

Retraitement des combustibles belges à La Hague et gestion des combustibles et des déchets radioactifs en Belgique

Jean Claude Zerbib, mars 2017

La Belgique a une longue expérience en matière de fabrication d'éléments combustibles, de retraitement des combustibles usés, de conditionnement des déchets et de recyclage des matières nucléaires (uranium et plutonium) issues du pilote de retraitement réalisé par la société Eurochemic.

Eurochemic a été créée en 1957 par un consortium composé de 13 Etats membres de l'OCDE (dont la France) et de partenaires privés. Depuis son lancement en 1966 jusqu'à la fin de ses activités de retraitement en 1975, Eurochemic a traité un total de 180 tonnes, un tonnage modeste, mais portant sur une grande variété d'éléments combustibles irradiés, et en a extrait 680 kg de plutonium. Eurochemic a également retraité 30,5 tonnes de combustible à uranium hautement enrichi, provenant de plusieurs réacteurs de recherche européens.

1. Organisation du nucléaire en Belgique

Les activités du cycle du combustible nucléaire de puissance, sont gérées en Belgique par Synatom, qui n'est pas un opérateur industriel, mais une société qui assure l'amont et l'aval du cycle du combustible nucléaire en Belgique. Synatom constitue ainsi les provisions de matières nucléaires, jusqu'à l'uranium enrichi, qu'elle confie à "Electrabel", la société qui va fabriquer le combustible et gérer les réacteurs puis le combustible usé qui sera déchargé dans ses piscines.

Quand Electrabel l'aura décidé, après avoir encapsulé ou non les assemblages déchargés de ses réacteurs, Synatom interviendra de nouveau pour remettre à l'ONDRAF¹ ces combustibles irradiés actuellement entreposés, à sec à Doel et dans une piscine centralisée, à Tihange. Ces entreposages sont assurés par Belgoprocess², filiale de l'ONDRAF, avant le retraitement éventuel à La Hague d'une fraction des combustibles usés et d'un stockage final en l'état des autres combustibles, avec les déchets de haute et moyenne activité à vie longue.

La Belgique a déjà confié à la France, dans les années 70, le retraitement de plus de 600 tonnes de combustibles irradiés dans des réacteurs de puissance.

¹L'ONDRAF, organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies, créé par la loi Belge du 8 août 1980, est l'organisme public qui est, sous la tutelle du Gouvernement fédéral, responsable de la gestion des déchets radioactifs en Belgique.

² Depuis 1986, Belgoprocess est une filiale de l'ONDRAF, responsable du traitement et de l'entreposage des déchets radioactifs issus des centrales nucléaires, du secteur industriel, des hôpitaux, des laboratoires, avant leur stockage définitif par l'ONDRAF, et des opérations de démantèlement. Cependant, le démantèlement de BR3, un réacteur PWR de recherche, à l'arrêt depuis 1987, fait l'objet d'un démantèlement complet par le CEN/SCK de Mol.

Un Programme National de gestion des combustibles usés et des déchets a été rendu public le 15 juillet 2016 sur lequel l'Autorité de sûreté belge, l'AFCN³ a remis un avis préalable.

2. Retraitement en France des combustibles irradiés belges

La Belgique a signé avec le CEA puis la Cogéma devenue AREVA, deux séries de contrats de retraitement de combustibles irradiés.

La 1^{ère} série, signée par le CEA entre 1972 et 1976, avant la création de la Cogéma, avait concerné, en plus de la Belgique, quatre autres pays⁴. Elle a consisté à retraiter un total de 512 tonnes de métal lourd irradié⁵ (tMLi), dont 40 tonnes pour la Belgique.

La 2^{ème} série de contrats, signés également avec ces cinq pays, a porté sur un total de 9 683 tonnes, dont 631 t pour la Belgique. Les combustibles irradiés belges ont été reçus à La Hague entre 1980 et 1999. C'est en 2001 que les derniers assemblages combustibles ont été retraités dans le cadre de ce contrat.

Seule cette 2^{ème} série s'accompagnait d'une clause de renvoi aux clients, des déchets de haute et moyenne activité à vie longue ("HA-VL" et "MA-VL", également désignés respectivement de type "C" et "B") résultant du retraitement, c'est-à-dire les déchets vitrifiés⁶ (CSD-V) et les déchets compactés (CDS-C) à La Hague. Dans la nomenclature de l'Andra, les coques et embouts compactés sont des déchets de "moyenne activité à vie longue". Ils devront être stockés comme les déchets vitrifiés.

Selon des sources belges, des déchets bétonnés et bitumés auraient également été renvoyés en Belgique par Cogéma-AREVA. Cependant, seules les données relatives aux déchets vitrifiés et compactés figurent dans le rapport annuel réglementaire⁷ publié par AREVA depuis 2007.

Suite à l'interdiction, par l'ASN (2008) de bitumer les déchets MA-VL résultant de l'évaporation d'effluents radioactifs, La Hague conditionne ces déchets par vitrification (dénommés CSD-B). Fin 2015, La Hague avait conditionné 160 CSD-B.

³ AFCN, Autorité fédérale de contrôle nucléaire.

⁴ Allemagne, Japon, Pays-Bas, Suisse.

⁵ Les tonnages de combustibles retraités ne concernent qu'exclusivement la masse d'uranium (et de plutonium dans le cas des MOX). Le poids réel du combustible comprend, en plus de cette masse, celles de la structure métallique de l'assemblage, des gaines des crayons combustibles et de l'oxygène des pastilles en UO₂ ou PuO₂.

⁶ Dans la nomenclature d'AREVA les déchets sont conditionnés pour donner des colis désignés par CSD-V, *Colis standard de déchets vitrifiés* et CSD-C, *Colis standard de déchets compactés*. Les CSD-C renferment les parties métalliques de l'assemblage (tronçons de gaines, embouts d'assemblage et grilles intermédiaires). Le volume interne du conteneur standard de ces deux types de colis est de 0,18 m³.

⁷ Décret n° 2008-209 du 3 mars 2008 relatif aux procédures applicables au traitement des combustibles usés et des déchets radioactifs provenant de l'étranger.

Les signataires des contrats étaient AREVA côté français et Synatom, en accord avec l'ONDRAF, côté Belge. Ils convenaient que tous les autres déchets, de moyenne et faible activité⁸, y compris ceux du démantèlement, étaient des déchets qui résultaient du fonctionnement de l'usine UP3. Ils sont appelés à rester en France et donc à être pris en charge par l'exploitant Areva-La Hague.

L'uranium et le plutonium résultant du retraitement ont été récupérés par la Belgique pour fabriquer de nouveaux combustibles. Les premières 530 tonnes retraitées ont permis la fabrication, en Belgique, de 77 tonnes de combustible URE (uranium de retraitement enrichi) soit environ 290 assemblages et de 66 tonnes de combustible de type MOX⁹. Cette production de MOX a été arrêtée en 2006 dans l'usine de "Belgonucléaire". Les derniers assemblages MOX ont été déchargés du cœur de Doel 3 en 2010.

Un 3^{ème} contrat a fait l'objet d'un accord intergouvernemental¹⁰ entre la France et la Belgique en avril 2013, en vue de retraiter les combustibles irradiés du réacteur de recherche BR2.

Fin 2015, il restait à La Hague 57 kg de combustible de réacteur de recherche dont le retraitement était prévu avant la fin 2016 et 100 autres kg devaient être livrés pour être retraités avant la fin 2021, avec un retour des déchets avant la fin 2030.

3. Les déchets vitrifiés à La Hague

Afin de réduire les délais d'entreposage de déchets de haute activité en *phase liquide*, la vitrification de la solution concentrée de produits de fission et de transuraniens mineurs¹¹, est réalisée pratiquement "en ligne", dans chacune des deux usines de La Hague (UP3-800 et UP3), après la dissolution des pastilles combustibles (UO₂ et PuO₂) dans de l'acide nitrique et l'extraction de l'uranium et du plutonium.

⁸ L'ancienne classification en 3 catégories de déchets (A, B et C), qui ne prenait en compte que les *niveaux d'activité*, a été remplacé par un système avec 5 catégories qui conjugue deux paramètres : le *niveau d'activité* et la *période* (vie longue – plus de 28 ans- ou courte).

⁹ De mars 1995 à fin 2006, la Belgique a chargé un total de 144 assemblages MOX à Doel 3 (96) et Tihange 2 (48). Les derniers assemblages MOX ont été déchargés du cœur de Doel 3 en 2010. A partir de 1994, les assemblages URE ont été utilisés pendant 10 ans à Doel 1.

¹⁰ Décret du 23 juillet 2014 portant publication de l'accord entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement du Royaume de Belgique relatif au traitement de combustibles usés belges à La Hague, signé à Paris le 25 avril 2013.

¹¹ Les transuraniens, produits dans le réacteur par activations neutroniques successives, à partir de l'uranium, comportent en plus du plutonium, plusieurs isotopes de neptunium, d'américium et de curium. Comme ces derniers éléments n'ont pas de valeur économique, ils sont appelés transuraniens "mineurs" et sont mêlés aux produits de fission.

Dès 1995, AREVA avait commencé à renvoyer les déchets vitrifiés à ses clients étrangers. A la date du 31 décembre 2007, 87,7% du total des déchets vitrifiés¹² avaient été expédiés.

Selon AREVA, dès la fin 2007, les colis CSD-V de haute activité qui revenaient à la Belgique, évalués à 7,2% du total produit lors du retraitement des combustibles étrangers (5 392 CSD-V), soit 387 CSD-V, ont été expédiés en totalité, après l'approbation par les Autorités Belges de la spécification du conditionnement

Cette approbation a cependant été fortement discutée par le Secrétaire à l'énergie (Mr Olivier Deleuze) et par différents experts Belges, qui souhaitaient réaliser un véritable contrôle physique des produits vitrifiés contenus dans les CSD-V envoyés par Areva. Comme la Belgique (l'ONDRAF) prévoyait un stockage définitif dans de l'argile des déchets de moyenne et haute activité, ces experts voulaient également étudier les problèmes posés par la compatibilité du béton, enrobant certains déchets, avec cet argile.

Les derniers colis ont été expédiés en Belgique en 2007. Leur contrôle qualité était assuré par le "Bureau Veritas", dans l'atelier de "dés-entreposage" (DRV) à La Hague. Il consistait en une inspection visuelle, une mesure du débit de dose et un contrôle de l'activité surfacique de chaque colis, avant le chargement dans l'emballage de transport TN 28 VT (98 tonnes à vide, 112 t plein pouvant renfermer 20 à 28 colis).

La limite de responsabilité d'AREVA est de 50 ans. Selon les experts belges, 70 ans auraient été nécessaires pour les déchets résultant du retraitement de combustible à haut "taux de combustion"¹³ ("burnup"). Ces limites correspondent aux temps minimum de refroidissement requis avant le stockage définitif, afin qu'un dégagement thermique important ne vienne détériorer les caractéristiques du site d'accueil.

Un rapport de l'ONDRAF donne le détail des transferts des 387 colis de déchets vitrifiés¹⁴ CSD-V, de La Hague en Belgique. Des transports par route-rail-route (La Hague, Valognes-Mol, Dessel), qui se sont étalés entre avril 2000 et avril 2007.

Le Plan déchets Belge fait également état d'un total de 62 colis appelés CSD-B, conditionnés par AREVA, dans un conteneur identique à ceux des CSD-V, mais qui

¹² 5 247 CSD-V selon l'évaluation d'AREVA pour l'ensemble des contrats combustibles (9683 tonnes), soit 0,54 colis par tonne (0,098 m³/t).

¹³ Ce taux s'exprime habituellement en "mégawatt.jour thermiques par tonne" (MWj/t). Les combustibles sont dit "usés", lorsqu'ils ont été déchargés du cœur, après avoir fourni une énergie thermique moyenne comprise entre 30 000 et 50 000 MWj/t.

¹⁴ ONDRAF, "Retour des déchets vitrifiés depuis la France vers la Belgique", mars 2007.

<https://www.ondraf.be/sites/niras.be/files/Retour%20de%20dechets%20vitrifies%20France-Belgique.pdf>

renfermeraient des effluents de "moyenne activité à vie longue" vitrifiés. Fin 2015, La Hague avait produit 190 colis CSD-B.

4. Les déchets métalliques compactés à La Hague

L'entreposage sous eau des déchets solides en vrac (tronçons de gaines, embouts et grilles d'assemblages combustibles) qui pose moins de risques potentiels que ceux des solutions radioactives, explique le fait que leur conditionnement peut être différé.

Les 9683 tonnes de combustibles usés retraitées dans le cadre des contrats avec des clients étrangers devraient produire, selon les évaluations d'AREVA, 7060 colis¹⁵ de type CSD-C.

Fin décembre 2015, seuls 1144 CSD-C avaient été envoyés aux pays clients, soit 16,2% du total à expédier. Selon AREVA et l'ONDRAF, la totalité des 431 CSD-C (6,1% des 7060 CSD-C relatifs aux contrats étrangers) qui revenaient à la Belgique, a été expédiée en avril 2013.

Toutes les données concernant les tonnages retraités ainsi que celles relatives aux colis de déchets déjà expédiés (ou qui le seront dans les années à venir) par AREVA à ses clients étrangers, proviennent des rapports annuels publiés par AREVA¹⁶ depuis 2007, en application de l'article L. 542-2-1 du Code de l'environnement¹⁷.

Comme les colis cylindriques de déchets vitrifiés et compactés (387+431), de mêmes dimensions (h=1,34 m, diamètre=43 cm), ont un volume interne standard de 0,18 m³ le total expédié en Belgique par AREVA, représente un volume total net de **147 m³**.

¹⁵ Soit 0,73 colis par tonne ou 0,131 m³ /t.

¹⁶ Dernier rapport publié par AREVA en juin 2016 : *Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'AREVA NC la Hague*, Rapport 2015 http://www.aveva.com/activities/liblocal/docs/BG%20aval/Recyclage/La%20hague/2016/Rapport-AREVA-Art-8-2015_final.pdf.

¹⁷ Cet article prévoit que l'exploitant doit remettre chaque année au ministre chargé de l'énergie un rapport, rendu public, comportant l'inventaire des combustibles usés et des déchets radioactifs en provenance de l'étranger ainsi que des matières (uranium et plutonium) et des déchets radioactifs, qui en sont issus après retraitement et leurs prévisions relatives aux opérations de cette nature.

Conteneur de déchets compactés "CDS-C"



Les colis de déchets vitrifiés CDS-V pèsent en moyenne 480 kg et les déchets compactés CSD-C 700 kg. Ces colis pourront être empilés dans les "puits" métalliques d'un bâtiment (massif de béton) pour leur entreposage à sec, avant le stockage final. Leur poids total est environ égal à : $(387 \text{ CSV} \times 0,48) + (431 \text{ CSC} \times 0,7) = 487 \text{ tonnes}$.

5. Les combustibles irradiés entreposés en Belgique

La Belgique dispose de sept réacteurs : quatre dans la centrale de Doel (2 réacteurs de 430 MWe et 2 autres de 1006 et 1036 MWe net) et trois à Tihange (962, 1008 et 1046 MWe net) soit une puissance globale nette de 5 918 MWe. Il y a donc 5 réacteurs de puissance nette voisine de 1000 MWe qui déchargeront annuellement des quantités voisines de combustibles usés et 2 réacteurs de 430 MWe pour lesquels les tonnages d'assemblages usés seront inférieurs à ceux d'un seul réacteur de puissance de 1000 MWe.

Le tableau N°1 donne, estimés pour la fin 2012, les nombres d'assemblages combustibles irradiés dans ces réacteurs et les tonnages de métaux lourds (uranium et plutonium) correspondants, qui seront déchargés *après 40 ans de fonctionnement* des réacteurs.

Tableau 1 : *Estimation fin 2012, de la quantité d'assemblages combustibles usés après 40 ans d'opération, par type de réacteur et d'assemblage (UOX ou MOX)*

Réacteur et type d'assemblage	Nombre d'assemblages	Tonnage de métaux lourds (tMLi)
Doel 1-2 (UOX)	1 750	465
Doel 3 – Tihange 1-2 (UOX)	4.950	2 275
Doel 3 – Tihange 2 (MOX)	144	66
Doel 4 – Tihange 3 (UOX)	3 550	1 915
Total	10 394	4 711

Source : Synatom

Ce bilan montre qu'il y aura un total estimé à 10 394 assemblages de combustible usés, de dimensions et de poids différents (voir tableau N°2), qui auront été déchargés des réacteurs nucléaires belges, soit 4 711 tonnes, dont les 671 t retraitées à La Hague (18,6%). Il restera donc, après les 40 ans de fonctionnement des sept réacteurs du parc Belge, **4 040** tonnes entreposées sur les 4 711 déchargées.

Tableau 2 : *Caractéristiques des combustibles utilisés dans les réacteurs*

Réacteur	Doel 1-2	Tihange 1 Tihange 2	Doel 3 Tihange 3	Doel 4
Nombre de crayons	14 x 14	15 x 15	17 x 17	17 x 17
Section (mm)	198 x198	214 x 214	214 x 214	214 x 214
Longueur totale (mm)	2 940	4 110	4 110	4 855
Masse U (kg)	265	431	461	528
Masse des structures	120	219	209	242
Masse totale (kg)	385	650	670	780

Source : ONDRAF

Cependant, la baisse significative des "taux de charge"¹⁸ des réacteurs Doel 1 et 3 et Tihange 2, observée de 2012 à 2016, s'est probablement traduite par un nombre d'assemblages total réellement déchargés, inférieur aux prévisions faites fin 2012. L'indisponibilité de Doel 4, due au sabotage de sa turbine (5 août 2014), a contribué également à la réduction du nombre d'assemblages combustibles déchargés.

L'annexe I donne le détail des évolutions de taux de charge de chacun des sept réacteurs et fournit les raisons de ces variations.

Une partie des assemblages déchargés se trouve dans les piscines des réacteurs mais la plus grande partie est entreposée en deux endroits centralisés :

- dans *une piscine d'entreposage*, d'une capacité maximale de 3 720 emplacements, construite en 1997 dans un bâtiment accolé à Tihange 3,
- et dans une installation modulaire *d'entreposage à sec* des combustibles irradiés dans des conteneurs métalliques, construite à Doel en 1995.

Fin 2011, ce sont 8 617 assemblages de combustible irradié (3 611 tML), qui ont été déchargés des réacteurs nucléaires belges, dont les 2 011 assemblages de combustibles des réacteurs de Doel 1 et Doel 2, retraités à La Hague¹⁹.

¹⁸ Taux de charge : C'est le rapport de l'énergie effectivement fournie, durant un intervalle de temps déterminé, au produit de la puissance nominale en régime continu, par cet intervalle de temps.

¹⁹ SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, "*Informations générales sur le cycle du combustible nucléaire belge*", Tome 1, Bruxelles, décembre 2014. http://economie.fgov.be/fr/binaries/Gestion-combustibles-irradiés-informations-générales_tcm326-280102.pdf

5.1 L'entreposage en piscine centralisée

A Tihange, le déchargement et l'entreposage des assemblages usés se fait sous eau, dans des piscines implantées dans un bâtiment "bunkérisé", mis en service en 1997 (le bâtiment DE "Extension" du bâtiment existant "D").

Fin 2011, il restait donc 6 606 assemblages entreposés (2 940 tML), dont le tiers environ se trouve dans la piscine centralisée de Tihange. Comme chaque année, il s'ajoute dans cette piscine gérée par l'exploitant, environ 140 assemblages, on peut estimer qu'il y avait *fin 2016*, de l'ordre de **2 900** assemblages entreposés (1 215 tML), soit un taux d'occupation de la piscine centralisée de **78%**.

5.2 L'entreposage à sec centralisé

L'installation d'entreposage à sec de Doel, de conception modulaire, également gérée par l'exploitant, dispose d'une capacité pratique maximale de 165 conteneurs²⁰ (cette capacité pourrait être réduite à 145 conteneurs au regard de certaines marges de sûreté liées à la température des conteneurs). Chaque conteneur, d'un diamètre extérieur d'environ 2,5 m, abrite 24 à 37 assemblages combustibles, protégés par une paroi en acier massif de 20 cm d'épaisseur²¹. Ce Bâtiment de Stockage de Conteneurs (appelé SCG "Splijstof Container Gebouw") a été mis en service à Doel en 1995.

Fin 2011, le taux de charge de l'installation d'entreposage à sec était voisin de 50%. Au 31 décembre 2011, ces deux installations d'entreposage abritaient au total 4 435 assemblages (2 111 en piscine à Tihange et 2 324 à Doel), dont les 144 MOX irradiés déchargés, fin 2006, des réacteurs de Doel 3 et Tihange 2

Dans l'option "non-retraitement", la capacité maximale de la piscine centralisée de Tihange sera atteinte en 2022, tandis que le hall d'entreposage à sec de Doel sera saturé en 2024. Ainsi, dès 2022, les capacités d'entreposage des combustibles usés en Belgique seront significativement réduites.

6. Les déchets radioactifs entreposés en Belgique

Les *déchets vitrifiés* sont entreposés en Belgique par "Belgoprocess", filiale de l'ONDRAF, dans la commune de Dessel, sur le site où était implantée Eurochemic, dans un bâtiment spécifique bunkérisé (N°136) conçu pour évacuer l'importante énergie thermique émise par les CSD-V. Sa capacité a permis d'héberger tous les CSD-V expédiés en Belgique par AREVA La Hague.

Les *déchets compactés* (CSD-C) et les déchets vitrifiés de moyenne activité (CSD-B), qui dégagent moins de calories que les CSD-V, sont entreposés dans une section distincte du bâtiment N°126.

²⁰ SPF Economie, P.M.E, Classes moyennes et Energie.

²¹ Une enveloppe interne en résine assure la protection contre l'irradiation neutronique.

La Belgique, qui avait mis en œuvre dans l'usine Eurochemic, le retraitement du combustible a produit des déchets. Entre 1985 et 1991, les effluents radioactifs, produits dans l'usine pilote de retraitement à Eurochemic, ont été vitrifiés dans l'installation "Pamela" à Dessel. Ces produits vitrifiés, coulés dans 2 200 conteneurs en acier inoxydable (un volume total de 195 m³), sont entreposés depuis plus de 20 ans, sur place, dans un bâtiment spécial.

Selon Belgoprocess²², il y avait fin 2015 sur le site de Dessel, 432 m³ de déchets THA, 3 885 m³ de déchets MA-VL et 18 601 m³ de déchets FA.

Fin 2015, il y avait *au total* en Belgique²³ 6 200 m³ de déchets conditionnés (de "moyenne activité à vie longue" MA-VL et déchets de "haute activité" HA) produits principalement lors des démantèlements²⁴ (d'Eurochemic, l'usine pilote de retraitement des combustibles²⁵ et des installations du traitement des déchets du Centre d'études nucléaires SCK/CEN de Mol).

Les *déchets bitumés* : Aux déchets vitrifiés ou compactés s'ajoutent, en Belgique comme en France, des déchets "bituminés". Les résidus sec des effluents radioactifs évaporés, chargés en radionucléides *émetteurs alpha*, sont mélangés intimement avec du bitume chaud, qui est coulé dans des fûts en tôle (car ils sont peu irradiants).

Ce sont des déchets de *moyenne activité à vie longue* qui vont poser des problèmes sérieux pour le stockage définitif. Les bitumes sont en effet constitués de divers hydrocarbures (longues chaînes de carbone et hydrogène) qui sont soumis à une radiolyse provoquée par le rayonnement alpha. Cette irradiation libère de l'hydrogène qui présente des risques d'explosion et d'inflammation spontanée, lorsque la teneur dans l'air ambiant atteint 4%.

²² Belgoprocess, "*Belgoprocess, sustainability report 2015*", Page 24/68, Dessel, 2016. http://www.belgoprocess.be/images/stories/belgoprocess_downloads/sustreport2015en.pdf

²³ Question n° 235 de Monsieur Jean-Marc Nollet, Député, à la Ministre Belge de l'Energie, du 2 février 2016, Newsletter N° 150 de l'Association Belge de Radioprotection, page 11. (http://www.bvsabr.be/js/tiny_mce/plugins/moxiemanager/data/files/newsletter/NWL-150.pdf)

²⁴ Réponses aux questions N° 256 et 257 de Monsieur Kristof Calvo, Député, à Mme la ministre Belge de l'Energie, du 29 mars 2016, Newsletter N°151, page 16/26. http://www.bvsabr.be/js/tiny_mce/plugins/moxiemanager/data/files/newsletter/NWL-151.pdf

²⁵ Eurochemic (Dessel 1956-90) a retraité une très large gamme de combustibles usés provenant de réacteurs de divers pays, avec des tonnages réduits, de juillet 1967 à juillet 1979. Il s'agissait des combustibles de premiers réacteurs de recherche mais aussi de cinq familles de réacteurs de puissance. L'usine pilote avait été la première à retraiter des combustibles présentant les plus hauts taux de combustion atteints à l'époque (21 000 MWj/t).

7. Stockage définitif : des décisions finales suspendues

La Belgique doit faire le choix politique final, de retraiter ou non, les combustibles irradiés actuels ou à venir.

7.1 *Retraitement ou non-retraitement*

Tant que ce choix ne sera pas arrêté, on ne peut calculer avec précision les volumes de stockage qui seront occupés par les combustibles stockés en l'état et les déchets de "haute activité" et de "moyenne activité à vie longue".

Il faut noter que plus la prise de décision tardera et plus se réduiront les possibilités de recyclage de l'uranium et du plutonium, qui résultent du retraitement, compte tenu de l'espérance de vie des réacteurs du parc nucléaire Belge. Dans le cas du plutonium, Areva propose à ses clients qui n'ont pas, ou qui n'ont plus l'usage du plutonium (condition à remplir pour le retour au client) de le céder à un autre pays qui apporte la preuve de l'emploi de combustible MOX (contrat MOX-TOP).

7.2 *Le choix d'un type de stockage*

Plusieurs années avant la France, la Belgique avait choisi d'étudier le cas d'un stockage dans l'argile et les recherches sur l'enfouissement des déchets vitrifiés de haute activité dans l'argile avaient débuté dès 1974. Deux raisons avaient guidé ce choix : les argiles sont des roches meubles très peu perméables (elles s'opposent à l'eau qui agressera les déchets) et possèdent une forte capacité de fixation des radionucléides. En cas d'attaque des conteneurs de déchets, elles pourront retarder la migration des radionucléides libérés.

Deux couches d'argiles sont étudiées par l'ONDRAF : celles d'Ypres et de Boom présentes dans le sous-sol, au nord du pays. C'est l'enfouissement dans l'argile de Boom qui a été étudié de la manière la plus approfondie (depuis 1981). De nouveaux forages de reconnaissance ont été réalisés entre fin 2014 et début 2015. D'autres types d'argiles, autres que celles des deux sites candidats sont également étudiés, comme la bentonite qui gonfle en présence d'eau. Son usage permettra l'obturation des orifices qui conduisent au niveau galeries de stockage de déchets radioactifs.

Aux environs de Mol, l'argile de Boom²⁶ a une épaisseur d'environ 100 m et sa base est située à 290 m de profondeur tandis que la couche d'argile d'Ypres est épaisse d'un peu plus de 110 m et sa base est à une profondeur de 440 m. Comme les épaisseurs sont voisines, c'est l'importance qui sera apportée au *choix de l'argile* et de la *profondeur d'enfouissement* qui déterminera la zone d'implantation. Mais sous la formation d'Argile de Boom, à une profondeur entre 499 et 574 mètres, se trouve également une autre formation (soit 209 m plus bas que la couche étudiée) contenant des argiles aux propriétés intéressantes.

²⁶ SPF Economie, P.M.E, Classes moyennes et Energie, cf. note N°11.

Dans un laboratoire souterrain creusé dans l'argile de Boom, "HADES", situé près du Centre de Mol (SCK-CEN), l'ONDRAF examine depuis plus de quarante ans, à 225 mètres de profondeur, la mise en stockage géologique des déchets de longue durée de vie. Un hall de démonstration y est géré par le GIE EURIDICE²⁷ situé sous le site du Centre d'étude de l'énergie nucléaire (SCK-CEN), à Mol. Ce GIE participe au programme R&D en matière d'évaluation de la sûreté et de la faisabilité du stockage en profondeur des déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie. Des expériences en vraie grandeur y sont conduites, comme l'étude de l'influence de l'augmentation de température sur la stabilité du revêtement en béton des galeries, sur les caractéristiques de l'argile ou encore afin de tester le fonctionnement sur une longue période des instruments de mesure dans des conditions de température, de pression et d'humidité représentatives des conditions réelles de stockage.

Cependant, l'Autorité de sûreté belge, l'AFCN, est d'avis²⁸ qu'il n'est actuellement pas possible de prendre une décision en faveur d'une catégorie de formation hôte, laquelle constitue avec son environnement géologique les composants de sûreté principaux qui permettent d'assurer à long terme la protection de l'Homme et de l'environnement.

Le stockage en l'état des combustibles irradiés

Une installation d'encapsulation des combustibles usés a été étudiée afin de conditionner la fraction des combustibles usés qui ne sera pas retraitée. Cette opération consiste à mettre chaque assemblage dans un emballage cylindrique en acier - appelé "over pack" - qui serait placé dans une gaine en béton, par analogie avec les déchets vitrifiés. Dans l'hypothèse d'un non-retraitement, les éléments combustibles, encapsulés ou non, seront placés dans des "châteaux" qui serviront à l'entreposage à sec avant le stockage définitif.

Le conteneur utilisé pour le stockage définitif devrait être plus compact que celui utilisé pour l'entreposage à sec, car les contraintes sont différentes : une limitation par le *débit de dose* autour du château pour l'entreposage dans une installation en permettant des interventions humaines et en répondant aux normes de transport.

²⁷ EURIDICE : "European Underground Research Infrastructure for Disposal of nuclear waste in Clay Environment" (*Infrastructure de recherche souterraine européenne pour le stockage de déchets radioactifs dans un environnement argileux*).

²⁸ Avis de l'AFCN sur le Programme National pour la gestion du combustible irradié et des déchets radioactifs présents sur le territoire belge : <http://www.fanc.fgov.be/fr/news/avis-de-l-afcn-sur-le-programme-national-pour-la-gestion-du-combustible-irradie-et-des-dechets-radioactifs-presents-sur-le-territoire-belge/834.aspx>

Pour le stockage définitif, les épaisseurs permettent de ne pas dépasser la limite de *température en surface* du conteneur²⁹. Une installation nucléaire spécifique devra être prévue près du site de stockage afin d'effectuer des transferts de colis très irradiants, depuis les conteneurs de transport vers les conteneurs de stockage.

Mais comme les choix relatifs au stockage ne sont pas encore arrêtés, l'Autorité de sûreté Belge, qui est indépendante, pourra encore modifier divers aspects des hypothèses étudiées. Elle met au point les critères de sûreté à respecter pour délivrer l'autorisation de construction d'un site de stockage.

De son côté, l'ONDRAF déclare³⁰ que *"la première priorité est évidemment de garantir la sûreté. Le choix du site et, par conséquent, la définition de la profondeur du stockage, ne sont toutefois absolument pas encore à l'ordre du jour"* et précise que : *"le stockage géologique à 220 mètres de profondeur comme solution de gestion à long terme pour les déchets de haute activité et/ou de longue durée de vie n'a pas été proposé"*.

Points communs entre la Belgique et la France

Les incertitudes relatives au sort final réservé aux combustibles usés (retraitement ou non) concernent également la France qui laisse planer le doute, notamment sur l'éventuel retraitement des combustibles MOX³¹ alors que tant les difficultés techniques présentées par ce type de retraitement, que les aléas portant sur les possibilités de recycler à long terme le plutonium dans de futurs réacteurs adaptés à cet usage, devraient conduire à des projets plus réalistes d'entreposage des MOX avant leur stockage ultime en l'état.

²⁹ Lorsque le conteneur sera en place, la température de la surface en contact avec l'argile ne devra pas dépasser 90°C, afin de ne pas dégrader les caractéristiques de l'argile.

³⁰ Stockage des déchets nucléaires: le choix du site n'est pas à l'ordre du jour, assure l'Ondraf, RTBF 24 novembre 2016, http://www.rtbef.be/info/societe/detail_stockage-des-dechets-nucleaires-le-choix-du-site-n-est-pas-a-l-ordre-du-jour-assure-l-ondraf?id=9462807

³¹ Fin 2013, d'après l'inventaire de l'ANDRA, il y avait à La Hague 2 110 tonnes de MOX usés et 230 t MOX neufs rebutés. Chaque année, il s'ajoute à ce bilan de 2013, 140 t de combustibles MOX usés.

Annexe

Evolution des taux de charge des réacteurs du parc nucléaire Belge

Le tableau N°3 fournit l'évolution du taux de charge annuel³² des sept réacteurs Belges.

Il montre que la part du nucléaire, exprimée en pourcent de la production électrique belge (en térawattheure) a été affectée à partir de 2014, suite aux anomalies rencontrées au niveau de la cuve des réacteurs à Doel 3 et Tihange 2 et au sabotage de la turbine de Doel 4 en août 2014.

Les anomalies découvertes dans les cuves³³ des réacteurs Doel 3 et Tihange 2 ont entraîné un arrêt prolongé depuis le 25 mars 2014. Ils ont été autorisés à redémarrer en décembre 2015

Tableau 3 : Performances des réacteurs nucléaires Belges

Année	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	Tihange 1	Tihange2	Tihange 3	TWh	% nucléaire
2015	10,46	78,34	0,73	85,58	70,34	4,36	80,48	1 414	37,5%
2014	93,76	93,02	23,52	53,69	85,35	23,29	96,05	1 390	47,5%
2013	97,93	93,77	56,87	93,48	80,90	55,75	88,89	1 358	52,10%
2012	90,57	85,75	41,82	85,67	80,04	62,19	86,79	1 317	51,02%
2011	87,75	94,14	89,78	87,66	81,26	92,93	98,02	1 286	53,96%
2010	86,67	89,95	88,71	81,27	86,89	99,93	82,02	1240	51,16%

Source : Publications du CEA ("ElecNuc" 2010 à 2015, Les centrales nucléaires dans le monde). Valeurs du "taux de charge" (Kp) des réacteurs (ou "load factor") en %.

En valeur relative, les pertes de production électrique d'origine nucléaire ont été d'environ 9% en 2014 et de 28% en 2015.

L'année 2016 (pour laquelle nous n'avons pas les données) présentera également une baisse franche de la part du nucléaire dans la production électrique Belge.

Une partie de cette réduction avait cependant été programmée par la modification de la loi de sortie du nucléaire du 3 janvier 2014.

Le tableau N°4 donne les dates de mise en service des réacteurs ainsi que leurs dates d'arrêts programmés telles que prévues par cette modification.

³² Ce taux (nombre sans dimension) est le rapport de l'énergie effectivement fournie durant l'année calendaire, au produit de la puissance nominale en régime continu par un an.

³³ En juin 2012, à l'occasion de la 3ème visite décennale du réacteur Doel 3, Electrabel a procédé à un contrôle par ultrasons des viroles de la cuve du réacteur au droit du cœur et a découvert la présence de plusieurs milliers de petits défauts, caractérisés plus tard comme étant des défauts dus à l'hydrogène.

La durée de vie des réacteurs a été fixée par la Loi Belge à 40 ans, exception faite de celle du réacteur Tihange 1. Cette dernière option vise à assurer la production électrique nationale en cas de difficultés imprévues.

Tableau 4 : *Dates d'arrêts programmés des réacteurs du parc Belge*

Réacteur	Puissance MWe	Mise en service	Arrêt programmé
Doel 1	433	février 1975	15 février 2015
Doel 2	433	décembre 1975	1 ^{er} décembre 2015
Doel 3	1006	octobre 1982	1 ^{er} octobre 2022
Doel 4	1038	juillet 1985	1 ^{er} juillet 2025
Tihange 1	962	octobre 1975	1 ^{er} octobre 2025
Tihange 2	1008	juin 1982	1 ^{er} février 2023
Tihange 3	1046	septembre 1985	1 ^{er} septembre 2025

Confronté à des risques de pénurie d'électricité, le gouvernement belge a annoncé, le 18 décembre 2014, un nouvel aménagement de son plan de sortie du nucléaire³⁴. La Belgique ne fermera qu'en 2025 deux de ses sept réacteurs (Doel N°1 et N°2), exploités par une filiale du français ENGIE.

Aussi, il est prévu que Doel 1 (arrêté en février 2015 et reconnecté le 30/12/2015) et Tihange 1 (qui est actuellement arrêté pour des problèmes de structure), seront raccordés au réseau en 2017.

La Belgique a décidé, en 2014 et 2015, de prolonger de dix ans l'exploitation des centrales nucléaires et a promis des compensations à Engie-Electrabel et EDF Belgique si ses plans changeaient dans les dix prochaines années.

En prolongeant de dix ans l'exploitation des centrales nucléaires la Belgique a promis des compensations à Engie-Electrabel et EDF Belgique, si ses plans venaient à changer dans les dix prochaines années. La Commission européenne a donné son accord pour cette disposition, qui n'est pas contraire aux règles européennes en matière d'aide d'Etat³⁵.

³⁴ "Belgique : la fermeture de deux réacteurs nucléaires reportée de dix ans", Le Monde, 18.12.2014.

³⁵ "La Commission européenne autorise la Belgique à indemniser Engie-Electrabel", RTL Belgique, vendredi 17 mars 2017, <http://5minutes.rtl.lu/grande-region/laune/1016729.html>

