

LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS EN FRANCE

SYNTHESE

Toute activité humaine qu'elle soit ménagère, vie quotidienne, économique, industrielle, commerciale, etc., génère des déchets.

Pour le nucléaire, la question n'est donc pas de produire ou pas des déchets, mais les véritables questions consistent à :

- En produire le moins possible grâce notamment à l'économie circulaire,
- Savoir gérer correctement les déchets produits (matières ultimes) pour qu'ils n'altèrent pas notre environnement.

Notons que par rapport à toutes autres activités industrielles, le volume de déchets produits par l'activité électronucléaire est très faible.

Depuis son origine, l'industrie nucléaire française a apporté un soin méticuleux pour gérer les déchets radioactifs produits. Elle a notamment pris la décision d'assumer ses responsabilités d'exploitant nucléaire en retraitant les combustibles usés de façon à récupérer à la fois l'uranium de retraitement et le plutonium qui sont des combustibles nucléaires (matières nucléaires) et réduire ainsi les déchets de haute activité à vie longue (HA-VL) aux seuls produits de fission et actinides mineurs ainsi qu'à la structure métallique maintenant les crayons de produits fissiles des assemblages combustibles, appelée squelette. Et lorsque cela sera possible elle fermera quasi-complètement le cycle du combustible grâce aux réacteurs surgénérateurs qui permettront d'utiliser la matière nucléaire constituée par l'uranium appauvri (350 000 tonnes en France) issu de l'enrichissement et de réduire partiellement les déchets HA-VL en déchets à période plus courte. Dès lors, il deviendra imaginable de ne plus recourir pendant très longtemps (de l'ordre du millénaire) à l'extraction du minerai d'uranium et à son traitement ce qui éliminera la production de déchets dans l'amont de la filière.

Dans ce qui concerne la gestion des déchets radioactifs, il faut bien distinguer le terme « entreposage » qui signifie un stockage temporaire du terme « stockage » qui est définitif.

La note ci-après montre comment sont traités :

- Les déchets de très faible activité (TFA) qui constituent le plus gros volume et comment on pourra en recycler une grande partie dans l'économie circulaire sitôt que sera prise la décision d'admettre un seuil de radioactivité au-dessous duquel, ils entrent dans le domaine de l'économie circulaire ou des déchets industriels banals,
- Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) avec leur dispositif de confinement et de stockage,
- Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) qui sont pour la plupart des résidus radifères¹ et sont actuellement entreposés sur site et seront stockés dans des couches argileuses autour de 100m de profondeur. Ils ne représentent qu'une très faible partie de la radioactivité totale,
- Les déchets de moyenne et forte activité à vie longue (MA-FA-VL) qui sont entreposés soit sur sites (graphite...) soit dans les matrices de verres gainées par des conteneurs en acier inoxydable (squelette et produits de fission) entreposés depuis le début sur le site de la Hague ce qui illustre leur faible volume en attente d'un stockage définitif en couches géologiques profondes et parfaitement stables de CIGEO.

Toutes ces activités de stockages sont très encadrées par 3 lois de 1991, 2006 et 2016 et surveillées par les parlementaires. Elles sont exercées par un organisme public, L'ANDRA (Agence Nationale pour les Déchets Radioactifs), et surveillées comme les autres activités du cycle par l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire).

Il faut remarquer qu'après plus de 50 ans de fonctionnement de l'électronucléaire en France, plus de 2100² années-réacteurs de fonctionnement des réacteurs à eau pressurisée et une économie de 6,1 milliards de tonnes de CO₂ par rapport à la même énergie produite par des cycles combinés à gaz, les déchets comme l'exploitation des centrales n'ont causé aucun impact ni à l'environnement, ni à l'homme.

Peu d'industries sont capables d'afficher un pareil bilan.

En conclusion, contrairement aux dires selon lesquels il reste le problème des déchets « nucléaires », nous devons affirmer qu'il n'y

¹ Des activités industrielles récentes et anciennes sont à l'origine de déchets peu radioactifs, mais beaucoup plus volumineux que les précédents, les **déchets radifères**. Comme leur nom l'indique, ces déchets contiennent des traces de radium et de ses descendants issus de la filiation de l'uranium que l'on trouve à l'état de traces dans l'écorce terrestre. A côté du radium, dont la durée de vie est longue (1600 ans de période), on trouve du radon, un gaz naturel radioactif dont la période est de quatre jours.

Les déchets radifères sont classés comme des déchets de faible activité à vie longue (**FA-VL**). Ils feront l'objet d'un conditionnement et d'un stockage spécifique, en cours d'étude à l'ANDRA. Voir plus bas.

² Il s'agit du nombre d'années de fonctionnement des réacteurs et non des seules années de fonctionnement à l'équivalent pleine puissance, critères retenus par l'AIEA.

a pas de problèmes de déchets radioactifs. Une solution adaptée et pérenne existe pour tous.

* * * * *

LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS EN FRANCE

Jean Fluchère

De tous les modes de production d'électricité, le nucléaire est celui qui contribue le moins au réchauffement climatique avec l'hydroélectricité selon les chiffres publiés par l'ADEME.

C'est un fait qui commence peu à peu à être connu du public, mais peu de gens savent que, si tous les déchets³ et émissions atmosphériques industriels et ménagers⁴ étaient traités avec le même sérieux que les émissions et déchets radioactifs, notre planète et notre atmosphère seraient bien plus propres. Nous n'aurions pas à affronter les effets de la pollution des terres, des océans et de l'atmosphère résultant de la combustion massive du charbon, du pétrole et du gaz naturel et des rejets des déchets ménagers et industriels.

Dans le cadre de l'économie circulaire, on distingue les matières nucléaires qui ont vocation à être utilisées, l'uranium appauvri résultant de l'enrichissement, mais aussi l'uranium de retraitement et le plutonium issus tous deux du retraitement des combustibles usés dans l'usine Orano de la Hague et qui sont réutilisés comme combustibles.

Ne sont considérés comme déchets radioactifs que les éléments pour lesquels, à l'heure actuelle, aucune réutilisation n'est envisageable. Ce classement peut être amené à évoluer si dans l'avenir certains déchets trouvaient une utilisation ce qui les placerait alors dans les matières nucléaires ou dans les matériaux non radioactifs.

Essayons d'y voir clair sur ces déchets radioactifs, dits aussi déchets nucléaires, dont on entend dire qu'ils posent un problème non résolu, voire insoluble. Les solutions mises en œuvre ou programmées pour traiter ces déchets ont fait l'objet d'évaluations scientifiques indépendantes. Elles ont été choisies à l'issue de débats démocratiques dans les Assemblées Parlementaires et sont

³ En 2018, hors émissions atmosphériques, la France a produit 324 millions de tonnes de déchets soit 5,1 t de déchets par habitant.

⁴ Chaque année, un français produit 354 kg d'ordures ménagères.

soumises à un strict contrôle. Une attention particulière est portée à la transparence et à l'information du public.

Nous allons montrer qu'il n'y a pas de problèmes de déchets radioactifs. Pour tous, il existe une solution adaptée et pérenne.

Retenons d'abord que les atomes radioactifs disparaissent naturellement par décroissance radioactive pour devenir souvent d'autres radionucléides qui se désintègrent à leur tour jusqu'à aboutir à des atomes stables.

Rappelons aussi que notre corps contient des éléments radioactifs. L'isotope 40 du potassium dans notre sang représente 4500 becquerels et l'isotope 14 du carbone contenu dans notre squelette représente 3700 becquerels pour un corps de 70 kg. Un becquerel (Bq) est une unité très petite : une désintégration par seconde, que le rayonnement émis soit très ou très peu ionisant. Le nombre de becquerels ne saurait donc caractériser le risque encouru par l'organisme qui reçoit le rayonnement émis.

La radioactivité naturelle est présente partout et elle est fortement variable d'un lieu à l'autre, beaucoup plus forte sur les massifs de granit bretons que dans les plaines alluviales du Rhône.

En France, les déchets radioactifs sont gérés et surveillés par une Agence l'Etat (l'ANDRA), ayant le statut d'Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC), soumise à la stricte surveillance de l'ASN. Leur volume est très faible au regard des volumes générés par les autres activités humaines et industrielles.

Par opposition aux déchets radioactifs, les matières radioactives sont les produits qui peuvent avoir une utilisation ultérieure, les déchets étant considérés comme n'en ayant pas. Isoler les matières radioactives des déchets est donc un processus d'économie circulaire.

La France est un des seuls pays au monde à avoir fait le choix de recycler autant que possible les produits de fission. Les combustibles électronucléaires usés sont retraités dans les installations ORANO de la Hague. Ce retraitement permet de séparer les déchets du combustible usé et de récupérer des matières nucléaires réutilisables qui sont des combustibles nucléaires comme le plutonium ou l'uranium de retraitement. Ce dernier contient encore de l'isotope 235 fissile de l'uranium à une concentration proche de 1 % c'est-à-dire une valeur supérieure à celle de l'uranium naturel qui est de 0,7 %. Le plutonium à lui seul représente 50 % de la radioactivité des produits de fission. Il est réutilisé comme combustible en étant mélangé à de l'uranium naturel appauvri, combustible appelé MOX et fabriqué dans l'usine MELOX de Marcoule. (Ce plutonium de retraitement contient des isotopes non fissiles du plutonium, ce qui lui enlève toute valeur militaire).

Le retraitement des combustibles usés opéré par la France rentre dans l'exercice de la pleine responsabilité d'un pays qui s'engage dans la voie de l'électronucléaire. La Chine a décidé également de créer une usine de retraitement. La Russie a pris la même décision pour ses activités nucléaires civiles.

Enfin, notons que la France était, jusqu'au 21-12-2021, le seul pays au monde à ne pas avoir fixé un seuil d'exemption de radioactivité au-dessous duquel, les déchets ne sont pas considérés comme des déchets radioactifs et peuvent donc être réutilisés dans d'autres secteurs. Cette question est désormais réglée. Deux décrets publiés le 14-02-2022 au Journal Officiel de la République Française, les décrets 2022-174 et 2022-175 viennent d'aligner la France sur les autres pays en matière de valorisation des déchets de très faible activité ne dépassant pas une valeur de radioactivité de l'ordre de 300 fois inférieur à la radioactivité naturelle. Ce seuil a été fixé par l'ASN et le Ministère de la Santé publique. Désormais une grande partie des déchets de très faible radioactivité pourront être recyclés et entrer dans le cycle vertueux de l'économie circulaire. Ce seuil a été fixé pour garantir l'innocuité des produits recyclés.

Une organisation, une évaluation et un contrôle structurés accompagnent les déchets radioactifs.

En France la gestion, le traitement, ainsi que la conservation des déchets radioactifs artificiels dans des « **entrepôts** » relèvent de la responsabilité exclusive de leurs producteurs, jusqu'à ce qu'ils aient été contrôlés et acceptés par l'Agence nationale publique pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), en vue d'un « **stockage** » définitif.

Dans le domaine public, la population n'est donc jamais en contact avec ces déchets dont le parcours est rigoureusement contrôlé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), toute évolution étant soumise à son autorisation. Cette surveillance porte sur toutes les phases de leur gestion (production, conditionnement, entreposage, transport, stockage) pour lesquelles sont mis en œuvre des moyens agréés, adaptés à leurs niveaux de radioactivité et à leurs natures physiques et chimiques. Ces mesures prennent aussi en compte la protection de la santé des travailleurs du nucléaire (radioprotection) soumise à une réglementation stricte.

Les déchets radioactifs font l'objet d'une gestion encadrée par le législateur (lois de 1991, de 2006 et 2016). Outre le contrôle par l'ASN, l'ensemble fait l'objet d'examens approfondis par l'Office parlementaire des choix scientifiques et techniques (OPECST), le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), une Commission nationale d'évaluation (CNE) ainsi que par la Cour des Comptes pour les aspects coûts.

Le Plan National de Gestion des Matières et Déchets radioactifs (PNGMDR), élaboré par le gouvernement et l'ASN, est révisé tous les 5 ans et est soumis au débat public. Ce plan se fonde sur un Inventaire national des déchets et matières radioactifs (Inventaire national) élaboré sous la responsabilité de l'ANDRA, que les producteurs de déchets sont tenus d'alimenter avec toutes les informations nécessaires (contenu radiologique détaillé, compositions physique et chimique). Cet inventaire est un document public.

1 – La classification est extrêmement précise.

Elle est fonction de la radioactivité des déchets et de leur période ou demi-vie. En effet les produits radioactifs en se désintégrant donnent naissance à d'autres radionucléides jusqu'à devenir des éléments stables et sans émissions de rayonnements ionisants. (La période ou demi-vie est le temps au bout duquel, la moitié des noyaux radioactifs se sont désintégrés.). Leur dangerosité s'estompe donc au fil du temps.

Cette classification a été établie pour définir des modes appropriés de conteneurs, de stockage définitif et de surveillance.

Les salariés, exposés aux rayonnements émis par ces substances, sont protégés par une gestion adaptée à l'intensité des émissions et à leur pouvoir de pénétration dans l'organisme.

Le terme entreposage sert à désigner un stockage provisoire.

Les déchets radioactifs proviennent principalement de l'industrie électronucléaire (à environ 59% en volume) mais sont également produits dans le cadre d'autres activités : recherche (26%), défense (11%), médical (1%), etc.

Il est intéressant d'avoir en mémoire que 0,2 % des déchets radioactifs représentent à eux seuls 96,8 % de la radioactivité. C'est d'ailleurs cette particularité intéressante qui permet un traitement aussi soigné.

Pour donner une idée de ce volume, l'ensemble des déchets de forte activité à vie longue (FA-VL) produits par le parc électronucléaire français depuis plus de 40 ans est actuellement stocké sous forme vitrifiée⁵ dans des conteneurs de manutention en acier inoxydable dans les puits de ventilation du site ORANO de La Hague. Ils seront plus tard transférés dans les alvéoles⁶ de CIGEO.

Les déchets sont classés en 5 grandes catégories en fonction de leur dangerosité et de leur durée de vie (Classification des déchets).

⁵ Ces déchets sont mélangés à du verre en fusion – Voir plus loin.

⁶ On appelle alvéoles des trous horizontaux forés dans l'argilite pour stocker les colis de déchets HA-VL- Voir plus bas.

Type de déchets radioactifs	Niveau de radioactivité en Bq/g	Demi-vie
Très faible radioactivité - TFA	< 100 Bq/g	Variable
Faible et moyenne radioactivité à vie courte - FMA-VC	Quelques centaines de milliers à un million de Bq/g	<31 ans
Faible activité à vie longue FA-VL	Entre 10 000 et quelques centaines de milliers de Bq/g	>31 ans
Moyenne activité à vie longue MA-VL	Entre 1 million et un milliard de Bq/g	>31ans
Haute activité à vie longue HA-VL	Plusieurs milliards à plusieurs dizaines de milliards de Bq/g	Variables mais très longues > 31 ans

D'après l'ANDRA :

• « Le niveau de radioactivité des déchets :	
	○ Très faible activité (TFA) avec une activité inférieure à 100 becquerels par gramme ; ○ Faible activité (FA) avec une activité comprise entre quelques centaines de becquerels par gramme et un million de becquerels par gramme ; ○ Moyenne activité (MA) avec une activité de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme ; ○ Haute activité (HA) avec une activité de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.
• La période radioactive des radionucléides présents dans le déchet :	
	○ Les déchets dits à vie très courte (VTC) qui contiennent des radionucléides dont la période est inférieure à 100 jours ; ○ Les déchets dits à vie courte (VC) dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période inférieure ou égale à 31 ans ; ○ Les déchets dits à vie longue (VL) qui contiennent une quantité importante de radionucléides dont la période est supérieure à 31 ans.

- Les déchets de très faible activité radioactive (TFA) et de faible et moyenne radioactivité à demi-vie courte (FMA-VC) représentent 91%

du volume total. Ils sont stockés définitivement dans deux centres de stockage gérés par l'ANDRA, le Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (CIRES) à Morvilliers et le Centre de stockage de l'Aube (CSA), à Soullaines-Dhuys. Ces sites peuvent être visités.

Les déchets de moyenne et haute activité à demi-vie longue (MA-VL et HA-VL), les plus dangereux, représentent 3 % du volume mais contiennent 96,8 % de la radioactivité de l'ensemble des déchets. Le principe d'un « stockage géologique », c'est-à-dire à grande profondeur dans une formation géologique stable et anhydre (argilite) a été approuvé par l'ASN, acté par le Parlement et inscrit dans la loi. La demande d'autorisation de construction du centre de stockage CIGEO, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute Marne, a été déposée en 2021. Les conditions de stockage et la robustesse de ce milieu géologique ont fait l'objet de 25 ans d'études par l'ANDRA, et d'essais approfondis dans le laboratoire de recherche souterrain de Bures à proximité (Centre de Meuse/Haute-Marne).

- Les déchets de faible activité à demi-vie longue (FA-VL), qui représentent 6 % du volume mais ne contiennent que 0,14 % de la radioactivité, restent aujourd'hui entreposés dans les installations d'entreposage de leurs producteurs. Ils devraient être ultérieurement stockés dans une installation dédiée en subsurface, c'est à dire à faible profondeur, dont les caractéristiques et la localisation restent à définir. Ils présentent en effet un risque très modéré, et la priorité a été donnée à CIGEO.

2. Chiffres clés

En France, que représentent le volume des déchets et le cout de leur gestion en France ?

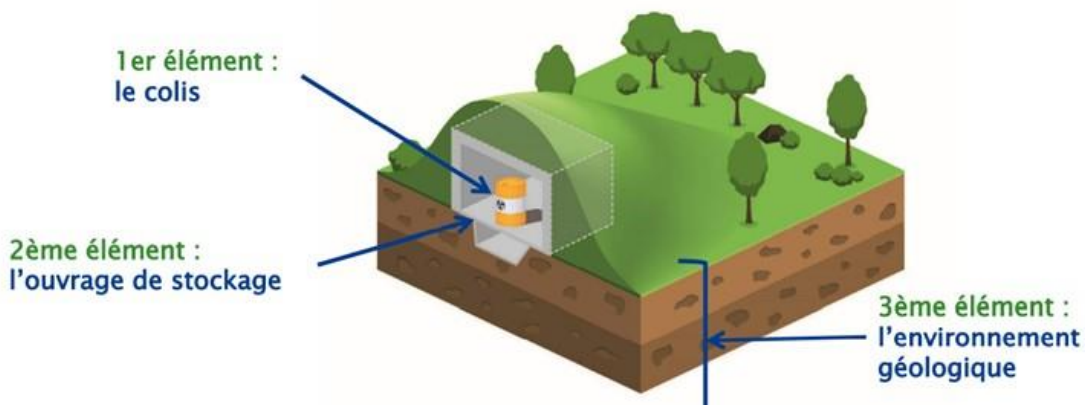
- Le nucléaire produit en France environ 2 kg de déchets radioactifs par habitant et par an (hors conditionnement et emballage), dont quelques grammes seulement de déchets à haute activité et vie longue (HA-VL) qui cumulent à eux seuls environ 96,8 % de la radioactivité globale.

A titre de comparaison 354 kg de déchets ménagers et au total 5 100kg de déchets sont produits en moyenne par habitant et par an. À ce bilan des déchets produits en France, il faut ajouter l'émission de 315 millions de tonnes (soit 4700 kg par habitant) de CO₂, puissant gaz à effet de serre, par an. La différence avec les chiffres des déchets radioactifs explique que ces derniers puissent être traités avec beaucoup de soins.

- L'ANDRA, avait répertorié « 1 640 000 m³ de déchets radioactifs fin 2018, dans l'hexagone », dont 91 % étaient de très faible ou de faible et moyenne activité à vie courte (TFA et FMA-VC).
- Le coût de gestion des déchets représente environ 5% du coût total de l'électricité produite et il est répercuté dans le prix du kWh (autour de 2,5 €/MWh). Un fonds de financement des charges de démantèlement des installations nucléaires et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs (Fonds de financement) est opérationnel et contrôlé par une Commission nationale d'évaluation CNEF.

3. Traitement des déchets radioactifs en France

Le principe du stockage



3.1 - Déchets de très faible activité (TFA) : 27% du volume mais moins de 0,01% de la radioactivité

Les déchets TFA sont principalement constitués de gravats (bétons, terres, etc.) et de ferrailles (tuyauterie, charpentes, etc.), par exemple issus de travaux de déconstruction d'installations nucléaires.

En France, ils sont conditionnés dans des sacs en tissus appelés « big-bags » ou des casiers métalliques, au sein du centre de stockage TFA dans l'Aube. Certains déchets liquides peuvent faire l'objet d'une dessiccation. Les déchets plastiques ou métalliques peuvent être compactés avant d'être

entreposés dans ce centre de stockage de surface. Ils sont simplement isolés de l'environnement.

Les déchets TFA sont livrés au CIRES (centre industriel de regroupement d'entreposage et de stockage).

Ils sont stockés en surface dans des alvéoles creusées à quelques mètres de profondeur dans une couche d'argile. Ces alvéoles sont fermées par une couverture composée d'une couche de sable, d'une géomembrane étanche et d'un géotextile de protection. Une couverture argileuse est ensuite placée sur les alvéoles pour assurer le confinement des déchets. Environ 30 000 m³ de déchets TFA sont traités chaque année. Le stockage sera surveillé pendant une trentaine d'année après remplissage. Leur radioactivité, après 30 ans de stockage sera du même ordre de grandeur que la radioactivité naturelle ambiante.

Dans la plupart des pays qui utilisent l'énergie électronucléaire, les déchets TFA dont la radioactivité se situe au-dessous d'un certain seuil ne sont pas considérés comme des déchets « radioactifs », leur taux de radioactivité étant proche de celui de la radioactivité naturelle. Depuis les 2 décrets du 14-02-2022 mentionnés plus haut, la France vient de s'aligner sur les autres pays.

Dans les illustrations suivantes, on va voir qu'il était urgent de le faire pour n'avoir à stocker que des réels déchets et non des produits qui ne sont pas ou très peu radioactifs.

En effet la question se pose avec le démantèlement des installations comme Chooz A ou Fessenheim prochainement.

- L'enceinte de confinement des réacteurs de 900 MW est une tour construite en béton précontraint protégée côté intérieur du réacteur par un parement métallique en acier. En outre cette enceinte n'est pas exposée aux rayonnements neutroniques et si des contaminations existent, elles se trouvent sur certaines surfaces du parement métallique et au niveau de quelques traversées.

Ceci signifie que tous les granulats résultant du broyage du béton sont du même ordre de grandeur que leur radioactivité naturelle. Idem pour l'acier des câbles de précontraintes et de leurs fourreaux. Même à l'intérieur du bâtiment réacteur une grande partie des bétons ne pose pas de problème de radioactivité et doivent retrouver le circuit des granulats normaux après broyage. Enfin si quelques points de contamination existent sur la face interne du parement métallique, ils sont repérables et nettoyables.

Moyennant cette exigence, tous ces matériaux peuvent être recyclés comme des déchets ordinaires et rentrer ainsi dans le circuit de l'économie circulaire. Ils n'ont pas à venir saturer le CIRES. Il en ira de même d'une grande partie de l'épaisseur des blocs réacteurs UNGG

(réacteurs uranium naturel graphite gaz, les premiers réacteurs français) qui font 8 m d'épaisseur en partie courante. Il suffira de définir une épaisseur au-delà de laquelle les bétons ne sont pas activés⁷ quand ils font face au bloc réacteur et pour les bétons face aux échangeurs, toute l'épaisseur est recyclable.

- S'agissant des matières métalliques, la réglementation française considérait jusqu'à présent que tous les métaux en zone contrôlée sont radioactifs. Il convient d'avoir une approche raisonnée. Si l'on retient les chiffres donnés par l'ingénieur en charge de la déconstruction de Chooz A, il y avait 160 000 tonnes de ferrailles dont beaucoup d'acier inoxydable. En faisant un inventaire précis, la moitié soit 80 000 tonnes ne sont pas du tout radioactives. Ensuite 40 000 tonnes sont parfaitement décontaminables.

Les Suédois des aciéries Sandwicks refondent ces aciers et lorsqu'ils sont en fusion, les particules radioactives plus légères que l'acier surnagent à la surface. Il suffit alors de les éliminer par écrémage pour retrouver un métal sain. C'est le projet qu'EDF veut développer avec son technocentre.

On observe donc que l'on peut recycler des quantités importantes d'acier dont beaucoup sont des aciers inoxydables de grande valeur marchande.

En conclusion, les 2 récents décrets définissant un seuil de libération des matériaux vont permettre d'une part d'éviter de saturer inutilement le Centre de stockage des déchets de très faible activité et, d'autre part, de permettre aux matières concernées de revenir dans le cycle vertueux de l'économie circulaire dont le monde a grandement besoin.

Les deux pages suivantes illustrent le stockage pour trente années des déchets de très faible activité.

⁷ On parle d'un matériau activé quand il a été rendu radioactif par absorption d'un neutron. Les matériaux contaminés sont simplement l'objet d'un dépôt surfacique d'une substance radioactive que l'on peut retirer.

Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)



Stockage des déchets TFA

2003
Ouverture du centre
et début du stockage TFA

46
Hectares dont 18 ha pour
la zone de stockage

650 000 m³
de capacité autorisée

57,9 %
Taux de remplissage à fin 2018

Vue aérienne du Cires

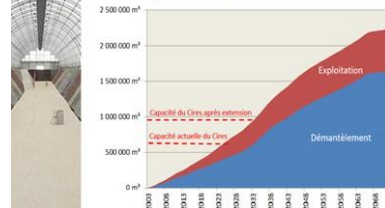


Intérieur d'une alvéole
de stockage du Cires



Perspectives de production de déchets TFA

L'inventaire prospectif de déchets TFA est de 2 100 000 à 2 300 000 m³ selon les hypothèses de l'IN 2018.



Evolution de 2003 à 2073
des volumes cumulés de
déchets TFA produits et à
produire respectivement par
l'exploitation des
installations et le
démantèlement

Explorer des modes de gestion complémentaires

La hiérarchie des modes de gestion des déchets invite à explorer des modes de gestion complémentaires pour limiter les volumes de déchets ultimes à stocker (loi de 2015 relative à la Transition Ecologique pour la Croissance Verte).

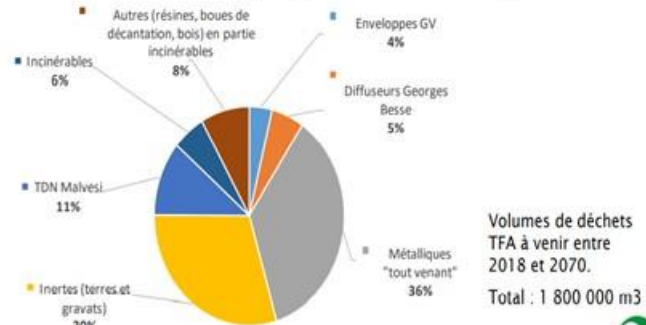


De plus le Cires a été conçu sur les bases d'une installation de stockage de déchets conventionnels dangereux. Or le potentiel de danger peut être différent d'une substance TFA à l'autre, et, pour une partie, nul ou négligeable.

Perspectives de production de déchets TFA



La répartition des natures physiques des déchets devrait progressivement évoluer, avec d'abord une augmentation de la quantité de déchets métalliques puis des terres et gravats.



Les métaux



- Les grands lots homogènes (200 000 m³)
 - Recyclage pourrait être privilégié (fusion)
 - Contrôle avant recyclage facilité par l'homogénéité des lots initiaux et de la fusion, procédure à expliciter
- La question des métaux « tout venant » (650 000 m³) est à mieux regarder flux par flux :
 - Possibilités de recyclage de la part TTFA, immédiat ou différé ?
 - Quel contrôle, quelle traçabilité ?
 - Potentiel important de réduction des volumes à stocker

Les terres et gravats



Les principales incertitudes sur les volumes potentiels TFA à stocker concernent a priori les terres et gravats

Il s'agira d'arbitrer au cas par cas entre :

- la limitation des volumes de déchets à manipuler sur site, ➤ Contrôles et traçabilité in situ ?
- la réutilisation sur site nucléaire (remblais...)
- la réutilisation hors nucléaire pour la fraction la moins active ➤ Contrôles et traçabilité ?
- le stockage de proximité sur sites dédiés, ➤ Bilan environnemental ?
- le transport pour un stockage au CIRES ou son successeur.

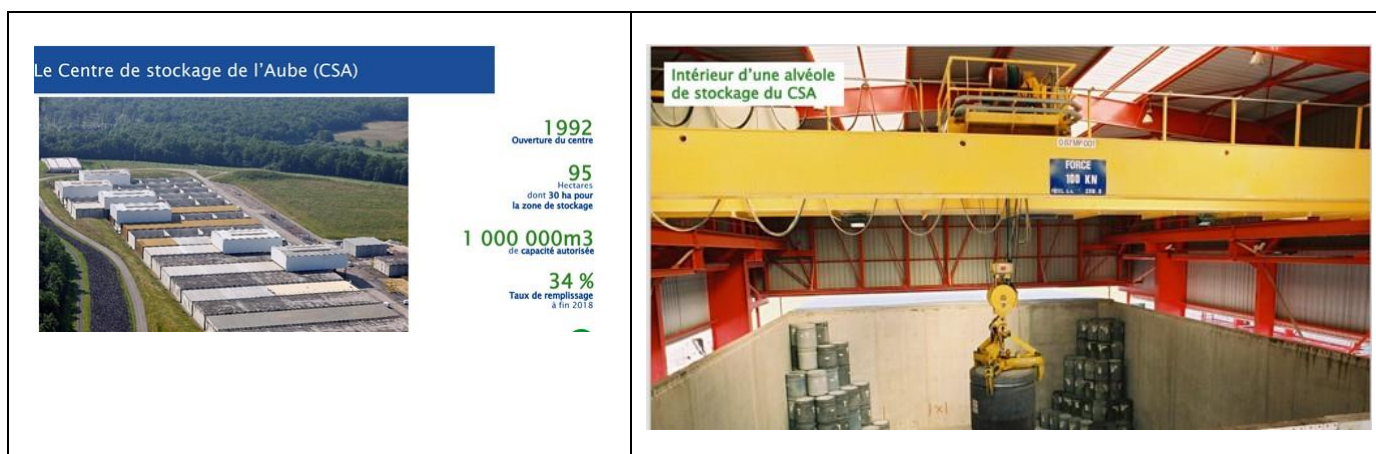
Renvoie en premier lieu aux stratégies de démantèlement-assainissement

3.2 - Déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) : 63% du volume mais seulement 0,02% de la radioactivité

Les déchets FMA-VC sont essentiellement issus du matériel utilisé sur les installations nucléaires : vêtements, gants, filtres, outils, etc.

Ils sont confinés dans des colis en métal ou en béton au sein du centre de stockage FMA dans l'Aube (CSA : centre de stockage de l'Aube). Un colis est typiquement composé de 15 à 20% de déchets radioactifs et de 80 à 85% de matériaux d'enrobage.

Les déchets FMA-VC sont livrés au CSA, compactés, solidifiés et conditionnés dans une matrice solide (mortier, résine). Ils sont introduits dans des ouvrages en béton armé dont l'étanchéité est assurée par un revêtement imperméable, immobilisés par du béton ou du gravier. Une couverture composée notamment d'argile assure le confinement des déchets. Environ 12 000 m³ de colis de déchets sont stockés chaque année. À la fin de son exploitation, le CSA continuera d'être surveillé pendant au moins 300 ans, jusqu'à ce que sa sûreté ne nécessite plus aucune intervention humaine.



3.3 - Déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) : 5,9% du volume mais 0,14% de la radioactivité

La plupart des déchets FA-VL proviennent de l'utilisation de minerais légèrement radioactifs (déchets « radifères ») à partir desquels sont notamment extraites des terres rares. Ils proviennent également de centrales nucléaires de première génération à graphite (déchets « graphitiques »). Ces dernières étant actuellement arrêtées et en cours de démantèlement, le volume des déchets FA-VL n'augmentera plus.

Ces déchets FA-VL présentent généralement :

- une faible activité radiologique qui ne justifie pas un stockage à grande profondeur dans CIGEO
- une durée de vie longue qui ne permet pas un stockage en surface en quantité importante au CSA.

Actuellement, ces déchets sont le plus souvent entreposés sur leur lieu de production dans des fûts métalliques. Ils pourraient dans le futur être acheminés dans des centres de stockage de faible profondeur (entre 15 et 200 m).

Des repérages géologiques ont lieu entre autres dans l'Aube et la Marne pour trouver des couches argileuses en profondeur où ces déchets pourraient être stockés définitivement afin de les soustraire aux agressions naturelles et humaines. Ils ne feraient ainsi plus partie des déchets à suivre par les générations futures.

3.4 - Déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) : 3% du volume mais 4% de la radioactivité

Le Parlement a décidé par la loi du 28 Juin 2006 que les déchets HA-VL et MA-VL seront stockés en stockage géologique profond.

C'est la solution validée au niveau international. En effet ces déchets de longue durée de vie et de forte activité ont été produits par notre génération. Il est donc de notre responsabilité éthique de décharger les générations futures de la tâche de leur surveillance. Pour ce motif, le stockage en couche géologique stable d'argilite depuis et pour des millions d'années répond à cette exigence morale.

3.5 -Les déchets HA-VL (0,2% du volume des déchets radioactifs mais 96% de la radioactivité)

Au centre de retraitement de la Hague, les matières inutilisables (produits de fission et transuraniens ou actinides mineurs⁸) qui constituent les déchets HA-VL sont calcinées. La poudre noire en résultant est mélangée à une pâte de verre en fusion qui est elle-même coulée dans un conteneur en inox. Ce conteneur est appelé un colis.

Chaque colis contient près de 11 kg de déchets HA-VL pour 400 kg de verre et dégage au départ une forte chaleur (près de 350°C) en raison de la forte radioactivité. Pour contenir cette radioactivité et faire baisser la température, les colis sont entreposés dans des puits ventilés situés au sein d'installations spécifiques à la Hague (usine ORANO), à Marcoule et Cadarache (sites du CEA). Après un temps de refroidissement de quelques

⁸ Ce sont des éléments qui n'existent pas à l'état naturel, qui sont plus lourds que l'uranium et résultent de l'absorption de neutrons. Ils sont représentés par le Neptunium, l'Américium et le Curium. Le plutonium étant un combustible nucléaire est récupéré lors du retraitement et devient une matière nucléaire réutilisée.

années, ces colis sont placés dans des puits où la convection naturelle de l'air suffit pour les réfrigérer.

La loi de 2016 fixe de plus une exigence supplémentaire de réversibilité pendant au moins cent ans à partir de l'accueil du premier colis de déchets.

Dès l'origine, il était prévu une activité souterraine de réparabilité au cas où l'étanchéité d'un colis serait défectueuse. Les capacités internes permettent donc de réparer un colis devenant défectueux.

En revanche, la réversibilité couvre un autre concept. Il s'agit de pouvoir extraire les colis déjà stockés pour les ramener en surface pendant une durée d'un siècle après leur introduction dans CIGEO afin de les retraiter au cas où des techniques de transmutation seraient mises au point pour ramener les déchets de longue durée de vie à des durées de vie beaucoup plus faibles. Le législateur a pris cette décision sans avoir préalablement fait réaliser un chiffrage du coût de cette exigence. Or il s'avère que ce concept de réversibilité a fait pratiquement doubler le coût de CIGEO. De plus les spécialistes considèrent que si effectivement une technologie de transmutation venait à apparaître, elle sera utilisée pour les nouveaux colis et que ceux déjà stockés resteront en l'état.



Le débat public sur CIGEO a eu lieu récemment. Reste maintenant l'enquête publique et la décision à prendre par la puissance publique après l'autorisation donnée par l'ASN. L'examen de ce dossier ne devrait pas être trop long car les échanges entre l'ANDRA et l'ASN ont été permanents pendant toute l'élaboration du dossier et la phase de recherches appliquées dans le laboratoire souterrain de Bure.

Le Président de l'ASN rappelle régulièrement au gouvernement qu'il doit rapidement décider pour que les premiers colis soient descendus avant 2035.

Le centre de stockage **CIGEO** devrait être mis en service avant 2030, après une phase industrielle pilote. L'excavation et l'exploitation, à environ 500 m de profondeur dans une roche argileuse très peu perméable appelée argilite⁹, épaisse de plus de 130 m, stable depuis plus de 50 millions d'années, sera progressive et pourrait durer plus d'une centaine d'années. Les déchets seront stockés, au moyen de dispositifs robotisés, dans des tunnels horizontaux appelés alvéoles, creusées au cœur de la couche d'argile. Le transit éventuel par lixiviation¹⁰ de radioéléments vers la surface sera extrêmement improbable et long (plusieurs millions d'années). Ne parviendront donc éventuellement en surface que des radioéléments à demi-vie très longue, générant une radioactivité de niveau identique à celui présent naturellement en surface.

(Il y a eu dans le laboratoire souterrain de Bure des essais de creusement d'alvéoles et des essais de chauffage in situ suffisamment longtemps pour vérifier l'absence d'altération de la structure de l'argilite. Ces essais concluants ont été suivis par l'ASN.)

Les déchets MA-VL (Environ 4 fois le volume des déchets HA-VL. 3% du volume total des déchets mais 4% de la radioactivité).

Lors des opérations de traitement du combustible usé, des déchets MA-VL sont également produits. Ils sont principalement issus d'objets métalliques tels que les gaines et coques entourant le combustible dans les réacteurs nucléaires. Une partie des déchets MA-VL provient également de résidus produits lors la fabrication de combustibles nucléaires. Enfin le graphite provenant des réacteurs à gaz et graphite de la filière française fait partie de ces déchets. La caractéristique majeure de ces déchets est qu'ils ne dégagent quasiment pas de chaleur en raison de leur moyenne radioactivité.

Une fois traités, les déchets MA-VL, sont en grande partie compactés sous forme de galettes afin de réduire leur volume. Celles-ci sont ensuite insérées dans des colis en béton ou en métal. D'autres méthodes de conditionnement telles que la cimentation, le bitumage et la vitrification peuvent également être utilisées pour les autres déchets MA-VL.

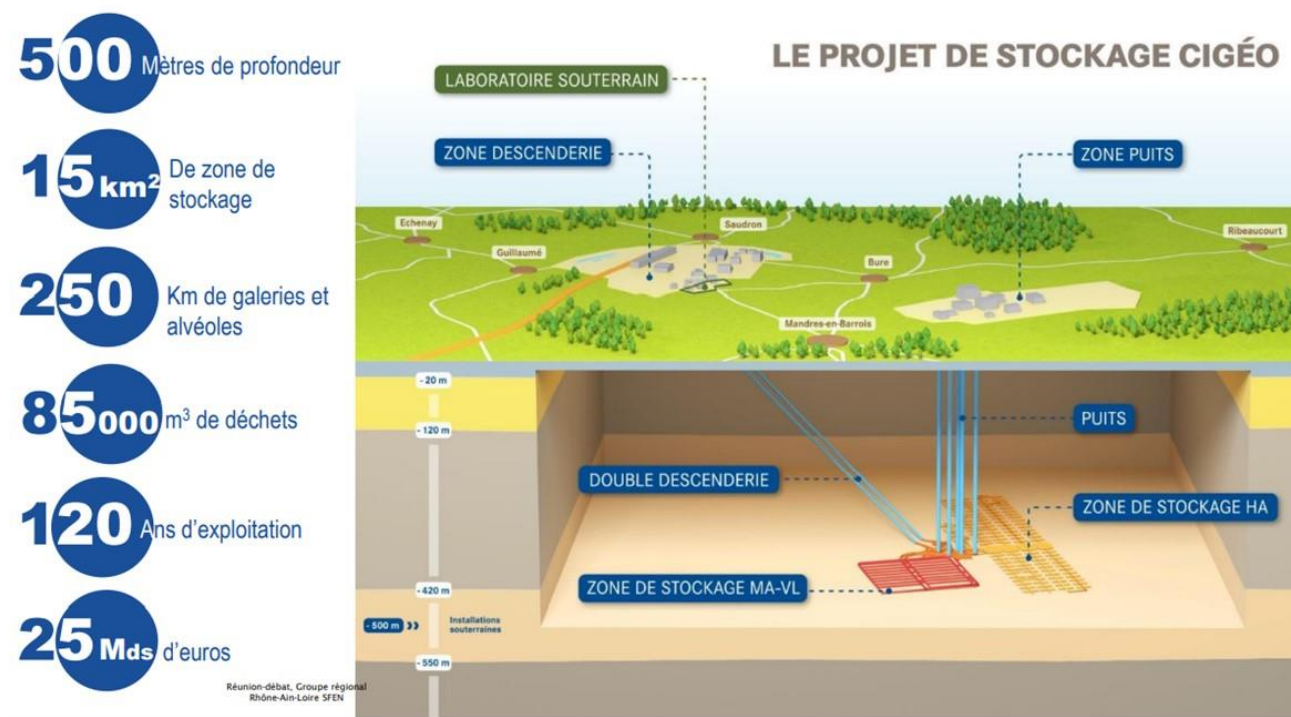
⁹ 150 millions d'années n'est pas la durée de stabilité de cette couche géologique, mais l'âge de son dépôt dans un bassin sédimentaire appelé le Bassin de Paris. Elle s'est ensuite très lentement enfouie - 1 à 2 mm par siècle pendant environ 120 millions d'années, les vases initiales expulsant leur eau et se transformant en une roche très compacte appelée argilite. Puis le Bassin Parisien a connu ce qu'on appelle une inversion tectonique sous l'effet de la poussée des Alpes au Sud-Est. Son contenu a été ainsi porté vers la surface, et les roches ainsi progressivement émergées soumises à l'érosion. Cette remontée relative s'est faite à une vitesse de l'ordre de celle de l'enfouissement et n'a pas changé grand-chose à l'état physique de cette roche, dont on peut considérer que l'état physique n'a guère changé depuis 50 millions d'années environ.

¹⁰ La lixiviation est un phénomène de remontée d'eau vers la surface qui entraînerait d'éventuels résidus enfouis. Comme les couches d'argilite retenues l'ont été en raison de leur épaisseur et de leur parfaite étanchéité à l'eau, ce phénomène est hautement improbable dans la zone choisie pour CIGEO

Ces déchets sont, comme les déchets HA-VL, entreposés sur les sites de production dans des installations dédiées.

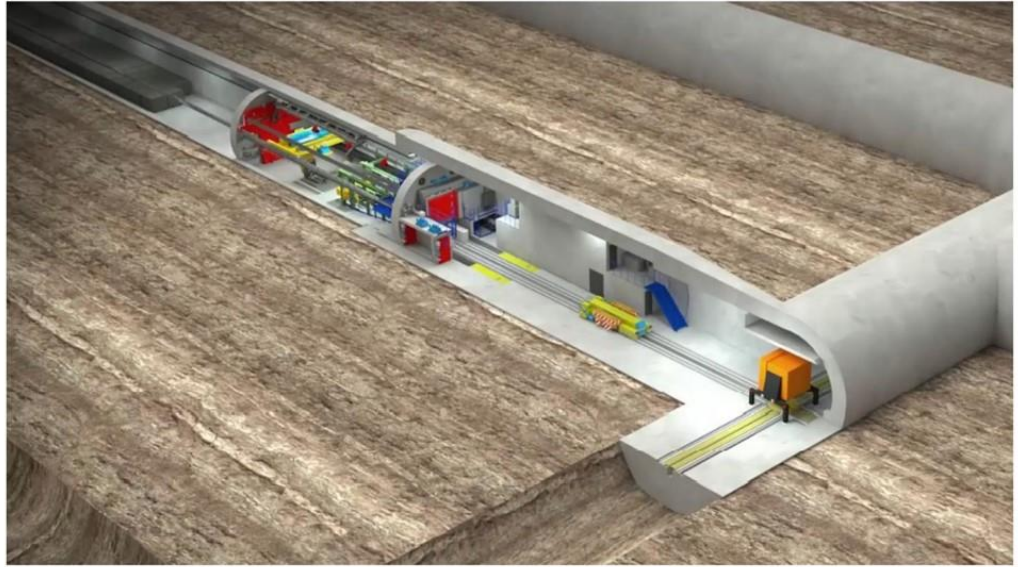
Étant donné leur niveau de radioactivité et leur durée de vie, ils sont également destinés à être stockés dans CIGEO ce seront d'ailleurs les premiers colis stockés.

La très grande différence avec les déchets HA-VL est qu'ils n'émettent pas de chaleur et peuvent être stockés les uns contre les autres.

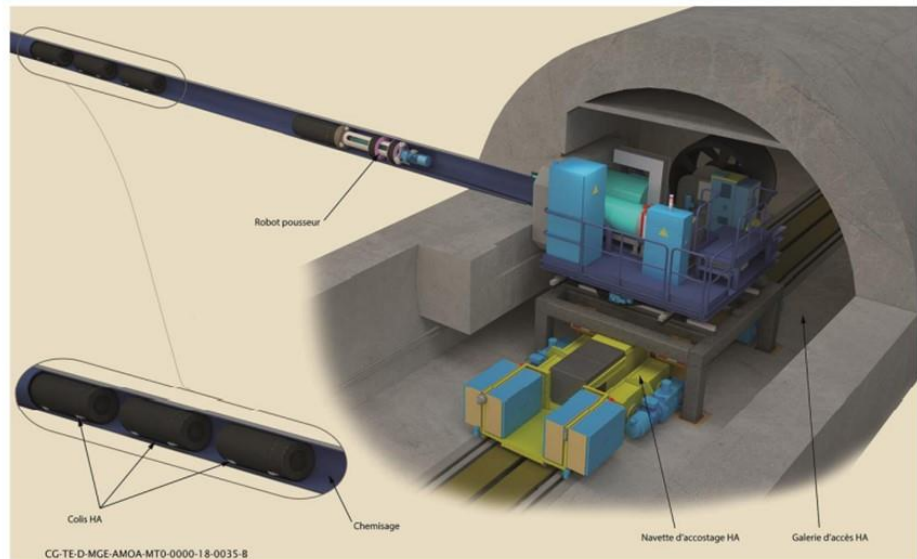


Vue de dessus, on peut voir que la zone de stockage HA-VL est formée d'alvéoles horizontales espacées formant un « radiateur » permettant à la chaleur de se diffuser tandis que les volumes de stockage des déchets MA-VL forment des chambres contiguës de grand volume en raison de l'absence de dégagement de chaleur

La zone de stockage MA-VL

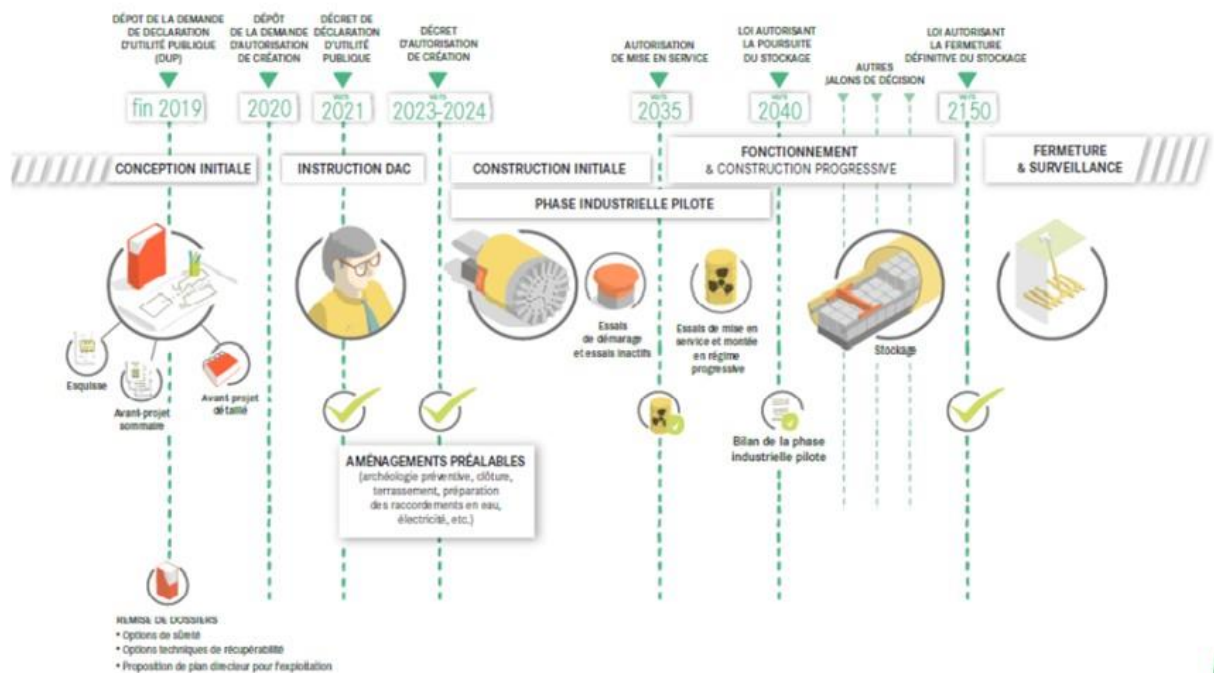


La zone de stockage HA



On peut observer que les colis en inox sont chemisés dans des dispositifs avec des ouïes d'aération permettant à la fois de les introduire dans les alvéoles et une circulation d'air de ventilation.

Calendrier du projet



4. Les réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides.

La transmutation des déchets radioactifs est possible dans les réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides. Des expériences menées à Phénix l'ont démontré.

Le principe consiste à placer dans le combustible U appauvri – Plutonium de retraitement des déchets radioactifs HA-VL. Les neutrons très énergétiques fissionnent ces noyaux tout en produisant de l'énergie et des produits de fission de durée de vie plus courte.

Ces réacteurs sont donc des machines très intéressantes car elles permettent d'utiliser à la fois l'uranium appauvri dont la France détient 350 000 tonnes (des centaines d'années de production d'électricité en France), et le plutonium issu du retraitement (utilisé à ce jour dans les réacteurs REP Moxés) et elles permettent de réduire la quantité de déchets radioactifs HA-VL.

Le CEA avait été chargé par la loi de 2006 de préparer un réacteur démonstrateur, ASTRID, qui aurait été construit à Marcoule et qui aurait permis par la suite de déployer progressivement les réacteurs de 4^{ème} génération. Ce projet était conduit en coopération avec le Japon.

Considérant que la ressource en uranium était abondante, le CEA a décidé en 2019 de ne pas lancer la réalisation d'ASTRID, sans même prévenir les partenaires japonais. La raison invoquée était que le prix de l'uranium

naturel ne justifiait pas l'utilisation de l'uranium appauvri pendant quelques dizaines d'années. Or les Russes ont industrialisé cette filière avec les réacteurs BN 600 MW, puis BN 800 MW et sont en train de préparer le réacteur BN 1 200 MW. Les Chinois ont un réacteur d'essai. Tout le monde sait qu'entre un réacteur « papier » puis sa construction et son exploitation, il y a un effet d'apprentissage de longue durée que la France met de côté alors que l'expérience de Phénix et de Superphénix en avait beaucoup apporté.

En conclusion

Le processus rigoureux de la gestion des déchets radioactifs et l'ensemble des installations de stockage vise à protéger les populations et l'environnement. Ils assurent le confinement des déchets suffisamment longtemps en fonction de leurs caractéristiques pour qu'ils ne puissent pas présenter de risques pour les générations actuelles et surtout futures.

Nous pouvons donc affirmer avec force qu'il n'y a pas de problèmes de déchets radioactifs

Copyright © 2022 Association Sauvons Le Climat