Les déchets radioactifs en France

Publié le 15.12.09 | Par Michel Jorda, Xavier Dumont

Cet article présente les différentes sortes de déchets radioactifs générés en France par les activités industrielles (essentiellement la production d'électricité par voie nucléaire) ou des laboratoires. Leur classification simplifiée est ensuite indiquée ainsi que des ordres de grandeur des quantités dont il faut assurer la gestion

1. Introduction

1.1. Définition

Est un déchet, « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble, abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Les déchets radioactifs répondent en partie à cette définition très générale. Ils sont en outre radioactifs, ce qui, pour la réglementation française, signifie qu'ils contiennent « un ou plusieurs radionucléides* dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection » (arrêté du 09/09/1997). En conséquence, une réglementation précise et rigoureuse encadre leur gestion : on n'"abandonne" pas un déchet radioactif !

1.2. Origines

A ce jour, le législateur n'a pas souhaité fixer de critères précis, tels que la nature des nucléides (naturels ou artificiels) à l'origine de la radioactivité ou le niveau de cette radioactivité (seuil), pour distinguer un déchet radioactif d'un déchet "banal". En conséquence, tout processus industriel susceptible de concentrer la radioactivité naturelle, même si sa finalité n'est pas de produire des matières radioactives (fabrication d'engrais phosphatés, production de terres rares) peut engendrer des déchets radioactifs. *A fortiori,* les processus destinés à produire ou à "trier" de la matière radioactive vont produire des déchets radioactifs : extraction de l'uranium, fabrication des combustibles nucléaires, traitement des combustibles irradiés. Parallèlement, des activités à caractère industriel, médical ou de recherche, sans rapport avec la production d'énergie mais qui mettent en œuvre, elles aussi, des matières radioactives, engendrent nécessairement des déchets radioactifs.

1.3. Ordre de grandeur

Environ 85 % du volume des déchets radioactifs produits annuellement ont pour origine la production d'électricité. Les 15 % restants proviennent des industries non nucléaires, des hôpitaux, des universités ou de la recherche, ainsi que de la production et de l'entretien de l'armement nucléaire.

Il est parfois reproché à l'industrie nucléaire la masse des déchets radioactifs engendrés. Il s'agit d'un effet de loupe qui mérite d'être relativisé. Si la production française annuelle est de l'ordre de 50 000 t (toutes espèces confondues, soit 20 à 25 000 m^3), la production des déchets hospitaliers est de l'ordre de 700 000 t, celle des déchets industriels spéciaux de 18 millions de tonnes, celle des déchets ménagers (nos "poubelles") de 30 millions de tonnes, celle des déchets industriels et banals de 130 millions de tonnes et celle, enfin, des déchets agricoles de 600 millions de tonnes.

2. Nature des déchets radioactifs

2.1. Résumé

Du point de vue de leur nature physique, les déchets radioactifs peuvent être classés en deux catégories. La première constitue les **déchets nucléaires** à proprement parler, c'est-à-dire les résidus de la fission nucléaire entretenue dans les réacteurs producteurs d'électricité. Ils se composent de produits de fission et de transuraniens qui, aujourd'hui, restent mélangés. La seconde, les **autres déchets radioactifs**, sont beaucoup plus abondants mais beaucoup moins radioactifs. Il s'agit de matières ou matériaux, souvent banals (gants, chiffons, outils, parties d'installation...), qui ont été contaminés lors de leur contact avec des radionucléides au cours de l'utilisation qui en a été faite.

2.2. Les déchets nucléaires

- Les produits de fission résultent de la rupture (fission) du noyau d'uranium 235 (et plutonium 239) et constituent une grande variété de radionucléides, pour la plupart à vie courte (≤ 30 ans) ou très courte. Ils sont à l'origine de la très haute radioactivité des déchets nucléaires mais, en contrepartie, ils auront pratiquement disparu en un millier d'années. Deux représentants types en sont le strontium 90 et le césium 137, de périodes radioactives respectives de 28,5 et 30,2 ans.

- Les transuraniens sont des radionucléides plus lourds que l'uranium 238, formés à partir de lui dans le coeur du réacteur, pendant son fonctionnement, par capture de neutrons. Ce sont donc un certain nombre d'isotopes radioactifs des éléments venant après l'uranium dans la classification de Mendeleïev : neptunium, plutonium, américium, curium. Les isotopes impairs (239, 241) du plutonium sont fissiles, c'est-à-dire susceptibles de subir la réaction de fission, même par des neutrons lents. Pour cette raison, le plutonium n'est pas considéré comme un déchet mais comme une matière noble, capable de produire de l'énergie et méritant à ce titre d'être extraite et valorisée : c'est l'objectif premier du traitement des combustibles usés (« retraitement », dans le vocabulaire usuel du technicien). En conséquence, les déchets transuraniens sont les différents isotopes du neptunium, de l'américium et du curium, accompagnés des traces de plutonium que le procédé industriel de traitement ne permet pas d'extraire. Certains de ces radionucléides, émetteurs alpha, sont à longue ou très longue période (à titre d'exemple, celle du plutonium 239 est de 24 000 ans et celle du neptunium 237 est de 2,1 millions d'années). Ils sont la cause principale de la radioactivité à long terme des déchets nucléaires (il existe aussi quelques produits de fission à très longue période).

En France, l'essentiel des déchets nucléaires est vitrifié à l'issue du traitement des combustibles irradiés. Ceci sera détaillé par la suite.

2.3. Les autres déchets radioactifs

Les autres déchets radioactifs proviennent de toutes les activités industrielles, en tête desquelles se trouvent les activités relatives au cycle du combustible nucléaire, mais aussi les activités de recherche, de santé ou de défense nationale, qui mettent en œuvre des radionucléides. Selon les caractéristiques de leur radioactivité, ils sont classés en déchets "A" ou "B". Il existe aussi des déchets à vie très courte (VTC), issus des usages médicaux de la radioactivité, et des déchets de très faible activité (TFA) issus de la "déconstruction" des installations nucléaires. Le chapitre suivant détaille le classement et le sort de ces différents déchets radioactifs.

3. Classification et gestion à long terme des déchets radioactifs

3.1. Présentation

Que les déchets soient de "vrais" déchets ou des déchets plus "ordinaires" contaminés par des radionucléides, leur sort, du point de vue de leur gestion et des exutoires possibles, dépend en premier lieu des caractéristiques de leur radioactivité :

- la période radioactive des nucléides contenus, déterminant la "vitesse" de décroissance de la radioactivité. Elle permet de définir la durée de la nuisance potentielle du déchet. En pratique, on distingue les déchets **à vie très courte** (période de l'ordre du jour), les déchets **à vie courte** (tous les radionucléides contenus ont une période inférieure à 30 ans) et les déchets **à vie longue** (au moins un radionucléide présent a une période supérieure à 30 ans) ;

- la radioactivité initiale du déchet, c'est-à-dire l'intensité du rayonnement qu'il émet, qui conditionne l'importance des protections à utiliser. On classe les déchets en activités : très faible (TFA), faible (FA), moyenne (MA) ou haute (HA). Cette activité initiale a également une influence sur la durée de la nuisance dans la mesure où, à période égale, le retour à une activité du même ordre de grandeur que la radioactivité de la croûte terrestre sera d'autant plus long que l'activité initiale est plus élevée.

Tableau I - **Classification des différentes catégories de déchets.**

<table>
<tr><th>Durée de vie
Activité</th><th>Déchets à vie très courte (VTC)
T = qq jours</th><th>Déchets à vie courte (VC)
T ≤ 30 ans</th><th>Déchets à vie longue (VL)
T > 30 ans</th></tr>
<tr><td>TFA</td><td rowspan="4">gestion par décroissance radioactive</td><td colspan="2">centre de stockage en surface, en exploitation par l'Andra (Morvilliers, Aube)</td></tr>
<tr><td>FA</td><td rowspan="2">centre de stockage en surface, en exploitation par l'Andra (Soulaines, Aube)</td><td>filières à l'étude (radifères, graphite)</td></tr>
<tr><td>MA</td><td rowspan="2">à l'étude (loi de 1991)</td></tr>
<tr><td>HA</td><td>n'existent pas aujourd'hui</td></tr>
</table>

Figure 1 - Classification des différentes catégories de déchets.

Le tableau I résume la classification et la situation quant aux perspectives de stockage des différentes catégories de déchets radioactifs. On distingue donc les catégories suivantes :

3.2. Les déchets à vie très courte (VTC)

Ils résultent des applications médicales de la radioactivité (diagnostics ou thérapies). Les radionucléides contenus ayant des périodes de l'ordre du jour, leur radioactivité a pratiquement totalement disparu en quelques dizaines de jours. Ces déchets sont donc recueillis et entreposés dans un local adapté pendant cette durée, puis éliminés par les circuits classiques d'élimination des déchets hospitaliers.

3.3. Les déchets de très faible (radio)activité (TFA)

Ils ont différentes origines : l'industrie hors nucléaire, telles l'agroalimentaire, la chimie, la métallurgie, dont les procédés de fabrication concentrent la radioactivité naturelle, la réhabilitation de sites pollués dans le passé ou la déconstruction des laboratoires et installations nucléaires. Il s'agit alors de matériaux de type gravats, conditionnés en « big bag » (figure 2), ou ferrailles, n'ayant pas été au contact direct des processus nucléaires ni de substances hautement radioactives.

La totalité des déchets de ce type, prenant en compte le parc électronucléaire actuel (sa production et le produit de son démantèlement), représentera à terme un volume de 1 à 2 millions de m^3 (hors déchets miniers).



Figure 2 - Gravats de démantèlement (déchets TFA).

Auteur(s)/Autrice(s) : Andra – Licence : Reproduit avec autorisation

Un site, situé sur les communes de Morvilliers et La Chaise dans l'Aube, près du centre de stockage des déchets FMA de Soulaines, a été ouvert par l'Andra en juillet 2003. Il est prévu d'y recevoir de l'ordre de 800 000 t de déchets TFA d'ici 2030. Les déchets concernés sont contaminés essentiellement par des nucléides à vie courte, au niveau moyen de l'ordre de 10 Bq/g et par des traces de nucléides à vie longue (à comparer avec la radioactivité naturelle moyenne de la croûte terrestre, qui est de 1 à 2 Bq/g, et celle du granite, qui est de 1 à 4 Bq/g). Ce centre a le statut d'une ICPE (« installation classée pour la protection de l'environnement »).

Ne sont pas concernés par ce centre de stockage les résidus miniers (stériles, boues de traitement stabilisées) résultant de l'exploitation des mines d'uranium (toutes fermées aujourd'hui en France). Pour ces résidus, contenant notamment de l'uranium et du radium, la réglementation en vigueur prévoit le maintien sur le site de la mine sous la responsabilité de l'exploitant minier, dans des conditions garantissant l'absence d'impact sanitaire. Cela représentait pour la France, à la fin 1998, une vingtaine de sites et de l'ordre de 52 millions de tonnes de matériaux, hors stériles.

3.4. Les déchets de faible ou moyenne activité, à vie courte (FA-MA ou FMA), appelés aussi déchets A

Ils représentent aujourd'hui la part la plus importante de la production de déchets radioactifs en France : en moyenne 12 000 à 15 000 m^3/an. Grâce à une meilleure gestion (procédures, tri, compactage, incinération), elle a été réduite de près de la moitié en 15 ans malgré l'augmentation de la production d'électricité d'origine nucléaire.

Ces déchets se présentent sous de multiples formes : filtres, résines de traitement d'eau, outils utilisés par les travailleurs, accessoires de laboratoire, gants... et proviennent principalement de l'industrie nucléaire. Pour une faible part, ils sont issus de laboratoires de recherches, des universités, des hôpitaux et de l'industrie.

Ils sont conditionnés pour former des colis, c'est-à-dire rendus solides (s'ils étaient liquides au départ), enrobés dans un matériau (matrice) – le plus souvent du ciment, mais quelquefois encore du bitume ou des résines thermodurcissables – et enfermés dans un conteneur en béton ou en acier, constituant ainsi un bloc solide, transportable et peu altérable : le « colis » de déchets radioactifs. Depuis l'arrêt des immersions en 1969, ces colis sont stockés dans des ouvrages en béton sur un centre de stockage de surface : le Centre de la Manche (CSM) de 1969 à 1994 (aujourd'hui rempli et fermé), puis le Centre de l'Aube (CSA), à Soulaines, à partir de 1992. Le principe de sûreté de tels centres consiste à isoler les radionucléides de l'environnement pendant

le temps nécessaire (300 ans) à la décroissance de la radioactivité jusqu'à un niveau comparable à celui de la radioactivité naturelle. L'Andra, exploitant depuis la loi de 1991 des centres de stockage de déchets radioactifs, établit les spécifications auxquelles chaque type de colis doit satisfaire pour être admis en stockage. Elle prononce l'agrément d'un type de colis donné après l'examen du dossier technique de sa fabrication et de sa caractérisation que lui transmet le producteur de déchets concerné et après vérification de la mise en oeuvre effective des procédés décrits (par des inspections techniques et des audits du système qualité).

La totalité des déchets faiblement ou moyennement radioactifs à vie courte, hors déchets tritiés, prenant en compte les déchets anciens (y compris ceux immergés avant 1969), ceux stockés au CSM (527 000 m^3) et ceux engendrés au quotidien, notamment par l'exploitation puis le démantèlement du parc électronucléaire actuel (hypothèse de calcul : 40 ans d'exploitation), représentera à terme un volume de l'ordre de 1,3 millions de m^3. La capacité nominale du CSA étant de 1 million de m^3, elle excède les besoins engendrés par le parc actuel (compte tenu du CSM). Sur la base de la production annuelle moyenne actuelle (15 000 m^3), ce centre a une durée de vie prévisionnelle de plus de 60 ans, menant donc au-delà de 2050.

Les sources scellées, utilisées dans le domaine industriel ou médical, relèvent également pour la plupart de cette catégorie. Mais compte tenu de leur spécificité (radioactivité concentrée dans un petit volume), elles ne peuvent être stockées au CSA. Elles sont retournées au fabricant après usage et une étude est en cours pour définir des voies de gestion adaptées à leurs nuisances.

3.5. Les déchets tritiés

Ils relèvent de la catégorie FMA mais ont la spécificité d'être essentiellement (voire exclusivement) contaminés par un radionucléide particulier : le tritium (isotope lourd de l'hydrogène), de période 12,3 ans. La mobilité exceptionnelle de ce nucléide, que ce soit sous forme gazeuse (hydrogène tritié) ou liquide (eau tritiée), rend son confinement difficile, alors que la mesure de sa présence dans l'environnement est aisée, bien en dessous d'ailleurs des concentrations où il présente un danger sanitaire. Le marquage de la nappe phréatique au voisinage du Centre de la Manche à la fin des années 70 a conduit à réduire très fortement l'activité massique en tritium autorisée en stockage FA-MA et, corrélativement, à rendre sévères en la matière les spécifications du Centre de l'Aube.

Ces déchets proviennent essentiellement de la fabrication et de la maintenance de l'armement nucléaire, mais également, pour une petite partie, de l'industrie et de la recherche nucléaire civile. Le volume total à terme est estimé à environ 3 500 m^3. Trois filières possibles pour la gestion à long terme de ces déchets sont envisagées : reconditionnement dans des colis spécifiques puis stockage au CSA, mise en centre d'entreposage de décroissance, puis stockage au centre TFA de Morvilliers ou reconditionnement en vue de la mise en stockage particulier, garantissant par sa structure le confinement du tritium.

3.6. Les déchets de faible activité, à vie longue (FAVL)

Cette catégorie recouvre deux réalités distinctes : les déchets dits « radifères » et les déchets dits « graphite ».

- **Déchets radifères** : Ces déchets présentent la particularité d'être essentiellement contaminés par du radium (période du radium 226 : 1 600 ans). Ils ont différentes origines : traitement de minerais pour la production de terres rares (lanthanides) ou d'engrais phosphatés, réhabilitation de sites pollués, démontage et récupération d'objets contenant du radium (notamment les paratonnerres). L'estimation des quantités à prendre en compte est de 100 000 t sur 30 ans, cette masse pouvant être revue à la hausse si d'anciens sites industriels à réhabiliter devaient être mis à jour. Une étude est en cours dans la perspective d'ouvrir un centre de stockage spécialisé en 2008. Ce centre aura le statut d'une INB (« installation nucléaire de base »).

- **Déchets graphite** : Ces déchets présentent la particularité d'être notamment contaminés par du carbone 14, de période 5 630 ans. Ils proviennent de l'ancienne filière française de réacteurs électronucléaires, dite « graphite-gaz » ou « UNGG », et sont constitués principalement des chemises de graphite entourant les éléments combustibles (figure 3) et des empilements de graphite des réacteurs. Les quantités de déchets à prendre en compte sont de 23 000 t conduisant, après conditionnement, à un volume de l'ordre de 100 000 m^3. Une petite part (quelques centaines de tonnes), dont les caractéristiques ne sont pas incompatibles avec les spécifications du Centre de l'Aube, pourrait éventuellement y être stockée. Une étude similaire à celle menée pour les déchets radifères est en cours pour la création d'un centre de stockage commun.

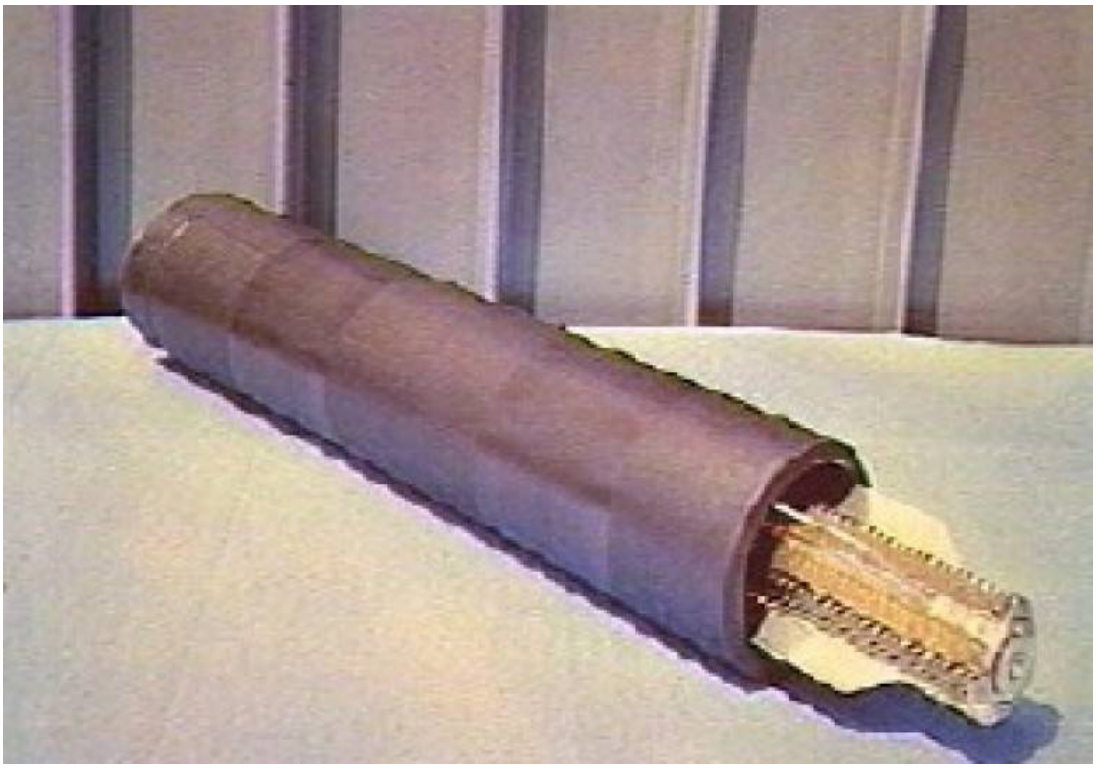

Figure 3 - Chemise de combustible en graphite (déchets FAVL).

Auteur(s)/Autrice(s) : EDF Médiathèque / F. Roux. – Licence : Reproduit avec autorisation

3.7. Les déchets de moyenne activité, à vie longue (MAVL) ou déchets B

Ce sont des déchets contaminés par des radionucléides et dont la quantité de radionucléides de longue période(transuraniens) est trop importante pour satisfaire les conditions d'admission en stockage de surface comme déchets A. Ils sont produits principalement au cours du traitement des combustibles usés (CU) à La Hague et, dans une moindre mesure, par le CEA, à l'occasion de ses activités de recherche en énergie ou de production d'armes nucléaires. Ces déchets sont entreposés par leurs producteurs (COGEMA et CEA) et relèvent de la loi de 1991. Les déchets B issus du traitement des CU comprennent notamment les structures métalliques des combustibles (tronçons de gaines en alliage de zirconium, appelées coques (figure 4), et différentes pièces en acier), et des déchets – métalliques ou non – de maintenance des installations. Ceux-ci sont puissamment compactés et enfermés dans des conteneurs en acier inoxydable pour former les colis CSD-C (« colis standard de déchets compactés »), de même géométrie que les colis de déchets vitrifiés (CSD-V, voir ci-après). L'entretien des installations produit également les déchets métalliques de grande taille : pompes, vannes..., non compactables, qui sont cimentés et conditionnés dans des colis en béton. Le CEA et la COGEMA ont également produit dans le passé des boues de traitement d'effluents liquides, conditionnées dans du bitume, relevant de cette catégorie de déchets.



Figure 4 - Débris de gaine de combustible (déchet MAVL).

Auteur(s)/Autrice(s) : AREVA – Licence : Reproduit avec autorisation

La production de déchets B en France est de l'ordre de 530 m^3 par an et la quantité cumulée depuis l'origine du nucléaire jusqu'à l'arrêt des réacteurs en fin de vie et leur démantèlement est évaluée à 56 000 m^3.

3.8. Les déchets de haute activité à vie longue (HAVL), dits aussi déchets vitrifiés ou déchets C

Ce sont les déchets nucléaires proprement dits. En France, ces déchets sont vitrifiés à l'issue du traitement des combustibles irradiés, c'est-à-dire que les différents radionucléides, produits de fission et transuraniens, sont transformés en oxydes par calcination puis mélangés à du verre en fusion et coulés (figure 5) dans un conteneur en acier inoxydable. Après refroidissement, ils constituent des blocs inaltérables : les colis standard de déchets vitrifiés (CSD-V). Ces objets se présentent sous la forme de cylindre de 43 cm de diamètre et de 1,3 m de hauteur ; leur volume externe est de 180 L et ils contiennent environ 160 L de verre pour une masse de 400 kg. Ces déchets sont entreposés à La Hague (et à Marcoule pour les productions antérieures). Ils relèvent eux aussi, bien sûr, de la loi de 1991.

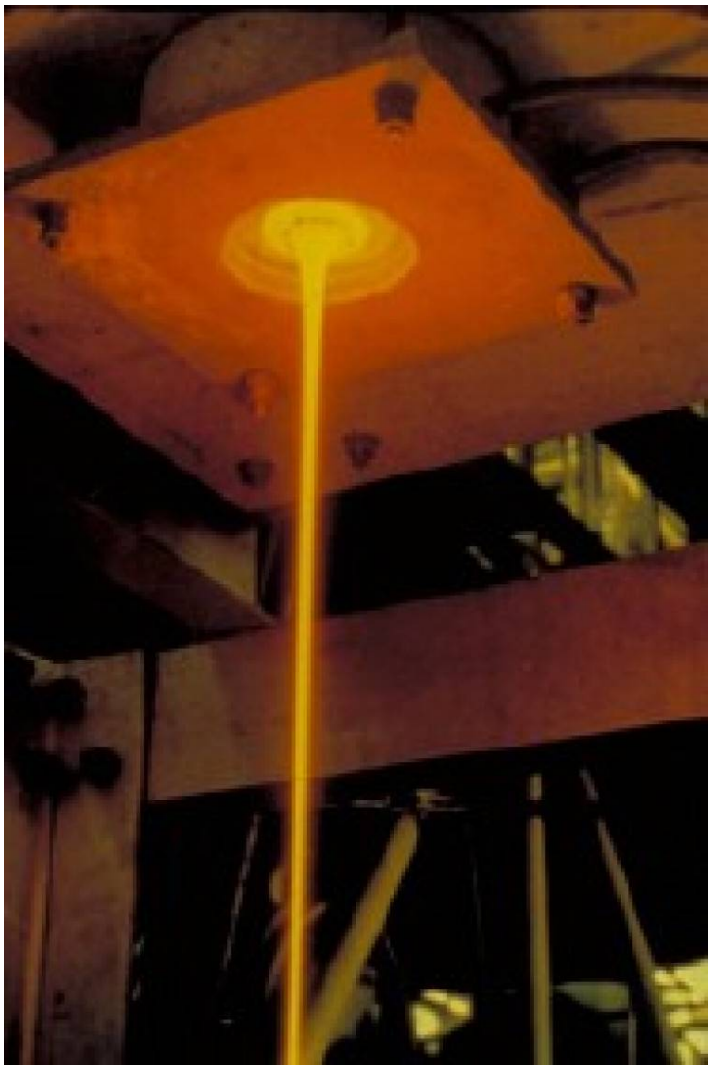

Figure 5 - Produits de fission vitrifiés (déchet HAVL).

Auteur(s)/Autrice(s) : AREVA – Licence : Reproduit avec autorisation

Il est produit de l'ordre de 130 m^3 de déchets vitrifiés par an à La Hague (usine de la COGEMA, filiale d'AREVA), soit environ 800 conteneurs, et un cumul de 5 000 m^3 est attendu à terme.

Pour une partie toutefois des CU, 300 t sur 1 150 t annuellement déchargés, la décision de retraitement n'est pas prise et pour cette partie, la solution d'attente est l'entreposage en piscine à La Hague. En fonction de l'évolution des conditions économiques et du marché de l'énergie, notamment de la disponibilité dans le futur des ressources énergétiques fossiles et fissiles, ces combustibles seront soit retraités ultérieurement, soit considérés comme des déchets HAVL.

4. Bibliographie et Ressources en Ligne

1. Cet article provient du numéro spécial de l'Actualité Chimique intitulé Sciences Chimiques et Déchets Radioactifs, Avril-Mai 2005, n° 285-286.
2. Les autres articles de ce numéro spécial peuvent être récupérés en format pdf: https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/n285-286-avril-mai-2005/.

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

Michel Jorda

Directeur du Programme "Sûreté de ma gestion des déchets" à l'IRSN

Xavier Dumont

Ingénieur en physique nucléaire à l'AREVA/Framatome Anp

MISE EN LIGNE

Nicolas Lévy

Professeur agrégé de chimie, responsable du Centre de Préparation à l'Agrégation externe de Chimie (École Normale Supérieure de Paris - Sorbonne Université - Université Paris-Saclay), responsable éditorial de CultureSciences-Chimie de 2008 à 2014.

PARTENAIRE(S)

Cet article provient du numéro spécial de l'Actualité Chimique intitulé Sciences Chimiques et Déchets Radioactifs, Avril-Mai 2005, n° 285-286.

Sciences chimiques et déchets radioactifs - Actualité Chimique