

# Éléments de conclusion et recommandations

Le document que nous avons présenté met en évidence une série de questions et fournit des éléments de réponse que nous présentons en conclusion de ce travail.

## ***1. On ne sait pas qu'en faire, faut-il continuer d'en produire ?***

Effectivement, aucune solution satisfaisante n'a été jusqu'ici trouvée pour éliminer les déchets radioactifs ni même pour réduire les risques qu'ils présentent, jusqu'à des centaines de milliers d'années pour certains d'entre eux.

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. Il n'en a rien été. Au contraire: en 1974 déjà, les scientifiques savaient que le problème des déchets nucléaires deviendrait crucial. Mais certains d'entre eux estimaient que « avant que ce problème ne soit crucial, les scientifiques auront trouvé une solution ». C'était encore l'époque de la confiance absolue en la science...

Conscients de cette impasse, certains pays qui avaient développé cette utilisation y ont renoncé et notamment deux des quatre principaux pays de l'Union Européenne, l'Italie et l'Allemagne. La position de l'Allemagne a été clairement exposée par Wolfgang Renneberg, directeur général chargé de la sûreté nucléaire au ministère de l'environnement de l'Allemagne de novembre 1998 à novembre 2009, dans un discours prononcé à Madrid, le 24 mai 2001 :

*« Comme vous le savez tous, le gouvernement de l'Allemagne a décidé d'éliminer progressivement l'utilisation commerciale de l'énergie nucléaire. Je vais préciser quelques-unes des raisons les plus pertinentes qui fondent de cette décision.*

*La décision du gouvernement d'éliminer cette utilisation résulte d'une réévaluation des risques que présente cette technologie. Nous ne disons pas que les centrales électriques en Allemagne ne sont pas sûres au regard des standards internationaux. Cependant, le gouvernement allemand est d'avis que l'ampleur des effets des accidents nucléaires possibles est telle que cette technique ne peut être justifiée, même si la probabilité d'un tel accident est faible.*

*Une raison supplémentaire est qu'aucune solution pratique au problème de l'élimination finale des déchets hautement radioactifs n'a encore été trouvée. Les déchets radioactifs sont un fardeau pour les générations futures. L'arrêt définitif de la production d'électricité d'origine nucléaire supprime la production de nouveaux déchets.*

*Une autre raison est que les nombreuses mesures qui sont nécessaires pour réduire les risques d'une utilisation des matériaux fissiles à des fins destructrices au niveau national et international ne peuvent remplir leur fonction de protection, de sûreté et de contrôle que si les pays concernés jouissent de conditions sociales, économiques et politiques stables. La fin de l'utilisation commerciale de l'énergie nucléaire en Allemagne et l'arrêt du retraitement du combustible allemand réduit le stock de matériaux « proliférants ». À cet égard, ce choix contribue à réduire les risques de prolifération. »*

Et cela était dit bien avant Fukushima.

La même décision serait possible en France. A tout le moins, il est en tout cas indispensable de réduire la quantité de déchets radioactifs produits et cela de trois façons complémentaires :

- Réduire les consommations d'électricité, notamment pour les usages qui lui sont spécifiques (électroménager, audiovisuel, bureautique et informatique dans les secteurs résidentiel et tertiaire représentent environ

la moitié de la consommation totale d'électricité en France).

- Ne pas exporter d'électricité d'origine nucléaire (actuellement la production d'environ dix unités de 900 MW de puissance électrique), dont on garde en France les déchets nucléaires qui en résultent.
- Réduire la production d'origine nucléaire au profit de la production d'origine renouvelable (notamment éolien et photovoltaïque).

De plus, il est indispensable d'arrêter la production de plutonium par le retraitement des combustibles irradiés car c'est une industrie à haut risque et polluante, tant au niveau de l'usine de La Hague que de l'usine Melox de fabrication des combustibles MOX et des transports de plutonium. Sans parler du risque d'extension de la prolifération des armes nucléaires, l'une des raisons de la décision allemande.

## ***2. Des déchets radioactifs et des matières radioactives sont produits dans toutes les activités du combustible nucléaire et en particulier le retraitement. Quel en est le bilan ?***

Il y a effectivement une grande quantité et une grande variété de déchets déjà produits. Pour s'en tenir à ceux résultant de la production d'électricité à partir de la chaleur produite dans les réacteurs nucléaires, on trouve d'abord les combustibles irradiés qui sont entreposés dans les piscines voisines des réacteurs, puis dans la grande piscine de La Hague, en attente du retraitement (production de plutonium, séparation de l'uranium restant, dit uranium appauvri de retraitement, produits de fission et actinides autres que le plutonium). Le retraitement des combustibles irradiés qui permet cette séparation des composants des combustibles irradiés engendre de nouvelles catégories de déchets (tout en réduisant la quantité de combustibles irradiés): les verres qui renferment les produits de fission et les actinides hors plutonium et sont entreposés pour plusieurs dizaines d'années à La Hague, des déchets liés aux opérations de retraitement (gainés des combustibles, boues de traitement des effluents, équipements usés radioactifs, etc.), du plutonium non réutilisé dans les combustibles MOX. Il faut également noter que le retraitement ne s'applique qu'aux combustibles à uranium naturel enrichi, tandis que les combustibles MOX ne sont pas retraités et restent stockés dans les piscines de La Hague. Il faut ajouter à cette liste déjà longue les résidus des mines d'uranium exploitées en France dans le passé, l'uranium issu du retraitement des combustibles irradiés (24 000 tonnes fin 2010), l'uranium appauvri issu de l'enrichissement de l'uranium naturel (271 000 tonnes accumulées fin 2010), les déchets des usines de fabrication des combustibles (notamment du combustible MOX). Soulignons par ailleurs que l'utilisation du plutonium dans les combustibles MOX ne diminue la quantité de plutonium (entre combustible

neuf et combustible irradié) que de 20 % environ et que les combustibles MOX irradiés, outre le fait qu'il ne peuvent pas être retraités industriellement dans les conditions actuelles, sont beaucoup plus chauds et radiotoxiques que les combustibles irradiés issus de combustibles à uranium enrichi.

Pour les déchets de faible activité (qui proviennent actuellement surtout des usines de retraitement et des centrales nucléaires mais auxquels il faudra ajouter beaucoup de déchets provenant du démantèlement des réacteurs nucléaires lorsqu'ils seront arrêtés, il existe actuellement trois centres de stockage en surface gérés par l'Andra à Soulaire, Morvilliers et La Hague (centre de stockage de la Manche).

Ces différents stockages et entreposages posent des problèmes (notamment pour le centre de La Manche), mais la situation la plus critique concerne l'entreposage des combustibles irradiés (en particulier MOX) dans les piscines des centrales nucléaires et surtout celle de La Hague qui contient environ l'équivalent de cent chargements complets d'un réacteur de puissance (environ 1 000 MW de puissance électrique). En effet, ces piscines ne sont pas sécurisées vis-à-vis des agressions extérieures naturelles, terroristes ou militaires), situation qui ne peut perdurer et a été soulignée par l'autorité de sûreté nucléaire (ASN).

On a ainsi toute une gamme de déchets, depuis des matières entreposées dont une partie sera retraitée (les combustibles à uranium) jusqu'aux résidus des mines, en passant par toutes les catégories qui se distinguent par leur activité (haute activité HA, moyenne activité MA, faible activité FA) et la durée de vie (on parle de « demie vie » qui est le temps au bout duquel la quantité initiale du produit concerné a été réduite de moitié), celles-ci allant jusqu'à des centaines de milliers d'années pour certains produits.

Les déchets radioactifs prévus pour le stockage dans Cigeo (HAVL, les verres stockés à La Hague, et MAVL, en conteneurs de bitume ou de béton) ne constituent donc qu'une partie minoritaire de l'ensemble des déchets et matières nucléaires (non seulement en volume mais aussi en radioactivité) actuellement sur le territoire, que ceux-ci soient appelés dans le langage « nucléaire » déchets radioactifs ou matières « valorisables » (comme le plutonium), puisqu'on sait qu'une très grande partie de ces matières ne sera probablement pas valorisée.

C'est en particulier le cas pour le plutonium qui est présent à la fois « sur les étagères » de La Hague et dans les combustibles MOX irradiés

Ce qui paraît de la première urgence est d'assurer la sécurité des stockages et entreposages actuels, avant de se lancer dans des opérations de stockage en profondeur. Ajoutons pour être complets que la France, qui a choisi le retraitement, ne retire qu'un millier de tonnes de combustible irradié par an, alors que nos centrales en « produisent » 1 200 tonnes. Il y a donc

accumulation progressive de combustibles irradiés non retraités qu'il va falloir entreposer dans des conditions de sécurité acceptables.

### **3. Le stockage de déchets radioactifs en profondeur dans la croûte terrestre est-il acceptable ?**

Il est aventureux de prétendre « imaginer l'inimaginable » quand il s'agit de « garantir » un stockage sans encombre pendant plus de cent mille ans. 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 unimaginables.

Plus concrètement, 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, l'argile étant toutefois plus favorable que le granite selon ce critère.

Le second inconvénient est la perte de mémoire de ce stockage souterrain. Certes, ce problème est étudié et les idées ne manquent pas. Selon les uns, 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 ; que sera cette région à très long terme ? Et, 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, il n'est pas difficile d'imaginer que de nombreux États et entreprises s'empresseraient de « faire comme la France ». Ce modèle idéal serait internationalement adopté pour faire disparaître non seulement des déchets radioactifs mais aussi toutes sortes de déchets toxiques, dans des conditions invérifiables dans la pratique. Et l'on se trouverait en moins d'un siècle avec une croûte terrestre parsemée de trous soigneusement rebouchés, contenant des déchets extrêmement dangereux.

Après la pollution de l'atmosphère et des océans, si difficile à endiguer et à réduire, l'homme s'attaque 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.

De la même façon que des conventions internationales (convention climat, protocole de Montréal, convention OSPAR) tentent d'améliorer la situation de l'air et de l'eau, il n'est pas interdit de penser que les générations qui nous suivent seront moins destructrices que les nôtres et qu'une convention internationale verra bientôt le jour, interdisant le stockage en profondeur de tout déchet toxique ou radioactif.

Enfin, une fois refermé, le stockage en profondeur serait un choix imposé aux générations futures, car irréversible dans la pratique.

Le choix de faire ou ne pas faire un stockage profond est loin d'être seulement scientifique et technique : c'est un choix éthique, politique et citoyen.

### **4. Le projet CIGEO présente-t-il des risques pendant toute la durée de son exploitation ?**

A travers l'analyse des trois grands accidents de réacteurs nucléaires, encore très partielle dans le cas de Fukushima, on se rend compte que l'évaluation par les concepteurs des risques encourus, privilégie l'évaluation séparée des situations d'anomalies ou de défaillances, et leurs niveaux envisageables. Cette évaluation est déjà extrêmement difficile, repose sur des modèles de calcul complexes dont les paramètres sont ajustés sur des expériences limitées et sur le « retour d'expérience » des incidents et accidents. On comprend alors combien la juxtaposition, parfois fortuite, de ces situations de défaillances (erreur de conception, usure des matériaux, équipements, appareils) et d'agressions externes dans des systèmes complexes peut relever de l'impossible (d'où l'expression aujourd'hui à la mode : « il faut imaginer l'inimaginable »). S'y ajoutent les erreurs humaines, inévitables pendant une période de cent ans et dont certaines peuvent avoir de graves conséquences (par exemple des erreurs dans l'acceptation pour stockage profond des colis après leur livraison sur le site : qu'un « mauvais colis », émetteur d'une forte quantité d'hydrogène, soit enfoui, avec risque d'explosion).

Trois types de problèmes de sûreté ont été identifiés dans la phase d'exploitation :

- a) La nature et la qualité des « colis » de déchets radioactifs (surtout les MA-VL qui sont de 32 types différents définis dans l'inventaire ANDRA 2012), ainsi que les critères de leur acceptation pour le stockage CIGEO. Très fortes interrogations sur les déchets bitumés<sup>1</sup> à cause du risque d'incendie, et sur les déchets qui émettent de l'hydrogène (quelquefois ce sont les mêmes).
- b) Les risques liés à la production d'hydrogène (inflammation, explosion), nécessitant une ventilation puissante assurée en permanence avec une limite d'une dizaine de jours maximum pour son indisponibilité

<sup>1</sup> - Les déchets bitumés ont une charge radioactive très forte et ils produisent des gaz radioactifs (les déchets bitumés à Marcoule seraient totalement à reconditionner pour être même transportés).

(ce qui paraît pouvoir arriver sur une période d'au moins cent ans).

- c) Le risque d'incendie (présence de batteries, de bitume, d'hydrogène) avec accélération possible du feu par la ventilation.

La question des moyens de fermeture des alvéoles est d'autre part un problème majeur pour le long terme (risque d'attaque des déchets stockés par les infiltrations d'eau).

Des expérimentations et des études sont encore en cours. Peut-être faudra-t-il par exemple en conclure que l'on ne doit pas accepter des déchets bitumés ou des déchets produisant de l'hydrogène.

Tous ces risques ont, bien entendu, été sérieusement étudiés séparément par le maître d'œuvre. Mais imaginons – n'oublions pas que l'on raisonne sur une période de plus de cent ans – que tous ces paramètres, ou une partie d'entre eux se mettent à l'orange. Un accident, une zone non ventilée, une goutte d'huile sur un moteur (flamme), une batterie défectueuse (étincelle), un début d'incendie d'un engin, des colis bitumineux sur l'engin, des fumées, une élévation de température, l'empêchement d'intervenir vite par conséquence, une décision malheureuse en réaction et l'on se trouve dans des situations incontrôlables :

- intervention trop tardive, et les galeries sont trop dégradées pour être accessibles aisément ;
- pas assez d'eau, et l'incendie se développe, trop d'eau, et on augmente le risque de criticité ;
- trop de ventilation, pour éliminer les fumées, mais le feu s'étend, un arrêt de la ventilation, et alors l'hydrogène s'accumule et augmente le risque d'explosion...

### **5. La récupérabilité des déchets, composante technique de la réversibilité, est une obligation. Qu'en est-il en réalité ?**

La logique qui sous-tend la réversibilité affichée devrait bien être la possibilité pratique d'action en cas d'accident ou d'incident générique qui affecterait tout ou partie des colis. On doit pouvoir par exemple envisager d'évacuer tous les colis d'un type donné, par exemple ceux enrobés de bitume, ou tous les déchets vitrifiés, ou tous les déchets d'une galerie déterminée, si des mesures in situ ou des incidents laissent à penser qu'une anomalie grave et imprévue risque de survenir (entrée d'eau, fissuration de la roche d'accueil, etc.)

De plus, dans ce genre de cas, et évidemment encore bien plus en cas d'accident (incendie, perte de ventilation, etc.), la notion de vitesse de sortie des colis devient un paramètre majeur, alors que l'enfouissement peut faire l'objet d'une planification temporelle sur plusieurs dizaines d'années. On imagine mal en effet l'idée d'une réversibilité au même rythme que celui adopté pour l'enfouissement (cent ans) pour répondre à une situation d'urgence.

D'où une série de questions actuellement sans réponse et qui concernent la capacité réelle de récupération des colis d'ici la fermeture définitive potentielle du site vers 2130 :

*- Exhaure des colis à inspecter et à remettre éventuellement en état.*

À quel rythme journalier peut-on sortir des colis en cas d'urgence ? Ce rythme dépend-il de la date à laquelle on a besoin de l'effectuer, entre 2030 et 2130 ? Ce rythme dépend-il de l'état d'endommagement éventuel des colis (en particulier leur état radiologique) ?

*- Entreposage sur les sites et atelier de réparation éventuelle des colis*

Quel type d'installation et quel dimensionnement du site d'entreposage des colis sortis des galeries ? Quelle capacité, quelle surface, quels aménagements de sûreté ?

Quelles solutions de remise en état des colis selon le type de colis sont elles envisagées ? Ces remises en état éventuelles sont elles envisagées sur place ? Dans quel type d'installations, équipées de quels types de machines ? Sinon, où ces colis seront ils transportés et comment ? Quelles précautions de sûreté sont elles envisagées ?

*- Réintroduction éventuelle des colis dans les galeries*

La réintroduction des colis inspectés et/ou remis en état dans les galeries souterraines est elle possible ? Si oui à quel rythme ? Est elle compatible avec l'exhaure simultanée de colis du même site de stockage ?

*- Aspects économiques*

Quels coûts pour l'ensemble de ces opérations à partir de quelques scénarios incidentels ou accidentels ? Quel peut être le coût de la réversibilité si elle porte sur une fraction importante (10 %, 20 %, 50 %) des colis stockés ?

*- Gouvernance et risques pour les riverains*

Qui va prendre les décisions de récupération de colis et sur quelles bases ? Quelles garanties sont apportées aux populations riveraines, à la société, d'avoir un pouvoir d'influencer les décisions ? Quelles mesures de protection des populations riveraines en cas d'exhaure de colis plus ou moins abîmés ?

### **6. Quelle solution préconiser ?**

Trois pistes sont recommandées : la poursuite des recherches afin de réduire, en quantité et dans le temps, la nocivité des déchets radioactifs, la sécurisation des entreposages et stockages actuel, l'entreposage pérenne en sub-surface.

La séparation-transmutation, une des trois voies de recherche de la loi de 1991, ne permettra pas de « régler » la question des déchets. Pour transmuter, il faut « sur-irradier » les déchets avec des neutrons. Et l'énergie de ces neutrons dépend des éléments contenus dans les déchets. Il faudrait donc séparer complètement



tous les déchets (techniquement à peu près impossible, financièrement très élevé), et en outre, cela ne « supprime » pas les déchets. Cela diminue simplement la durée de vie d'une partie des déchets (de 10 000 ans à... quelques centaines d'années). La transmutation est encore étudiée par le CEA, mais cela ne concerne qu'une infime partie des déchets. Et le débat de 2006 a conclu que ce ne pouvait pas devenir une solution industrielle pour les dizaines de milliers de tonnes de déchets existants.

Mais le fait que cette voie de recherche paraisse décevante n'est pas une justification pour ne pas poursuivre les efforts de réduction de la nocivité des déchets radioactifs. La poursuite de ce domaine de la recherche doit être une priorité.

Le stockage en surface (considéré comme « définitif ») existe déjà pour des déchets de faible activité (centres de stockage Andra de Soulaïnes, Morvilliers, la Manche) et n'est pas sans poser des problèmes: il devrait être « contrôlé » pendant au moins 300 ans, voire 800 car il contient parfois du plutonium.

L'entreposage en surface (stockage temporaire) existe également pour les déchets de haute activité que sont les combustibles irradiés ou « usés » à la sortie du réacteur: ils sont tellement chauds et radioactifs qu'il faut les stocker pendant six mois au moins et souvent plus (au moins deux ans et demi pour les combustibles MOX) dans des « piscines », vastes bassins situés auprès des réacteurs et dans lesquels ils sont refroidis en permanence. Ces combustibles sont ensuite transportés à La Hague, également entreposés dans une piscine qui est actuellement la plus grande concentration au monde de déchets radioactifs (l'équivalent du chargement de cent réacteurs nucléaires). Ces piscines, auprès des réacteurs ou à La Hague, ne sont pas sécurisées vis-à-vis d'agressions extérieures graves (naturelles, terroristes ou militaires). La première urgence, comme cela a été souligné par l'Autorité de sûreté nucléaire est la sécurisation de ces piscines, en premier lieu celle de La Hague.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de solution satisfaisante pour la gestion des déchets. Celle qui paraît la moins mauvaise paraît être le « stockage à sec en sub-surface ».

Il y a dans la dénomination « stockage à sec en sub-surface » deux composantes: l'entreposage à sec qui est une technique et la sub-surface qui est un contenant.

L'entreposage à sec existe déjà en France pour plusieurs types de déchets:

- Les verres produits à La Hague qui contiennent les produits de fission et les actinides mineurs (éléments plus lourds que l'uranium, hors plutonium) qui sont issus des combustibles usés provenant des réacteurs et séparés par le retraitement: ils sont entreposés à La Hague dans des silos verticaux et, comme ils sont très chauds, ils sont refroidis par une ventilation naturelle forte et une ventilation forcée. Ce sont des déchets HA-VL (haute activité, vie longue).

- Le plutonium issu lui aussi du retraitement et non utilisé pour faire des combustibles MOX (un stock de 56 tonnes environ à La Hague fin 2012, dont 18,2 t issues de combustibles usés d'origine étrangère) est lui aussi entreposé à sec « sur les étagères » à La Hague (le plutonium est très dangereux en cas d'inhalation ou d'ingestion mais émet peu de rayonnement gamma et n'a pas besoin d'être refroidi).

- Les déchets MA-VL (moyenne activité, vie longue) et notamment les déchets en conteneurs de bitume sont entreposés à La Hague dans des hangars ventilés, sans autre protection.

Mais le plus intéressant est que, en Allemagne et surtout aux États-Unis, les combustibles usés (ou combustibles irradiés) qui sont considérés comme des déchets puisqu'ils ne sont pas retraités comme en France (qui est pratiquement le seul pays à le faire à grande échelle), ont développé et développent des entreposages de longue durée sur le site même des centrales nucléaires (ce qui évite les transports), à sec, pour les combustibles usés, après un séjour d'environ cinq ans dans les piscines de refroidissement situées auprès des réacteurs nucléaires. Les assemblages de combustibles sont placés chacun dans des conteneurs métalliques de type « Castor » (utilisés pour le transport des assemblages pour retraitement à La Hague) ou dans des conteneurs en béton.

Aux États-Unis, la centrale de Surry (deux réacteurs de 840 MW de puissance électrique chacun, à uranium enrichi et eau sous pression, du même type que les 58 réacteurs des centrales nucléaires françaises) est la première centrale à avoir adopté le stockage à sec pour ses combustibles usés.

Quant à la « sub-surface », il s'agit de stocker les combustibles irradiés des centrales sans aucun retraitement dans des galeries creusées à faible profondeur, on dans le flanc de montagnes granitiques. De la sorte, on facilite la surveillance, et on garantit la possibilité d'extraire ces combustibles dans le cas d'une solution technique. C'est la solution préconisée (avec quelques variantes) par la plupart des pays nucléarisés.

Cette méthode peut s'appliquer également aux conteneurs (bien conditionnés) des déchets MA-VL existants, sachant que le meilleur entreposage de longue durée des verres HA existants est actuellement celui de La Hague.