

Déchets nucléaires : bonnes nouvelles.

Michel Gay

06 juin 2014

On entend souvent dire qu'on ne sait pas quoi faire des déchets nucléaires.
Bonne nouvelle : dans les faits, c'est faux.

Plus de 90 % des déchets radioactifs en volume sont aujourd'hui gérés de façon définitive dans plusieurs centres de stockage qui sont en service depuis de nombreuses années. Pour les 10% restants qui contiennent la majeure partie de la radioactivité, c'est-à-dire pour les déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), la solution reconnue internationalement comme sûre et pérenne depuis longtemps¹ est le stockage définitif à grande profondeur (500 m), encore appelé "stockage géologique". Les éléments radioactifs ne remonteront éventuellement à la surface qu'après une période si longue que leur dangerosité aura disparu. Leur radioactivité décroît avec le temps et se confondra alors avec la radioactivité naturelle ambiante du sol. La croûte terrestre contient environ 3 grammes d'uranium par tonne et jusqu'à 20 g dans les régions granitiques en France (Massif central, Bretagne, Alpes).

Les seuls obstacles aujourd'hui ne sont donc pas d'ordre technique ou scientifique mais d'ordre social, psychologique... et donc politique..

La France, depuis la loi "Birraux"² de 2006, prépare ce stockage définitif à Bure (entre Meuse et Haute-Marne). En 2025, le gouvernement devra prendre des décisions qui relèvent de son pouvoir régalién pour autoriser ce type de stockage (définitif ou provisoirement réversible pendant une centaine d'années).

Demain, c'est-à-dire dans 50 ans ou plus, le stockage géologique pourrait être complété par la transmutation dans des réacteurs à neutrons rapides (surgénérateurs), ou dans des accélérateurs dédiés (ou une combinaison des deux) qui permettrait de consommer une partie des déchets dangereux actuels en les transmutant en produits peu ou pas radioactifs. Le stockage géologique recevrait les éléments restants. Le volume des déchets ultimes et le coût de leur gestion seraient ainsi diminués.

Actuellement, la totalité de l'électricité nucléaire, soit 75% de la production nationale, est produite par la fission de **un gramme d'uranium par Français et par an** ! (60 tonnes d'uranium fissionnées par an pour 60 millions de Français, ce qui représentent moins de 4 mètres cubes). L'ensemble des déchets HA et MA-VL (donc comprenant aussi les gaines des combustibles) représente moins de 500 m³ après conditionnement dans des cylindres de verre et d'acier à la Hague. Et moins de 2000 m³ après avoir été revêtu des protections supplémentaires en béton pour le stockage géologique.

La deuxième erreur courante est de croire que ce stockage géologique ne serait pas financé.
Bonne nouvelle : c'est encore faux. Le coût de ce stockage est provisionné. En France, il est

¹ Les réflexions de l'Agence internationale de l'énergie atomique en 2003, de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE en 2008 et de l'Union européenne en 2011, convergent pour considérer que le stockage géologique est la meilleure solution disponible. Le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 mentionnant que le stockage géologique est la solution de référence pour les déchets HA et MA-VL. Le stockage géologique s'est imposé comme une solution à long terme dans la plupart des pays.

² Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

inclus dans le prix du kWh³, presque le moins cher d'Europe, que chacun paie sur sa facture d'électricité.

La troisième erreur enfin, est de croire que le montant de notre facture d'électricité pourrait "s'envoler" si cette provision s'avérait insuffisante.

Encore une bonne nouvelle : si le coût du stockage venait à doubler, l'électricité facturée aujourd'hui 13 c€/kWh augmenterait de moins de 0,3 c€/kWh⁴. De plus, heureusement, le coût actuel de cette indécision politique qui rallonge les délais de mise en stockage définitif, reste faible : moins de 0,1 c€/kWh sur la facture d'électricité du consommateur.

On peut rappeler que le prix du kWh est de 30 c€ en Allemagne pour les particuliers, en grande partie pour financer les subventions aux énergies renouvelables ("*Energiewende*") et leurs conséquences.

Pourquoi ces fausses croyances sont-elles si répandues ?

Principalement parce que des antinucléaires, habiles en communication, jouent sur les peurs des populations en agitant régulièrement des épouvantails bardés d'amalgames, de raisonnements biaisés et de mensonges.

Ensuite, parce que l'humain peine naturellement à appréhender des temps longs (comme 10.000 ans) et il se méfie de ce qu'il ne comprend pas. Il est donc réceptif aux peurs distillées régulièrement par les médias.

Pourquoi les gouvernements successifs ne prennent-ils pas de décision ?

Tout simplement parce que les "politiques" ne veulent pas ouvrir ce dossier sensible et que, sur le plan strictement technique,... il n'y a pas d'urgence.

En effet, les déchets nucléaires vitrifiés conditionnés dans des cylindres d'acier doivent refroidir en surface pendant plusieurs dizaines d'années⁵ (au moins 60 ans et même un siècle) avant d'être définitivement stockés. Plus ils refroidissent, plus sûr et moins cher sera le stockage des déchets dont le dégagement de chaleur constitue un facteur dimensionnant. Les responsables politiques ne voient donc pas l'intérêt pour le moment de s'engager dans cette voie polémique et épineuse (il faudrait faire preuve de pédagogie) qui pourrait déplaire à certains électeurs potentiels....

Cette attitude "frileuse", encouragée par les antinucléaires, est cependant néfaste au développement du nucléaire car elle contribue à accréditer l'idée fausse "qu'on ne sait pas quoi faire des déchets nucléaires".

Il est plus surprenant que ni les adversaires du nucléaire, ni les responsables de ce stockage en profondeur ne semblent pressés de déclarer que la solution existe.

Les antinucléaires ont fait des déchets une arme contre le nucléaire et ils ne tiennent pas à ce que le problème des déchets soit résolu. C'est leur principal point d'appui pour justifier l'arrêt du nucléaire. L'objectif est de « constiper » la filière nucléaire pour qu'elle meurt d'une « occlusion intestinale ». Le raisonnement tient en quelques mots : « Puisqu'on ne sait pas quoi faire des déchets, il faut tout arrêter immédiatement ! ». Et une fois prise la décision politique de sortir du nucléaire, comme en Allemagne, on s'oriente comme par miracle vers une solution acceptable par les antinucléaires⁶... qui est le stockage géologique combattu en France.

Les seconds voient là une source durable d'activités et de revenus en termes de recherches et de démonstrations... aidés en cela, involontairement, par les antinucléaires qui font durer

³ Rapport de la Cour des comptes, janvier 2012.

⁴ Rapport Cour des comptes, janvier 2012, p 379 : "*Le calcul du coût de production (5 c€/kWh) est peu sensible aux incertitudes portant sur les charges futures de démantèlement ou de gestion des déchets, le coût total évoluant de 5% environ si celles-ci venaient à doubler*" ; (et donc de 2% sur le prix consommateur qui est de 13c€/kWh).

"La CC évalue la sensibilité du coût à un doublement du devis du stockage profond des déchets à 1 %. En effet, la période considérée étant extrêmement longue, l'actualisation ramène le coût à un niveau peu élevé".

⁵ <http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/ChaleurDegagee.htm> et

<http://www.laradioactivite.com/en/site/pages/QuellesDurees.htm> (Site d'information du CEA)

⁶ Revue de l'UARGA "Nucléaire et énergies" n°62 de décembre 2013, p20.

la phase d'expérimentation. Prendre son temps permettrait peut-être aussi d'apaiser les craintes, d'optimiser la conception et d'améliorer "l'ingénierie" pour diminuer les coûts des travaux de réalisation⁷.

Les tergiversations politiques sur le stockage définitif des 10 % restants de déchets nucléaires HA et MA-VL peuvent donc malheureusement durer encore jusqu'en... 2025 car pour des raisons différentes, voire opposées, chacun semble y trouver son compte.

Mais cet attentisme entretient une situation préjudiciable à l'essor économique. Ces incertitudes sont aussi porteuses de germes dangereux. Le manque de soutien des élus pourrait faire basculer insidieusement l'opinion publique vers un rejet du nucléaire ce qui reviendrait en France à se tirer une balle, non pas dans le pied, mais dans le genou, par ignorance.

Ainsi, même s'il n'y a pas d'urgence, il est temps que nos responsables politiques s'engagent franchement pour soutenir le stockage géologique. Ce revirement courageux mettrait un terme à cet argument antinucléaire fallacieux qui sème le trouble dans les esprits et qui nuit à une adhésion populaire en faveur du nucléaire. Ce soutien affiché aurait le mérite de clarifier la situation et de fixer un cap énergétique stable pour le bien de nos entreprises qui attendent une énergie abondante et bon marché sur le long terme.

Pour terminer avec une autre bonne nouvelle, il faut aussi savoir que le stockage naturel d'éléments radioactifs existe depuis... très longtemps ! Des concentrations naturelles d'éléments radioactifs, tels que l'uranium et le thorium, sont enfouies dans l'écorce terrestre depuis des milliards d'années.

Au Canada, le gisement de Cigar Lake dans la province de l'Athabasca est resté confiné sous 400 mètres de sédiments pendant plus d'un milliard d'années avant sa découverte.

Mieux, au Gabon, dans le gisement d'Oklo, des **réacteurs naturels** découverts en 1972 se sont déclenchés il y a 1,7 milliards d'années. Ils ont "brûlé" (fissionné) de l'uranium pendant des milliers d'années en produisant plusieurs tonnes de déchets, dont le plutonium. Il n'y a pas eu de dispersion des déchets radioactifs dans le milieu naturel puisqu'on retrouve sur place les éléments ultimes, qui ne sont plus dangereux, de la désintégration des radioéléments issus du fonctionnement des réacteurs naturels.

On a ainsi découvert que la nature, seule, a su confiner des déchets nucléaires et les conserver plus d'un milliard d'années, bien après que le potentiel agressif de leur radioactivité ait disparu. L'homme, en ajoutant des connaissances et des techniques, peut confiner ses déchets nucléaires de manière sûre et pérenne. Il sait le faire aujourd'hui aussi bien, sinon mieux, que la nature pour assurer sa sécurité, son bien-être et son développement.

Conclusion

Le stockage géologique des déchets nucléaires ne présente aucun danger, ni pour nous, ni pour les générations suivantes. Il est d'un coût raisonnable et nous pouvons l'assumer financièrement. Nos élus doivent le comprendre et le dire pour rassurer les Français qui n'entendent et ne voient s'agiter que des antinucléaires dans les médias.

L'industrie nucléaire constitue incontestablement un atout pour la France. Elle représente un gisement de création d'emplois non délocalisables et une valeur importante pour l'économie française. La production massive d'électricité d'origine nucléaire est le seul moyen pour doter la France d'une politique énergétique efficace à long terme.

Des pays comme l'Espagne et l'Italie se sont fourvoyés dans l'éolien et le photovoltaïque. En Allemagne, le rêve fou d'une société sans nucléaire alimentée par le vent et le soleil commence à faire long feu. Après avoir dilapidé des milliards d'euros dans les énergies renouvelables, ce grand pays augmente de plus en plus sa consommation de charbon importé des Etats-Unis, de lignite (existant en abondance dans son sous-sol) et ses émissions de CO₂. Sa "transition énergétique" visait le contraire...

⁷ Luc Oursel, Président du directoire d'Areva, audition à l'Assemblée nationale le 20 mai 2014.

Si nous laissons des antinucléaires dogmatiques et des esprits naïfs mal informés abuser et même affoler les Français par des mensonges et des amalgames, alors notre pays, qui n'extrait ni charbon ni gaz de son sous-sol, court à la catastrophe.

Sans un soutien affirmé du nucléaire en France, les industries nucléaires d'autres pays (Russie, USA, Chine, Inde,...) bénéficieront seules des retombées économiques et sociales de cet extraordinaire potentiel de croissance et d'emploi lié au développement actuel et futur de cette filière à travers le monde.

Grâce à l'énergie nucléaire qui est un formidable moyen de production d'énergie durable, sûr, massif et bon marché, le besoin en électricité de nos enfants est assuré pour des siècles... si enfin les "politiques" s'engagent résolument et clairement dans cette voie.

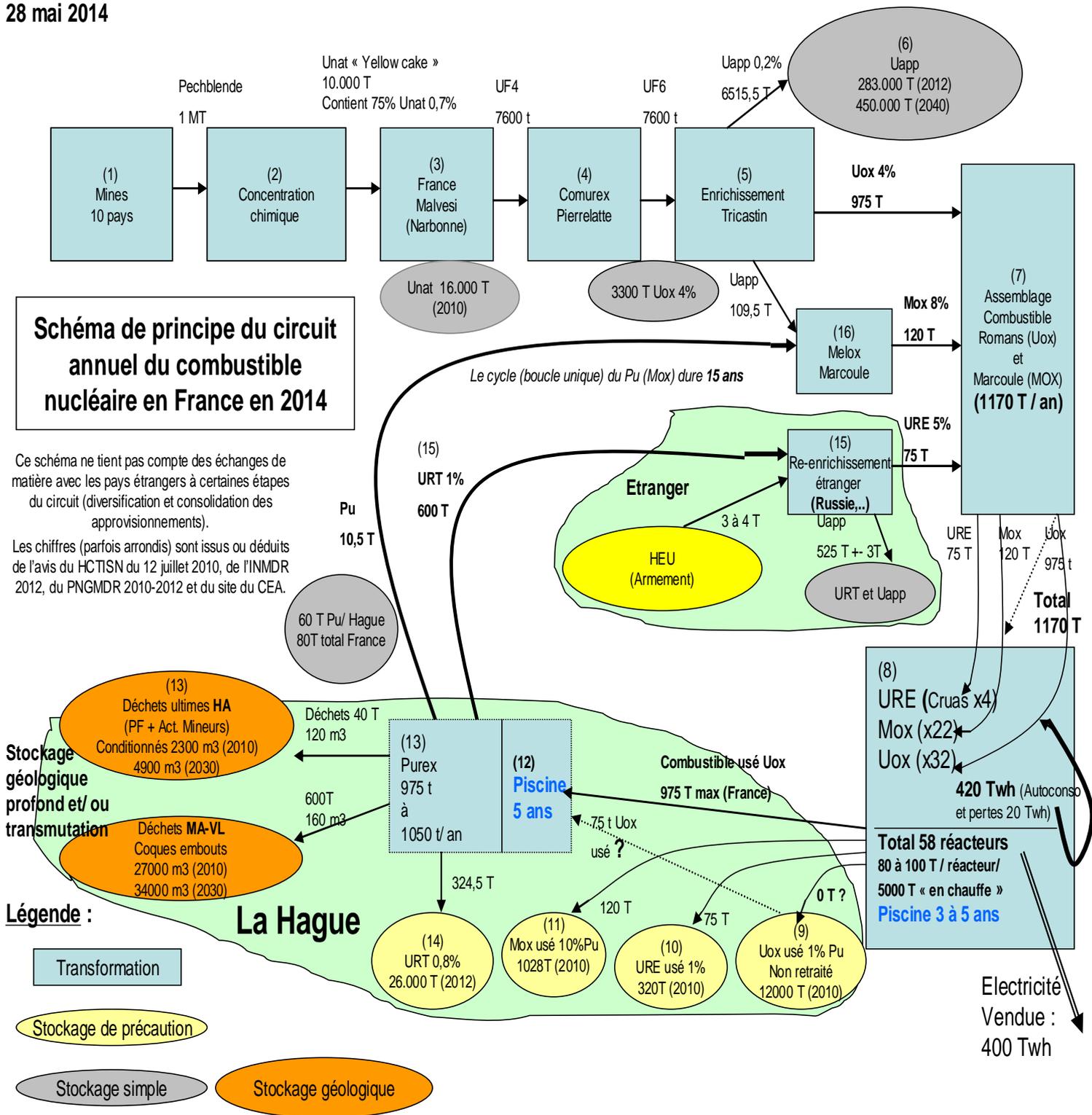
Annexe 1 : Circuit du combustible nucléaire en France et ses explications (7 pages pour mieux comprendre le circuit annuel du combustible nucléaire comprenant un recyclage partiel en France).

Annexe 2 : Extraits (16 pages) du rapport de synthèse de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs (L'INMDR 2012 est un rapport de 200 pages).

ANNEXE 1

Un schéma et six pages d'explications pour ceux qui veulent faire l'effort de mieux comprendre le circuit (comprenant un recyclage partiel) du combustible nucléaire en France.

28 mai 2014



Explications des renvois inclus dans le schéma de principe du circuit annuel du combustible nucléaire en France en 2014.

1) Le minerai contenant de l'uranium (Pechblende) est extrait de mines souterraines ou à ciel ouvert dans environ 10 pays (USA, Canada, Niger, Australie, Kazakhstan, Russie,...). La concentration d'uranium naturel (Unat) dans les mines exploitées varie de 3 kg à 100 kg (Canada) par tonne de minerai extrait. Dans l'exemple du schéma, la teneur moyenne a été fixée arbitrairement à 7,6 kg/tonne. Pour un million de tonnes de minerai, on obtient donc 7600 tonnes d'Unat. La croûte terrestre contient 3g d'uranium naturel par tonne. Creuser un trou de 10 m de côté et de 10 m de profondeur dans son jardin, c'est extraire en moyenne 3 kg d'uranium. En 2011, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) évaluait à 6 millions de tonnes les ressources récupérables à un coût inférieur à 130 USD/kg⁸. Le monde consommant 60.000 T d'Unat par an, au rythme actuel, il y a pour 100 ans de réserves exploitables dans des conditions économiques raisonnables.

De plus, selon l'AIEA : *"Il faut ajouter à ce chiffre les « ressources supplémentaires estimées », celles dont les études démontrent l'existence, évaluées à 10,5 millions de tonnes, et dont la mise à jour ne fait guère de doute. Au total, avec ces 16 millions de tonnes d'uranium dont la disponibilité semble pratiquement acquise la durée de fonctionnement du parc nucléaire mondial de génération 2 ou 3, au rythme actuel de consommation, est de plus de 2 siècles. Précisons que ces chiffres découlent de réserves dont l'exploitation est estimée à moins de 130 dollars le kilo. Si l'on portait conventionnellement ce prix à 200 dollars le kilo, par exemple, le montant global des ressources estimées serait nettement supérieur aux 16 millions de tonnes annoncées...et la durée de fonctionnement du parc en serait allongée d'autant⁹".*

Le coût d'achat de l'uranium en France ($100\text{€}/\text{kg} \times 8000\text{T} = 0,8 \text{ Md€} / \text{an}$) représente actuellement $0,2\text{c€}/\text{kWh}$ dans les $13\text{c€}/\text{kWh}$ que les Français paient généralement "à la prise électrique". Si ce prix d'achat devait doubler, il faudrait déboursier $0,2\text{c€}$ en plus par kWh... Fin 2013, le cours de l'uranium était à moins de $100\text{€}/\text{kg}$ (exactement $50 \text{ \$US} / \text{lb U3O8}$)

2) L'extraction de l'Unat du minerai et sa concentration s'effectuent de manière chimique sur le lieu d'extraction. On obtient un concentré d'Unat (80%) sous forme d'une poudre jaune appelée « Yellow cake ».

3) L'Unat sous forme de « Yellow cake » est importé en France près de Narbonne, à Malvesi (7600 T / an à partir de 2011). L'Unat est formé principalement de deux types d'uranium dits "isotopes" : l'uranium 238 (U238) à 99,3% et l'uranium 235 (U235) à 0,7%, qui est l'isotope recherché. C'est cet isotope fissile qui démarre et entretient la réaction nucléaire dans un réacteur nucléaire. En France, les réacteurs à eau pressurisée (dit REP) ne peuvent fonctionner qu'avec un combustible "uranium" contenant environ 4% d'U235 dont on fabrique 1000 T / an. Afin de pouvoir atteindre cette concentration, il faut enrichir l'Unat. Le procédé d'enrichissement nécessite de mettre l'uranium sous forme gazeuse et donc, dans un premier temps, de le « fluoré » à Malvesi sous forme d'UF4 (cristaux vert).

Au 31 décembre 2010, un stock de 16.000 T d'Unat était entreposé sur les sites de Tricastin et de Malvesi, soit plus de deux ans de stock.

En résumé, et par année, la France importe 7600 T d'Unat dont elle extrait 1000 t de combustible dont seulement 60 t sont fissionnées pour fournir 75% de notre électricité en France. Il reste donc environ 60 T de produits de fission qui sont les déchets ultimes, soit 1g/hab en France (soit encore 6 g après conditionnement pour être stockés). Dans ces déchets sont inclus une tonne de noyaux qui ont absorbé des neutrons et qui n'ont pas fissionné qu'on appelle des actinides mineurs (AM = Neptunium, américium et Curium) et qui sont les plus radioactifs au début (300 ans).

⁸ Rapport juillet 2011 http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC55/GC55InfDocuments/French/gc55inf-5_fr.pdf

⁹ Francis Sorin <http://energies.sfen.org/le-debat-sur-la-transition-energetique/uranium-rupture-de-stocks>

- 4) Ces cristaux d'UF₄ sont ensuite transportés à Pierrelatte pour être transformés en cristaux blancs d'UF₆, qui ont la particularité d'être gazeux à partir de 56,4° à la pression atmosphérique.
- 5) Ces cristaux blancs sont emmenés au centre d'enrichissement Georges Besse 2 au Tricastin où ils sont transformés en gaz pour être enrichis dorénavant par centrifugation. Ce procédé consomme 50 fois moins d'énergie pour produire "la même chose" (on parle d'Unité de Traitement et de Séparation : UTS) que la méthode précédente par diffusion gazeuse. Une UTS en diffusion gazeuse consommait... 2400 kWh/an. Seulement 50 kWh suffisent aujourd'hui par centrifugation. La puissance appelée est de 50 MW au lieu de 2500 MW pour le même résultat. Après enrichissement et défluoration, les 7600 T initiales fournissent 975 T de cristaux noirs d'oxyde d'uranium enrichis à 4% d'U₂₃₅ (U_{o2} à 4% aussi noté U_{ox}) qui servent à fabriquer le combustible et 6625 T d'uranium appauvri (U_{app}) dont 109,5 T serviront à fabriquer un autre type de combustible (le Mox, voir explication 17). Le reste (6515,5T) sera entreposé pour un éventuel usage ultérieur. *(Les chiffres sont précis pour être cohérents dans les additions mais ils peuvent largement varier d'une année sur l'autre).* Il est à noter que 3300 t de combustibles neufs sous forme d'assemblages prêts à l'emploi (3 ans de consommation) sont entreposés sur différents sites (Tricastin, Hague, Romans, Pierrelatte et les sites EDF¹⁰), soit au total au minimum 5 ans de réserve avec les 2 ans d'Unat à enrichir (voir renvoi n°3). Fin 2012, il existe également 26.000 T d'uranium de recyclage principalement à Tricastin.
- 6) L'U_{app} (ne contenant plus que 0,2 à 0,3% d'U₂₃₅) issu de l'enrichissement est transformé en poudre gris-noir d'U_{3O8} très stable (incombustible, insoluble, non corrosive). Fin 2012, 283.000 T sont entreposées principalement à Bessines (107.000 T) et à Tricastin (175.000 T) dans des conteneurs¹¹. Il est prévu 450.000 T fin 2040. Cette U_{app} pourrait être le combustible du futur dans les réacteurs de quatrième génération. En effet, dans les réacteurs actuels, pour la production de chaleur (la fission), nous n'utilisons réellement que 0,6 % de l'Unat importé constitué à 99,3 % d'U₂₃₈. Or, il faut 8 T d'Unat pour fabriquer 1 T de combustible à 4 % d'U₂₃₅ dont 5 % seulement fissionnent ($5\%/8 = 0,62\%$). Avec la future quatrième génération de réacteurs surgénérateurs (GEN IV), nous pourrions fissionner jusqu'à 60 % de l'Unat (au-delà il se forme des produits de fission qui nuisent à la réaction de l'U₂₃₈) et la ressource primaire d'Unat capable de fissionner, après transformation en Pu₂₃₉, est donc multipliée par 100¹². Pour ces éventuels futurs réacteurs surgénérateurs, nous avons aujourd'hui sur le sol français 3000 ans de combustibles constitués par 300.000 T d'U_{app}. A raison d'une consommation prévue de 100 T par an (la production électrique actuelle d'origine nucléaire fissionne 60 T d'uranium par an), **nous aurons 5000 ans de stock en France pour la GEN IV en 2050.**
- 7) Les deux usines d'assemblage de Marcoule et de Romans préparent les combustibles dans des assemblages de tubes métalliques. Ces tubes contiennent des empilements de pastilles solides de combustible qui se mettront à chauffer une fois insérées dans les 3 types de cœur des réacteurs. Suivant la puissance du réacteur, 0,9 GW, 1,3 GW, 1,45 GW ou 1,6 GW (EPR), la masse de combustible du cœur est de 72 T, 104 T, 110 T ou 128 T.
- 8) Près de 5000T de combustible sont en cours d'utilisation dans les réacteurs¹³. Sur un total de 58 réacteurs, 4 réacteurs à Cruas (156 T) fonctionnent avec de l'uranium ré-enrichi (URE) obtenu à partir de l'uranium de retraitement (URT) issu du combustible utilisé une fois (voir paragraphe 16). 22 réacteurs fonctionnent avec un combustible contenant 30% de Mox et 70% d'uranium « normalement enrichi » (U_{ox} à 4% d'U₂₃₅). 32 réacteurs fonctionnent uniquement avec ce U_{ox}. Le total de la consommation des 58 réacteurs en France est de 1170 tonnes de combustible préparé par an pour une production totale de 420 Twh¹⁴. Mais 20 à 30 Twh¹⁵ sont « absorbés » avant d'être vendus (consommation interne des centrales électriques, production du combustible, pertes dans les lignes transport,...). Il reste donc 390 Twh d'énergie finale (celle qui est payée par les clients). Après 3 ou 4 ans passés dans le cœur, ces trois types de combustibles (U_{ox}, URE, Mox) sont déchargés par tiers ou par quart dans des piscines où ils séjournent environ 3 ans. Ce séjour permet de faire baisser la radioactivité et le dégagement résiduel de chaleur avant le transfert vers La Hague.

¹⁰ Inventaire National des Matières et Déchets Radioactifs, Rapport de Synthèse 2012 (INMDR, RS 2012) P 46

¹¹ Exposé DGEC(C-A Louët) au HCTISN 12 décembre 2013.

¹² Dossier de presse quatrième génération : vers un nucléaire durable P7, mars 2010

¹³ INMDR, RS 2012; P 49

¹⁴ HCTISN, avis du 12/07/2010

¹⁵ Bilan énergétique de la France pour 2009 / juin 2010/ MEEDM / Soes

- 9) Jusqu'en 2010, La Hague ne pouvait retraiter que 850 T de combustible usé (Uox usé) par an et environ 150 T de Uox usé non retraité était stocké chaque année.
A fin 2010, le stock était d'environ 12000 T¹⁶ d'Uox usé (8400T à la Hague et 3600 T sur les sites électronucléaires) contenant encore 0,8% d'U235 et 1% de Plutonium. Depuis 2011, La Hague peut retraiter annuellement 1050 T de combustible (200 T de plus) et peut donc retraiter tout le combustible Uox usé sortant des centrales nucléaires.
- 10) Bien que cela ait déjà été fait, les 75 T d'uranium ré-enrichi (URE) produit annuellement ne sont actuellement pas enrichi de nouveau car ce deuxième passage en réacteur accumule des noyaux néfastes à la réaction en chaîne (U236 notamment) et des produits de fission. Cette accumulation nécessite des précautions particulières de traitement qui sont plus onéreuses. Les conditions économiques du moment ne nécessitent pas un multi-recyclage de l'URE (qui contient également 0,8% d'U235 et 1% de Plutonium). L'URE est stocké en prévision d'une utilisation ultérieure (enrichissement ou combustible pour la future génération de réacteur dit de quatrième génération à neutrons rapides). Fin 2010, 250 T sont entreposés à la Hague et 70 T à la centrale de Cruas¹⁷.
- 11) La production du Mox est d'un peu moins de 10% de la production électronucléaire. Pour les mêmes raisons que l'URE, les 120 T annuelles de Mox usé ne sont pas actuellement retraitées. Le Mox usé contient 5% de Plutonium¹⁸ (ou 10% (?) dans l'INMDR 2012 P67). 900 T sont entreposées à la Hague et 390 T sur les sites électronucléaires, soit 1300 T en attente de traitement. Le stock « tampon » en France est de 80 T de Pu au 31/12/10 dont 60 T à la Hague pour une utilisation en ligne du Pu produit (cf traité de non prolifération nucléaire), 8 T dans le processus de fabrication Mox et 10 T prêts dans des assemblages Mox ou RNR¹⁹.
- 12) $1170T - 120T - 75T = 975 T$ de combustible usé (Uox usé) restant annuel qui peut être retraité à la Hague. Cet Uox usé séjourne encore 5 ans en piscine pour faire décroître sa radioactivité.
- 13) Ensuite, les assemblages contenant ces 975 t de combustible sont traitées chimiquement à l'acide nitrique par le procédé « Purex » pour séparer :
- D'un coté:
- l'Uranium (924,5 T),
 - le Plutonium (10,5 T)
 - et les produits de fissions (PF) avec les "actinides mineurs" (AM). (40 T / an à la Hague sur un total de 60 T).
- D'un autre coté :
- Les tubes et embouts métalliques, vides mais radioactifs, qui sont broyés et compactés dans 850 conteneurs spéciaux de déchets vitrifiés (CSD-V) de 180 litres par an²⁰ (160 m3). Ils sont destinés au stockage géologique et temporairement entreposés à La Hague.
- Au total, les 1170 T de combustibles usés annuellement contiennent 60 T de déchets ultimes (PF + AM). Chacun des 58 réacteurs, selon sa puissance, produit donc environ une tonne de produit de fission par an. Chaque tonne de matière fissionnée produit 7 Twh d'électricité ($60 \times 7 = 420$ TWh).
- Sur les 80 tonnes de Pu entreposées (dont 60 T à la Hague), 56 T (soit trois années de consommation) sont de propriété française²¹. La densité de l'Unat et du Pu est de 19 kg/litre. Une tonne représente un volume de 52 litres soit moins de trois jerricans de 20 litres.
- Lors des réactions nucléaires dans le cœur des réacteurs, les fissions (principalement des noyaux d'U235 et de Pu 239) donnent naissance à des noyaux plus petits et très instables (radioactifs). Ces produits de fission (PF) sont majoritaires dans les déchets ultimes (49 kg sur 50 kg / tonne de combustible²²) La radioactivité des produits de fission est divisée par 50 en 6 mois. D'autres noyaux absorbent des neutrons sans fissionner et forment des noyaux encore plus gros (transuraniens) et radioactifs (Américium, Neptunium, Curium). On nomme ces derniers « actinides mineurs » (AM) car ils existent en petite quantité par rapport au Plutonium et à l'Uranium qui sont les actinides majeurs. Même s'ils sont minoritaires dans les déchets ultimes (1kg sur 50 kg), ils sont à l'origine de l'essentiel de la radioactivité à long terme (après 300 ans) des déchets radioactifs. Les noyaux résultants des fissions et les actinides mineurs constituent les déchets ultimes. Ces 40 T de

¹⁶ INMDR, RS 2012; P 49

¹⁷ INMDR, RS 2012 P49

¹⁸ OPECST n°612 1997

¹⁹ INMDR, RS 2012 P49

²⁰ http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/Conditionnements_MAVL.htm

²¹ Idem P 50

²² HCTISN avis du 12/07/2010

déchets ultimes sont fondus dans une matrice de verre conditionnée dans 620 conteneurs spécialisés de 180 litres par an (soit 120 m³ par an, soit un cube de 5 m de côté). Ils sont actuellement entreposés à La Hague et à Marcoule (total du stock fin 2010 = 2300 m³ et 4900 m³ en 2030) dans l'attente d'une solution pérenne de stockage prévue vers 2025 /2030 avec les coques et embouts de déchets MA-VL issus des structures des assemblages de combustibles (27.000 m³ fin 2010 et 34.000 m³ en 2030)²³.

Tous secteurs confondus (Electronucléaire, Défense, Recherche, Industrie, Médical), le stock de déchets conditionnés HA sera de 5300 m³ et MAVL de 49.000 m³ en 2030²⁴ (soit un cube de 40 m de côté).

14) Une partie (324,5 T) de l'uranium retraité (URT contenant encore 0,8% d'U235) n'est pas recyclée. Le stock est de 26.000 T fin 2012²⁵ (à La Hague et au Tricastin) et sera de 40.000 T en 2030²⁶.

15) L'autre partie (600 T) de l'URT est ré-enrichie à l'étranger, notamment en Russie à Tomsk (appelé aussi Seversk). Il semble qu'aux termes d'accords commerciaux entre EDF (France) et TENEX (Russie), une partie de l'URT soit ré-enrichie par centrifugation et une autre par mélange (blending) d'Uapp russe et d'Uranium hautement enrichi (HEU : Highly Enriched Uranium) jusqu'à plus de 80% provenant d'anciennes têtes d'armement nucléaires. En effet, appauvrir 600 T d'URT de 0,8 à 0,2% dégage 360 kg d'U235. Au final, la Russie renvoie en France 75 T d'uranium ré-enrichi (URE) à 4,8% (qui contient 360 kg d'U235) et elle conserve sur son sol les 525 T d'Uapp "délicat" (contenant de l'U236) s'il y a eu centrifugation, ou d'URT s'il y a eu enrichissement par « blending » avec de l'Uapp « local ». Il y a simplement échange (swap) de matière fissile U235. Fin 2012, il existe 26.000 T d'uranium de recyclage (URT) principalement à Tricastin.

16) Les 10,5 T de Plutonium (sous forme de poudre de cristaux gris noirs de PuO₂) devraient être issues du retraitement de 1050 T de combustible. La France n'en ayant que 975 T à retraiter chaque année, il faut supposer que 75 T de combustible à retraiter sont issues du stock existant d'Uox et que nous en extrayons le Plutonium (Pu)? Ces 10,5 T de Pu sont mélangées à 109,5 T d'Uapp pour former 120 T de Mox contenant 8,75% de Pu. En France, 22 réacteurs sont prévus pour fonctionner avec une proportion de 30% de combustible Mox. Malgré le pourcentage de Pu plus élevé (8,75%), le combustible Mox fournit la même énergie que le combustible avec 4% d'U235. Cela est dû au fait qu'il y a plusieurs isotopes du Pu sous le terme générique « Pu » et que certains isotopes ne sont pas fissiles.

Bilan :

Sur les 1170 T de combustible consommé chaque année, 975 T de combustible « neuf » (Uox) sont injectées dans les réacteurs et 195 T proviennent d'un recyclage (Mox et URE) soit 17% (de 1170 T) de recyclage et donc d'économie d'uranium²⁷. Si 7600 T d'Unat produisent 975 T de combustible à 4%, alors ces 195 T de combustibles recyclés économisent l'achat de près de 1500 T d'Unat soit 100 M€ à 70€/kg.

Cependant, on peut aussi considérer que sur les 1170 T de combustibles usés sortant annuellement des réacteurs, 1084,5T sont entreposées (Mox, URE, URT, Uapp) ou écartées comme déchets. Alors, seulement 85,5 T reviennent effectivement dans les réacteurs (10,5 T de Pu + 75 T d'URE) soit 7% (de 1170 t) de recyclage. Les 195 T réinjectées étant obtenues par un ajout « externe » de 109,5 T d'Uapp en stock additionnées aux 10,5 T de Pu.

Rappel : Aujourd'hui, le taux de fission du **combustible** dans les réacteurs est globalement de **5%** (50 kg de produits de fission par tonne de combustible). Pour 1170 T de combustible usé par an, il y a donc 60 T de produits de fission à gérer par an en France. Ainsi, **le taux de fission global de l'Unat importé est seulement de 0,6 %** puisqu'il faut 8 T d'Unat pour fabriquer 1 t de combustible (5%/8 = 0,6 %).

²³ INMDR, RS 2012 P71

²⁴ INMDR, RS 2012 P40

²⁵ Exposé DGEC(C-A Louët) au HCTISN 12 décembre 2013

²⁶ INMDR RS, P50

²⁷ INMDR RS, P45

Dans les surgénérateurs de GEN IV, le taux de combustion de l'Unat pourrait aller jusqu'à 60% **et donc les réserves « utiles » mondiales seraient multipliées par 100, soit 10.000 ans de réserves avec la production d'électricité mondiale actuelle.**

Si on devait multiplier par 10 cette production électrique, il y aurait encore 1000 ans de réserve pour le monde entier.

A titre anecdotique, il est intéressant de s'apercevoir que la production annuelle électrique nucléaire française fait « disparaître en lumière » 50 kg de matière tous les ans par transformation en chaleur. Selon la célèbre formule d'Einstein $E = MC^2$. En prenant 420 Twh de production brute d'électricité et un rendement thermique de 33 % (soit 1260 Twh thermique d'énergie fournie par les fissions), on retrouve $M = 50 \text{ kg}$ ²⁸.

Complément sur les déchets et la radioactivité

La radioactivité est toujours dangereuse, quelle que soit la dose d'irradiation : Faux.

La radioactivité est présente partout à l'état naturel depuis la nuit des temps. Chacun de nous est radioactif. Plus de 8000 atomes se désintègrent par seconde dans le corps d'un individu de 80 kg. Cet individu est donc naturellement radioactif à 8000 becquerels (Bq). La terre, les maisons, les murs et les aliments sont tous naturellement radioactifs, y compris le lait, la salade et l'eau. Paradoxalement, un régime végétarien est trois fois plus radioactif qu'un régime classique à cause du Carbone 14 et du Potassium 40. En France, la dose moyenne reçue est de 2,4 millisievert²⁹ (msv) par an. Cette dose est supérieure (jusqu'à 5 msv) en Bretagne, dans les Alpes et dans le Massif-Central à cause du granite qui est un plus radioactif que les autres minerais. Comme toujours, c'est la dose qui fait le poison. Un peu de radiation du soleil, c'est bien. Trop de soleil brûle et peut tuer. C'est pareil pour l'eau : boire trop d'eau sans nécessité (une dizaine de litres par jour) peut être mortel par arrêt du cœur en "lessivant" les sels minéraux.

Il existe différents types de radiations nucléaires (Alpha, Béta, Gamma) avec des caractéristiques très différentes. Un milligramme de plutonium avalé ou respiré (ingestion) est mortel car ses radiations (des particules Alpha) irradient directement au contact des cellules et elles créent des dégâts. En revanche on peut tenir un kg de plutonium dans ses mains avec des gants de cuisine. Ses radiations n'atteignent pas la peau à travers les gants et l'air car les particules Alpha sont grosses et ne traversent pas ces petits écrans.

De plus en plus de scientifiques pensent même qu'une faible dose de radiations nucléaires est bénéfique à la santé, au même titre que le soleil, bien que cela soit très difficile à démontrer car il faudrait pouvoir suivre des milliers voire des millions d'individus pendant plusieurs dizaines d'années : c'est l'effet hormesis.

Par comparaison avec le rayonnement solaire, de faibles expositions dans le temps font bronzer (et sont même bénéfiques pour la santé) tandis qu'une exposition intense, sur une plage l'été par exemple, peut provoquer des coups de soleil et même de graves brûlures qui peuvent être mortelles.

Dans certaines régions d'Iran et d'Inde ainsi que sur certaines plages du Brésil, des populations vivent sur un sol 10 fois plus radioactifs (30 à 50 mSv par an) sans aucune conséquences dues aux radiations. On y meurt parfois de misère, de manque d'hygiène, de soins et d'électricité mais pas de la radioactivité.

En médecine, des injections de 750.000 Bq d'iode 131 sont pratiquées pour faire des coronographies et aucun patient n'a jamais développé de cancer suite à ce traitement médical. En moyenne en France, un carré de 10 m de côté creusé sur 10 m de profondeur dans son jardin contient plus de 3 kg d'U naturel (uranium 238 avec 0,7% d'uranium 235). En moyenne, il y a 3 g d'uranium par tonne dans la croûte terrestre et jusqu'à 200 kg par tonne dans certains endroits du Canada (Athabasca où se situe des mines d'uranium).

²⁸ $1 \text{ Twh} = 3,6.10^{15} \text{ J}$ $E = 1260 \text{ Twh} = 4,536.10^{18} \text{ J}$ $C^2 = 9.10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$ $M = E / C^2 = 50,4 \text{ kg}$

²⁹ Le millisievert (msv) est une unité de dose radioactive reçue par des êtres vivants qui tient compte du type de rayonnement reçu et du type d'organe qui a reçu ce rayonnement. A titre de comparaison, la radioactivité naturelle en France est de 2,4 msv. La radioactivité naturelle est de 17 mSv/an (avec des pics à 150) dans l'état du Kerala, en Inde. Dans la ville de Ramsar en Iran, sur les bords de la Caspienne, la radioactivité naturelle atteint 260 mSv/an sans effet sur la santé. Les premiers effets constatés l'ont été au delà de 500 msv reçus dans un temps très court (quelques heures).

La sécurité, les risques et la perception du risque : Ne marcherait-on pas sur la tête ?

La perception du risque nucléaire par le public est évidemment dans la logique de présentation de cette industrie par des médias alimentés par la propagande bruyante des associations antinucléaires.

Par exemple la transcription médiatique de l'accident de Tchernobyl est telle que chaque centrale française, pourtant différente de celle de Tchernobyl, est considérée comme une menace. Le moindre incident, même très banal, est mis en relief comme s'il avait pu conduire à une catastrophe. Le nucléaire est craint, non pour ce qu'il est, mais pour ce qu'il pourrait être ! C'est le risque "perçu" qui imprègne le public. Le risque "réel" est mis de côté.

Les pouvoirs publics vont donc chercher à agir en fonction du risque "perçu", pour le réduire, quitte à prendre des mesures coûteuses que l'esprit scientifique ne justifie pas, mais qui sont vivement encouragées... par les antinucléaires. Leur objectif est d'étouffer la production d'électricité d'origine nucléaire sous les charges financières et les contraintes en tout genre. D'où la recherche de la centrale toujours plus "sûre" mais surtout beaucoup plus chère. D'où également la recherche de normes de protection toujours plus draconienne, à la limite de l'absurde : le 1 mSv/an nouvellement exigé correspond à des différences naturelles de radioactivité suivant le lieu d'habitation ; c'est l'ordre de grandeur de la différence entre le Parisien et le Breton.

C'est également la différence entre la radioactivité au niveau de la mer est celle à 4 000 m d'altitude.

"Désinformez, désinformez, il en restera toujours quelque chose" (Staline).

"Personne n'est exempt de dire des sottises, le malheur est de les dire sérieusement". (Montaigne)

Les médias sont prompts à inquiéter le public pour capter l'attention et avoir de l'audience. Ils diffusent donc complaisamment les réactions indignées et pseudo-scientifiques d'associations antinucléaires ignorantes ou haineuses envers la société moderne. Ces dernières concentrent leurs actions sur le nucléaire parce que, pour certains, c'est un "ennemi fédérateur" bien commode pour souder un parti politique. Pour d'autres, c'est un pilier de la production d'électricité bon marché nécessaire au monde industriel et une source de création de richesses qu'il faut détruire.

Et si on prenait un peu de recul pour comprendre les avantages du nucléaire ?

Hélas, cela prend du temps dans une société qui n'en a guère et qui "zappe" rapidement. Et c'est si peu vendeur... La peur, en revanche, est facile à répandre. C'est un réflexe naturel de protection ancestrale contre l'inconnu. Elle ne se combat que dans le temps en faisant connaître et comprendre la réalité, afin que chacun puisse exercer son libre arbitre. C'est un combat difficile qui a souvent été perdu au cours de l'Histoire du monde.

L'industrie nucléaire constitue incontestablement un atout pour la France. Elle représente un gisement de création d'emplois non délocalisables. C'est une valeur importante pour l'économie française. C'est le seul moyen qui permette de doter la France d'une politique énergétique efficace à long terme.

Nous devons soutenir cette filière d'avenir en évitant de nous fourvoyer dans l'impasse technique et financière du photovoltaïque et de l'éolien. L'excellence technologique de la France dans le nucléaire, notamment dans le domaine de la sûreté, ouvre des opportunités de développement industriel et commercial en France, mais aussi à travers le monde. La France doit s'engager résolument sur la voie du nucléaire dans l'intérêt supérieur de la Nation et donc dans l'intérêt général des Français.

ANNEXE 2

Extraits du rapport de synthèse de l'INMDR 2012

(Inventaire national des matières et déchets radioactifs = 200 pages)

Par Michel Gay

Le 28 mai 2014

P2

Depuis plusieurs dizaines d'années, la France a mis en place une politique de gestion responsable des déchets produits par les activités qui utilisent la radioactivité. C'est ainsi que, dès le début des années 1990, le Parlement a voté la création de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), établissement public indépendant des producteurs de déchets radioactifs, et l'a chargée de trouver et de concevoir des solutions de gestion sûres pour l'ensemble des déchets radioactifs français.

cet *Inventaire national* constitue aussi un outil précieux pour le pilotage de la politique française pour la gestion des matières et des déchets radioactifs, formalisée dans le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). L'*Inventaire national* permet de garantir une gestion maîtrisée des déchets français produits et à venir. Il répond ainsi parfaitement à l'objectif fixé aux États membres par la directive européenne sur les déchets radioactifs adoptée le 19 juillet 2011. Cette directive recommande en effet que chaque État membre établisse un programme national pour la gestion du combustible et des déchets, s'appuyant sur la réalisation d'inventaires.

P3

L'édition 2012 de l'*Inventaire national* présente les déchets déjà produits au 31 décembre 2010, ainsi que des prévisions sur les quantités de déchets attendues d'ici 2020 et 2030. La présente édition paraît alors que le projet de stockage géologique profond pour les déchets radioactifs, Cigéo, entre dans une phase cruciale. En effet, la loi de 2006 prévoit que l'Andra dépose la demande d'autorisation de création de cette installation en 2015 après un débat public prévu en 2013.

P8

Conformément à l'article L. 542-1 du chapitre II du titre IV du livre V du Code de l'environnement modifié par la loi du 28 juin 2006, **les producteurs de déchets radioactifs sont responsables de la bonne gestion de leurs déchets avant leur évacuation vers un exutoire définitif.**

P9

L'article L 542-1-1 du chapitre II du titre IV du livre V du Code de l'environnement créé par la loi 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs définit un certain nombre de notions:

Une **substance radioactive** est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

Une **matière radioactive** est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. Dans certains cas, le traitement des matières en vue de leur valorisation peut engendrer des déchets.

Les **déchets radioactifs** sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée. Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

P12

Concernant la période radioactive, on distingue :

- les déchets dits à vie très courte dont la radioactivité est divisée par deux en 100 jours ou moins ;
- les déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période inférieure ou égale à 31 ans ;

- les déchets dits à vie longue qui contiennent une quantité importante de radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans.

P13

Il existe ainsi cinq catégories de déchets.

1) Les déchets de haute activité (HA)

Plusieurs dizaines de milliards de becquerels (Bq) par gramme. Ils contiennent des produits de fission à vie courte comme, par exemple, le césium 134 et le césium 137 ou à vie longue comme le technétium 99, des produits d'activation et des actinides mineurs dont certains ont des périodes plurimillénaires comme le neptunium 237.

2) Les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)

entre un million et un milliard de becquerels par gramme, soit un facteur 10 à 100 inférieur aux déchets HA. Les déchets proviennent majoritairement des structures qui entourent le combustible utilisé (coques et embouts) ou des résidus liés au fonctionnement des installations nucléaires (déchets issus du traitement des effluents, des équipements...). Ils se caractérisent par une présence significative de radionucléides à vie longue comme le nickel 63.

P14

3) Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL)

Il s'agit principalement de deux types de déchets dits radifères et de graphite :

Radifères : entre quelques dizaines et quelques centaines de becquerels par gramme. Essentiellement des émetteurs alpha à vie longue, comme le radium, l'uranium ou le thorium.

Graphite proviennent de l'exploitation et du démantèlement des premières centrales nucléaires (réacteurs

UNGG : uranium naturel graphite gaz) et de certains réacteurs expérimentaux aujourd'hui arrêtés. Ce type de déchets présente une activité comprise entre dix mille et cent mille becquerels par gramme.

Le stockage de ces déchets est aujourd'hui à l'étude. En 2008, l'Andra a lancé la recherche d'un site susceptible d'accueillir un centre de stockage de faible profondeur pour les déchets FA-VL. En 2009, les deux communes retenues par l'État, sur la base d'un rapport d'analyse de l'Andra, ont décidé de retirer leur candidature sous la pression des opposants. En juin 2010, l'État a fixé de nouvelles orientations pour le projet.

P15

4) Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)

entre quelques centaines de becquerels et un million de becquerels par gramme. Période radioactive inférieure à 31 ans comme le cobalt 60 ou le césium 137.

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte sont stockés en surface et sont surveillés pendant le temps nécessaire à la décroissance de leur radioactivité jusqu'à des niveaux d'impact négligeables. Sur les sites de stockage de l'Andra, on considère en général que ce niveau est atteint en 300 ans. Ces centres seront donc surveillés pendant au moins 300 ans. Il existe en France deux sites de ce type : le Centre de stockage de la Manche (50) et le Centre de stockage pour les déchets FMA de l'Aube (10). Le Centre de stockage de la Manche n'accueille plus de déchets depuis 1994 et est en phase de surveillance, tandis que le Centre de stockage de l'Aube est en activité depuis 1992, sur la commune de Soullaines-Dhuys.

5) Les déchets de très faible activité (TFA)

En général inférieur à 100 becquerels par gramme. Ils se présentent généralement sous forme de déchets inertes (béton, gravats, terres) ou métalliques.

Ces déchets sont stockés au Centre de stockage de déchets de très faible activité situé essentiellement sur la commune de Morvilliers (10) et mis en service en août 2003.

P16

Les déchets à vie très courte : Certains déchets, principalement hospitaliers, contiennent des radionucléides à vie très courte (dont la période radioactive est inférieure à 100 jours) utilisés à des fins diagnostique ou thérapeutique. En raison de leur durée de vie très courte, ces déchets sont entreposés sur place, de quelques jours à quelques mois, temps suffisant pour que leur radioactivité disparaisse. Ils sont ensuite évacués dans des filières de déchets classiques.

Classification des déchets radioactifs

PÉRIODE			
	Vie très courte (Période < 100 jours)	Vie courte (Période ≤ 31 ans)	Vie longue (Période > 31 ans)
ACTIVITÉ	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis évacuation dans les filières conventionnelles	Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de très faible activité de l'Aube)
	Faible activité (FA)		Stockage de surface (Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'Aube)
	Moyenne activité (MA)		Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
	Haute activité (HA)	Stockage réversible profond (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

P25

Le volume des déchets radioactifs à fin 2010.

Les volumes de déchets recensés correspondent aux volumes de déchets conditionnés de manière à pouvoir être entreposés et transportés vers un centre de stockage, constituant ce qu'on appelle des colis primaires.

Pour le stockage profond, un conditionnement complémentaire appelé colis de stockage sera nécessaire afin d'assurer des fonctions de manutention, de sûreté ou de réversibilité. À ce stade des études, le volume des colis de stockage rapporté au volume des colis primaires représente de l'ordre d'un facteur deux ou trois pour les déchets HA et de l'ordre d'un facteur quatre pour les déchets MA-VL. **Seul le volume primaire est indiqué dans le présent document.**

P26

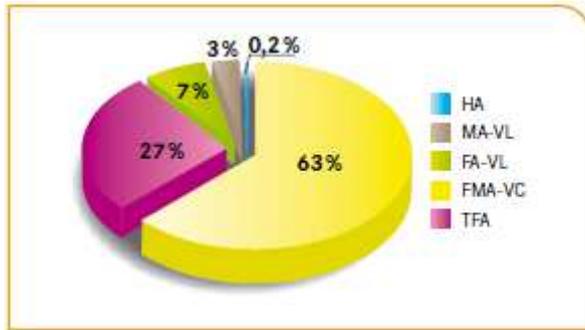
le combustible est irradié pendant trois à quatre ans environ dans le réacteur. À l'issue de cette étape, 96 % du combustible a encore un potentiel énergétique important (uranium et plutonium). Ainsi, 4 % du combustible ne peut plus être valorisé et constitue donc un déchet.

Cycle du combustible futur : Un autre cycle du combustible, sur lequel des recherches sont actuellement menées, permettrait à l'avenir d'utiliser les quantités d'uranium appauvri, d'uranium de traitement et de combustible utilisé actuellement entreposés dans l'attente d'une valorisation. Ce cycle comprendrait en particulier des réacteurs dits de 4^{ème} génération. Ce cycle produirait également des déchets radioactifs.

Le volume de déchets radioactifs recensés depuis le début de leur production jusqu'au 31 décembre 2010 est de **1 320 000 m³ environ** (volume équivalent conditionné). Environ 60.000 m³/an. **72 % de ces déchets (950.000 T) sont déjà définitivement stockés** dans les centres de l'Andra.

Catégorie	Volume* (m ³ équivalent conditionné) à fin 2010	Écart 2010/2007 (m ³ équivalent conditionné)
HA	2 700	400
MA-VL	40 000	-2 000
FA-VL	87 000	4 500
FMA-VC	830 000	37 000
TFA	360 000	130 000
DSF**	3 600	2 100
Total général	~ 1 320 000	~ 170 000

Répartition en volume par catégorie de déchets



P29

Concernant les combustibles usés qui ne seront pas traités mais conditionnés pour un stockage direct dans Cigéo, seuls les combustibles usés du réacteur prototype à eau lourde de Brennilis (29) sont considérés comme des déchets. D'autres combustibles usés (combustibles des réacteurs de recherche du CEA, certains combustibles de réacteurs UNGG n'ayant pas fait l'objet de traitement...) étaient considérés comme des déchets dans l'édition 2009. De nouvelles hypothèses sur la gestion de ces combustibles irradiés ont conduit le CEA à les considérer comme des matières valorisables dans la présente édition.

P31

Déchets HA

Les déchets de haute activité correspondent essentiellement aux déchets vitrifiés issus du traitement des combustibles usés. Il s'agit de produits de fission et d'actinides mineurs formés par réaction nucléaire au sein du combustible et séparés de l'uranium et du plutonium, matières radioactives valorisables, lors du traitement. Ils sont calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le verre ainsi élaboré est coulé à haute température dans un conteneur en acier inoxydable. Dans cette catégorie figurent également les **combustibles usés** du réacteur à eau lourde de Brennilis dans le Finistère (27 m³) ne faisant pas l'objet de traitement.

Déchets MA-VL

Les déchets MA-VL correspondent essentiellement aux éléments de structure des combustibles usés traités, aux résidus de traitement des effluents produits lors des étapes du traitement du combustible ou des opérations de maintenance ou de démantèlement d'installations, aux composants (hors combustibles) ayant séjourné en réacteurs (déchets activés), aux déchets induits par les opérations de maintenance courante et/ou issus du démantèlement d'ateliers, de laboratoires... (déchets technologiques).

Pour le conditionnement de ces déchets, **cinq procédés** ont été/sont/seront principalement mis en oeuvre :

- **la vitrification** : procédé mis en place notamment pour le conditionnement des effluents produits lors du rinçage des installations avant leur démantèlement ;
- **le bitumage** : procédé très employé par le passé pour le conditionnement des effluents traités sur les différents sites. Il est remplacé petit à petit par la cimentation ou par la vitrification ;
- **la cimentation** : procédé le plus couramment utilisé pour le conditionnement des résidus issus du traitement des effluents ;
- **l'enrobage de déchets solides** dans une matrice cimentaire : ce procédé a pour objectif de bloquer dans le conteneur des déchets solides comme des déchets technologiques, des déchets activés et des déchets de structure ;
- **le compactage** : procédé surtout utilisé pour le conditionnement des déchets de structure issus des combustibles usés traités sur le site AREVA NC de La Hague (50) et également certains déchets technologiques, des déchets activés et des déchets de structure du CEA.

P35

Dans le cas des **déchets HA et MA-VL**, l'activité est mesurée lors de la production des colis de déchets. En ce qui concerne les déchets historiques en attente de conditionnement, des analyses de prélèvements permettent d'estimer les activités de ces anciens déchets. Elles seront affinées lors de leur reprise. L'activité des déchets déclarée par les producteurs est, pour des raisons de simplicité, celle à la date de production et ne prend pas en compte la décroissance naturelle des radionucléides. Elle est donc nécessairement majorante par rapport à la réalité. Du fait de la décroissance radioactive,

l'activité présente aujourd'hui dans les déchets est inférieure à celle déclarée à leur date de production.

P36

• **les déchets HA rassemblent 96 %** de l'activité totale des déchets radioactifs produits jusqu'au 31 décembre 2010. Il s'agit des déchets extraits des combustibles usés (produits de fission et actinides mineurs produits en réacteurs). Les principaux radionucléides contribuant à plus de 98 % de cette activité sont :

- pour les radionucléides alpha : curium 244, américium 241,
- pour les radionucléides bêta-gamma à vie courte : césium 137, strontium 90, prométhium 147, césium 134, europium 154,
- les radionucléides bêta-gamma à vie longue contribuent pour moins de 1 % à cette activité ;

les déchets MA-VL représentent 4 % de la radioactivité totale. Les déchets activés des réacteurs et les déchets de structure des combustibles nucléaires (colis CSD-C de coques et embouts compactés) contribuent à plus de 90 % de l'activité totale des déchets MA-VL.

P39

Les déchets radioactifs : prévisions pour la période 2011-2030

Les hypothèses retenues en ce qui concerne la constitution, l'exploitation et l'assainissement et le démantèlement du parc électronucléaire et des usines du cycle du combustible, sont les suivantes :

les réacteurs électrogènes autorisés sont au nombre de 59 (les 58 réacteurs existants et le réacteur EPR en cours de construction sur le site de Flamanville (50) dont la mise en service est prévue en 2016) ;

- **la durée d'exploitation des réacteurs** est identique pour tous les réacteurs et égale à 50 ans ;
- **la production d'électricité d'origine nucléaire** est voisine de 430 TWh/an auxquels s'ajoutent 13 TWh/an à compter de 2016, date de mise en exploitation du réacteur EPR (*voir graphique ci-dessous*) ; ce niveau de production perdure jusqu'à la mise à l'arrêt définitif du premier des réacteurs de 900 mégawatts, puis il décroît au rythme d'arrêt des réacteurs suivants ;
- le déploiement de **combustibles à haut taux de combustion** n'est pas retenu ;
- **le plutonium** extrait lors du traitement des combustibles usés est recyclé sous forme d'assemblages MOX à hauteur de 120 tML₄/an ; ce tonnage est réparti dans les 22 réacteurs de 900 mégawatts autorisés à charger ce type de combustible ;
- **l'uranium extrait lors du traitement des combustibles usés** est recyclé, sous forme d'assemblages URE à hauteur de 74 tML/an ; ce tonnage est réparti dans les quatre réacteurs de Cruas (07) autorisés à charger ce type de combustible ;
- **l'usine COMURHEX de Malvési (11)** poursuit son activité suivant le procédé actuel et avec la capacité actuelle.

Les hypothèses d'exploitation exposées ci-dessus conduisent à décharger en moyenne 1 200 tML de combustibles REP par an (dont 120 tML de combustibles de type MOX).

Le démantèlement des réacteurs REP actuellement en exploitation ne débutera pas avant 2030. De même, le démantèlement des usines de traitement de combustibles de La Hague (50) UP2-800 et UP3, est envisagé par AREVA après 2030.

À fin 2030, les démantèlements d'une partie des installations actuelles des différents sites de recherche du CEA civil et du CEA/DAM (Direction des applications militaires) seront en cours.

P44

Le HCTISN (Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire) a publié en juillet 2010 un rapport qui donne un bon aperçu des enjeux liés au cycle du combustible pour ce qui concerne la valorisation des matières radioactives.

La vision synthétique résultant de cette analyse permet de constater que :

- il faut, chaque année, de l'ordre de 8 000 tonnes d'uranium naturel pour fabriquer la quantité de combustible nécessaire au fonctionnement des centrales françaises qui consomment environ 1 200 tonnes de combustible nucléaire ;
- le combustible nucléaire est pour l'essentiel fabriqué à partir d'uranium naturel enrichi ; cependant, en France, le recyclage des matières issues du traitement des combustibles usés (uranium et surtout plutonium) permet une économie d'uranium naturel estimée à 17 % à partir de 2010 ;
- il est produit chaque année, pour les besoins des réacteurs français, de l'ordre de 7 300 tonnes d'uranium appauvri :
 - une faible partie (de l'ordre de 100 tonnes par an) est réutilisée pour produire du combustible à base de plutonium,

- une autre partie peut être utilisée pour produire de l'uranium enrichi, par réenrichissement dans les usines actuelles ou à venir,
- l'essentiel est actuellement entreposé en vue de sa réutilisation envisagée dans les réacteurs de quatrième génération ;
- le stock français d'uranium appauvri peut être évalué à 450 000 tonnes en 2040 ; si les réacteurs de 4^{ème} génération étaient effectivement mis en service à cette date, ce stock représenterait alors, sur la base des estimations du CEA citées dans le PNGMDR, une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie par le nucléaire ;
- une fois utilisés, les combustibles fabriqués à partir des matières recyclées (ce qui représente de l'ordre de 140 tonnes par an, et devrait passer à 200 tonnes par an à partir de 2010) sont actuellement entreposés, car il n'est procédé qu'à un seul recyclage de ces matières ; ils constituent un gisement de matières premières, et notamment de plutonium, destinées à être utilisées pour le démarrage des réacteurs de quatrième génération.

Cette analyse amène le Haut comité à constater qu'une partie des matières issues du cycle du combustible ne fait pas aujourd'hui effectivement l'objet d'une valorisation. Elles sont entreposées dans cette éventualité. Il s'agit cependant d'une perspective crédible grâce aux réacteurs de 4^{ème} génération qui pourraient entrer en service à partir de 2040 (si les conditions techniques, économiques et politiques restent réunies). Par ailleurs, compte tenu des perspectives de recyclage présentées ci-dessus, et aux termes de la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, l'uranium de recyclage et l'uranium appauvri sont aujourd'hui classés comme des matières radioactives valorisables. Il faut cependant rappeler que le classement en tant que matière ou déchet n'est pas définitif.

Cette évaluation est réalisée sur le fondement de l'évolution des technologies et des perspectives de valorisation : de nouvelles technologies peuvent ouvrir la voie à de nouvelles possibilités de valorisation, ou au contraire une évolution du contexte industriel, politique et/ou technico-économique peut remettre en cause une réutilisation jusqu'alors envisagée.

P46

Uranium naturel : Au 31 décembre 2010, environ 16 000 tonnes d'uranium naturel étaient entreposées sur les sites AREVA de Malvézi (11) et de Pierrelatte (26) et, pour une faible part, au CEA.

L'uranium enrichi utilisé pour la production d'électricité comprend de l'uranium 235 à une teneur d'environ 4 %. Au 31 décembre 2010, un peu moins de 3 000 tonnes d'uranium enrichi étaient entreposées sur les sites AREVA de Pierrelatte (26), de Romans (26), de Marcoule (30), et de La Hague (50), et, sur les sites du CEA, ainsi que sur les sites EDF sous forme d'assemblages UOX neufs. (3 ans de stock).

L'uranium appauvri (Uapp) : L'uranium appauvri en uranium 235 (isotope présent avec une teneur de l'ordre de 0,3 %) est transformé en une matière solide, stable, incombustible, insoluble et non corrosive : l'oxyde d'uranium (U_3O_8), qui se présente sous la forme d'une poudre noire. Au 31 décembre 2010, environ 272 000 tonnes d'uranium appauvri (Uapp) étaient entreposées en France dont un peu plus de 165 000 tonnes sur le site AREVA du Tricastin (26), environ 100 000 tonnes sur le site AREVA de Bessines-sur-Gartempe (87) et 176 tonnes sur les sites CEA.

Par ailleurs, le stock d'uranium appauvri peut être évalué à 450 000 tonnes à fin 2040. Ce stock représente une ressource abondante pour l'avenir de la production d'énergie électronucléaire. D'ici quelques années, l'évolution des techniques d'enrichissement, avec la centrifugation, devrait permettre, aux conditions économiques adéquates, de réenrichir l'uranium appauvri.

Ces stocks d'uranium appauvri pourront être valorisés dans les réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération dont le déploiement est attendu après 2040. Il est aujourd'hui estimé qu'un parc de réacteurs de 4^{ème} génération d'une puissance équivalente au parc actuel (c'est-à-dire 60 GWe) consommerait de l'ordre de 100 tonnes d'uranium appauvri par an, une fois les réacteurs mis en service. Ainsi, le stock d'uranium appauvri disponible au moment du lancement de cette filière constituerait une ressource permettant le fonctionnement de ces réacteurs pendant plusieurs centaines d'années. (4500 ans!!!!)

L'uranium issu de combustibles usés après traitement (URT) : L'enrichissement résiduel en uranium 235 est de l'ordre de 0,7 % à 0,8 % pour des combustibles REP avec des taux de combustion de 45 à 55 GWj/t. Au 31 décembre 2010, 24 000 tonnes d'URT étaient entreposées sur les sites du Tricastin (26), de La Hague (50), de Romans (26) et de Cruas (07).

(24.000 T URT + 16.000 Unat = 40.000 T soit 5 ans de réserve à 8000 T/an + 3 ans de combustible prêt = 8 ans de réserve !!!) + près de 3 années de Pu pour le MOX à la Hague (P50).

Le thorium : Environ 9 400 tonnes sont entreposées en France. Au 31 décembre 2010, environ 7 100 tonnes de thorium étaient entreposées sous forme de nitrate et d'hydroxydes sur le site de l'usine de La Rochelle (17). À cela s'ajoutent un peu moins de 2 300 tonnes de thorium entreposées sur le site CEA de Cadarache (13). Enfin, quelques tonnes de thorium appartenant à AREVA sont entreposées sur les sites de Bessines (87) et du Tricastin (26).

Le thorium pourrait être valorisable dans des applications nucléaires. Dans une situation de raréfaction de la ressource en uranium, le cycle du thorium pourrait être utilisé dans les réacteurs de 4^{ème} génération.

Les combustibles en cours d'utilisation dans les réacteurs électronucléaires et dans les réacteurs de recherche

Étaient en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires françaises au 31 décembre 2010 :

- environ 4 500 tML de combustibles UOX dans les 19 centrales électronucléaires REP françaises ;
- 156 tML de combustibles URE dans les quatre réacteurs de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ;
- environ 300 tML de combustibles MOX dans les centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre (45), de Gravelines (59), de Saint-Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26).

Les combustibles usés en attente de traitement

Étaient entreposés en attente de traitement à fin 2010 :

- combustibles UOX usés : 3 626 tML sur les sites des 19 centrales électronucléaires REP françaises ; environ 8 380 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles URE usés : 68 tML sur le site de la centrale électronucléaire de Cruas (07) ; environ 250 tML sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles MOX usés : 387 tML sur les sites des centrales électronucléaires du Blayais (33), de Chinon B (37), de Dampierre(45), de Gravelines (59), de Saint- Laurent-des-Eaux B (41) et du Tricastin (26) ; 900 tML sur le site de la Hague (50) ;
- combustibles RNR usés : 104 tML sur le site de Creys-Malville (38) ;
- combustibles usés des réacteurs civils de recherche (autres que combustibles métalliques) : 53 tML de combustibles dont 43 tML de combustibles RNR usés du réacteur Phénix sur les sites du CEA ; 2 tML de combustibles sur le site de La Hague (50) ;
- combustibles usés métalliques issus des réacteurs expérimentaux du CEA et de réacteurs UNGG : 15 tML sur les sites du CEA ;
- combustibles usés de la propulsion navale : environ 146 tonnes.

P49+50

Le plutonium issu des combustibles usés après traitement

Un combustible usé à l'uranium de type eau légère contient aujourd'hui environ 1 % de plutonium (en masse). Le plutonium est aujourd'hui utilisé pour fabriquer le combustible MOX, qui comporte de l'uranium appauvri et du plutonium sous la forme de pastilles de poudre d'oxydes (U,Pu)O₂. En France, 22 réacteurs sont aujourd'hui autorisés à utiliser du combustible MOX. La contribution de ce type de combustible à la production électronucléaire représente un peu moins de 10 %.

En général, le plutonium est expédié aux clients étrangers sous forme de combustible MOX, pour être utilisé dans des réacteurs étrangers.

Au 31 décembre 2010, environ 80 tonnes de plutonium étaient entreposées en France, dont :

- 60 tonnes de plutonium entreposées à l'usine AREVA NC de La Hague (50) ;
- 8 tonnes de plutonium en cours d'utilisation dans le processus de fabrication de combustibles MOX (sous forme de PuO₂, d'oxyde mixte (U,Pu)O₂ ou encore en assemblages MOX finis) ;
- 10 tonnes de plutonium en assemblage MOX ou RNR non irradiés présents ailleurs que dans les usines de fabrication, c'est-à-dire principalement sur les sites des réacteurs EDF ;
- environ 2 tonnes de plutonium entreposées dans diverses installations du CEA.

Sur ces 80 tonnes de plutonium, 56 tonnes sont de propriété française. Parmi ces 56 tonnes, le stock de plutonium séparé d'EDF à La Hague (50) s'élève à environ 27 tonnes, soit près de trois années de fabrication de combustibles MOX.

Les prévisions pour 2020 et 2030 sont indicatives car elles dépendent du choix de gestion que chaque industriel fera en fonction des conditions économiques du moment. Pour les matières associées au cycle du combustible nucléaire, les scénarios de production pour 2020 et 2030 sont les mêmes que ceux qui ont été utilisés pour les déchets.

MATIÈRE	2010	2020	2030
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	299	490	380
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) usés, en attente de traitement (tML)	1 287	2 400	3 800
Combustibles usés du réacteur à neutrons rapides SuperPhénix, en attente de traitement (tML)	104	104	104
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	4 477	4 340	3 650
Combustibles UOX usés, en attente de traitement (tML)	12 006	11 450	12 400
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires (tML)	156	290	290
Combustibles URE usés, en attente de traitement (tML)	318	1 050	1 750
Combustibles usés des réacteurs civils de recherche (dont Phénix), en attente de traitement (tML)	53	14	9
Combustibles métalliques usés, en attente de traitement (tML)	15	15	15
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares) (tonnes)	23 454	0	0
Combustibles de la Défense nationale (tonnes)	146	218	284
Plutonium issus des combustibles usés après traitement (tML)	80	55	53
Thorium (tonnes)	9 407	9 334	9 224
Uranium appauvri Uapp (tML)	271 481	345 275	454 275
Uranium enrichi (tML)	2 954	2 344	2 764
Uranium issu de combustibles usés après traitement URT (tML)	24 100	40 020	40 020
Uranium naturel extrait de la mine (tML)	15 913	25 013	28 013

P52

Le flux de traitement retenu (1 000 tML d'UOX par an) permet d'équilibrer le flux de recyclage du plutonium tant que les 22 tranches moxées du parc actuel sont en fonctionnement. Ainsi, le plutonium isolé lors du traitement est complètement réutilisé dans les assemblages MOX chargés dans le parc actuel. Compte tenu de l'échéancier prévisionnel de mise à l'arrêt définitif (au terme de 50 ans d'exploitation) de ces 22 réacteurs moxés et des quantités de plutonium constituant le stock-outil et les en-cours de fabrication, les simulations correspondantes montrent que la séparation de plutonium juste suffisante pour alimenter ces réacteurs jusqu'en fin de vie serait atteinte vers 2028-2029, c'est-à-dire après traitement de 34 000 tML d'UOX.

Au-delà de cette échéance, le plutonium issu du traitement constitue une réserve stratégique destinée à alimenter de nouveaux réacteurs à créer. Il reste alors à traiter environ 30 000 tML de combustibles REP et les 180 tML de combustibles RNR issus du réacteur SuperPhénix. La matière sera séparée progressivement (comme actuellement) à mesure du besoin réel d'alimentation des nouveaux réacteurs, lequel dépendra directement du rythme de leur déploiement.

Dans l'hypothèse d'un échelonnement de ces opérations sur une quarantaine d'années (2030-2070) le flux moyen annuel de plutonium serait voisin de 13 tonnes.

Extrait de l'évaluation par la CNE des études sur les scénarios

(CNE : rapport d'évaluation N° 5 publié en novembre 2011 : Évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs)

Dans une étude réalisée par le CEA, EDF et Areva, trois versions de parcs électrogènes de 430 TWhe/an ont été approfondies :

- 1) Un parc constitué de REP qui produirait annuellement 10 tonnes de plutonium, 1 tonne d'actinides mineurs et 7 000 tonnes d'uranium appauvri issu de l'enrichissement de l'uranium 238. Le fonctionnement d'un tel parc conduirait en 2150 à l'accumulation d'environ 1 900 tonnes de plutonium.
- 2) Un parc constitué de REP utilisant du MOX (mono recyclage du plutonium) ce qui diminue le flux de plutonium. Ceci conduirait en 2150 à l'accumulation d'environ 1 300 tonnes de plutonium.

3) Un parc constitué de RNR qui, annuellement, produirait 2 tonnes d'actinides mineurs et nécessiterait 50 tonnes d'uranium appauvri. Ce parc utiliserait le multi recyclage du plutonium et permettrait d'utiliser l'uranium appauvri, en petites quantités eu égard au stock existant de plus de 220 000 tonnes. Il permettrait de s'affranchir de l'opération d'enrichissement en uranium 235. Il conduirait en 2150 à la stabilisation de l'inventaire en plutonium à hauteur de 900 tonnes.

Les deux premiers scénarios mettent en œuvre des réacteurs dont la technologie est mature. Cependant, ils impliquent la poursuite de l'industrie minière et des opérations d'enrichissement en uranium 235. Si l'on poursuit cette stratégie, le plutonium du combustible usé est un déchet qui continue de s'accumuler. *In fine*, les verres destinés au stockage contiendraient du plutonium. *(Le plutonium accumulé pourrait être conservé dans les combustibles MOX usés, ceux-ci devenant alors des déchets destinés au stockage géologique)*

Le troisième scénario (RNR) fait appel à une technologie plus innovante mais qui s'appuie sur le retour d'expériences des RNR. Elle ne nécessite plus d'enrichissement en uranium 235, le stock de 900 tonnes de plutonium produit constitue une ressource continûment recyclable jusqu'à l'arrêt de cette filière, même si elle dure plusieurs siècles. Ce stock sera alors à gérer comme un déchet.

Un scénario qui n'a pas encore été présenté est celui de l'arrêt précoce du nucléaire qui poserait la question de la gestion de toutes les matières nucléaires devenues de facto des déchets. *(dans le cas de ce scénario de non-renouvellement du parc les déchets supplémentaires ont été évalués à environ 28 000 tML de combustibles usés.)*

P55

Scénario de non-renouvellement de la production électronucléaire : estimation des déchets en m³ équivalent conditionné

Les combustibles usés ne sont pas aujourd'hui considérés comme déchets, et ne sont donc pas conditionnés pour une prise en charge en stockage. Le volume moyen d'un assemblage combustible étant d'environ 0,2 m³, ces assemblages représentent un volume brut de l'ordre de 12 000 m³. L'Andra a vérifié la faisabilité du stockage profond 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 (environ huit fois plus que le volume non conditionné).

Dans ce scénario, tout le plutonium récupéré lors des opérations de traitement des UOX est recyclé sous forme de combustibles MOX (2 800 tML). Pour ce qui concerne l'uranium issu du traitement, la quantité résiduelle en fin de vie sera comprise entre 0 et 10 000 tonnes d'URT, la valeur maximale correspondant à l'hypothèse d'une stabilité du niveau de recyclage actuel (dans les quatre réacteurs de Cruas (07) jusqu'à leur fin de vie). La résorption totale de ce stock de matière est techniquement possible : elle suppose la fabrication d'environ 1 250 tML de combustibles URE, quantité qui pourrait, sous réserve des autorisations administratives correspondantes, être consommée dans tout ou partie des réacteurs existants, de façon comparable au recyclage actuellement pratiqué à Cruas (07). En conclusion pour le scénario de non-renouvellement des réacteurs électronucléaires après 40 ans de fonctionnement, il est possible de ne laisser ni plutonium, ni URT sans emploi, sous réserve d'un arrêt anticipé des opérations de traitement (l'horizon 2018-2019 garantit la réutilisation complète du plutonium extrait) associé à un recyclage accru de l'uranium issu du traitement. En contrepartie, ce scénario produit des déchets nouveaux (28 000 tML de combustibles usés destinés au stockage Cigéo *Centre industriel de stockage géologique*).

La synthèse des déchets produits dans le cadre de ce scénario est présentée dans le tableau ci-dessous.

Catégorie		Non-renouvellement de la production électronucléaire
HA	CU UOX	~ 50 000 assemblages*
	CU RNR	~ 1 000 assemblages*
	CU MOX	~ 6 000 assemblages*
	Déchets vitrifiés	3 500
MA-VL		59 000
FA-VL		165 000
FMA-VC		1 500 000
TFA		1 900 000

P60-63

Les déchets

L'exploitation minière d'uranium en France s'est terminée en 2001. Les résidus de traitement des minerais ainsi que quelques déchets TFA issus du traitement des minerais sont stockés de façon définitive sur d'anciens sites miniers.

Les établissements de conversion et d'enrichissement du combustible produisent des déchets d'exploitation radioactifs faiblement ou très faiblement contaminés en uranium et sont stockés au Centre de stockage FMA et au Centre TFA de l'Aube. Ils sont généralement conditionnés sous forme de fûts ou de caissons.

L'usine MELOX a démarré en 1994. Sa capacité actuelle est de 190 tML de combustible MOX par an (masse de métal lourd), destinées aux réacteurs français et étrangers de la filière « eau légère ».

Un réacteur REP produit en moyenne environ 150 m³ par an de déchets radioactifs (hors combustible), majoritairement FMA-VC et TFA, se répartissant entre deux tiers de déchets FMA-VC et un tiers de déchets TFA.

- Le traitement du combustible utilisé produit annuellement, pour un réacteur, environ 2,5 m³ de déchets HA et 3 m³ de déchets MA-VL.
- Le démantèlement : on prévoit que la déconstruction d'un réacteur REP produise en moyenne 18 000 m³ de déchets radioactifs et que la démolition des bâtiments génère environ 10 fois plus de gravats de béton non radioactifs.

P65

Un réacteur de 900 mégawatts utilise en permanence 157 assemblages combustibles, chacun d'entre eux contenant environ 500 kg d'uranium. Les combustibles sont majoritairement à l'oxyde d'uranium (UOX).

Cependant, 22 réacteurs sont autorisés à charger des combustibles mixtes uranium plutonium (MOX) et quatre réacteurs sont d'ores et déjà équipés pour utiliser du combustible de type URE fabriqué à partir d'uranium de traitement réenrichi.

Les déchets MA-VL produits par les réacteurs en phase d'exploitation sont principalement des grappes poisons (grappes fixes dont le rôle est de réduire la réactivité du cœur pendant le premier cycle d'exploitation) et des grappes de commande (grappes mobiles dont les crayons absorbants coulissent dans l'assemblage combustible en vue de réguler la puissance du réacteur). Des critères stricts vis-à-vis de leur usure conduisent à leur remplacement plusieurs fois au cours de la vie d'une tranche. Les déchets produits en phase de démantèlement sont, pour l'essentiel, des structures métalliques qui présentent, comme les grappes, une contamination surfacique associée à une activité importante localisée dans la masse.

L'hypothèse de conditionnement retenue par EDF est une cimentation de ces déchets métalliques après découpe sur site ou cisailage dans une installation centralisée (ICEDA) assurant le conditionnement en conteneur béton et l'entreposage intérimaire des colis. Cette nouvelle installation devrait être mise en exploitation à l'horizon 2014 sur le site du Bugey (01).

Pour le stockage des déchets issus des GV, le présent exercice retient une répartition entre les Centres FMA et TFA de l'Aube, sachant que la valorisation de tout ou partie de ces composants est également à l'étude.

P69

Un colis de déchets HA (180 litres) contient environ 400 kg de verre et 70 kg de déchets (PF + actinides) incluant seulement 11 kg radioactifs.

P71

Les inventaires des matières et déchets à fin 2010, 2020 et 2030

(Secteur électronucléaire uniquement)

Stock de déchets en m³ équivalent conditionné

Stock de déchets en m³ équivalent conditionné*

Catégorie	Volume à fin 2010	Volume prévisionnel 2020	Volume prévisionnel 2030
HA	2 300	3 600	4 900
MA-VL	27 000	31 000	34 000
FA-VL	39 000	40 000	73 000
FMA-VC (y compris T-FMA-VC)	557 500	677 000	828 000
TFA	159 000	437 000	857 000
Total	~785 000	~1 190 000	~1 800 000

P73

Stock de matières

Matières	Masse (tML)		
	2010	2020	2030
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	299	490	380
Combustibles mixtes uranium-plutonium (MOX) usés, en attente de traitement	1 287	2 400	3 800
Combustibles RNR usés, en attente de traitement SuperPhénix	104	104	104
Combustibles UOX en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	4 477	4 340	3 650
Combustibles UOX usés, en attente de traitement	12 006	11 450	12 400
Combustibles URE en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	156	290	290
Combustibles URE usés, en attente de traitement	318	1 050	1 750
Plutonium	78	53	51
Thorium	7	0	0
Uranium appauvri	271 305	345 100	454 100
Uranium enrichi	2 941	2 330	2 750
Uranium issu de combustibles usés après traitement	24 100	40 020	40 020
Uranium naturel extrait de la mine	15 900	25 000	25 000

P107

Déchets immergés

La solution de l'immersion simple de ces déchets, c'est-à-dire le dépôt sur les fonds marins, sans enfouissement, après conditionnement pour les plus actifs d'entre eux, était en effet considérée comme sûre par la communauté scientifique car la dilution et la durée présumée d'isolement apportées par le milieu marin étaient suffisantes. C'est ainsi que cette pratique a été mise en oeuvre par de nombreux pays pendant plus de quatre décennies, à partir de 1946.

la Convention de Londres de 1972, reconnue comme le principal dispositif international de contrôle de l'immersion de déchets dans la mer, a interdit, dès son entrée en vigueur en 1975, l'immersion de déchets fortement radioactifs et a exigé une autorisation spéciale pour immerger les déchets faiblement radioactifs.

La Convention de Londres a en outre confirmé le rôle de l'AIEA en matière de définition de règles spécifiques pour l'immersion de déchets radioactifs en mer. Malgré la mise en place de ces dispositions réglementaires, un certain nombre de parties à la Convention se sont montrées préoccupées par les risques éventuels pour la santé humaine et l'environnement qu'implique

l'évacuation en mer des déchets radioactifs. Un moratoire volontaire sur l'immersion de ces déchets a été adopté en 1983 dans l'attente d'un examen global de la question.

À l'issue de cet examen, auquel a largement contribué l'AIEA, les parties signataires de la Convention ont décidé en 1993 d'interdire l'immersion de tout type de déchets radioactifs dans la mer, en précisant toutefois que **cette décision ne se fondait pas sur des considérations scientifiques et techniques, mais plutôt sur des critères moraux, sociaux et politiques.**

P108

Déchets solides, non conditionnés ou, pour la plupart, emballés, généralement dans des fûts métalliques, après incorporation dans une matrice de béton ou de bitume, conformément aux recommandations de l'AIEA.

Il s'y ajoute des cuves de réacteurs nucléaires, contenant éventuellement du combustible, provenant des États-Unis ou de l'ex-URSS.

P109

La première opération d'immersion a été réalisée par les États-Unis en 1946 dans le Pacifique Nord-Est, à quelques 80 kilomètres au large de la côte de Californie, la dernière, hors ex-URSS, a eu lieu sous l'égide de l'AEN en 1982 dans l'Atlantique, à environ 550 kilomètres au large du plateau continental européen.

Entre ces deux dates, 14 pays ont procédé à des immersions dans plus de 80 sites du Pacifique et de l'Atlantique (et de ses mers adjacentes). L'activité totale des déchets immergés était d'environ 85 000 térabecquerels à la date de leur immersion.

P116

En 1977, un seul site était encore utilisé par les pays de l'AEN pour faire des immersions. La décision du Conseil de l'OCDE obligeait aussi l'AEN à évaluer, au moins tous les 5 ans, si ce site était toujours approprié. Un programme de recherche baptisé CRESP (acronyme anglais signifiant « programme coordonné de recherches et de surveillance du milieu lié à l'immersion des déchets radioactifs ») *AEN 1996 : Co-ordinated Research and Environmental Surveillance Programme Related to Sea Disposal of Radioactive Waste*. a alors été mis en place en 1980 afin d'apporter des bases scientifiques fiables et complètes pour les évaluations du site.

Les résultats des analyses d'échantillons collectés n'ont montré aucune augmentation importante des concentrations des radionucléides représentatifs des déchets immergés. La radioactivité observée dans la zone des déchets immergés se confond aux fluctuations de la radioactivité naturelle de ces fonds marins.

Compte tenu des faibles niveaux d'exposition et d'irradiation qui ont pu être mis en évidence, la nécessité d'une surveillance continue du site de l'AEN après l'interdiction totale en 1993 d'immersion de déchets radioactifs n'a pas été retenue et le programme CRESP s'est donc terminé en 1995.

P118

Les radionucléides mesurés entre Mururoa et Fangataufa sont présents à des niveaux très bas et le plus souvent proches de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité. Pour ce qui concerne plus particulièrement la zone d'immersion d'Hao, des mesures radiologiques par prélèvements étagés d'eau en profondeur au droit du site d'immersion ont été effectuées en 2007. Il n'a pas été constaté d'élévation de radioactivité par rapport à la radioactivité océanique de référence.

P127

Sources scellées à usage médical

En médecine, les sources radioactives sont principalement employées dans deux grands domaines :

- le traitement du sang : les sources radioactives scellées sont utilisées pour l'irradiation du sang avant une transfusion. Ce traitement permet d'inhiber la prolifération de lymphocytes et de réduire ainsi les problèmes avec le système immunitaire du patient ;
- la radiothérapie : il existe quatre techniques de radiothérapie : la **radiothérapie externe**, la **radiothérapie métabolique**, la **radiochirurgie** et la **curiethérapie**.

La radiothérapie externe ou télégammathérapie s'appuie sur le rayonnement gamma de sources de cobalt 60. L'utilisation de ces sources est en voie de disparition au profit d'accélérateurs linéaires d'électrons produisant des faisceaux de rayons X de haute énergie et des faisceaux d'électrons.

L'activité des sources scellées utilisées en radiothérapie externe est élevée, avec des radionucléides dont les périodes peuvent être de plusieurs années.

La radiochirurgie se rapproche de la radiothérapie externe. Elle utilise des faisceaux ultrafocalisés provenant d'un accélérateur linéaire ou d'un irradiateur spécialisé (multiples sources de cobalt 60). Cette technique est néanmoins peu répandue.

En curiethérapie (ou brachythérapie), la source radioactive scellée est placée à l'intérieur du patient pour une durée limitée ou définitivement, selon les cas, au contact ou à proximité immédiate de la zone à traiter.

Les principaux radionucléides employés (iridium 192, iode 125, césium 137, cobalt 60, palladium 103 et ruthénium 103) ont définitivement remplacé le radium utilisé historiquement dans la première moitié du xx^e siècle sous forme d'aiguilles et de tubes. Leurs périodes radioactives s'étendent de 17 jours pour le palladium 103 à 31 ans pour le césium 137.

P128

Les paratonnerres

Au début du xx^e siècle, des scientifiques ont eu l'idée d'ajouter des sources radioactives scellées sur les têtes de paratonnerres afin de renforcer l'ionisation naturelle de l'air. En effet, à cette époque, la communauté scientifique pensait qu'ioniser l'air à proximité du paratonnerre le rendait plus efficace contre la foudre. Les paratonnerres ionisants ont été fabriqués en France de 1932 à 1986 par les sociétés HELITA puis Duval Messien, Franklin France et Indelec. Ils ont été vendus à un grand nombre d'exemplaires à l'étranger. Leur efficacité n'ayant pas été démontrée, leur fabrication a été interdite par l'arrêté du 11 octobre 1983 applicable au 1^{er} janvier 1987. Le nombre total de paratonnerres installés en France est estimé à environ 50 000 dont 30 000 équipés de sources scellées au radium 226 (ou à la fois de sources de radium 226 et d'américium 241 – paratonnerres mixtes) et 20 000 avec des sources scellées à l'américium 241. L'activité d'une tête de paratonnerre au radium 226 est d'environ 50 mégabecquerels, celle d'une tête de paratonnerre à l'américium 241, d'environ 20 mégabecquerels. Les substances radioactives se présentent sous la forme de plaquettes, feuilles, billes de porcelaine, généralement de petites dimensions. Leur suppression n'est pas obligatoire. Mais chaque fois que l'un d'entre eux est démonté, il doit être évacué en tant que déchet radioactif. Ces têtes de paratonnerre sont regroupées en entreposage temporaire par des entreprises professionnelles. L'Andra transmet sur demande aux détenteurs de paratonnerre, une liste non exhaustive d'entreprises de ce type. Il faut noter que l'activité de regroupement de paratonnerres radioactifs nécessite une autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'Andra collecte environ 500 à 600 têtes de paratonnerres par an. Les paratonnerres au radium 226 sont dirigés vers le centre CEA de Cadarache (13) pour y être compactés et conditionnés dans des fûts de 870 litres et entreposés en attente de leur stockage. Les paratonnerres à l'américium 241 sont conditionnés en fûts de 200 litres puis entreposés sur une plate-forme spécifique, sur le site de SOCATRI à Bollène (84), que l'Andra est autorisée à utiliser depuis août 2003. Le mode de conditionnement définitif de ces paratonnerres et leurs filières de stockage sont à l'étude.

P129

Les détecteurs de fumée

Le modèle de détecteur de fumée le plus répandu en France est le détecteur ionique. Il utilise les propriétés radioactives de petites sources scellées. La source ionise l'air contenu dans l'appareil. Lorsque de la fumée y pénètre, la conductivité électrique diminue, ce qui déclenche l'alarme. Communément, le nombre de détecteurs de fumée dotés de sources radioactives scellées commercialisés en France est estimé entre 6 et 8 millions. En général, ces détecteurs contiennent une source d'américium 241 ayant une activité d'environ 30 kilobecquerels. L'activité unitaire de certaines sources récentes a été diminuée à environ 10 kilobecquerels, voire moins. Certains détecteurs utilisent des sources de radium 226 ou de plutonium 238. Interdits pour un usage domestique, ces détecteurs s'emploient souvent dans les immeubles de bureaux ou les lieux publics. L'arrêté du 4 avril 2002 (Code de la santé publique) restreint la mise en service d'équipements contenant des matières radioactives. Des dispositions sont donc mises en œuvre pour le remplacement progressif des détecteurs ioniques par des détecteurs optiques.

P141

Les établissements thermaux

Tout comme les installations de traitement des eaux, les procédés mis en œuvre dans ces établissements produisent du radon par dégazage. Il est possible que les canalisations, filtres ou équipements de pompage concentrent la radioactivité naturelle de l'eau. Dans le bilan dressé par l'ASN (rapport 2009) seule l'exposition due au radon a été évaluée et aucune dose efficace individuelle n'a été retenue.

P142

La combustion de biomasse

En France dans les années 1990, la combustion de biomasse, et en particulier l'utilisation du bois comme combustible, s'est développée. Le bois est issu des exploitations forestières, des scieries ou des bois de rejets. Tout comme les centrales au charbon, les cendres provenant de ces chaufferies

concentrent la radioactivité non seulement issue de radionucléides naturels mais aussi potentiellement de radionucléides artificiels issus des retombées de l'accident de Tchernobyl ou des essais nucléaires (strontium 90 ou césium 137).

Les installations industrielles de combustion du charbon

Les cendres sont un coproduit naturel de la combustion du charbon dans les centrales de production d'électricité. Le charbon contient quelques substances radioactives naturelles (uranium, thorium et leurs descendants) présentes en très faible quantité et concentrées dans les cendres après combustion du charbon. Lorsque ce charbon est brûlé pour produire de l'électricité, 99 % des poussières sont captées.

Les cendres volantes, ainsi récupérées, sont notamment utilisées dans la formulation de béton à haute valeur ajoutée. En effet, cet ajout permet d'abaisser la température à cœur des bétons lors de la prise, ce qui limite la fissuration d'une part, et leur confère de bonnes propriétés mécaniques d'autre part.

EDF et E.ON (anciennement SNET issue de la filialisation des centrales de Charbonnages de France en 1995) produisent ce type de cendres et les stockent sur place sous forme de terril.

E.ON et EDF ont choisi de les commercialiser. Afin de valoriser ces cendres et pour répondre à l'arrêté ministériel du 25 mai 2005, EDF a mené deux études en vue de mesurer l'exposition des travailleurs et de la population. Les résultats de ces études ont conclu, avec des hypothèses pénalisantes, à une exposition du travailleur de l'ordre de 0,14 mSv/an, et de la population à 2 µSv/an pour le transfert par l'air, et inférieure à 0,001 µSv/an pour le transfert par l'eau. Sur la période 2000-2009 et en comptant ensemble les activités de EDF et E.ON, la production totale de cendres de charbon représente en moyenne 1 400 kilotonnes et les ventes 1 800 kilotonnes. L'excédent de 400 kilotonnes de ventes par rapport à la production provient du déstockage des terrils. À ce jour, les stocks totaux de cendres d'EDF et de E.ON sont de l'ordre de 15 millions de tonnes.

P149

L'optimisation des procédés de traitement et de conditionnement des effluents a permis de réduire les volumes annuels des déchets HA et MA-VL d'un facteur 6 : de l'ordre de 3 m³ par tonne de combustible traité à la conception des ateliers de traitement de l'usine de La Hague (50), à moins de 0,5 m³ actuellement. (1000T combustible -> 500 m³ HA / MAVL ?)

P150

Les solutions de gestion des déchets radioactifs

Les filières de gestion comprennent **quatre types de stockage** : deux types de stockage sont aujourd'hui opérationnels, deux autres sont à l'étude.

1) Les déchets HA et MA-VL Les déchets HA et MA-VL ne disposent pas aujourd'hui d'exutoire définitif.

Cependant, la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 charge l'Andra de mener des études et des recherches pour choisir un site et concevoir un centre de stockage réversible profond. L'Andra porte ainsi un projet de Centre industriel de stockage géologique, Cigéo, qui accueillera les déchets radioactifs qui ne pourront pas être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté ou de radioprotection.

La mise en service d'un tel centre, sous réserve de son autorisation, est prévue en 2025. La réversibilité du stockage devra être assurée pendant une durée qui ne pourra pas être inférieure à 100 ans. Les conditions de la réversibilité seront fixées par une future loi. Dans l'attente de l'ouverture de Cigéo, l'entreposage temporaire est un outil indispensable pour la gestion des déchets HA et MA-VL.

On peut citer l'exemple d'utilisation de l'entreposage dans la gestion des colis contenant des produits de fission et des actinides mineurs (CSD-V). Ces colis doivent être maintenus dans des puits ventilés de l'entreposage EV-SE de l'usine de la Hague durant **60 ans environ**, afin de diminuer leur puissance thermique et de répondre aux spécifications pour leur stockage profond.

P152

2) Les déchets FA-VL. 28 juin 2006 a chargé l'Andra de mettre au point des solutions de stockage à faible

profondeur pour les déchets de graphite issus principalement de l'exploitation et du démantèlement des réacteurs électronucléaires de première génération UNGG et pour les déchets radifères. La recherche de site pour l'implantation d'un centre de stockage à faible profondeur a été lancée par l'Andra, avec l'accord du Gouvernement, en juin 2008. L'État a également demandé à l'Andra d'examiner la possibilité d'inclure d'autres déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) dans l'inventaire du centre.

Fin 2008, une quarantaine de communes avait marqué leur intérêt pour ce projet. En 2009, deux communes avaient été retenues pour la réalisation d'investigations géologiques visant à vérifier la

faisabilité d'un tel stockage. Pendant l'été 2009, les conseils municipaux des deux communes ont décidé de retirer leur candidature sous la pression des opposants. L'État et l'Andra ont pris acte de ces décisions. Dans ce contexte, l'État a annoncé un relâchement du calendrier du projet pour donner le temps à la concertation et a demandé à l'Andra de poursuivre les discussions avec les territoires où des communes avaient exprimé leur candidature. L'État a également demandé à l'Andra de rouvrir les différentes options de gestion des déchets de graphite et radifères, en étudiant notamment les possibilités de gestion séparée de ces deux types de déchets. Un bilan des travaux sera remis par l'Andra à l'État fin 2012. (??)

Dans l'attente de disposer d'une solution de stockage de ces déchets FA-VL, les colis sont entreposés dans diverses installations. Les principaux producteurs disposent de leurs propres installations d'entreposage. Pour les déchets des « petits producteurs », dont l'Andra assure la prise en charge, ceux-ci ont été entreposés dans diverses installations des principaux exploitants nucléaires. Certaines de ces installations ne peuvent plus les accueillir et doivent les évacuer. L'Andra a donc prévu la construction sur le site du centre de stockage TFA qu'elle exploite dans l'Aube, un nouvel entreposage. La mise en service est prévue courant 2012 (??)

Regroupement et entreposage de déchets à Morvilliers (P155) L'insuffisance de capacité des solutions actuelles et la dépendance vis-à-vis d'autres exploitants industriels ont conduit l'Andra à s'interroger, depuis fort longtemps, sur l'intérêt de posséder en propre des installations lui permettant d'assumer ses missions de prise en charge des déchets des « petits producteurs », et notamment l'entreposage des déchets à destination des centres en projet. Dans ce contexte, l'Andra a engagé la construction d'une installation d'entreposage et de regroupement au Centre de stockage TFA qui prendra la forme de deux bâtiments distincts. Cette installation devrait être mise en service fin 2012.

P153

3) Les déchets FMA-VC. Le stockage des déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) en surface existe depuis 1969. Le centre de stockage de la Manche n'accueille plus de déchets depuis 1994 (environ 527 000 m³ y ont été stockés) et il est en phase de surveillance, tandis que le Centre de stockage FMA de l'Aube est en activité depuis 1992, sur la commune de Soulaines-Dhuys (10). Ces centres sont des installations nucléaires de base. Le centre de stockage FMA de l'Aube couvre une superficie de 95 ha, dont 30 réservés au stockage, et a une capacité autorisée d'un million de mètres cubes de colis de déchets radioactifs.

P155

4) Les déchets TFA. Le Centre de stockage TFA couvre une superficie de 45 ha, située essentiellement sur la commune de Morvilliers (10). Il est destiné à accueillir 650 000 m³ de déchets provenant pour l'essentiel du démantèlement des installations nucléaires françaises arrêtées.

Ce centre de stockage de déchets de très faible activité est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), dont l'exploitation est autorisée par l'arrêté n° 03-2176 A du 26 juin 2003. L'Andra l'exploite depuis l'été 2003. Afin de ne pas saturer le centre avant la date prévue lors de sa conception, des pistes d'optimisation de la gestion des déchets TFA sont en cours d'étude, comme par exemple la valorisation des métaux et bétons issus du démantèlement des installations nucléaires.

Les déchets de très faible activité se situent entre les déchets conventionnels définis dans l'article L. 541 du Code de l'environnement et les déchets de faible activité (FMA-VC ou FA-VL), car il n'existe pas en France, contrairement à d'autres pays, de seuils de libération fixés à l'avance pour des déchets contenant, ou susceptibles de contenir, une quantité très faible de radioactivité.

P157

Les déchets tritiés (FMA et TFA). Bien que le tritium soit un radionucléide à vie courte, il se confie difficilement et peut facilement migrer vers l'environnement et le marquer. Les déchets tritiés sont gérés spécifiquement. Ils sont, en grande majorité, solides. Les déchets liquides et gazeux, dont les quantités sont très faibles, doivent être traités et stabilisés avant de rejoindre un entreposage. Après une cinquantaine d'années d'entreposage, ces déchets sont orientés, en fonction de leur radioactivité et du taux de dégazage résiduel, vers un centre de stockage adapté. Ces déchets résultent en grande majorité des activités liées à la force de dissuasion (> 95 % en volume). Par ailleurs, des industriels et des laboratoires de recherche médicale et pharmaceutique ont utilisé et utilisent encore du tritium pour différentes applications qui ont généré des déchets tritiés, dont une quantité limitée doit être entreposée avant de rejoindre un exutoire définitif. Enfin, l'installation ITER générera également des déchets tritiés à partir 2024 et deviendra le premier contributeur à l'inventaire, d'abord dans sa phase d'exploitation puis, à partir de 2055, en phase de démantèlement.

Pour entreposer ses déchets, le CEA construit à Valduc (21) un premier module d'entreposage, dont la mise en service est prévue fin 2012 pour recevoir les déchets tritiés de très faible activité. Concernant ITER, les premiers modules seront disponibles en 2024 pour les déchets TFA et les déchets irradiants à vie courte. Les déchets tritiés issus des « petits producteurs » sont des déchets

tritiés purs peu dégazants dont l'inventaire identifié aujourd'hui représente un peu plus de 20 m³ à fin 2010 et de l'ordre de 100 m³ à l'horizon 2060.

À terme, il est envisagé de bénéficier des infrastructures d'entreposage des déchets d'exploitation d'ITER pour entreposer les déchets tritiés des « petits producteurs ».

Cas spécifique des déchets gérés en décroissance sur place

La majeure partie de ces déchets gérés en décroissance sont les déchets hospitaliers, qui contiennent des radionucléides à vie très courte utilisés à des fins de diagnostic ou thérapeutique. Il suffit d'attendre que leur radioactivité décroisse pendant des durées variant de quelques jours à quelques mois. Les déchets correspondants sont ensuite évacués dans des filières conventionnelles. Ils ne sont plus considérés comme des déchets radioactifs.

P164

Nouvelle directive européenne relative à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs (2011/70/Euratom)

Le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage.

Dans ses attendus, la directive mentionne que le stockage géologique est la solution de référence pour les déchets de moyenne activité à vie longue et de haute activité. En effet dans la plupart des pays, le stockage géologique s'est imposé comme une solution à long terme. Il est entrepris dans des roches hôtes variées, fonction des possibilités géologiques des pays concernés.

P187

Le traitement des combustibles usés étrangers à La Hague

Avec le démarrage des usines UP3-A (1990) et UP2-800 (1994), ce sont plus de 26 000 tonnes de combustibles usés de type eau légère qui ont été traitées à La Hague à fin 2010, dont environ 61 % pour la France, 21 % pour des clients allemands, 11 % pour des clients japonais, et le reste principalement pour des clients belges, suisses, néerlandais et italiens.

Dès 1977, AREVA a fait figurer dans les contrats signés avec les électriciens étrangers une clause lui donnant la possibilité de réexpédier des déchets conditionnés à l'usine de La Hague. 512 tonnes de combustibles usés étrangers ont été traitées au titre de contrats antérieurs à 1977, ne comportant donc pas ce type de clause, soit 5 % de la quantité de combustibles usés étrangers traités à La Hague à ce jour (et 2 % de la quantité de combustibles eau légère traités à La Hague).

P195

Colis CSD-V et C. Au 31 décembre 2010, 10 828 CSD-V (94% pour la France) et 10 270 CSD-C (52% pour la France, 28% pour l'Allemagne, 12% pour le Japon, etc) sont présents dans les installations nucléaires de base exploitées par AREVA NC à La Hague (50).

P199

La décroissance (de l'activité) est au départ dominée par celle du césium 137 et du strontium 90, qui sont des éléments à vie courte. Au bout de 1 000 ans, l'activité a décliné d'un facteur d'environ 800. La décroissance des radionucléides entraîne celle de la puissance thermique du colis, c'est-à-dire de la chaleur qu'il émet. Celle-ci passe de 2 kW par colis en moyenne à la fabrication à 0,6 kW au bout d'une cinquantaine d'années, et à environ 0,001 kW (soit 1 W) après 10 000 ans.