

Les enjeux de la gestion des déchets radioactifs

Comme toute activité humaine, les activités nucléaires sont à l'origine de déchets. Une partie de ces déchets contient des substances radioactives et doit faire l'objet d'une gestion adaptée aux risques qu'ils présentent. Aujourd'hui, un million trois cent mille tonnes de déchets radioactifs sont présents en France. Pour plus de 90 % d'entre eux, il s'agit de déchets dits à vie courte, qui sont aujourd'hui stockés dans les stockages de surface de l'Andra. Celle-ci conçoit des solutions de stockage pour les autres déchets. Pour les déchets les plus radioactifs et à vie longue, il s'agit du projet de stockage géologique profond Cigéo, en Meuse/Haute-Marne. Mettre en place une solution de stockage pour chaque type de déchet ultime est bien sûr une condition nécessaire pour faire du nucléaire une industrie durable, mais cela ne dispense pas l'ensemble de la filière nucléaire de poursuivre ses efforts pour réduire la quantité et la dangerosité des déchets qu'elle produit. C'est particulièrement vrai pour les futures installations qui pourraient être développées (dites de quatrième génération) : il importe de prendre, dès aujourd'hui, toute la mesure des enjeux liés à la gestion de leurs déchets.

Par **Fabrice BOISSIER***

UNE POLITIQUE DE GESTION ORGANISÉE ET VOLONTARISTE

Avec la loi n°2006-739 du 28 juin 2006, la France s'est dotée d'un cadre rigoureux pour la gestion des déchets radioactifs. Cette loi comporte notamment des orientations de gestion pour l'ensemble des matières et déchets radioactifs :

– la réduction de la quantité et de la nocivité de ces déchets,

– leur entreposage comme étape préalable à leur stockage, dans des installations spécialement aménagées pour cet usage,

– leur stockage en couches géologiques profondes, comme solution pérenne, pour les déchets ultimes ne pouvant être stockés en surface ou à faible profondeur.

* Directeur de la maîtrise des risques, Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra).

La loi institue par ailleurs un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) devant être publié tous les trois ans, dont les objectifs sont les suivants :

- dresser le bilan des modes de gestion des matières et déchets radioactifs existants,
- recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage et préciser les capacités nécessaires, ainsi que les durées d'entreposage,
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif. Le plan organise, en particulier, les recherches et les études à mener sur la gestion des déchets radioactifs et fixe les échéances de la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion et de la création d'installations (ou de la modification d'installations existantes).

Cette politique de gestion s'appuie sur une identification précise des déchets radioactifs à gérer grâce à un inventaire national dont la publication est confiée à l'Agence nationale des déchets radioactifs (Andra), qui est un établissement public indépendant des producteurs de déchets. Cet inventaire est réalisé sur une base déclarative, la réglementation rendant cette déclaration obligatoire pour tout producteur et pour tout détenteur de déchets radioactifs.

L'inventaire de ces déchets présente une classification de ceux-ci en fonction de leur niveau de radioactivité (très faible, faible, moyenne ou élevée) et de leur durée de vie, qui dépend de la période radioactive des éléments contenus dans les déchets. On distingue ainsi les déchets à vie courte, qui contiennent principalement des radioéléments à vie courte (période radioactive inférieure ou égale à trente-et-un ans) et les déchets à vie longue, qui contiennent une quantité importante de radioéléments à vie longue (période radioactive supérieure à trente-et-un ans).

Les caractéristiques des déchets permettent de définir des solutions de gestion adaptées, notamment un mode de stockage ultime, afin de les isoler de l'homme et de l'environnement le temps nécessaire à ce que leur radioactivité ait diminué et ne présente plus de risque.

Les deux stockages de surface exploités par l'Andra dans le département de l'Aube permettent ainsi de stocker des déchets à très faible activité (TFA), d'une activité en général inférieure à cent becquerels par

gramme, et des déchets à faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) dont l'activité est comprise entre quelques centaines de becquerels par gramme et un million de becquerels par gramme.

Pour les déchets à haute activité (HA), d'une activité de plusieurs milliards de becquerels par gramme, et les déchets à moyenne activité à vie longue (MAVL), d'une activité allant d'un million à un milliard de becquerels par gramme, l'Andra porte un projet de centre de stockage (appelé Cigéo) qui sera implanté à cinq cents mètres de profondeur dans une formation d'argilites actuellement étudiée au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne. La mise en service d'un tel centre (sous réserve de son autorisation) est prévue en 2025.

Enfin, pour les déchets à faible activité à vie longue (d'une activité inférieure à cent mille becquerels par gramme, pour les déchets de graphite, et inférieure à quelques milliers de becquerels par gramme, pour les déchets radifères), des filières de gestion industrielles doivent être proposées par l'Andra à l'échéance de la fin 2012, dans le cadre du PNGMDR.

LES PERSPECTIVES D'OPTIMISATION DES FILIÈRES DE GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

La gestion des déchets radioactifs ne se limite pas à leur seul stockage : auparavant, ceux-ci passent par plusieurs étapes allant de leur production à leur entreposage.

Il convient dès lors de s'interroger, d'un point de vue global, sur l'efficacité des modes de gestion pratiqués en regard de différents critères : bien entendu, la protection de l'homme et de l'environnement (objectif inscrit notamment dans le Code de l'environnement), mais aussi l'optimisation technique et économique, la bonne utilisation de la ressource rare que constituent les volumes de stockage. Par ailleurs, l'aménagement du territoire et l'acceptabilité pour le public des méthodes retenues sont aussi des impératifs à prendre en compte.

L'analyse critique des modes de gestion (actuels ou envisagés) des déchets radioactifs permet d'identifier des marges de progression. Cette analyse peut être menée pour chacune des étapes de la filière. Par

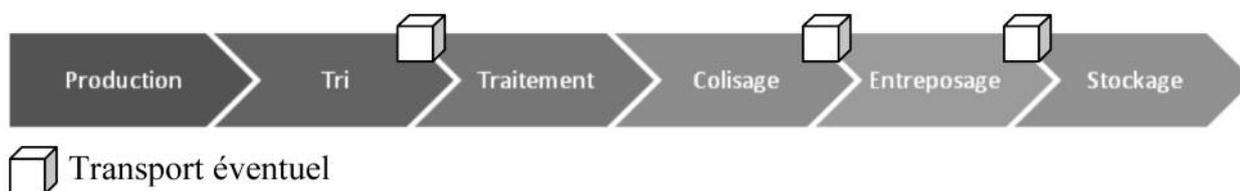


Figure 1 : Représentation schématique de la chaîne de gestion telle que donnée par le PNGMDR.

exemple, pour certains déchets présentant un spectre radioactif assez large, un développement du tri peut permettre de diminuer la proportion des déchets relevant des filières de déchets à vie longue, les plus coûteuses, grâce à une meilleure séparation des éléments comportant le plus de radionucléides à vie longue. De même, des traitements peuvent être envisagés pour modifier la forme physicochimique des déchets. Plus simplement, il est possible d'obtenir une réduction du volume des déchets par compactage, ce qui peut représenter une économie notable sur le coût du stockage final.

L'étape du conditionnement requiert une attention particulière. En effet, le type de colisage peut varier en fonction du stockage de destination. Des gains peuvent être réalisés en standardisant les conditionnements, en essayant autant que possible de développer des conditionnements polyvalents adaptés non seulement à des déchets aux caractéristiques différentes, mais aussi aux différents modes de stockage. Le conditionnement est un composant qui joue aussi un rôle important, en termes de sûreté et de radioprotection.

Chaque étape peut donner lieu à de telles opportunités. Ce travail ne peut bien évidemment se faire que grâce à une collaboration entre les acteurs intervenant aux différents stades de la gestion des déchets, chacun d'eux maîtrisant techniquement une ou plusieurs des étapes du processus.

Cette analyse doit être menée au regard de l'état des connaissances du moment, des technologies disponibles et de leurs perspectives de développement, car de nouvelles opportunités d'optimisation peuvent apparaître à tout moment. Un bon exemple est fourni par le cas des déchets de graphite issus des réacteurs de première génération (UNGG) : ceux-ci constituent un élément dimensionnant pour le stockage des déchets FAVL (ils représentent un volume à stocker de l'ordre de 75 000 m³ et sont les plus contraignants en termes d'inventaire radiologique).

Aujourd'hui, EDF mène un programme de caractérisation des graphites qui pourrait permettre d'en affiner l'inventaire radiologique et les données concernant le comportement au sein du déchet des principaux radionucléides. Par ailleurs, des résultats récents des recherches en cours sur les traitements du graphite pourraient conduire à développer un procédé permettant de séparer les radionucléides les plus impactants présents dans un résidu de traitement suffisamment concentré et donc d'un volume réduit. Si ce procédé voit le jour, ces résidus pourraient être affectés à la filière MAVL. On pourrait dès lors reconsidérer à la baisse les exigences de performance du stockage des déchets FAVL. Le coût en serait réduit d'autant, avec une performance de sûreté sans doute meilleure, du fait d'un inventaire en radionucléides nettement réduit.

LES DÉCHETS DU FUTUR

Les perspectives de la production de déchets radioactifs

L'inventaire national produit par l'Andra présente, sur la base des déclarations des détenteurs de déchets, les prévisions de la production de déchets radioactifs aux horizons 2020 et 2030.

Ces prévisions sont réalisées sur la base de l'hypothèse d'une continuité de la politique électronucléaire française, avec notamment une durée de fonctionnement des réacteurs nucléaires de cinquante ans et la poursuite du traitement des combustibles usés. Seuls sont comptabilisés les déchets produits par les installations aujourd'hui autorisées.

Ces prévisions permettent de vérifier la suffisance des exutoires pour les déchets des différentes catégories et

Catégories	Inventaire à fin 2010	Inventaire à fin 2020	Inventaire à fin 2030	Capacité de stockage existante ou prévue
Haute activité	2 700	4 000	5 400	10 000
Moyenne activité à vie longue	41 000	45 000	49 000	70 000
Faible activité à vie longue	87 000	89 000	133 000	à l'étude
Faible et moyenne activité à vie courte	830 000	1 000 000	1 200 000	1 577 000
Très faible activité	360 000	750 000	1 300 000	650 000
TOTAL	≈ 1 320 000	≈ 1 900 000	≈ 2 700 000	

Tableau 1 : Prévisions de la production des déchets radioactifs aux horizons 2020 et 2030 (les chiffres donnés sont exprimés en mètres cubes équivalents conditionnés).

		Poursuite de la production électronucléaire	Non-renouvellement de la production électronucléaire
HA	CU UOx		~ 50 000 assemblages *
	CU RNR		~ 1 000 assemblages *
	CU MOX		~ 6 000 assemblages *
	Déchets vitrifiés (m ³)	10 000	3 500
MA-VL (m ³)	70 000	59 000	
FA-VL (m ³)	165 000	165 000	
FMA-VC (m ³)	1 600 000	1 500 000	
TFA (m ³)	2 100 000	1 900 000	

Tableau 2.

* Les combustibles usés ne sont pas aujourd'hui considérés comme des déchets, ils ne sont donc pas conditionnés pour une prise en charge en stockage. Le volume moyen d'un assemblage combustible étant de 0,19 m³, ces assemblages représentent, avant conditionnement, un volume de 12 000 m³. L'Andra a vérifié la faisabilité du stockage des combustibles usés en 2005. Les concepts de conteneurs de stockage utilisés pour cette démonstration induisaient un volume de colis de stockage d'environ 89 000 m³.

d'engager éventuellement les travaux visant à garantir l'existence d'une filière pour chacun des types de déchets.

Ainsi, si l'on compare l'inventaire prévu à fin 2030 et la capacité prévue des stockages existants et en projet, on constate que les filières existantes ou en projet sont suffisantes pour les déchets à faible et moyenne activité à vie courte, ainsi que pour les déchets à destination du stockage géologique profond Cigéo (déchets à haute activité et à moyenne activité à vie longue). *A contrario*, sans une diminution drastique de leur production, une extension du stockage existant ou la construction d'une nouvelle installation de stockage seront nécessaires pour les déchets à activité très faible.

À plus long terme, l'inventaire national réalisé par l'Andra propose une prospective de production des déchets radioactifs suivant deux scénarios contrastés de politique électronucléaire : un scénario d'arrêt de la production électronucléaire et un scénario de poursuite de la production électronucléaire et du traitement des combustibles usés. Les déchets évalués sont ceux qui sont (ou seront) produits par l'ensemble du parc existant aujourd'hui, et ce jusqu'à sa fin de vie. Les déchets générés par de futures installations ne sont pas pris en compte.

Les résultats permettent d'éclairer le débat sociétal sur les choix énergétiques futurs. Ainsi, on peut retirer plusieurs constats du tableau 2 ci-dessus.

Pour les installations existantes, la production de la majorité des déchets est déjà existante ou engagée (c'est-à-dire qu'ils seront fatalement produits, par exemple, lors du démantèlement). Une sortie du nucléaire ne ferait donc pas, en tout état de cause, disparaître les déchets et des dispositions devront donc être prises pour gérer de manière sûre les déchets issus des choix industriels et énergétiques passés.

A contrario, la poursuite du nucléaire induit naturellement un flux continu de déchets qui nécessitera de

prévoir l'extension des installations de stockage existantes ou la construction de nouvelles installations, notamment pour accueillir les déchets d'un parc nucléaire futur, qui ne sont pas comptabilisés ici.

Une différence importante entre ces deux scénarios concerne les déchets à haute activité, qui changent de nature suivant le scénario considéré : dans le scénario de la poursuite de la production électronucléaire, seuls des déchets vitrifiés issus des opérations de traitement sont à stocker. Dans le scénario d'arrêt de la production électronucléaire, les combustibles usés deviennent des déchets devant être stockés en l'état. L'Andra a montré dans le dossier qu'elle a présenté en 2005 sur la faisabilité du stockage géologique profond, que le concept de stockage qu'elle développe avec le projet Cigéo est adaptable pour les déchets vitrifiés comme pour les combustibles usés, et ce dans le respect des objectifs de sûreté (tant en exploitation que de long terme). Les déchets à haute activité devant refroidir plusieurs dizaines d'années durant avant de pouvoir être stockés, la conception des tranches futures de Cigéo destinées à accueillir ces déchets au-delà de 2050 pourra être adaptée en fonction des choix de politique électronucléaire faits par la France d'ici là. C'est pourquoi l'adaptabilité du stockage fait partie du cahier des charges du projet Cigéo que développe l'Andra.

GÉNÉRATION IV, SÉPARATION- TRANSMUTATION : LE MYTHE D'UN NUCLÉAIRE SANS DÉCHETS ?

Au-delà de l'horizon du parc électronucléaire existant, la question des déchets devra être intégrée par les choix industriels qui seront faits quant au développement éventuel de nouvelles filières. On lit parfois un argument visant à conforter le développement des

réacteurs de quatrième génération, selon lequel ceux-ci permettront de résoudre le problème des déchets du nucléaire. La réalité est en fait plus nuancée...

Le principal objectif de la génération IV est une meilleure utilisation des ressources : ces réacteurs seront en mesure de consommer de l'uranium appauvri, ainsi que le plutonium généré par le cycle. C'est pour cette raison que ces éléments (uranium appauvri, plutonium contenu dans les combustibles usés, MOX) sont aujourd'hui considérés comme des matières valorisables, et non comme des déchets. La génération IV devrait donc permettre d'éviter que ces stocks importants (qui atteignaient, à fin 2010, 272 000 tonnes d'uranium appauvri et 1 700 tonnes de combustibles usés MOX) ne deviennent des déchets.

Mais à l'instar des générations précédentes de centrales nucléaires, les centrales de quatrième génération produiront des déchets d'exploitation, de maintenance et de démantèlement. De ce côté, le bilan est moins favorable : si l'on regarde parmi les déchets, ceux qui posent le plus de problèmes, à savoir les déchets à moyenne activité et à vie longue, on constate qu'au stade actuel des études, les réacteurs de quatrième génération produiraient une quantité de déchets MAVL de trois à quatre fois plus importante que les réacteurs à eau pressurisée. De plus, les déchets MAVL de structures de réacteurs à neutrons rapides auront une forte exothermicité qui nécessitera un entreposage de refroidissement, préalablement à leur stockage.

Associée à la génération IV, c'est bien sûr sur la séparation/transmutation que l'on compte pour résoudre la question des déchets à haute activité issus de combustibles usés : grâce à la séparation/transmutation, l'américium contenu dans les combustibles usés (voire les autres actinides dits mineurs autres que le plutonium : le curium et le neptunium) pourrait être recyclé dans les réacteurs de quatrième génération, à l'instar du plutonium. Quel effet aurait une telle opération sur les déchets à haute activité ?

En l'absence de séparation/transmutation, les déchets vitrifiés contiennent, d'une part, des actinides mineurs et, d'autre part, des produits de fission. Si les premiers sont séparés et réinjectés dans les réacteurs grâce à la séparation/transmutation, les déchets vitrifiés ne contiendront plus que des produits de fission (et éventuellement du neptunium et du curium, si seul l'américium est séparé).

Premier constat : les déchets vitrifiés n'ont pas disparu. Ils contiennent toujours des éléments radioactifs à vie très longue (certains produits de fission). Le contenu radioactif des déchets vitrifiés a certes diminué, mais dans des proportions bien moindres que ce que prétendent parfois les zéloteurs de la séparation/transmutation, qui affirment qu'en cinq cents ans les déchets reviendront au niveau de radioactivité de l'uranium naturel (après cinq cents ans, l'activité

radioactive d'un déchet vitrifié sans actinides mineurs est de l'ordre de 5 millions de becquerels par gramme, contre 26 000 becquerels par gramme, pour l'uranium naturel). Même si le niveau de radioactivité a été divisé par trente par rapport à un déchet vitrifié contenant des actinides mineurs, ce niveau est encore tel que seul un stockage géologique permet de gérer ces déchets.

Qu'en est-il en termes d'impact et de sûreté du stockage ? De ce point de vue, l'avantage n'est pas évident. En effet, la démonstration de la sûreté du stockage géologique dans l'argile montre que l'impact de celui-ci, à long terme, est uniquement dû aux produits de fission. Les actinides sont immobiles en conditions de stockage et sont insolubles. Ils n'ont donc pas d'impact, car ils restent dans l'argile, à cinq cents mètres de profondeur. Ce n'est que dans la situation (hypothétique) d'une intrusion humaine qu'une différence pourrait apparaître avec le cas du stockage des déchets sans séparation/transmutation, sans bien sûr pour autant supprimer les impacts sur l'homme et l'environnement dans un tel cas.

Un point positif cependant : l'allègement des déchets en actinides mineurs réduit leur exothermicité. Ainsi, leur gestion dans un stockage géologique profond s'en trouve facilitée. En supposant qu'ils soient gérés dans une installation similaire à Cigéo, une étude réalisée par l'Andra et le CEA a estimé que cela amènerait un gain important en matière d'emprise souterraine et de volume excavé pour créer des modules de stockage. Cependant, le gain est plus limité à l'échelle de l'ensemble du centre de stockage (du fait des besoins en infrastructures d'accès) et des déchets à moyenne activité et à vie longue (qui représentent un volume beaucoup plus important avec des réacteurs à neutrons rapides qu'avec des réacteurs à eau pressurisée). En comparaison du multi-recyclage du seul plutonium, la séparation/transmutation des actinides offre ainsi une réduction d'un facteur de 2 à 2,5 de l'emprise du stockage des verres à haute activité et une réduction de 30 à 40 % du volume total excavé du centre de stockage. La séparation/transmutation des actinides mineurs pourrait ainsi permettre de réduire d'environ un tiers le coût actualisé du stockage. Bien sûr, ce gain serait à mettre en regard des investissements industriels à réaliser pour mettre en place le cycle de séparation/transmutation. Il conviendra aussi de prendre en compte dans l'évaluation globale de l'intérêt de la séparation/transmutation, les risques et l'exposition induite pour les travailleurs intervenant sur l'intégralité du cycle.

CONCLUSION

La France peut se féliciter d'avoir mis en place depuis plusieurs années une politique de gestion des déchets

radioactifs qui s'efforce de trouver les solutions les plus adaptées pour gérer, en toute sûreté, les déchets produits par la filière nucléaire. Cette approche responsable ne doit pas pour autant laisser à penser que les enjeux de cette gestion pourraient ne pas figurer parmi les priorités de la filière nucléaire. Le coût associé à cette gestion n'est pas négligeable : la Cour des comptes a estimé dans son rapport publié en janvier 2012 qu'il s'élève à 28,3 milliards d'euros (de 2010) de charges brutes (ce qui représente cependant moins de 2 % du coût de production de l'électricité). Par ailleurs, la bonne prise en compte des problématiques

de sûreté à court et long terme inhérentes à ces déchets est un élément clé de l'acceptabilité sociale du nucléaire.

Aussi, il appartient à l'ensemble des acteurs de la filière nucléaire de maintenir leurs efforts pour optimiser la gestion des déchets qu'ils produisent, c'est-à-dire non seulement pour minimiser la quantité et la dangerosité des déchets, réduire les coûts associés et économiser la ressource rare que constituent les stockages de déchets radioactifs, mais aussi pour intégrer pleinement la problématique des déchets dans les choix technologiques futurs.