDRA, *Centre de stockage de la Manche*. [11'57 "] [en ligne] Disponible sur :< https://www.youtube.com/watch?v=sBtEDSAp9OQ&feature=emb_title> (Consulté le 05/02/2020)
- [9]- ANDRA, *Centre de stockage de la Manche*, (sans date), [photographie] **In** : *La Manche changez de point de vu*, Disponible sur :<<http://cdt50.media.tourinsoft.eu/upload/beaumont-hague-andra.jpg>> , (Consulté le 05/02/2020)

- [10]- ANDRA, *Cigéo*, [en ligne], Disponible sur :< <https://www.andra.fr/cigeo>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [11]- ANDRA, *Plus de 25 ans de recherches*, [en ligne], Disponible sur :< <https://www.andra.fr/cigeo/plus-de-25-ans-de-recherches>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [12]- ANDRA, *Inventaire National des matières et déchets radioactifs*, [en ligne] , Disponible sur :<https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-maj_essentiels_2020-web.pdf>, (Consulté le 05/02/2020)
- [13]- RENCONTRE INTERREGIONALE MEDECINE NUCLEAIRE, MEYERS Gabriel, *La réglementation relative au transport de sources radioactives Services de médecine nucléaire*, 21 juin 2013, Format PDF.
- [14]- Legifrance.gouv.fr, *Décret n° 2015-231 du 27 février 2015 relatif à la gestion des sources radioactives scellées usagées*, [en ligne], Disponible sur :<<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000030296304&%20categorieLien=id>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [15]- Le Parisien, *Loi Bataille*, [en ligne], Disponible sur :<<http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Loi%20Bataille/fr-fr/>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [16]- Orano, *La Hague*, [en ligne], Disponible sur : <<https://www.orano.group/fr/expertise-sur-tout-le-cycle/tour-des-implantations/recyclage-combustible-use/la-hague/expertise-unique>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [17]- LE QUÉRÉ, Maryanne, *Mesures et prévention et de protection envers les personnels de laboratoire* , Rapport d'activités en entreprise de la Licence Professionnelle Métrologie Chimique et Nucléaire, Nantes : UFR Sciences et Techniques de Nantes, 2017, 30p.
- [18]- LACHARME, Julien. *Mesures et prévention et de protection en présence d'objets radioactifs en milieu scolaire*, Rapport d'activités en entreprise de la Licence Professionnelle Métrologie Chimique et Nucléaire, Nantes : UFR Sciences et Techniques de Nantes, 2017, 29p.
- [19]- ANDRA, *La conception du centre de stockage*, [en ligne], Disponible sur :< <https://manche.andra.fr/landra-dans-la-manche/la-conception-du-centre-de-stockage>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [20]- IRSN, *Le transport de matières radioactives*, [en ligne], Disponible sur :<https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/transport/transport-matiere-radioactive/Documents/irsn_livret_transport_matiere_radioactives.pdf> , (Consulté le 05/02/2020)

- [21]- UNECE, *About the ADR*, [en ligne], Disponible sur : <https://www.unece.org/fr/trans/danger/publi/adr/adr_f.html>, (Consulté le 05/02/2020)
- [22]- ASN, *Le transport des substances radioactives en France*, [en ligne], (mise à jour le 08/08/2019), Disponible sur : <<https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Transport-des-substances-radioactives-en-France>> , (Consulté le 05/02/2020)
- [23]- IRSN, *Le transport de matières radioactives*, [en ligne], (mise à jour mars 2018), Disponible sur : <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/transport/transports-matieres-radioactives/Pages/0-transports-matieres-radioactives-sommaire.aspx#.XjrNbmhKiUI>, (Consulté le 05/02/2020)
- [24]- ASN, *Les activités contrôlées par l'ASN*, [en ligne], Disponible sur : <https://www.asn.fr/annual_report/2011fr/fichiers/RA2011_Chap11.pdf>, (Consulté le 05/02/2020)
- [25]- ASN, *Principes de sûreté pour le transport de substances radioactives - La robustesse du colis*, [en ligne], (modifié le 03/07/2017), Disponible sur : <<https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Transport-des-substances-radioactives-en-France/Principes-de-surete-La-robustesse-du-colis>>, (Consulté le 05/02/2020)
- [26]- DEVIGNAU Régis, *Des batteries quasi éternelles fabriquées à partir de déchets nucléaires*, Ouest France, 24/01/2020, [en ligne], Disponible sur : <<https://www.ouest-france.fr/environnement/nucleaire/des-batteries-quasi-eternelles-fabriquees-partir-de-dechets-nucleaires-6705386>> , (Consulté le 05/02/2020)
- [27]- WNTI, *Types d'emballages utilisés pour le transport de matières radioactives*, [en ligne], Disponible sur : <https://www.wnti.co.uk/media/8095/FS2_FR_MAR13_V2.pdf>, (Consulté le 05/02/2020)
- [28]- ANDRA, *Tout savoir sur la gestion des radioactifs*, [en ligne], Disponible sur : <<https://www.andra.fr/sites/default/files/2017-12/3371.pdf>>, (Consulté le 05/02/2020)

La gestion des déchets radioactifs de A à Z

La gestion des déchets nucléaires est un sujet important en France, en effet ceux-ci sont en forte augmentation chaque année dans différents domaines.

Les déchets sont classés selon certaines règles. Cela permet une bonne gestion et une protection pour l'environnement et les êtres vivants.

Ces préoccupations sont apparues au fur et à mesure que l'impact de la radioactivité a été découvert. Cela a conduit à une réglementation qui a évolué et évolue toujours.

De nouvelles techniques de gestion des déchets radioactifs apparaissent au fil des siècles pour garantir la sécurité des générations actuelles et futures.

Mots Clés :

Nucléaire

Déchets

Nuclear waste's management from A to Z

Nuclear waste's management is a key issue in France, indeed the amount of global waste increases at a considerable rate every year.

Wastes are classified according to certain criteria. These rules allow for good management and protection of people and the environment.

Research has exposed the threat that waste poses and as a result concerns have increased. This has led to stricter regulations that continue to evolve to best protect people and the planet.

Over time, new radioactive waste management techniques are put in place to protect current and future generations.

Radioactivité

Réglementation