n°258 - février 2019

La filière nucléaire, une exception française problématique : les questions du devenir des déchets et du démantèlement

Interview de Bernard Laponche

Mots clés associés : climat et énergie | pollutions et nuisances | risques, santé, précaution | combustibles nucléaires | déchets radioactifs | démantèlement des centrales nucléaires | energie nucléaire | risques technologiques

Résumé

A l'heure où la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en France parue fin 2018 a reporté à 2035 l'objectif de 50 % de la part du nucléaire et alors que la COP 24 a vu apparaître des slogans pro-nucléaires au prétexte que ce mode de production d'énergie n'émettait pas de GES, il a paru important au secrétariat d'édition de l'Encyclopédie du Développement Durable de rappeler les problèmes et les dangers que présente le recours à la production d'électricité d'origine nucléaire.

Liliane Duport et Jean Pierre Piéchaud, membres du secrétariat d'édition de l'Encyclopédie du développement durable ont rencontré, le 20 décembre 2018, Bernard Laponche pour un entretien autour de la filière nucléaire.

Deux aspects ont été privilégiés : la question du devenir des déchets et celle du démantèlement des installations nucléaires.

Auteurs

Laponche Bernard

Physicien nucléaire, consultant indépendant, expert en politique de l'énergie. Il a été Directeur général de l'AFME (devenue ensuite ADEME) dans les années 1980, puis directeur du bureau d'études ICE (International Conseil Energie) entre 1988 et 1998.
Il a exercé ses activités sur le développement de la maîtrise de l'énergie en France et au niveau international (notamment Europe centrale et orientale, CEI, Maghreb).
Il est membre de Global Chance, association d'experts critiques sur les questions du climat, d'énergie et de nucléaire fondée en 1992.

Piéchaud Jean-Pierre

Jean-Pierre Piéchaud est urbaniste. Il a successivement travaillé dans l'aménagement et la planification urbaine, le logement, l'environnement urbain, la politique de la ville et du développement social urbain, avant de se consacrer à la dimension territoriale du développement durable.
Il est membre fondateur de 4D ainsi que de l'Encyclopédie du développement durable.

Duport Liliane

Diplômée de chimie analytique et d'économie rurale (EHSS) elle a travaillé au ministère de l'agriculture, puis au ministère de l'environnement sur les questions relatives à l'eau et à la gestion des rivières. Elle a coordonné l'élaboration du Cadre de référence pour les projets territoriaux de développement durable et Agendas 21 locaux.
A 4D, elle a participé au projet « Archipel des régions » qui présente, par région, les avancées du développement durable et les grands défis qui se posent aux territoires. Elle est membre du secrétariat d'édition de l'Encyclopédie du développement durable

Texte

Liliane Duport et Jean Pierre Piéchaud, du Secrétariat d'édition de l'EDD.

Avant de parler des problèmes des déchets nucléaires et du démantèlement des centrales existantes, pouvez-vous faire un tableau général du nucléaire civil en France et des principales techniques de production de cette énergie ?

- Bernard Laponche :
Le parc électronucléaire français actuellement en fonctionnement comprend dix-neuf centrales d'EDF équipées de 58 réacteurs à uranium enrichi et eau ordinaire sous pression (REP). L'eau joue à la fois le rôle de « modérateur » ou ralentisseur de neutrons et de « fluide caloporteur » qui récupère la chaleur produite dans le réacteur et envoyée ensuite dans le turbo-alternateur sous la forme de vapeur.

Ces réacteurs se répartissent de la façon suivante :

- Trente quatre « tranches nucléaires » d'une puissance électrique de 900 mégawatts (MW) : Fessenheim (2), Blayais (4), Bugey (4), Chinon (4), Cruas (4), Dampierre (4), Gravelines (6), Saint-Laurent (2), Tricastin (4), classés en trois « paliers » : 6 tranches « CP0 », 18 tranches « CP1) et 10 tranches « CP2 ».
- Vingt « tranches nucléaires » de 1300 MW : Belleville (2), Cattenom (4), Flamanville (2), Golfech (2), Nogent-sur-Seine (2), Paluel (4), Penly (2), Saint-Alban (2). En deux paliers P4 et P'4.
- Quatre « tranches nucléaires » de 1500 MW à Chooz (2) et Civaux (2). Palier N4.
  A l'exception du palier N4, ces réacteurs REP (PWR en anglais) ont été construits à partir de la licence Westinghouse.

Un nouveau réacteur REP, de puissance électrique supérieure (1630 MW) est en cours de construction (depuis 2006) sur le site de Flamanville en Normandie : l'EPR (European Pressurized Reactor, initialement projet Areva-Siemens). Par rapport à ses prédécesseurs, outre l'augmentation de puissance, ce réacteur comprend des dispositifs destinés à améliorer la sûreté nucléaire, notamment vis-à-vis du risque de fusion du cœur et de ses conséquences. Du fait de sa puissance et de sa complexité, ce réacteur fait l'objet de fortes controverses. Il est actuellement également en

construction en Finlande (avec le même retard que l'EPR de Flamanville), en Chine (deux exemplaires dont l'un a déjà démarré) et en début de construction en deux exemplaires, au Royaume-Uni (Hinkley Point).
On utilise l'expression « tranche nucléaire » pour désigner l'ensemble réacteur + turboalternateur. La puissance électrique est donc celle de la tranche nucléaire relative à chaque réacteur. Mais en langage courant, on parle souvent, à tort, de la puissance électrique d'un réacteur et on utilise l'unité MWe (ce qui peut porter à confusion). Le réacteur lui-même produit de la chaleur. La puissance thermique d'un réacteur dont la « tranche » a une puissance électrique de 900 MW est de l'ordre de 2800 MW. Les deux tiers de la chaleur produite sont dissipés dans l'environnement (fleuve, mer, lac, air), directement ou par l'intermédiaire de tours de refroidissement.

De plus, sont définitivement arrêtés et à différentes étapes de leur démantèlement :

- Six réacteurs de la filière « uranium naturel-graphite-gaz » (UNGG) des centrales EDF de Chinon (trois réacteurs), Saint-Laurent (deux réacteurs) et Bugey (un réacteur), de 70 à 500 MW de puissance électrique .
- Le réacteur à uranium naturel et eau lourde de Brennilis (70 MW).
- Le réacteur à uranium enrichi et eau sous pression (REP) de Chooz A (305 MW).
- Les réacteurs à neutrons rapides ou « surgénérateurs » Phénix et Superphénix, respectivement de puissance électrique 130 et 1200 MW. Ces réacteurs utilisaient le plutonium comme matière fissile principale et le sodium liquide comme fluide caloporteur.

- LD et JPP de l'EDD :
Quels sont les différents combustibles utilisés pour la production de l'énergie nucléaire ?

- Bernard Laponche :
C'est à partir de l'extraction de l'uranium, élément radioactif naturel et matière première du fonctionnement des réacteurs nucléaires, que se déroulent les différentes étapes des industries électronucléaires, étapes qui chacune, sans exception, donne lieu à la production de rejets et de déchets radioactifs dangereux pour la santé humaine et l'environnement.

L'Uranium (U).

L'uranium naturel est un métal constitué de trois isotopes : l'uranium 238 (à 99,3%), l'uranium 235 (à 0,7%) et l'uranium 234 (à 0,01%). Afin d'obtenir la fission et la réaction en chaîne, seul l'isotope 235 est utilisable (on dit qu'il est « fissile »).
L'extraction du minerai d'uranium va de la prospection initiale jusqu'au produit transportable, le « *yellowcake* ». En 2014, la production mondiale d'uranium naturel a été de 56 217 tonnes d'uranium (pour 66 297 tonnes de *yellowcake*).
Quatre pays, Kazakhstan, Canada, Australie et le Niger, assurent près de 75% de la production mondiale. La France n'exploite plus de mines d'uranium sur son territoire mais 250 sites miniers, exploités sur des durées diverses dans les années 1950 à 1980 sont identifiés sur le territoire métropolitain.

Les résidus des mines d'uranium sont de deux types : les stériles miniers (petits blocs de tailles diverses, non exploités) et les résidus de traitement des roches finement broyées (dont l'uranium a été chimiquement extrait).
Ils peuvent présenter trois types de problème pour la radioprotection :

- l'eau de drainage peut entraîner des radionucléides par lixiviation ;
- des poussières radioactives peuvent s'envoler, et contaminer par voie respiratoire les habitants et surtout les ouvriers dans le cas d'une exploitation ;

- les résidus de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 contiennent du radium 226, qui produit en continu un gaz radioactif, le radon 222. Les résidus miniers peuvent aussi comprendre d'autres produits toxiques (plomb, arsenic, etc.).

Le Collectif « Bois Noirs » de Saint Priest La Prugne (Loire) se bat depuis plusieurs dizaines d'années pour tenter de résoudre des problèmes de stériles et de résidus radioactifs de l'ancienne mine d'uranium de Saint Priest, fermée dans les années soixante.
(CF. - L'article de Me Arlette Maussan dans l'Encyclopédie du développent durable) :
Après l'exploitation de la mine d'uranium de Saint-Priest-La-Prugne, la veille citoyenne d'un Collectif d'habitants, N° 96, juin 2009.

On peut faire fonctionner des réacteurs nucléaires avec l'uranium naturel comme combustible : c'était le cas pour les réacteurs UNGG en France, maintenant arrêtés définitivement.
Pour être utilisé comme combustible dans les réacteurs REP actuels, l'uranium doit être enrichi en isotope 235, jusqu'à une teneur comprise entre 3% et 5%.
L'enrichissement, réalisé en France sur le site du Tricastin par la technique de la diffusion gazeuse puis, à partir de 2012, celle de l'ultracentrifugation produit, pour 9 tonnes d'uranium naturel, 1 tonne d'uranium enrichi à 3,7% et 8 tonnes d'uranium appauvri à 0,25%. La consommation annuelle d'uranium enrichi du parc nucléaire d'EDF est de l'ordre de mille tonnes. La plus grande partie de l'uranium appauvri, soit 310 000 tonnes en 2016 est actuellement entreposée essentiellement sur le site de Bessines-sur-Gartempe, en Limousin.

Le combustible dans le réacteur nucléaire

Un réacteur nucléaire équipant une tranche nucléaire productrice d'électricité est une chaudière dans laquelle la chaleur, au lieu d'être produite par la combustion du charbon par exemple, est produite par la fission des noyaux d'uranium 235 contenus dans le combustible (des « crayons » d'oxyde d'uranium pour les REP). Il s'y ajoute les fissions du plutonium 239 qui est produit à partir de l'uranium 238 par des réactions nucléaires autres que la fission.
La fission est en quelque sorte une explosion du noyau d'uranium 235, provoquée par sa rencontre avec un neutron qui donne naissance à deux ou trois produits de fission, morceaux du noyau initial, et à plusieurs neutrons qui, à leur tour, vont provoquer des fissions dans les noyaux voisins : c'est la réaction en chaîne. Ces produits de fission sont propulsés à grande vitesse par cette explosion, énergie mécanique qui se transmet à l'ensemble du milieu et provoque la montée en température du combustible. Les noyaux des isotopes de nombreux éléments ainsi formés sont instables et par conséquent fortement radioactifs, émettant des rayonnements qui produisent à leur tour un échauffement du combustible. Le « démarrage » de la réaction en chaîne se fait grâce à la production de neutrons par des fissions spontanées, très peu nombreuses, de noyaux d'Uranium 238.
Les éléments combustibles séjournent dans le réacteur pendant trois à quatre ans et sont remplacés par tiers de cœur par des combustibles neufs.

La transformation du combustible neuf en combustible irradié (ou usé) porte sur moins de 5 % de la masse, mais les conséquences radiologiques sont considérables : le combustible déchargé est beaucoup plus radioactif que le combustible neuf. Si une large part de cette radioactivité disparaît en quelques jours ou quelques semaines, la radioactivité du combustible usé reste à plus long terme plus d'un million de fois plus élevée que celle du combustible neuf.
Les différentes matières qui sont fabriquées au cours des réactions nucléaires dans les réacteurs présentent des dangers de plusieurs natures :

- Les produits de fission se caractérisent par leur très forte radioactivité en rayonnement

gamma à haute énergie, dangereux pour l'homme même à grande distance, mais pour des temps relativement courts (quelques centaines d'années).
- Les actinides, produits dans le réacteur à partir de l'uranium, comprenant le plutonium et une série d'autres éléments appelés actinides mineurs, sont essentiellement émetteurs de rayonnements alpha et bêta dont la portée est beaucoup plus faible. Si l'on peut donc s'en protéger assez facilement (par exemple par des écrans de faible épaisseur), ils deviennent très dangereux pour l'homme par inhalation ou ingestion.
  En sortie de réacteur, le combustible irradié est constitué de 95% d'uranium, 1% de plutonium et 4% de produits de fission et actinides mineurs.

- LD et JPP de l'EDD :

Chacune de ces techniques de production d'énergie d'origine électronucléaire, génère des déchets dont certains très fortement radioactifs. Que faire avec ce problème majeur ?

- Bernard Laponche :
Avant Fukushima, nos concitoyens acceptaient en majorité le discours des autorités et de l'industrie nucléaire sur l'impossibilité d'un accident nucléaire majeur dans notre pays et minimisaient aussi l'importance de la question des déchets : l'ensemble des déchets nucléaires français les plus dangereux, prétendaient les promoteurs du nucléaire, tiendrait aisément dans une piscine olympique !
Cependant, c'est dès l'origine de la découverte de la possibilité d'utiliser l'énergie nucléaire par la fission des noyaux d'uranium 235 que l'impossibilité de traiter la question des déchets aurait dû amener à renoncer à cette technique. Dès le début, les scientifiques savaient que le problème des déchets nucléaires deviendrait crucial le problème était évacué par des formules simplistes : « *avant que ce problème ne soit crucial, les scientifiques auront trouvé une solution* », ou bien même, « *on les déposera dans des fosses marines profondes* », ce qui fut fait effectivement pendant quelques années.
Pour l'heure, il n'existe pas de solution satisfaisante pour éliminer les déchets radioactifs, ni même pour réduire les risques qu'ils représentent, jusqu'à des centaines de milliers, voire des millions d'années pour certains d'entre eux.
Conscients de ce danger, certains pays qui avaient développé l'électronucléaire y ont renoncé et notamment deux des quatre principaux pays de l'Union Européenne, l'Italie et l'Allemagne.

On distingue plusieurs types de déchets radioactifs en fonction de la durée de vie (la durée de vie, parfois appelée période, est la durée au bout de laquelle la quantité de l'isotope radioactif a diminué de moitié du fait de sa désintégration radioactive) et du niveau de radioactivité :

- Trois seuils de durée de vie :
  - vie très courte, moins de 100 jours ;
  - vie courte (**VC**) de 100 jours à 31 ans ;
  - vie longue (**VL**) plus de 31 ans.
- Quatre niveaux de radioactivité :
  - **TFA** (très faible activité) : TFA-VC par exemple les gravats et ferrailles issus de démantèlement ; TFA-VL résidus miniers issus de l'extraction de l'uranium.
  - **FA** (faible activité) : FA-VC provenant de l'exploitation, de la maintenance ou du démantèlement ; FA-VL , notamment graphite irradié (UNGG).
  - **MA** (moyenne activité) : MA-VL : déchets issus du retraitement, structures métalliques du retraitement du combustible, moins de 2% de la radioactivité.
  - **HA** (haute activité) constitués de combustibles usés ou, après retraitement, de déchets vitrifiés, cela correspond à 98% de la radioactivité.

Les déchets de faible et moyenne activité sont stockés dans les centres de stockage en surface qui doivent être contrôlés pendant plusieurs centaines d'années, durée nécessaire pour une réduction considérée comme suffisante de leur radioactivité. La détérioration avec le temps des conteneurs (notamment par des infiltrations d'eau) de déchets peut amener dans certains cas à des opérations de reprise du stockage et de réhabilitation des conteneurs. La surveillance et la maintenance de ces sites de stockage est une responsabilité sur plusieurs siècles relativement lourde et onéreuse. Trois centres de stockage exploités par l'Andra accueillent les déchets de ces catégories représentant les plus gros volumes, hors déchets miniers : le Centre de stockage de la Manche (CSM) auprès de l'usine de La Hague pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VL) ; le Centre de stockage de l'Aube (CSA) pour des déchets du même type et , encore dans l'Aube, à Morvillers, le CIRES, pour les déchets de très faible activité (TFA).

Les déchets de haute activité sont les déchets vitrifiés entreposés à La Hague.

Les combustibles irradiés : retraitement ou non

Pour tous les réacteurs nucléaires et dans tous les pays, les combustibles irradiés sortis du réacteur, qui sont chauds et d'un niveau très élevé de radioactivité, sont déposés dans des grands bassins d'eau (piscines) suffisamment profonds situés tout à côté des réacteurs. Cette eau a un rôle de refroidissement des combustibles (dans lesquels la radioactivité continue à produire de la chaleur qu'il s'agit d'évacuer) et de protection contre les rayonnements radioactifs très dangereux. Bien que contenant des quantités considérables de matières à haute radioactivité, ces piscines ne jouissent pas partout, et notamment en France, du même degré de protection que les réacteurs (enceintes de confinement) contre des agressions extérieures et constituent des zones de risque important.
Les combustibles irradiés peuvent rester plusieurs années dans ces piscines. A l'exception de la France et jusqu'à très récemment du Royaume-Uni, tous les pays ayant développé des programmes électronucléaires (Etats-Unis, Allemagne, Japon, Corée du Sud, Suède…) conservent les combustibles irradiés en piscines durant plusieurs années, voire des décennies. Après cette période en piscine, les combustibles irradiés, dont la radioactivité et la température ont considérablement diminué, peuvent être conservés à sec dans des conteneurs d'acier et de béton qui sont à leur tour stockés auprès des réacteurs (et beaucoup moins vulnérables aux agressions extérieures que les piscines).
L'étape suivante peut être également le stockage à sec en sub-surface (sous une colline, ou dans un ancien tunnel) qui permet à la fois une meilleure protection contre les agressions extérieures et une capacité d'intervention pour le contrôle et la maintenance du stockage. Ce site de stockage à sec et en sub-surface peut-être situé au voisinage de la centrale nucléaire ou dans un site dédié recevant les combustibles de plusieurs centrales.
On estime à 300 000 tonnes la quantité de combustibles irradiés accumulés dans le monde.

Un exemple :
Le stockage de San Onofre en Californie
Le stockage de San Onofre utilise une combinaison de technologies : il comprend les piscines en béton bordé d'acier remplies d'eau (piscines de combustible usé) et des conteneurs scellés en acier inoxydable logés dans des structures en béton armé (stockage en fût sec).
La « California Coastal Commission » a approuvé en 2015 un permis d'aménagement du littoral qui permet d'étendre le stockage à sec du combustible nucléaire irradié. Il est prévu de déplacer tout le combustible nucléaire irradié dans le stockage en fût sec en 2019.
Le stockage dans des conteneurs est une étape clé, car elle facilite également le transfert du combustible nucléaire irradié à une installation de stockage hors site. Des mesures de sécurité sur place sont prévues en vue de mieux protéger la santé et la sécurité des employés et du public .

En France à l'usine de La Hague, on procède au « retraitement » des combustibles irradiés, opération de traitement chimique dont le but est d'extraire le plutonium de ces combustibles. C'est ainsi que l'on sépare l'uranium, le plutonium et l'ensemble produits de fission plus actinides mineurs. Le retraitement des combustibles irradiés de certains pays, notamment l'Allemagne et le Japon, ont été dans le passé envoyés à La Hague pour être retraités.

- LD et JPP de l'EDD :
Que pensez-vous de l'exception française du retraitement des déchets : l'usine de la Hague ?

- Bernard Laponche :
Les combustibles irradiés sont entreposés en piscine à leur sortie du réacteur pendant six mois à un an pour les combustibles à uranium et au moins deux ans et demi pour les combustibles MOX. Ils sont ensuite transportés jusqu'à l'usine de retraitement de La Hague et stockés à nouveau en piscine, en attendant leur traitement.
Les piscines de La Hague contiennent actuellement un chargement en combustibles irradiés équivalent à celui de cent réacteurs d'une puissance électrique moyenne de 1000 MW.
La première étape de l'extraction du plutonium consiste à démonter les assemblages, sectionner en petits tronçons les crayons de combustible, et dissoudre le combustible lui-même. Ensuite, on sépare chimiquement l'uranium, le plutonium et le reste, mélange de produits de fission et des actinides mineurs. Cette opération provoque le dégagement des produits gazeux et engendre des produits liquides radioactifs. Tandis que l'uranium et le plutonium sont stockés séparément, les produits de fission et les actinides mineurs sont conservés sous forme liquide dans des cuves qui doivent être en permanence refroidies et leur contenu agité pour éviter des concentrations de matière.
La dernière étape consiste à fabriquer des blocs de verre à partir des solutions de produits de fission et actinides mineurs qui sont stockés à sec à l'usine de La Hague, dans des silos qui doivent être refroidis en permanence du fait de l'énergie dégagée par la radioactivité de ces verres) et ne seraient déplaçables qu'après plusieurs dizaines d'années (au moins 60 ans).

Le Plutonium

L'uranium et le plutonium sont extraits par voie chimique lors du retraitement du combustible irradié. Si la première extraction du plutonium s'est faite pour les besoins militaires (la « bombe atomique », également produite avec de l'uranium très enrichi), la production de plutonium a eu pour objectif de fournir du combustible à la filière des surgénérateurs.
Découvert aux Etats-Unis en 1940, le plutonium (Pu) est un métal lourd radioactif et toxique, particulièrement dangereux. Si des particules de plutonium sont inhalées ou ingérées, elles irradient directement les organes où elles sont déposées (le poumon dans le cas d'une inhalation). Une fraction du plutonium inhalé ou ingéré passe dans le sang et se dépose dans le foie et les surfaces osseuses notamment. Il existe quinze isotopes de cet élément, naturellement présent sur Terre, mais à des doses infimes (environ un millionième de gramme dans cent tonnes d'uranium). Le plutonium est produit en quantités significatives au cœur des réacteurs nucléaires par la transformation, sous l'effet d'un flux de neutrons, d'une partie des noyaux de l'uranium 238 qui compose le combustible. Des isotopes du plutonium, 239, puis 240, 241 et 242 sont formés dans le combustible irradié, intimement mêlés à plus d'une centaine d'autres isotopes radioactifs.

Le MOX

Le combustible, MOX (mélange de dioxydes d'uranium appauvri et de plutonium) contient environ 91,5% d'uranium appauvri en uranium 235 et 7 à 9% de plutonium issu du retraitement des combustibles irradiés d'un réacteur. Le recours aux combustibles MOX a débuté en 1987.Actuellement, une vingtaine de réacteurs de plus de 900 MW utilisent du combustible MOX en

France (centrales de Chinon, Dampierre, Gravelines, St Laurent, Tricastin).
Le MOX s'est trouvé être le « débouché » d'une partie importante du plutonium produit par le retraitement, les surgénérateurs étant définitivement arrêtés. L'activité totale du combustible MOX « neuf » est essentiellement constituée par l'activité bêta du plutonium 241.
La radioactivité de un kg de MOX est de l'ordre d'un million de fois plus importante que celle d'un kg d'uranium naturel.
Le MOX rend le réacteur plus difficile à piloter et, en cas d'accident, sa présence facilite la détérioration et la fusion des combustibles (dans le réacteur lui-même et dans les piscines des combustibles irradiés) et, en cas d'émissions radioactives, ce qui est le cas à Fukushima, des particules de plutonium peuvent être dispersées dans l'environnement (terre et eau principalement).

Ce système aboutit à une accumulation de déchets de natures très différentes :
* des combustibles irradiés classiques non retraités (car tous les combustibles envoyés à La Hague ne sont pas retraités) ;
* des combustibles MOX irradiés qui ne sont pas retraités (qui contiennent des quantités importantes de plutonium) ;
* des verres contenant les produits de fission et les actinides mineurs hors plutonium ;
* des quantités considérables d'uranium de retraitement qui n'est pas réutilisé, des produits de fission, des déchets liés aux opérations de retraitement et au fonctionnement de l'usine.
Les combustibles irradiés non retraités et notamment les combustibles MOX sont de très haute activité mais sont considérés non pas comme des déchets mais des « matières valorisables », même s'il est à peu près certains que la plupart d'entre eux ne seront jamais « valorisés » et constitueront des déchets ultimes. Il en est de même de l'uranium appauvri issu de l'enrichissement, de l'uranium issu du retraitement et du plutonium non réutilisé.
Il reste actuellement des quantités importantes de plutonium entreposées à l'usine de retraitement de La Hague, de l'ordre de 56 tonnes fin 2013, dont 39,5 appartiennent à la France.

- LD et JPP de l'EDD :
Quel intérêt alors d'une telle usine de retraitement qui ne fait qu'accroître la production de déchets et qui est abandonnée partout ailleurs ?

- Bernard Laponche :
Les combustibles irradiés MOX n'étant pas retraités, le retraitement en France ne réduit finalement que d'environ 15% la quantité de plutonium produite dans les réacteurs actuellement en activité, dont une partie reste « en stock » à La Hague. De plus, tous les combustibles irradiés, initialement à uranium enrichi, ne sont pas retraités afin de na pas augmenter les quantités de plutonium « séparé ».
Il apparaît clairement que le retraitement n'a pas en réalité pour objectif une gestion optimale des déchets mais bien la production du plutonium (les usines de La Hague se nomment d'ailleurs UP2 et UP3 et UP signifie « Usine Plutonium »).
Le retraitement n'apporte aucun progrès dans la gestion des déchets nucléaires et ne fait que la rendre encore plus complexe.

- LD et JPP de l'EDD :
Que peut-on dire du projet « d'une autre solution française » : l'enfouissement ultime ?

- Bernard Laponche :
Dès les années 1980, l'industrie nucléaire et la puissance publique se sont orientées vers l'idée d'un stockage géologique en profondeur des déchets les plus dangereux et ont décidé de lancer des recherches sur l'identification et la validation de sites favorables dans différents types de formations rocheuses sur le territoire national. Face aux oppositions très fortes des populations locales, le Gouvernement de l'époque décida, en 1989, un moratoire sur la recherche des sites.

Ayant d'abord décidé par la loi de 1991 d'explorer la faisabilité d'un stockage profond en site granite ou en site argile, les autorités françaises ont abandonné l'option granite du fait du refus des populations et la recherche s'est concentrée sur l'argile, avec la construction sur le site de Bure, zone peu peuplée et relativement pauvre aux confins de l'Ardenne et de la Champagne, d'un laboratoire de recherche de l'ANDRA, agence nationale chargée de la gestion des centres de stockage des déchets, qui a fonctionné à partir de 2011.
Ces travaux ont abouti à la présentation du projet Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) de stockage irréversible par l'enfouissement à 500 mètres de profondeur dans la couche d'argile (de 130 mètres d'épaisseur), les déchets « moyenne activité à vie longue (MA-VL) et « haute activité à vie longue » (HA-VL).

D'année en année, la nécessité d'un large débats public a peu à peu été ressentie, et en 2005, la Commission nationale du débat public (CNDP) s'est vue confier, pour la première fois, un débat public sur la question générique du devenir des déchets nucléaires. Ce débat a notamment fait émerger le concept« d'entreposage pérenne » pour la gestion à moyen et long terme des déchets de haute ou moyenne activité, alors que l'ANDRA, avec le soutien des pouvoirs publics, proposait comme unique solution l'enfouissement définitif de ces matières dans une couche géologique profonde.
L'entreposage pérenne consiste à entreposer les déchets dans des conditions qui autorisent leur examen périodique, par exemple tous les 30 ou 50 ans, la remise en état de leurs emballages de protection, leur recyclage éventuel si des progrès technologiques le permettent. Le président de la CNDP, présentant le bilan du débat de 2005/2006, affirmait d'ailleurs : « *La population a montré son incrédulité totale à l'égard des prévisions à long terme (justifiant aux yeux de l'administration le choix d'un stockage géologique) : personne ne peut savoir ce qui se passera dans mille ans, dans dix mille ans. Est apparue l'idée qu'aux échéances d'une à quelques décennies, il était sage d'ajouter des échéances de moyen terme (100-150 ans)* ». Il ajoutait : « *L'apport le plus notable du débat public est l'apparition d'une nouvelle stratégie… l'idée d'entreposage pérennisé, non plus solution provisoire, fut-elle de longue durée, mais autre solution de stockage* ».
La loi de juin 2006 a réaffirmé, pourtant, comme solution de référence le stockage en couche géologique profonde en contradiction avec les conclusions du débat.

Le projet Cigéo (Centre industriel de stockage géologique) serait d'une taille colossale

D'après l'ANDRA, l'espace de stockage à 500 m de profondeur s'étendrait sur 12,2 km de puits et descenderies, 76 km de galeries, 180 km d'alvéoles qui contiendraient les colis de déchets HA-VL et MA-VL du programme électronucléaire français (tous les réacteurs arrêtés ou en fonctionnement jusqu'à une durée de fonctionnement de 50 ans).
Ce projet a été retenu par les autorités et soumis à un second débat public de la CNDP sur le projet Cigéo lui-même, en 2013.
Ces débats publics ont mis en évidence de nombreux problèmes de sûreté pendant la durée de la phase d'exploitation (chargement du stockage) qui devrait durer une centaine d'années, a permis de questionner la pertinence de ce type de stockage et a demandé l'exploration de solutions alternatives. En effet, peut-on vraiment « garantir », comme le prétendent les promoteurs de Cigéo, un stockage sans encombre de matières très fortement radioactives pendant plus de cent mille ans, voire un million d'années ? Certes, les expériences réalisées sur les couches géologiques permettent de calibrer des modèles complexes, mais nul ne peut s'engager sur des événements géologiques inattendus, et aujourd'hui probablement inimaginables, ni de se prémunir contre des événements accidentels dans les stockages (colis défaillants non récupérables, production d'hydrogène exigeant une ventilation très importante et continue en phase d'exploitation, risques d'incendie, risques de sabotage…), ou des infiltrations d'eau à moyen et long terme. Outre que cette solution ne diminue ni la quantité ni la dangerosité des déchets mais les déplace dans l'espace et dans le temps, sans savoir

ce qui peut se passer dans les siècles et les millénaires à venir.

- LD et JPP de l'EDD :
En fin de compte, pensez-vous que le stockage de déchets radioactifs en profondeur dans la croûte terrestre est acceptable ?

- Bernard Laponche :
Il est aventureux de prétendre « imaginer l'inimaginable » quand il s'agit de « garantir » un stockage sans encombre pendant plus de cent mille ans.
Le risque d'infiltration d'eau dans des couches géologiques est probablement le principal risque « technique » à long terme, sans doute inévitable : reste à savoir au bout de combien de temps des eaux chargées d'éléments radioactifs pourraient remonter à la surface. Et cela quelle que soit la nature de la couche géologique concernée.
Un inconvénient majeur est la perte de mémoire de ce stockage souterrain. Selon certains, l'objectif de l'enfouissement des déchets étant de les « faire disparaître », la meilleure solution serait de ne rien signaler aux générations futures et de confier à la géologie le soin de maintenir ces déchets bien calfeutrés et ignorés. Pour les autres, il faut au contraire faire le maximum pour signaler, sur longue période, la présence de ce lieu souterrain de risque majeur. Mais on parle de siècles et de millénaires !
Quelles que soient les précautions prises, information ou non, suffisamment de bouleversements de toute nature peuvent provenir pour que la seule mémoire reste sans doute « *qu'il y a quelque chose au fond qui pourrait bien être précieux* » et qu'il faudrait aller le chercher.
Ce qui paraît à court et moyen terme le plus grave est que si la France, « championne du nucléaire », adoptait cette solution d'enfouissement en profondeur dans la croûte terrestre, il n'est pas difficile d'imaginer que de nombreux États ou entreprises s'empresseraient de « faire comme la France » y compris pour toutes sortes de déchets toxiques, dans des conditions invérifiables dans la pratique. La croûte terrestre serait parsemée de trous soigneusement (ou peu soigneusement) rebouchés, contenant des déchets extrêmement dangereux. Les exemples du stockage en profondeur de déchets chimiques de Stocamine en Alsace, ravagé par un incendie ou celui du stockage en profondeur également de Asse en Allemagne de déchets radioactifs attaqués par des infiltrations d'eau, avec la nécessité de récupérer les déchets, ne peuvent qu'inciter à la plus grande prudence vis-à-vis des certitudes affichées des promoteurs de Cigéo.

Après la pollution de l'atmosphère et des océans, si difficile à endiguer et à réduire, l'homme s'attaquerait ainsi sérieusement au sous-sol. Sous-sol riche en matières premières, en ressources énergétiques et surtout lieu de circulation et de stockage de l'eau, indispensable à la vie sur la Terre.
Le choix du stockage en profondeur est un choix imposé aux générations futures car irréversible dans la pratique.

Les travaux des récents prix Nobel 2018 Gérard Mourou et Donna Strickland proposent une technique laser appelée « *Chirped pulse amplification* » (CPA), amplification par dérive de fréquence : Méthode de génération d'impulsions optiques ultra-courtes de haute intensité par laser qui pourrait réduire la durée de vie des déchets nucléaires. Ce projet de recherche qui serait développé avec le CEA pourrait donner des résultats dans 10 à 15 ans.
Sans préjuger de la réussite et de l'acceptabilité d'une telle technique, il serait logique et largement préférable de « donner du temps » à la recherche, tout en assurant un entreposage sûr et sécurisé des déchets nucléaires.
On connaît la réponse : coupler, pendant une période qui peut sans difficultés s'étaler sur trois siècles (Orano déclare construire des conteneurs de stockage à sec de durée assurée pour 300 ans), un effort international sans précédent de recherche pour réduire la nocivité et la durée de vie de ces déchets, associé à un entreposage à sec en sub-surface (faible profondeur non inondable ou flanc de

colline), afin d'assurer leur protection, leur contrôle et leur surveillance, dans des conditions d'accessibilité et de réversibilité, comme le demandent les élus de la Nation.

- LD et JPP de l'EDD :
Après 40 ans de service de la plupart des centrales électronucléaires françaises, la question se pose maintenant de leur démantèlement à court ou moyen terme.

- Bernard Laponche :
Que suppose le démantèlement d'une tranche nucléaire ?
Le démantèlement d'une centrale nucléaire produit 80% de déchets « conventionnels » (non radioactifs) et 20% de déchets radioactifs qui, pour la grande majorité, sont de très faible activité. Mais une partie d'entre eux sont des déchets à forte activité.

Il y a trois étapes :

1.) La mise à l'arrêt définitif (MAD) comprenant
    - le déchargement du combustible du cœur du réacteur
    - son entreposage pendant deux ans en piscine de « désactivation » du bâtiment combustible,
    - la vidange des circuits.
2.) Le démantèlement partiel incluant la destruction de tous les bâtiments en dehors du bâtiment abritant le réacteur, ce qui comprend :
    - la décontamination et la destruction de tous les bâtiments en dehors du bâtiment abritant le réacteur nucléaire ;
    - le confinement du bâtiment du réacteur nucléaire
3.) Le démantèlement total du bâtiment réacteur, ce qui comprend :
    - le démantèlement des échangeurs thermiques (ou « générateurs de vapeur ») ;
    - le démantèlement du bloc réacteur (la cuve) ;
    - la destruction du bâtiment du réacteur nucléaire.

Deux options sont ensuite possibles :
* commencer le démantèlement de suite « sans attendre », ou …
* attendre que des techniques industrielles soient mises au point.

« Sans attendre », c'est en principe le choix qu'avait fait EDF, pour les REP en fonctionnement et pour les réacteurs arrêtés définitivement : « *Dans ce cas, l'objectif est double : ne pas laisser aux générations futures la charge de la déconstruction, et bénéficier de l'expertise et des compétences des salariés actuels, qui ont participé à l'exploitation des centrales aujourd'hui à l'arrêt. Ce choix est cohérent avec les préconisations de l'ASN et de l'AIEA* ». On pourrait également y ajouter, si le démantèlement est différé, les risques de contamination et de pollution des milieux et sur la sécurité, notamment des travailleurs dus à la détérioration des structures avec le temps ainsi que leur plus grande fragilité vis-à-vis d'agressions extérieures de type inondation ou séisme ou actes de malveillance.

- LD et JPP de l'EDD :
Quels sont en fin de compte les problèmes rencontrés dans le démantèlement des centrales ?

- Bernard Laponche :
Cela ne pose pas, en principe, de problèmes techniques majeurs, les Etats-Unis et l'Allemagne le pratiquent. Mais c'est une technique difficile qui demande d'excellents professionnels. Outre ces difficultés, particulièrement importantes en termes de risques pour les travailleurs, se pose la

question du coût de cette opération et celle de la gestion de la quantité considérable des déchets qui en résultent.

Par exemple : La centrale nucléaire de Maine Yankee (1 réacteur PWR de 900 MW) était installée dans l'Etat du Maine, sur un terrain de 3,2 km2. Elle avait été exploitée de1972 à 1997. Elle a été entièrement démantelée en octobre 2005 avec « retour à l'herbe » ; il n'en subsiste qu'une installation approximativement de la taille d'un terrain de foot pour le stockage temporaire du combustible usagé. Le démantèlement du bâtiment réacteur a été effectué en 2004, à l'explosif ! (méthode interdite en France). Le démantèlement a été accompli de 1997 jusqu'en 2005. Les déchets radioactifs ont été enlevés en 2005. Actuellement, le terrain occupé par la centrale est arrivé au dernier stade de la restauration et il devrait, en principe, pouvoir être réutilisé normalement.
Le problème qui subsiste concerne les assemblages de combustible usé qui sont toujours bloqués sur le site en attendant le règlement du problème du stockage de longue durée sur le site désigné de Yucca Mountain dans le Nevada mais qui a été abandonné.

En France, pour le démantèlement commencé en 2001 du réacteur à eau pressurisée Chooz A dans les Ardennes, construit sous licence Westinghouse en 1962, fermé en 1991, EDF a fait appel en 2009 au groupement « Westinghouse-Nuvia » pour le démantèlement de la cuve et de ses internes et à ONET Technologies et Areva, pour les autres équipements.

Un problème de coût et de financement

Il apparait que les sommes provisionnées par EDF sont bien en deçà des coûts observés dans d'autres pays. EDF a provisionné de 350 à 500 millions d'€ par réacteur alors que le coût en Allemagne est de 1 à 1,2 milliard d'€, et aux Etats-Unis de 1, 5 Milliards d'€.
La Cour des Comptes (rapport de 2012) a effectué la comparaison des évaluations des charges de démantèlement de six pays (Allemagne, Belgique, Japon, Royaume-Uni, Suède et Etats-Unis, avec parfois plusieurs évaluations disponibles par pays. Les valeurs calculées à partir des données étrangères sont toutes supérieures à celle d'EDF.

Extrapolation du coût du démantèlement du parc français actuel (REP), à partir des exemples étrangers, en Md€ 2010.

Méthodes utilisées par	EDF	Suède	Belgique	Japon	Etats-Unis. 3 méthodes	Grande - Bretagne	Allemagne. 4 méthodes
Extrapolation pour 58 réacteurs	18,1	20	24,4	38,9	27,3 33,4 34,2	46	25,8 34,6 44 62

Les deux pays les plus instructifs pour le cas français sont l'Allemagne et les Etats-Unis car ils ont une expérience du démantèlement de réacteurs de la même filière REP que les centrales EDF du parc actuel.
Bien-sûr, plus une charge est éloignée dans le temps, plus elle est difficile à prévoir avec précision et plus la valeur du temps est importante ; en conséquence, le montant des provisions doit être estimé et revu à la hausse au fur et à mesure que le temps passe.

C’est aussi une question de temps

Le démantèlement de la centrale de Brennilis arrêtée en 1985 a commencé en 1997 et ne sera pas achevé avant 2030.
Aux Etats-Unis, l’autorité de sûreté NRC exige que les centrales nucléaires soient démantelées dans les 60 ans. En ce qui concerne les unités San Onofre 2 et 3, il est attendu à ce que le démantèlement puisse être terminé au bout d’environ 20 ans.

En France, le CIDEN (Centre d’Ingénierie, Déconstruction et Environnement d’EDF) présentait, daté du 14 mars 2013, un programme de démantèlement des réacteurs UNGG en deux phases :

- **Première phase** : démantèlement du réacteur Bugey 1 à partir de 1994, avec la partie (la plus délicate) de démantèlement du réacteur et l’extraction du graphite entre 2018 et 2033, suivie de la démolition et la réhabilitation du site jusqu’en 2037.
- **Deuxième phase** : démantèlement du réacteur et extraction du graphite des deux réacteurs de Saint-Laurent (les opérations précédentes étant alors réalisées) entre 2021 et 2037 et la même opération pour les réacteurs de Chinon entre 2025 et 2041.

Cependant, en avril 2016, l’opérateur d’électricité proposait à la fois un changement de la méthode - démantèlement à l’air plutôt qu’à l’eau, considéré jusqu’ici comme de loin le plus favorable, et allongement de plusieurs décennies de opérations de démantèlement, en contradiction totale avec la doctrine du démantèlement « sans attendre » jusque-là prônée par EDF. Cette nouvelle stratégie présentée par EDF supposerait alors des durées globales de démantèlement de l’ordre de la centaine d’années après l’arrêt des réacteurs !

Et un problème de savoir-faire,

Il n’existe pas d’entreprise en France spécialisée dans ces techniques. Par ailleurs, plus le temps passe, plus on retarde la décision d’arrêter, plus il y a perte de mémoire concernant la singularité de chaque site.
Fessenheim pourrait alors devenir alors un site pilote.

En conclusion, si la question du démantèlement des centrales nucléaires est possible mais pose le problème déterminant de son financement, il n’en est pas de même de la question des déchets pour laquelle, il n’existe pas aujourd’hui de solution satisfaisante pour éliminer les déchets radioactifs, ni même pour réduire les risques qu’ils représentent, jusqu’à des centaines de milliers d’années pour certains d’entre eux. Leur stockage est un choix imposé aux générations futures. La sagesse serait donc de cesser d’en produire. Le choix d’utiliser ou non l’énergie nucléaire est loin d’être seulement scientifique et technique : c’est fondamentalement un choix éthique, politique et citoyen.

°O°

Bibliographie

- *Le casse-tête des matières et déchets nucléaires*, Les cahiers de Global Chance, n° 34, novembre 2013
- Bertrand Thuillier : *Les risques d’exploitation du centre industriel de stockage (CIGÉO)*, article 115 de l’Encyclopédie de l’énergie, juillet 2016. *https://www.encyclopedie-energie.or…*
- Inventaire ANDRA 2018

Sur Internet

* Site de Global Chance : *www.global-chance.org*
* Andra : *https://www.andra.fr/*