



Dossier du maître d'ouvrage pour le débat public sur le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs

5^{ème} édition du PNGMDR





Table des matières

Table des matières	2
Table des illustrations (tableaux)	7
1. Le cadre de la gestion des matières et des déchets radioactifs	9
1.1. Les matières et les déchets radioactifs	9
1.1.1. Qu'est qu'une matière radioactive ? Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ? ...	9
1.1.2. Origine des matières et déchets radioactifs.....	9
1.1.3. Classification usuelle des matières et des déchets radioactifs.....	11
1.2. Le cadre législatif et réglementaire	13
1.2.1. Un cadre national ayant servi de référence au cadre européen	13
1.2.2. Les principes généraux	14
1.2.3. Un cadre réglementaire pour différentes catégories d'installations	15
1.2.4. Un cadre réglementaire pour les opérations de transport	16
1.3. Le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs	16
1.3.1. Les objectifs du PNGMDR.....	16
1.3.2. Le contenu du PNGMDR.....	17
1.3.3. Les données d'entrée du PNGMDR	17
1.3.4. Une élaboration soumise à des exigences renforcées de transparence et de concertation du public	18
1.3.5. Le suivi du PNGMDR	19
1.4. Les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs	20
1.4.1. Présentation des acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs	21
1.4.2. Des acteurs organisés en Groupe de travail pluraliste pour l'élaboration du PNGMDR	23
1.5. Le principe de financement de la gestion des matières et des déchets radioactifs	24
1.5.1. L'application du principe « pollueur-payeur »	24
1.5.2. Les dispositions applicables aux installations nucléaires de base (INB) et aux installations nucléaires de base secrètes (INBS)	24
1.5.3. Les dispositions applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)	26
1.5.4. Les dispositions applicables aux sources radioactives scellées*	26
1.5.5. Les modalités de contrôle des producteurs	26

1.6.	Définitions réglementaires.....	27
2.	L'état des lieux de la gestion des matières et déchets radioactifs.....	28
2.1.	L'entreposage et le stockage	28
2.2.	La gestion des matières radioactives.....	28
2.2.1.	Principes de gestion des matières radioactives	28
2.2.2.	L'uranium, le plutonium et le thorium	29
2.2.3.	Les combustibles des réacteurs nucléaires de production d'électricité	30
2.2.4.	Les combustibles des réacteurs nucléaires de recherche	35
2.3.	La gestion des déchets radioactifs.....	36
2.3.1.	Réduire la production des déchets radioactifs à la source et favoriser la valorisation	36
2.3.2.	Les filières de gestion des déchets radioactifs.....	39
2.3.3.	Les déchets faisant l'objet de stockages historiques	45
2.3.4.	Les installations de traitement des déchets.....	45
2.3.5.	Les centres de stockage des déchets existants	47
2.3.6.	Le projet de stockage de déchets FA-VL	50
2.3.7.	Le centre de stockage Cigéo (stockage géologique profond des déchets les plus radioactifs (HA et MA-VL))	51
2.3.8.	Le transport des déchets radioactifs	57
2.4.	Bilan actuel des stocks de matières et de déchets radioactifs	58
	60
2.5.	Bilan des précédents PNGMDR et de ses principales recommandations pour les différentes filières de gestion des matières et des déchets radioactifs.....	62
2.5.1.	Le PNGMDR 2007-2009	62
2.5.2.	Les éditions 2010-2012 et 2013-2015 du PNGMDR	63
2.5.3.	Le PNGMDR 2016-2018	64
3.	La politique énergétique et ses impacts sur la gestion des matières et des déchets radioactifs.....	67
3.1.	<i>Les grandes orientations de la politique énergétique française définies par la PPE 2019-2028.....</i>	<i>67</i>
3.1.1.	La définition de la politique énergétique en France.....	67
3.1.2.	Réduire la part du nucléaire à 50 % de la production électrique	68
3.1.3.	Le mix électrique de long terme au-delà de 2035	69
3.1.4.	Maintenir la stratégie de retraitement-recyclage du combustible utilisé .	70



3.1.5.	L'articulation entre la PPE et le PNGMDR	71
3.2.	<i>Au-delà de la trajectoire dessinée par la PPE, des scénarios contrastés peuvent être construits pour illustrer les conséquences de la politique énergétique sur la nature et les volumes de déchets radioactifs.....</i>	72
3.2.1.	Les études prospectives de l'Andra et des exploitants.....	72
3.2.2.	Étude de trois scénarios	73
3.3.	<i>Analyse des incidences des différents scénarios de retraitement des combustibles usés</i>	75
3.3.1.	Incidence de la durée de fonctionnement des réacteurs électronucléaires sur la production de déchets radioactifs	75
3.3.2.	Incidences d'une baisse de la part du nucléaire à 50 % de la production électrique sur les besoins en matières radioactives	77
3.3.3.	Incidences de la politique de retraitement des combustibles usés sur les stocks et les flux de matières et de déchets radioactifs	79
3.3.4.	Incidences sur la qualification en matière des substances radioactives en cas de changement de politique de retraitement des combustibles usés	81
3.3.5.	Incidence d'un changement de stratégie énergétique sur les besoins d'entreposage des combustibles usés	84
3.3.6.	Incidences de la mise en œuvre de la transmutation dans le cadre d'un changement de politique sur la gestion des déchets HA-MAVL	86
3.3.7.	Incidences d'un décalage de la mise en service de Cigéo sur les capacités d'entreposage des déchets HA et MAVL	87
4.	Les réflexions proposées par le maître d'ouvrage pour la 5 ^{ème} édition du PNGMDR .	89
4.1.	<i>Les matières radioactives entreposées, des enjeux reposant sur les perspectives de valorisation</i>	89
4.1.1.	Une gestion prudente des matières radioactives	89
4.1.2.	Sujets de réflexion pour la prochaine édition du PNGMDR	92
4.2.	<i>Les capacités d'entreposage des combustibles usés.....</i>	94
4.2.1.	Le besoin de nouvelles capacités d'entreposage des combustibles usés	94
4.2.2.	Les différentes solutions techniques : impacts, avantages et inconvénients.....	98
4.2.3.	Sujets de réflexion pour la prochaine édition du PNGMDR	102
4.3.	<i>L'importance des volumes de déchets TFA attendus lors du démantèlement du parc actuel</i>	103
4.3.1.	La politique de gestion par « zonage » retenue par la France.....	103

4.3.2.	Les capacités du centre de stockage des déchets TFA seront saturées à moyen terme	104
4.3.3.	Sujets de réflexion pour le prochain PNGMDR	106
4.4.	<i>La gestion des déchets FA-VL, des enjeux reposant sur leur diversité</i>	112
4.4.1.	L'évolution du périmètre des déchets FA-VL.....	112
4.4.2.	Les déchets FA-VL présentent des caractéristiques hétérogènes, rendant difficile une solution de stockage unique	114
4.4.3.	Un site d'accueil pour les déchets FA-VL identifié mais ne permettant pas de stocker tous les déchets FA-VL.....	114
4.4.4.	Sujets de réflexion pour le prochain PNGMDR	116
4.5.	<i>La mise en œuvre d'un stockage géologique profond.....</i>	118
4.5.1.	L'état des lieux de la mise en œuvre du stockage géologique profond	118
4.5.2.	Le principe de réversibilité du projet de stockage géologique profond	119
4.5.3.	La mise en œuvre de la phase industrielle pilote	121
5.	Les suites du débat public, la rédaction du PNGMDR.....	123
5.1.	<i>Les suites du débat public.....</i>	123
5.2.	<i>La rédaction de la cinquième édition du PNGMDR</i>	123
5.3.	<i>Le calendrier d'élaboration.....</i>	124
	Glossaire.....	125
	Liste des abréviations	127
	Annexe - Etudes prescrites par le PNGMDR 2016-2018	130

Table des illustrations (figures)

Figure 1- Déchets issus des centrales nucléaires de production d'électricité (Source EDF)	10
Figure 2 - Part de chaque secteur économique dans les volumes de déchets produits à fin 2017	11
Figure 3 - Répartition du volume et des niveaux de radioactivité des stocks de déchets à fin 2017	12
Figure 4 - Les acteurs impliqués dans la gestion des matières et des déchets radioactifs	20



Figure 5 - Schéma explicatif du mécanisme de financement	25
Figure 6 - Le combustible des réacteurs d'EDF prend la forme de pastilles cylindriques. Ces pastilles sont empilées à l'intérieur de « crayons », dont l'assemblage forme un « assemblage combustible » * (Source : EDF)	31
Figure 7- Composition des combustibles utilisés pour la production électronucléaire.....	32
Figure 8 - Le cycle du combustible nucléaire mis en œuvre actuellement en France	34
Figure 9 - Récapitulatif de la gestion des différents déchets radioactifs produits par une centrale nucléaire (Source Andra)	37
Figure 10 - Vue de l'installation de La Hague (© Laurent Mignaux - Terra)	46
Figure 11 - Localisation des centres de stockage de déchets radioactifs (Source : Andra)	47
Figure 12- Le planning du projet Cigéo (Source : Andra)	53
Figure 13 - Les installations du projet Cigéo (Source Andra).....	55
Figure 14 - Localisation des matières radioactives issues du secteur électronucléaire sur le territoire français (Source Andra)	60
Figure 15 - Chronique des fermetures de réacteurs prévue dans la PPE 2019-2028	69
Figure 16 - Illustration des quantités de déchets à terminaison selon le scénario d'exploitation du parc nucléaire.....	76
Figure 17- Flux annuels de matières (Source : données issues du rapport 2018 du HCTISN sur le cycle du combustible pour le parc à 75 % et estimations de la DGEC pour le parc à 50 %)	78
Figure 18 - Inventaire de déchets HA (exprimés en m ³) et de combustibles usés classés en déchets (exprimés en tML) produits par le parc existant.....	80
Figure 19 - Statut des matières actuelles en fonction du cycle choisi	82
Figure 20 - Disponibilité des piscines d'entreposage en fonction des années. La disponibilité représente la différence entre la capacité opérationnelle des entreposages et le stock de combustibles usés entreposés à la date considérée	85
Figure 21- Le cycle du combustible avec les dimensions temporelles et les flux (Source : rapport Cycle 2018 HCTISN)	96
Figure 22 - Durée de refroidissement nécessaire avant entreposage à sec, pour des combustibles irradiés dans un REP en France (Source : extrait du rapport de l'IRSN n° 2018-00003).....	99



Table des illustrations (tableaux)

Tableau 1- Classification des déchets radioactifs et filières de gestion associées	13
Tableau 2 - Bilan des stocks de matières radioactives à fin 2016 (en tML, excepté pour les combustibles usés de la défense nationale en tonnes d'assemblages) (Source Les Essentiels 2019 de l'Andra).....	59
Tableau 3 - Bilan des volumes (m ³) de déchets présents sur les sites des producteurs/détenteurs et stockés dans les centres de l'Andra à fin 2017 (Source Andra)	61
Tableau 4 - Capacité utilisée à fin 2018 des sites de stockages de l'Andra en exploitation (Source Andra)	61
Tableau 5 - Principales hypothèses structurantes des différents scénarios prospectifs	74
Tableau 6 - Nombre d'années de fonctionnement que représenteraient les stocks de matières à fin 2016, pour le parc actuel et pour un parc dont la production représenterait 50% de la production électrique totale.....	78

Précisions introductives

Le présent document constitue le **dossier du maître d'ouvrage (DMO)**. Ce dossier vise à présenter ce qu'est le **plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR)** et ses enjeux. Ce DMO est ainsi destiné à alimenter le débat public.

- ↪ Il a été rédigé conjointement par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Dans le cadre de l'élaboration de ce DMO, la DGEC et l'ASN se sont attachées à prendre en compte les recommandations de la Commission particulière du débat public, qui s'assure de l'accessibilité et de la complétude des informations ainsi mises à disposition du public. **Certains termes, marqués par une étoile, sont expliqués dans le glossaire en fin du document.**
- ↪ **Des explications sur ce qu'est la radioactivité, les termes et les unités couramment employés pour la décrire, et ses impacts sur la santé et l'environnement ainsi que sur la gestion du combustible nucléaire, sont présentées dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire » qui accompagne le DMO.**
- ↪ **Un livret « Approfondir ses connaissances » complète ce DMO en regroupant plusieurs fiches d'approfondissement sur des points précis se rapportant à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Le livret comporte notamment un volet environnemental et une fiche spécifique aux transports.**
- ↪ **Le DMO renvoie à plusieurs endroits au PNGMDR actuel (version 2016-2018) pour certains développements sur les différentes filières de gestion des matières et des déchets radioactifs.**

Le **PNGMDR** prend la forme d'un document d'environ 200 pages. Il comporte trois parties, consacrées aux principes et objectifs de la gestion des matières et des déchets radioactifs, au bilan et aux perspectives d'évolution des filières de gestion existantes, ainsi qu'aux besoins et perspectives pour les filières de gestion à mettre en place. Pour chaque filière, existante ou à mettre en place, le document présente un état des lieux complet, prenant en compte les dernières données disponibles, puis formule des propositions ou fixe des objectifs.

1. Le cadre de la gestion des matières et des déchets radioactifs

Cette première partie du dossier vise à préciser un certain nombre de notions permettant de mieux appréhender les enjeux et les problématiques liés à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Ainsi en va-t-il de la distinction entre « matières » et « déchets » radioactifs et de l'organisation générale de la gestion des déchets radioactifs en France.

1.1. Les matières et les déchets radioactifs

La distinction entre matières et déchets radioactifs est au centre de la politique de gestion mise en œuvre en France. Cette partie décrit plus précisément ces notions et leurs implications sur les règles de gestion applicables aux substances radioactives.

Elle présente par ailleurs les activités à l'origine des matières et des déchets radioactifs et leur classification usuelle.

1.1.1. Qu'est qu'une matière radioactive ? Qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?

Les notions de substances, de matières et de déchets radioactifs sont définies par la réglementation, à l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement :

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

Les matières radioactives sont des substances radioactives pour lesquelles **une utilisation ultérieure** est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. »

« **Les déchets radioactifs** sont des substances radioactives pour lesquelles **aucune utilisation ultérieure** n'est prévue ou envisagée (...) ».

Ces déchets peuvent faire l'objet d'un traitement et d'un conditionnement en vue de réduire leur quantité et leur nocivité (article L. 542-1-2 du code de l'environnement). En matière de combustibles usés, on parle alors de retraitement* (voir la partie 2.2.3). Cette notion peut être assimilée à la notion de recyclage.

↪ **La notion de recyclage est explicitée en détail dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire » (La gestion du combustible nucléaire).**

Une matière ou un déchet radioactif peut contenir plusieurs radionucléides différents. Les risques qu'ils présentent pour la santé et l'environnement, qui peuvent être liés à la radioactivité qu'ils contiennent mais également à ses propriétés chimiques, sont variables. Par ailleurs, ils évoluent dans le temps, en raison de la décroissance radioactive* des radionucléides qui les composent.

↪ **Ces notions sont explicitées dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire ».**

1.1.2. Origine des matières et déchets radioactifs

Comme le souligne leur définition réglementaire, les substances radioactives peuvent contenir :

- des radionucléides d'origine naturelle, par exemple ceux présents dans certains minerais,
- ou des radionucléides ayant été produits par des activités humaines, par exemple ceux présents dans les combustibles nucléaires après leur irradiation dans un réacteur.

Cinq secteurs économiques, dont deux relèvent de la filière nucléaire civile (électronucléaire et recherche), utilisent des matières radioactives et produisent des déchets radioactifs.

Le secteur électronucléaire concentre l'essentiel des activités qui transforment et utilisent des matières radioactives. Il comprend principalement :

- les 19 centres nucléaires de production d'électricité d'EDF,
- les usines dédiées à la fabrication et au retraitement du combustible nucléaire d'Orano et de Framatome.

Depuis leur mise en service, certaines des installations du secteur électronucléaire ont été arrêtées (réacteurs de première génération d'EDF, premières installations de retraitement du combustible) et sont en cours de démantèlement.

Historiquement, le secteur électronucléaire comprenait également l'exploitation sur le sol français des mines d'uranium, entre 1948 et 2001.

↪ Ces installations sont présentées dans le livret « Approfondir ses connaissances (Fiche n° 9 : Panorama des installations nucléaires de base en France).



Figure 1- Déchets issus des centrales nucléaires de production d'électricité (Source EDF)

Le secteur de la recherche comprend la recherche dans le domaine du nucléaire civil, et notamment les activités de recherche du CEA, laboratoires et réacteurs, ainsi que les laboratoires de recherche médicale, de physique des particules, d'agronomie et de chimie.

↪ Ces installations sont présentées dans le livret « Approfondir ses connaissances (Fiche n° 9 : Panorama des installations nucléaires de base en France).

Le secteur de la Défense comprend principalement des activités liées à la force de dissuasion, et à la propulsion nucléaire du porte-avions Charles de Gaulle et des sous-marins.

Le secteur de l'industrie non-électronucléaire comprend notamment l'extraction de terres rares, la fabrication et l'utilisation de sources scellées*, l'industrie radiopharmaceutique, mais aussi diverses activités comme les contrôles par radiographie ou les opérations de stérilisation.

Le secteur médical comprend des activités de diagnostics (utilisation des rayonnements produits par des radionucléides pour l'imagerie en médecine nucléaire*) et thérapeutiques (par exemple, utilisation des rayonnements produits par des radionucléides pour détruire une tumeur en curiethérapie*).

Toutes les activités qui précèdent génèrent dans les installations où elles se pratiquent des déchets radioactifs sur toute la durée de leur exploitation, qui comprend leur fonctionnement et leur démantèlement.

Les secteurs électronucléaires et de la recherche sont ceux qui produisent les plus gros volumes de déchets radioactifs :

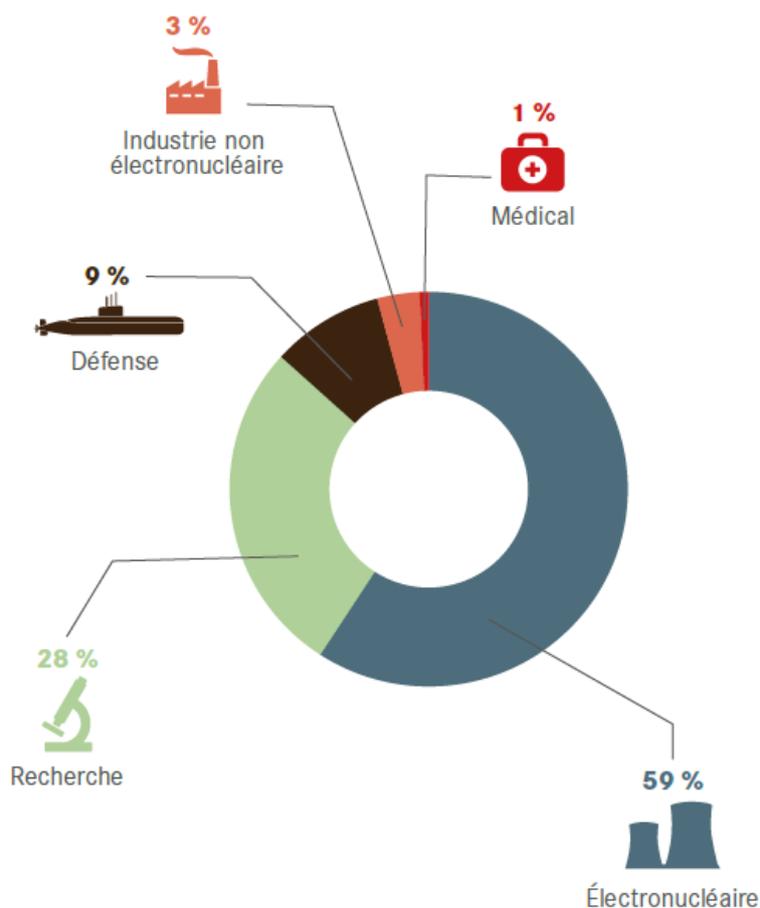


Figure 2 - Part de chaque secteur économique dans les volumes de déchets produits à fin 2017

(Source : Les Essentiels 2019 de l'Andra)

1.1.3. Classification usuelle des matières et des déchets radioactifs

Les matières radioactives ne font pas l'objet d'une classification particulière. Il s'agit, pour l'essentiel, d'uranium (naturel, enrichi, appauvri ou de retraitement), de combustibles (en cours d'utilisation ou usés), de plutonium extrait par retraitement des combustibles usés, et de matières valorisables issues d'industries autres que l'industrie électronucléaire (principalement des matières contenant du thorium).

La classification française usuelle des déchets radioactifs repose sur deux paramètres importants, traduisant le danger lié au déchet, pour définir le mode de gestion approprié :

L'activité, correspondant au nombre de désintégrations radioactives qui se produisent dans un échantillon pendant 1 seconde. En fonction de la quantité et de la nature des substances radioactives que les déchets contiennent, ceux-ci peuvent être classés comme de très faible, faible, moyenne ou haute activité.

La période radioactive des radioéléments contenus dans le déchet. La période radioactive correspond au temps nécessaire pour que la moitié des atomes d'un élément radioactif se soient désintégrés. On distingue, en particulier :

- les déchets dont la radioactivité provient principalement des radioéléments dont la période est inférieure à 31 ans : déchets à vie courte - VC.
- les déchets dont la radioactivité provient principalement de radioéléments dont la période est supérieure à 31 ans : déchets à vie longue - VL.

Les déchets contenant des radioéléments de période < 100 jours sont dits à vie très courte - VTC.

↪ Ces notions sont explicitées dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire ».

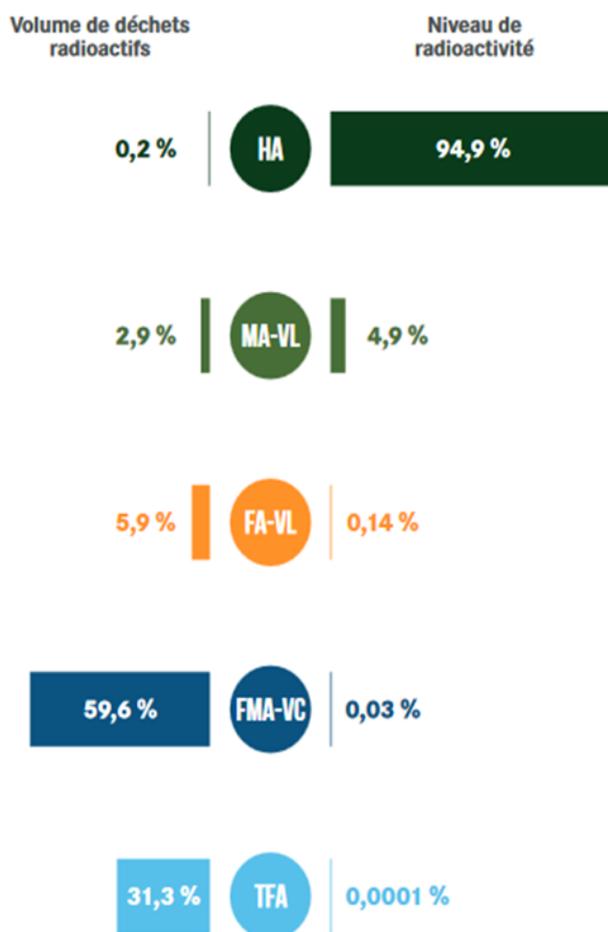


Figure 3 - Répartition du volume et des niveaux de radioactivité des stocks de déchets à fin 2017

(Source : Les Essentiels 2019 de l'Andra)

Cette classification offre une lecture simple pour l'orientation des déchets radioactifs et l'identification de filières de gestion, dont la description est développée dans la partie 2.

Elle n'intègre toutefois pas tous les critères qui doivent être pris en compte dans la définition des modalités de gestion des déchets radioactifs : les autres caractéristiques physico-chimiques (telles que la stabilité, la réactivité en présence d'autres substances, etc.) peuvent jouer également un rôle important au regard des critères d'acceptation des centres de stockage.

Les matières radioactives ne font pas l'objet d'une classification particulière. Il s'agit, pour l'essentiel, d'uranium (naturel, enrichi, appauvri ou de retraitement), de combustibles (en cours d'utilisation ou usés), de plutonium extrait par retraitement des combustibles usés, et de matières valorisables issues d'industries autres que l'industrie électronucléaire (principalement des matières contenant du thorium).

Catégorie	Déchets dits à vie très courte	Déchets dits à vie courte	Déchets dits à vie longue
Très faible activité (TFA)	 Gestion par décroissance radioactive	 Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA)		 Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	 Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA)			 Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA)	Non applicable		

Tableau 1- Classification des déchets radioactifs et filières de gestion associées

1.2. Le cadre législatif et réglementaire

Cette partie expose le cadre général applicable à la gestion des matières et déchets radioactifs, tel qu'il découle des différentes lois que la France a adoptées à ce sujet.

1.2.1. Un cadre national ayant servi de référence au cadre européen

La gestion des matières et des déchets radioactifs a été encadrée, en France, par trois lois successives :

- La loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, dite « loi Bataille », a fourni un cadre juridique à la création de laboratoires souterrains pour les recherches sur le stockage géologique profond. Elle a conféré à l'Andra le statut d'établissement public industriel et commercial, indépendant des producteurs de déchets. Elle lui a en particulier confié des missions d'études de recherche et de développement (R&D) sur le stockage géologique profond.
- La loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs a en particulier institué l'élaboration, tous les 3 ans, du PNGMDR. Elle a fixé un calendrier pour les recherches sur les déchets de haute et de moyenne activité à vie longue ;
- La loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue a fixé les conditions de réversibilité d'un stockage en couche géologique



profonde (les principes de la réversibilité sont présentés dans la partie 4.5.2). Ce stockage devra, d'une part, s'adapter à des évolutions de politique énergétique, et, d'autre part, permettre la récupération des colis de déchets déjà stockés « pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage » (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Les principales dispositions de ces lois ont été codifiées au chapitre II du titre IV du livre V du code de l'environnement (articles L. 542-1 et suivants, articles L. 594-1 et suivants).

Les bonnes pratiques ainsi mises en place en France, notamment le PNGMDR, ont par ailleurs servi de référence lors de l'élaboration de la **directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs**. L'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire a achevé sa transposition en droit français.

↪ **Les accords internationaux et le cadre européen en matière de gestion des matières et des déchets radioactifs sont présentés dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 16 : Accords internationaux et cadre européen pour la gestion des déchets et des matières radioactives).**

1.2.2. Les principes généraux

Les principes fondamentaux à l'origine des choix de gestion des matières et des déchets radioactifs ont été fixés par les lois de 1991 et de 2006 citées ci-avant.

La loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, dite « loi Bataille », a établi le cadre général de la gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue.

Elle a introduit les principes fondamentaux suivants :

- la gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue doit être assurée dans **le respect de la protection de la nature, de l'environnement et de la santé, en prenant en considération les droits des générations futures** ;
- **le stockage en France de déchets radioactifs en provenance de l'étranger**, ainsi que celui des déchets radioactifs issus du traitement de combustibles usés et de déchets radioactifs provenant de l'étranger, **est interdit**.

Cette loi a également tracé les contours d'un programme de recherche à réaliser pendant quinze ans sur la gestion des déchets à haute activité et à vie longue. Le contenu de ce programme et ses conclusions sont développés dans la partie 2.3.2.

La loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs a prolongé la démarche initiée dans le cadre de la loi de 1991.

Les principes fondamentaux qu'elle a fixés sont les suivants :

- **respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement** : les matières et déchets radioactifs émettent des rayonnements, dont la nature, les énergies et l'évolution dans le temps sont très variables, car dépendant des radionucléides qu'ils contiennent. Des solutions de gestion offrant des protections adaptées doivent être mises en œuvre pour limiter leur impact autant que possible ;
- **responsabilité des générations actuelles pour prévenir et limiter les charges transmises aux générations futures** : certaines matières et certains déchets radioactifs contiennent des éléments dont la période radioactive est très longue, comparable aux échelles de temps géologiques. Les

solutions de gestion de ces déchets et matières doivent réduire autant que possible les contraintes que leur mise en œuvre pourrait impliquer pour les générations futures ;

- **responsabilité de la gestion des déchets radioactifs et des combustibles usés incombant en premier lieu à leurs producteurs** : les solutions de gestion sont financées par les producteurs de ces déchets et matières.

1.2.3. Un cadre réglementaire pour différentes catégories d'installations

La mise en pratique des principes généraux est encadrée par des décrets et des arrêtés¹ pris par le Gouvernement, pour chacune des différentes catégories d'installations ou d'activités concernées par la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Trois catégories d'installations ou d'activités nucléaires civiles sont ainsi distinguées :

Les installations nucléaires de base (INB)

L'article L. 593-2 du code de l'environnement liste les différentes catégories d'installations nucléaires de base. Tous les réacteurs nucléaires constituent des INB. Pour les autres catégories d'installations, des critères définissant les installations qui relèvent du statut d'INB sont définis par le décret n° 2007-830 du 11 mai 2007 relatif à la nomenclature des installations nucléaires de base. Ces critères portent en particulier sur la quantité et la nature des radionucléides détenus dans les installations. **L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN, présentée dans la partie 1.4.1) assure le contrôle de la sûreté et de la radioprotection des INB pour protéger les personnes et l'environnement.**

Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

En deçà des critères des INB, et au-delà de certains seuils définis dans l'annexe 3 à l'article R. 511-9 du code de l'environnement, une installation mettant en œuvre des substances radioactives est réglementée au titre des ICPE. Selon la quantité et la nature des radionucléides détenus, les ICPE mettant en œuvre des substances radioactives doivent faire l'objet, avant leur mise en service, d'un récépissé de déclaration, d'un enregistrement ou d'une autorisation. **Ces installations sont placées sous le contrôle des préfets.**

Les autres activités, relevant du code de la santé publique

Les activités mettant en œuvre des substances radioactives qui ne relèvent pas de la nomenclature des INB ou des ICPE, relèvent du code de la santé publique et sont placées sous le contrôle de l'ASN. Ces activités ne concernent que de très faibles quantités de substances radioactives. Sont notamment concernées les activités médicales.

Par ailleurs, certaines installations nucléaires ont des activités **intéressant la Défense Nationale** et sont classées en tant qu'installations nucléaires de base secrètes (INBS). Elles sont alors régies par le **code de la défense** et l'autorité compétente en matière de sûreté est l'Autorité de sûreté nucléaire de défense (ASND, présentée dans la partie 1.4.1).

↪ **Les règles de gestion des déchets associées à chaque catégorie d'installations sont décrites de manière plus précise dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 1 : Dispositions législatives et réglementaires applicables aux activités nucléaires en matière de gestion des déchets radioactifs).**

¹ Pour les installations et les activités placées sous son contrôle, l'Autorité de sûreté nucléaire peut préciser les dispositions des décrets et des arrêtés par des décisions à caractère réglementaire. Elle peut également publier des guides d'application ou édicter des recommandations, qui ne sont pas opposables.

1.2.4. Un cadre réglementaire pour les opérations de transport

Les opérations de gestion des matières et des déchets radioactifs comportent des phases de transport, à l'intérieur du périmètre d'une installation nucléaire, ou entre deux installations distinctes.

Les opérations de transport de substances radioactives, quelles qu'elles soient, sont soumises à une réglementation internationale. Cette réglementation vise à protéger le public, les travailleurs et l'environnement des risques que ces transports peuvent présenter.

L'ASN est chargée du contrôle de la sûreté et de la radioprotection des transports de substances radioactives en France.

⇒ Une présentation synthétique du cadre réglementaire et des impacts liés au transport des substances radioactives en France est proposée dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n°8 : Le transport des substances radioactives).

1.3. Le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs

Le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) a été institué par la loi du 28 juin 2006. La loi a fixé trois grandes orientations que le PNGMDR doit suivre :

- 1° La réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par le **retraitement des combustibles usés** et le **traitement et le conditionnement des déchets radioactifs** ;
- 2° Les **matières radioactives en attente de traitement et les déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage** sont entreposés dans des installations spécialement aménagées à cet usage (la distinction entre opérations d'entreposage et de stockage est développée dans la partie 2.1) ;
- 3° Après entreposage, les **déchets radioactifs ultimes ne pouvant, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection, être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde.**

Le PNGMDR s'inscrit également dans une politique énergétique précise (présentée dans la partie 3.1). Les analyses prospectives sur lesquelles le plan s'appuie sont élaborées dans le cadre que cette politique définit.

Le PNGMDR a été publié pour la première fois en 2007, puis a fait l'objet de trois nouvelles éditions en 2010, en 2013 et en 2016, conformément aux dispositions de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, qui prévoit une mise à jour triennale du plan.

1.3.1. Les objectifs du PNGMDR

L'article L. 542-1-2 du code de l'environnement définit les objectifs du PNGMDR :

- dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs et des solutions techniques retenues ;
- recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage et préciser les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage ;
- fixer les objectifs généraux à atteindre, les principales échéances et les calendriers permettant de respecter ces échéances, en tenant compte des priorités qu'il définit ;
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets radioactifs qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif ;

- organiser la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et des déchets radioactifs en fixant des échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion, la création d'installations ou la modification des installations existantes.

Le même article précise que le PNGMDR comporte, en annexe, une synthèse des réalisations et des recherches conduites dans les pays étrangers.

1.3.2. Le contenu du PNGMDR

La dernière édition du PNGMDR (2016-2018) se présente sous la forme d'un document de plus de 200 pages² qui dresse un état des lieux complet des modalités de gestion des matières et des déchets radioactifs, en prenant en compte les dernières données disponibles.

Dans sa structure, en ce qui concerne les déchets radioactifs, le PNGMDR retient une approche par filière de gestion, en distinguant les filières existantes et les filières à mettre en place.

Le PNGMDR 2016-2018 présente les sujets suivants :

- **Principes et objectifs de la gestion des matières et des déchets radioactifs**
- **Gestion des matières radioactives** (uranium, plutonium, thorium, combustibles usés, travaux sur les réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides)
- **Filières existantes de gestion des déchets radioactifs : bilan et perspectives**
 - situations historiques
 - résidus de traitement miniers et des stériles
 - déchets à radioactivité naturelle élevée
 - déchets à vie très courte
 - déchets TFA
 - déchets FMA-VC
- **Filières de gestion à mettre en place : besoins et perspectives**
 - déchets FA-VL
 - déchets HA-MAVL
 - déchets nécessitant des travaux spécifiques

1.3.3. Les données d'entrée du PNGMDR

Afin d'être robustes, les solutions de gestion des matières et des déchets radioactifs doivent s'appuyer sur des données techniques. Ces données se basent sur l'**Inventaire national des matières et déchets radioactifs**³.

Cet inventaire, élaboré, mis à jour et publié tous les trois ans par l'Andra, en application de l'article L. 542-12 du code de l'environnement, est basé sur les quantités déclarées par les producteurs et détenteurs de matières radioactives.

La réalisation de cet inventaire poursuit plusieurs objectifs :

² Hors annexes

³ Toutes les données sont disponibles sur le site Internet dédié inventaire.andra.fr et les stocks de déchets radioactifs sont aussi mis à disposition du public sur le site Internet dédié data.gouv.fr.

- **recenser les matières et déchets radioactifs sur le territoire français**, y compris les déchets étrangers destinés à retourner chez les clients étrangers, auprès de chaque producteur ou détenteur. L'Andra accomplit ce travail de recensement depuis 1992. Initialement effectué sur la base de la déclaration volontaire des producteurs et des détenteurs, ce travail est réalisé depuis 2008 dans le cadre réglementaire susmentionné ;
- **établir une vue synthétique des matières et des déchets radioactifs existants et à venir selon divers scénarios contrastés** avec, pour certains d'entre eux, des photographies des stocks à différentes échéances ainsi qu'à terminaison, c'est-à-dire à l'issue du démantèlement des installations nucléaires du parc actuel.

La mise à jour 2019 de l'Inventaire national détaille ainsi les quantités de matières et déchets radioactifs entreposés ou stockés à fin 2017, leur localisation et leur répartition par catégorie et secteur économique.

Ces données sont le fondement des réflexions menées dans le cadre du PNGMDR, dans la mesure où elles recensent de **manière exhaustive** l'ensemble des matières et des déchets radioactifs présents sur le territoire et devant être couverts par le PNGMDR.

Au total, ce sont ainsi près de 1 000 sites géographiques qui sont recensés dans l'Inventaire national. Les bilans des stocks de matières et de déchets radioactifs à fin 2017 sont présentés dans la partie 2.4.

1.3.4. Une élaboration soumise à des exigences renforcées de transparence et de concertation du public

Le code de l'environnement consacre dans ses articles L. 124-1 et suivants le droit de toute personne d'accéder aux informations relatives à l'environnement détenues, reçues ou établies par les autorités publiques.

L'ensemble des informations détenues sont donc accessibles au public à l'exception de celles remettant en cause le secret des affaires ou pouvant présenter des risques en matière de sécurité publique.

Le droit à l'information en matière nucléaire

L'article L. 125-12 du code de l'environnement définit la transparence et le droit à l'information en matière nucléaire comme « l'ensemble des dispositions prises pour garantir le droit du public à une information fiable et accessible en matière de sécurité nucléaire ».

Le droit à l'information en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection concerne notamment l'information du public sur les événements survenus dans les installations nucléaires ou lors de transports de substances radioactives, sur les rejets, normaux ou accidentels, des installations nucléaires, et l'information des travailleurs ou des patients sur leur exposition radiologique individuelle.

Plusieurs concertations avec le public, liées à la politique énergétique et au PNGMDR peuvent être mentionnées :

- *La consultation locale actuellement menée par l'Andra (sous l'égide de trois garants nommés par la CNDP) sur le territoire de Meuse / Haute-Marne qui vise à associer la population locale aux enjeux d'insertion territoriale et environnementale du projet Cigéo (présentée dans la partie 2.3) ;*
- *Le projet de piscine centralisée d'entreposage des combustibles usés d'EDF (ce projet est présenté dans la partie 4.2) ;*
- *La concertation menée entre septembre 2018 et mars 2019 par le HCTISN sur les 4^{èmes} réexamens périodiques des réacteurs de 900 MWe du parc nucléaire français ;*
- *La consultation du public relative au projet de PPE publié le 25 janvier 2019.*



Le débat public constitue une étape importante dans le processus d'élaboration de la prochaine édition du PNGMDR.

Son organisation a été décidée par la Commission nationale du débat public (CNDP). L'ordonnance du 3 août 2016 prévoit en effet que la CNDP soit saisie de tous les plans et programmes de portée nationale et décide des modalités d'organisation de la participation du public.

La prochaine mise à jour du PNGMDR fera par ailleurs l'objet, comme la dernière édition :

- **d'un rapport environnemental**, établi selon les prescriptions de l'article R. 122-20 du code de l'environnement, permettant de fournir une information scientifique et critique du point de vue de l'environnement sur le PNGMDR avant toute prise de décision, afin de mieux en apprécier les conséquences sur l'environnement ;
- **un avis de l'Autorité environnementale**⁴ (Autorité présentée dans la partie 1.4.1) permettant ainsi de donner une vision intégrée des enjeux associés à la gestion des matières et des déchets radioactifs ;
- **une consultation du public** sur le site internet du ministère chargé de l'énergie, portant sur le projet de PNGMDR (le public pouvant prendre connaissance lors de cette phase de consultation du rapport environnemental et de l'avis de l'Autorité environnementale).

1.3.5. Le suivi du PNGMDR

Le PNGMDR, en tant qu'outil de **pilotage de la gestion des matières et déchets radioactifs**, permet d'orienter les études et réalisations, d'identifier les écarts éventuels et de demander les mesures correctives nécessaires à une gestion efficiente des matières et déchets radioactifs. Il émet des recommandations, qui sont ensuite transcrites dans la réglementation par un décret, complété par un arrêté pour les prescriptions relatives aux études à réaliser.

Le PNGMDR 2016-2018 demande, au travers des prescriptions de l'arrêté du 23 février 2017, la réalisation de **83 études**, chacune avec un pilote et une échéance de réalisation. Un descriptif synthétique de ces études est fourni en annexe du présent dossier. Ces études font l'objet d'instructions techniques et certaines donnent lieu à des avis de l'ASN et l'ASND (voir la partie 1.4).

Conformément à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, le PNGMDR est transmis au Parlement, qui en saisit l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) pour évaluation et il est rendu public. Une synthèse du Plan destiné au grand public est aussi publiée (voir également la partie 5 pour le processus d'élaboration du PNGMDR).

 **Les différentes éditions du plan, leurs présentations synthétiques ainsi que les études remises sont consultables sur le site internet de l'ASN⁵.**

⁴ www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/les-avis-rendus-en-2016-a2353.html

⁵ www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs

1.4. Les acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs

De nombreux acteurs sont impliqués dans la gestion des matières et des déchets radioactifs en France.

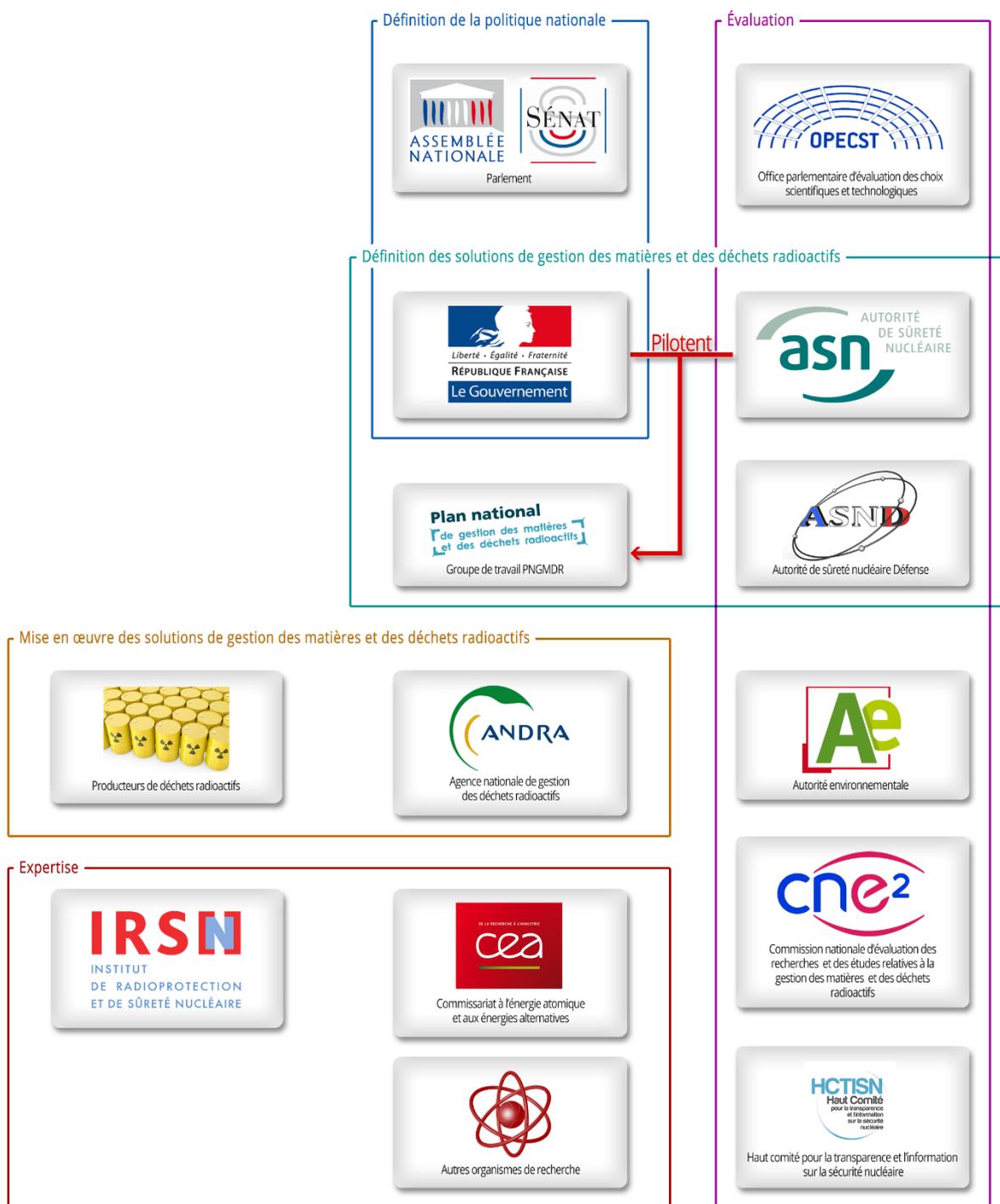


Figure 4 - Les acteurs impliqués dans la gestion des matières et des déchets radioactifs

1.4.1. Présentation des acteurs de la gestion des matières et des déchets radioactifs

Les exploitants et responsables d'activité nucléaires, producteurs de déchets radioactifs et propriétaires de matières radioactives

Ce sont les premiers responsables de la sûreté et de la radioprotection dans la gestion des matières et des déchets radioactifs qu'ils produisent. Parmi eux figurent les principaux industriels électronucléaires : le CEA, EDF, Orano (ex Areva) et Framatome.

Le CEA, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, est un organisme public de recherche dans les domaines de la défense et de la sécurité, des énergies bas carbone, de l'industrie, les sciences de la matière et les sciences de la vie. Il exploite plusieurs installations nucléaires dédiées à la recherche (réacteurs expérimentaux, laboratoires), des installations supports (entreposage de déchets, stations de traitement des effluents) ainsi que de nombreuses installations en démantèlement, à la fois civiles et de défense.

EDF est le premier producteur et fournisseur d'électricité français. Il exploite les réacteurs nucléaires producteurs d'électricité, des installations supports (laboratoires, magasins de combustible neufs), et des réacteurs d'anciennes générations en démantèlement.

Orano (ex Areva) est spécialisé dans les activités liées au cycle du combustible nucléaire (fabrication, transport, traitement). La plateforme nucléaire d'Orano du Tricastin est un site nucléaire spécialisé dans la conversion, l'enrichissement et l'entreposage de l'uranium, à la fois dans des installations nucléaires civiles et de défense. À La Hague, dans la Manche, Orano retraite les combustibles usés. L'usine Mélox, installation nucléaire de production du combustible MOx (ce type de combustible est présenté dans la partie 2.2.3) est également exploitée par Orano.

Framatome assure l'ingénierie des réacteurs électronucléaires. Il a notamment développé l'ensemble du parc français existant sur la base d'une technologie Westinghouse. Il fabrique des combustibles nucléaires à l'uranium enrichi dans ses usines de Romans-sur-Isère.

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)

L'Andra est l'établissement public chargé de gérer les déchets radioactifs. L'Andra est un établissement public indépendant des producteurs de déchets. Ses missions, définies à l'article L. 542-12 du code de l'environnement, comprennent notamment la conception et l'exploitation des centres de stockage, la réalisation d'études et de recherches sur le stockage profond, la collecte et la prise en charge d'objets radioactifs auprès des particuliers, l'assainissement de sites pollués par la radioactivité et l'information du public.

L'Andra établit, met à jour et publie par ailleurs tous les trois ans l'**Inventaire des matières et des déchets radioactifs** (voir la partie 1.3.3 sur les données d'entrée du PNGMDR) dont la dernière édition date de juin 2018.

Les organismes de recherche

Plusieurs organismes sont chargés de mener les recherches dans le domaine de la gestion des matières et des déchets radioactifs, notamment l'Andra, le CEA, et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Des domaines de recherche sont plus particulièrement confiés à certains organismes : la responsabilité de mener des recherches sur la séparation et la transmutation a été confiée au CEA, celle de mener des recherches sur le stockage et l'entreposage à l'Andra. Les recherches de l'IRSN sont essentiellement focalisées sur les aspects de sûreté et de radioprotection associés à la gestion des déchets et à l'exploitation des réacteurs nucléaires.

Les ministères

Plusieurs ministères interviennent dans la définition, la mise en œuvre et le contrôle de la politique de gestion des matières et des déchets radioactifs. En particulier, au sein du **ministère de la transition écologique et solidaire**, la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) élabore la politique et met en œuvre les décisions du gouvernement relatives au secteur nucléaire civil et à la gestion des matières et des déchets radioactifs. Les décisions du gouvernement ayant trait à la sûreté nucléaire* et à la radioprotection sont élaborées, au sein de ce même ministère, par la direction générale de la prévention de risques (DGPR).

Les autorités de contrôle

L'**Autorité de sûreté nucléaire (ASN)**, autorité administrative indépendante, assure le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour l'ensemble des activités nucléaires civiles. Ses missions sont définies à l'article L. 592-1 du code de l'environnement.

L'**Autorité de sûreté nucléaire de défense (ASND)**, sous tutelle du ministère de la défense, assure la même mission dans le domaine de la défense.

Les deux autorités reçoivent l'appui technique de l'IRSN.

L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

L'IRSN est l'**expert public en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques**. Ses missions sont définies à l'article R. 592-1 du code de l'environnement. L'IRSN est notamment chargé d'une mission d'appui technique aux autorités publiques compétentes en sûreté, radioprotection et sécurité, aussi bien dans la sphère civile que dans celle de la défense.

D'autres organismes interviennent dans la gestion des matières et des déchets radioactifs

L'**Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)** a pour mission d'informer le Parlement des conséquences des choix scientifiques et technologiques afin d'éclairer ses décisions. Il est composé de dix-huit députés et de dix-huit sénateurs. Il évalue le PNGMDR.

La **Commission nationale d'évaluation (CNE)** assure une évaluation annuelle des recherches relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs et rapporte au Parlement. L'article L. 542-3 du code de l'environnement définit les missions et la composition de la commission.

L'**Autorité environnementale** donne des avis, rendus publics, sur les évaluations des impacts des grands projets et programmes sur l'environnement et sur les mesures de gestion visant à éviter, atténuer ou compenser ces impacts. En l'occurrence, l'Autorité environnementale du conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) doit rendre un avis sur le rapport environnemental qui sera associé au futur projet de PNGMDR.

Le **Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN)** est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires et l'impact de ces activités sur la santé des personnes, sur l'environnement et sur la sécurité nucléaire. À ce titre, le haut comité peut émettre un avis sur toute question dans ces domaines ainsi que sur les contrôles et l'information qui s'y rapportent. Le code de l'environnement prévoit que le HCTISN organise des concertations et débats concernant la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Ces dernières années, le Haut Comité s'est ainsi saisi de plusieurs sujets d'actualité qui ont été ou sont sujets à débat tels que ceux relatifs à l'anomalie de la cuve de l'EPR de Flamanville, la gestion des déchets très faiblement radioactifs (TFA) ou la poursuite du fonctionnement des réacteurs de 900 MWe au-delà de 40 ans, afin de s'assurer du caractère complet de l'information du public et de la transparence sur ces sujets et pour associer le public à sa réflexion.



Les Commissions locales d'information (CLI) et les Commissions d'information (CI), implantées autour des installations nucléaires de base (INB) et installations nucléaires de base secrètes (INBS), jouent également un rôle important en matière de concertation locale et d'information des citoyens. Les CLI sont regroupées en une association nationale (ANCCLI).

Les CLI sont composées de représentants des collectivités territoriales, de représentants d'associations environnementales, de syndicats, du monde économique et de représentants de l'ASN, des services de l'Etat et des exploitants.

Les missions essentielles des CLI sont ainsi de relayer l'information auprès du grand public en questionnant les exploitants, les autorités, en organisant des débats, effectuant des contre-analyses, surveillant l'environnement ou encore en engageant des expertises.

Des échanges ont également lieu avec le **CLIS de Bure**, Comité local d'information et de suivi, qui a pour mission d'informer les populations locales sur les activités menées par le laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse et Haute-Marne, ainsi que le suivi des recherches et les résultats obtenus.

Le dialogue entre acteurs sur la gestion des matières et des déchets radioactifs s'établit à tous les niveaux :

- **au niveau local**, de manière continue, au sein des CLI constituées auprès des installations nucléaires de base ;
- **au niveau parlementaire**, concernant les modalités d'une gestion définitive des déchets de haute et moyenne activité à vie longue, et l'évaluation du dispositif national de gestion et de ses avancées ;
- **auprès du grand public** : outre le débat public qui précède l'élaboration de sa prochaine édition, le PNGMDR donne lieu (voir la partie 1.3.4) à une consultation du public sur la base d'une première version à l'état de projet, permettant de recueillir les attentes et les suggestions d'évolution sur la politique de gestion des matières et déchets radioactifs.

1.4.2. Des acteurs organisés en Groupe de travail pluraliste pour l'élaboration du PNGMDR

Une structure dédiée, réunissant les différents acteurs, est consacrée à l'examen des études menées dans le cadre du PNGMDR et aux travaux de mise à jour du plan, **le groupe de travail du PNGMDR (GT PNGMDR)**.

Le GT PNGMDR, groupe de travail pluraliste, rassemble des producteurs et des gestionnaires de déchets radioactifs, des autorités d'évaluation et de contrôle et des associations de protection de l'environnement.

Il est co-présidé par le ministère chargé de l'énergie et par l'ASN. Il s'appuie sur les travaux menés en particulier par les exploitants et l'Andra, et sur les avis rendus par l'ASN et l'ASND. Il se réunit 3 à 5 fois par an depuis 2003.

Afin de mieux informer l'ensemble des parties prenantes, les membres du GT PNGMDR ont décidé, lors de la réunion du 5 juin 2014, que les comptes rendus des réunions du groupe de travail soient désormais mis en ligne⁶.

⁶ www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/Reunions-du-groupe-de-travail

1.5. Le principe de financement de la gestion des matières et des déchets radioactifs

Cette partie présente les règles prévues par le droit français afin de sécuriser le financement actuel et futur de la gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs.

1.5.1. L'application du principe « pollueur-payeur »

Le financement de la gestion des matières et déchets radioactifs est assuré, sous le contrôle de l'État, par les exploitants nucléaires, selon le principe « pollueur-payeur ».

Ce principe est défini à l'article 4 de la Charte de l'environnement adossée à la Constitution, qui dispose que « *Toute personne doit contribuer à la réparation des dommages qu'elle cause à l'environnement* ». Il traduit la reconnaissance de la responsabilité première de l'exploitant dans la gestion des matières et des déchets radioactifs en faisant supporter le coût des mesures de prévention et de réduction de la pollution par le responsable des atteintes à l'environnement.

L'application du principe « pollueur-payeur » est particulièrement importante dans le domaine du **financement des opérations de démantèlement des installations nucléaires et de gestion des combustibles usés et des déchets radioactifs issus de ces installations**. Des délais significatifs peuvent en effet séparer la vie d'une installation nucléaire et les dépenses afférentes à ces opérations. Cette situation fait ainsi peser un risque de report de cette charge financière sur les générations futures. Des dispositions sont prises pour limiter ce risque.

1.5.2. Les dispositions applicables aux installations nucléaires de base (INB) et aux installations nucléaires de base secrètes (INBS)

L'article 20 de la loi du 28 juin 2006, codifié aux articles L. 594-1 et suivants du code de l'environnement, prescrit aux exploitants d'INB la constitution de provisions pour financer la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs.

Dans le cadre de ce dispositif, les exploitants nucléaires doivent **évaluer de manière prudente les charges de démantèlement de leurs installations et de gestion des combustibles usés et déchets radioactifs** qu'elles produisent (appelées charges de long terme) et constituer les provisions afférentes dans leurs comptes.

Ces provisions doivent être couvertes par **des actifs financiers**, devant être comptabilisés de façon distincte et présenter **un haut niveau de sécurité et de liquidités**. Les actifs affectés à la couverture des provisions sont protégés par la loi. En cas de faillite de l'exploitant, seul l'État dispose d'un droit sur ces actifs.

Les provisions pour **gestion des combustibles usés recyclables**⁷ dans les installations industrielles construites ou en construction sont néanmoins exclues de l'assiette de couverture. Les charges correspondant à la gestion des combustibles usés seront en effet directement financées par les produits d'exploitation tirés de leur valorisation.

⁷ Combustibles UNE utilisés principalement hors gestion à long terme (entreposage et stockage) des colis de déchets radioactifs issus du retraitement.

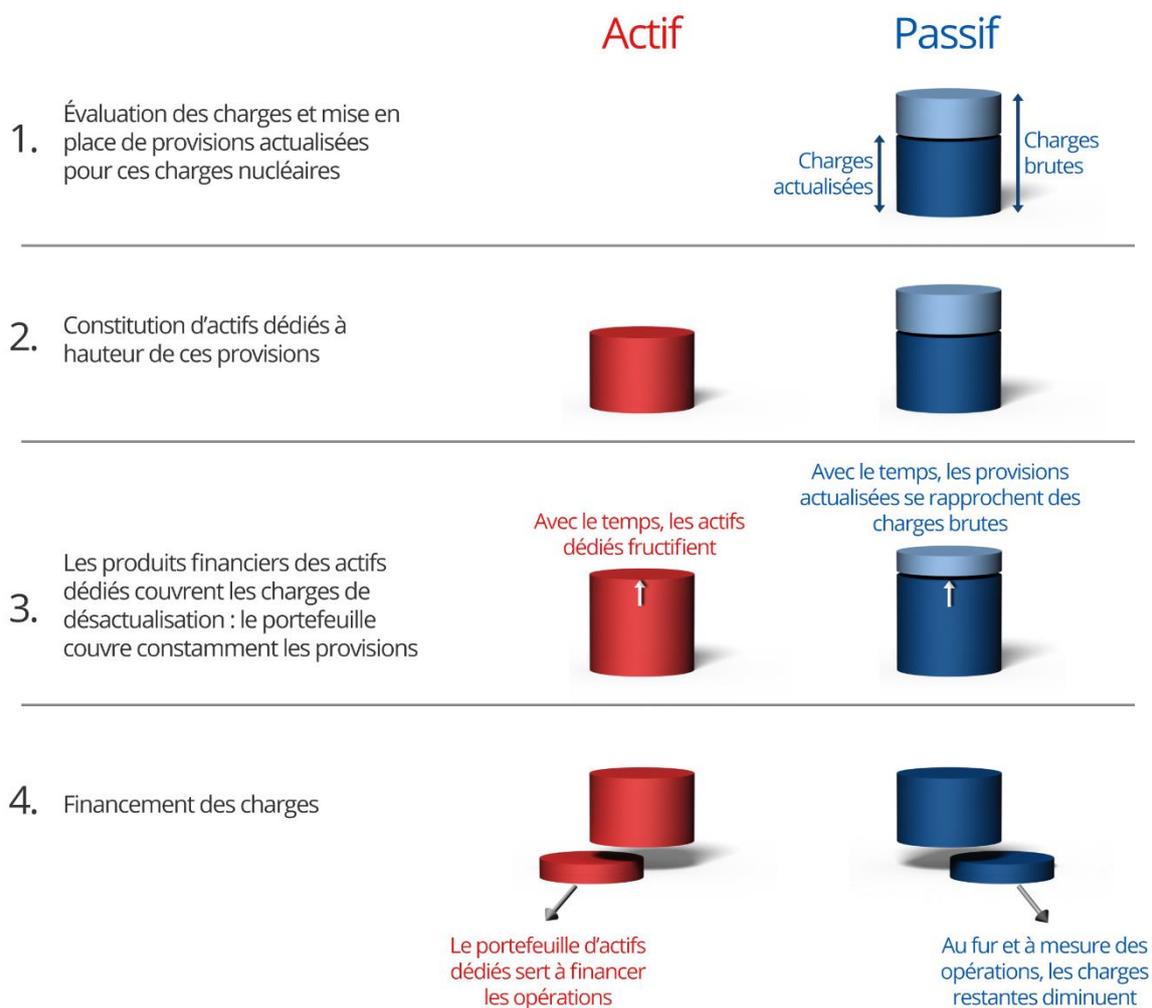


Figure 5 - Schéma explicatif du mécanisme de financement

Le montant des charges brutes qui revient aux trois producteurs de déchets (EDF, Orano et CEA) s'élève à ce jour à près de **73 milliards d'euros** pour la gestion des combustibles usés et la gestion à long terme de l'ensemble des déchets radioactifs, et à environ 47 milliards d'euros au titre des démantèlements.

Ces charges prennent en compte l'objectif de coût de **25 milliards d'euros** du projet Cigéo⁸, aux conditions économiques du 31 décembre 2011, fixé par l'arrêté du 15 janvier 2016.

↪ **Le financement des charges nucléaires de long terme est décrit de manière plus précise dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 4 : Le financement des charges nucléaires de long terme).**

⁸ Le projet Cigéo est présenté dans la partie 2.3.7

1.5.3. Les dispositions applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

En ce qui concerne les ICPE soumises à autorisation mettant en œuvre des substances radioactives, les exploitants ont l'obligation de constituer des garanties financières (article L. 516-1 du code de l'environnement). Ces garanties sont destinées à assurer la surveillance des sites et le maintien en sécurité des installations, les interventions éventuelles en cas d'accident avant ou après la fermeture, et la remise en état après fermeture. Elles ne couvrent pas les indemnités dues par l'exploitant aux tiers qui pourraient subir un préjudice par fait de pollution ou d'accident causé par l'installation. Les modalités de mise en œuvre de cette obligation sont précisées aux articles R. 516-1 et suivants du code de l'environnement.

1.5.4. Les dispositions applicables aux sources radioactives scellées*

Enfin, les fournisseurs de sources radioactives scellées* ont l'obligation de constituer une garantie financière (article L. 1333-15 du code de la santé publique). Cette garantie est destinée à couvrir, en cas de défaillance, les coûts de la récupération et de l'élimination de la source en fin d'utilisation. Les modalités de mise en œuvre de cette obligation sont précisées aux articles R. 1333-161 à R. 1333-164 du code de la santé publique.

1.5.5. Les modalités de contrôle des producteurs

Au-delà des contrôles réalisés par les producteurs en application de la réglementation et par leurs commissaires aux comptes, le respect des obligations de sécurisation du financement des charges de long terme est étroitement contrôlé par les ministres chargés de l'économie et de l'énergie. Pour exercer son contrôle, l'État reçoit notamment des exploitants un rapport triennal sur l'évaluation des charges de long terme, les méthodes et les choix retenus pour la gestion des actifs dédiés, ainsi qu'un inventaire trimestriel des actifs dédiés.

L'État dispose de pouvoirs de prescription et de sanction, pouvant conduire à la constitution, sous astreinte, des actifs nécessaires ainsi que toute mesure relative à leur gestion.

Par ailleurs, si l'État constate que l'application du code de l'environnement est susceptible d'être entravée, il peut imposer à l'exploitant, le cas échéant sous astreinte, de verser à un fond auprès de l'Andra les sommes nécessaires à la couverture de ses charges de long terme (article L. 542-12-2 du code de l'environnement).

Le pouvoir de prescription a déjà été mis en œuvre à plusieurs reprises, en particulier à la suite de la constatation d'un taux de couverture inférieur à 100%⁹. Il a en particulier été mis en œuvre pour Areva NC début 2017 avec régularisation de l'exploitant dès fin 2017.

L'État peut également diligenter des audits afin de contrôler les évaluations faites par les exploitants de leurs charges, ainsi que la manière dont ils gèrent leurs actifs. Ces audits sont à la charge des exploitants.

La synthèse des audits est rendue publique à l'adresse suivante : www.ecologique-solidaire.gouv.fr/demantelement-et-gestion-des-dechets-radioactifs. La DGEC a piloté à ce jour deux audits externes, l'un sur le coût du démantèlement du parc de réacteurs nucléaires d'EDF en cours d'exploitation et l'autre sur le coût de démantèlement et de gestion des déchets radioactifs de l'usine d'enrichissement d'uranium Georges Besse 1 d'Eurodif, filiale d'Orano sur le site du Tricastin, à l'arrêt depuis 2012. Ces deux audits confortent globalement les estimations réalisées par les exploitants.

⁹ Rapport entre la valeur de réalisation des actifs admissibles à titre d'actifs de couverture et les provisions mentionnées à l'article L. 594-2, à l'exclusion de celles liées au cycle d'exploitation.

↪ La mise en œuvre du financement des installations de stockage est présentée dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n°15 : La mise en œuvre du financement des installations de stockage).

1.6. Définitions réglementaires

Pour conclure cette première partie consacrée aux concepts utiles pour la compréhension de la suite du document, les définitions réglementaires établies par le code de l'environnement, dont certaines ont déjà été abordées, sont rappelées dans l'encadré ci-dessous :

Définitions de l'article L. 542-1-1 du code de l'environnement :

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

Une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement.

Un combustible nucléaire est regardé comme un combustible usé lorsque, après avoir été irradié dans le cœur d'un réacteur, il en est définitivement retiré.

Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative en application de l'article L. 542-13-2.

Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

La gestion des déchets radioactifs comprend toutes les activités liées à la manipulation, au prétraitement, au traitement, au conditionnement, à l'entreposage et au stockage des déchets radioactifs, à l'exclusion du transport hors site.

La gestion du combustible usé comprend toutes les activités liées à la manipulation, à l'entreposage, au retraitement ou au stockage des combustibles usés, à l'exclusion du transport hors site.

Une installation de gestion du combustible usé ou de déchets radioactifs est une installation ayant pour objet principal la gestion de ces substances.

Le retraitement des combustibles usés est un traitement dont l'objet est d'extraire les substances fissiles ou fertiles des combustibles usés aux fins d'utilisation ultérieure.

L'entreposage de matières ou de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances à titre temporaire dans une installation spécialement aménagée en surface ou en faible profondeur à cet effet, avec intention de les retirer ultérieurement.

Le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1, sans intention de les retirer ultérieurement.

Le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de déchets radioactifs dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité.

La fermeture d'une installation de stockage de déchets radioactifs est l'achèvement de toutes les opérations consécutives au dépôt de déchets radioactifs dans l'installation, y compris les derniers ouvrages, ou autres travaux requis pour assurer, à long terme, la maîtrise des risques et inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.

2. L'état des lieux de la gestion des matières et déchets radioactifs

Cette partie présente successivement les différents types de matières et de déchets radioactifs, leurs modalités de gestion, ainsi que les installations de traitement, d'entreposage et de stockage qui leur sont associées.

Elle présente également, de façon synthétique, l'inventaire des matières et des déchets radioactifs à fin 2016.

Elle dresse enfin un bilan des travaux menés sur la gestion des matières et des déchets radioactifs lors des quatre éditions successives du PNGMDR.

2.1. L'entreposage et le stockage

Les principes généraux de la gestion des matières et des déchets radioactifs présentés dans la partie 1.2 font référence à **deux opérations distinctes**, mises en œuvre dans une filière de gestion, accompagnées, le cas échéant, d'opérations de traitement et de conditionnement : **l'entreposage et le stockage** (leurs définitions réglementaires données dans la partie 1.6 sont reprises ci-dessous).

L'entreposage consiste à placer des matières ou des déchets radioactifs, à **titre temporaire**, dans une installation spécialement aménagée à cet effet en surface ou en faible profondeur, **avec l'intention de les retirer ultérieurement** ;

Le stockage, consiste à placer les déchets radioactifs dans une installation spécialement aménagée pour **les conserver de façon potentiellement définitive, sans intention de les retirer ultérieurement**. Pour ce qui concerne le stockage en couche géologique profonde, la conception du stockage est conduite dans le respect du **principe de réversibilité** (les principes de la réversibilité sont présentés dans la partie 4.5.2).

L'entreposage concerne indistinctement les matières et les déchets radioactifs. La conception et les modalités d'exploitation d'un entreposage ne dépendent pas directement du statut de matière ou de déchet radioactif des substances entreposées : elles sont adaptées aux propriétés physico-chimiques des substances radioactives, en fonction des risques sanitaires et environnementaux que ces dernières présentent.

L'entreposage de matières ou de déchets radioactifs et le stockage de déchets radioactifs sont soumis **aux dispositions réglementaires, en particulier relatives à la sûreté nucléaire et à la radioprotection, contenues dans les décrets et les arrêtés mentionnés à la partie 1.2.3.**

Matières ou déchets : les exigences en matière de sûreté, de radioprotection et de protection de l'environnement sont-elles les mêmes ?

Le niveau d'exigence des mesures de sûreté, de radioprotection et de protection de l'environnement prises pour la gestion des matières radioactives ne diffère pas de celui qui est exigé pour la gestion des déchets radioactifs. Ces opérations de gestion sont encadrées par les régimes de contrôle des INB, ICPE ou du code de la santé publique (CSP), en fonction des niveaux d'activité des substances radioactives mises en œuvre et des enjeux associés (voir la partie 1.4).

2.2. La gestion des matières radioactives

2.2.1. Principes de gestion des matières radioactives

La définition d'une matière radioactive est donnée à la partie 1.1 : une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle, contrairement à un déchet, une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement. La loi permet à l'État de requalifier une matière en déchet si des doutes sérieux concernant ses perspectives de valorisation apparaissent.

La gestion des matières et des déchets radioactifs se veut prudente et repose sur **trois principes** :

- la **crédibilité du caractère valorisable** des matières radioactives ;
- l'assurance de pouvoir entreposer les matières radioactives à court et moyen termes, **en maintenant les installations d'entreposage conformes aux règles de sûreté et de radioprotection** ;
- la prise en compte de **solutions de gestion** si les voies de valorisation devaient ne pas se concrétiser, via l'étude de la faisabilité de **concepts de stockage**.

Ces principes font l'objet d'un développement dans la partie 4.1.1.

Les principales matières radioactives sont l'uranium (naturel, de retraitement, enrichi ou appauvri), le plutonium, le thorium et les combustibles nucléaires, neufs et usés.

2.2.2. L'uranium, le plutonium et le thorium

La fabrication des combustibles nucléaires, qu'ils soient destinés à des centrales nucléaires, à des réacteurs de recherche ou de propulsion navale, utilise des radionucléides fissiles, c'est-à-dire capables de se diviser sous l'effet d'un choc avec un neutron.

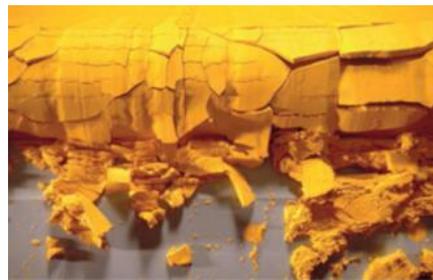
↪ La fission nucléaire est présentée dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire » (Qu'est-ce que la radioactivité ?).

Certains isotopes de l'uranium et du plutonium sont fissiles ou susceptibles d'être transformés en isotopes fissiles. Les différentes substances qui contiennent de l'uranium ou du plutonium sont qualifiées de matières radioactives en raison de l'utilisation qui pourrait en être faite dans les réacteurs nucléaires existants ou faisant l'objet d'études de R&D.

L'uranium

L'uranium est présent sous plusieurs formes.

- **L'uranium naturel extrait de la mine** : l'uranium est un métal radioactif naturellement présent dans certaines roches sous forme de minerai. Il est extrait, traité et converti sous forme d'un concentré solide d'uranium appelé Yellow Cake. Près de 8 000 tML/an d'uranium naturel sont nécessaires au besoin du parc nucléaire français. Aujourd'hui, il ne subsiste aucune mine d'uranium en exploitation en France : la totalité de l'uranium provient de l'étranger ;
- **L'uranium naturel enrichi (UNE)** : il est obtenu en augmentant la concentration de l'uranium naturel en éléments fissiles, l'uranium 235, de 0,7 % à 3-5 %. Il sert à la fabrication des combustibles UNE. Près de 1080 tML/an sont ainsi utilisées pour fabriquer le combustible UNE nécessaire pour approvisionner le parc de réacteurs d'EDF ;
- **L'uranium appauvri (Uapp)** : il est obtenu, en tant que sous-produit, lors de l'étape d'enrichissement de l'uranium naturel. Transformé en matière solide, chimiquement stable, incombustible, insoluble et non corrosif, il se présente sous la forme d'une poudre noire. Près de 7000 tML/an sont produites. L'Uapp est destiné à être utilisé pour la fabrication des combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium pour les réacteurs à eau pressurisée (REP) ou à neutrons rapides (RNR) ;
- **L'uranium de retraitement (URT)** : également nommé uranium de recyclage issu du retraitement (URT), il est extrait des combustibles UNE usés dont il constitue près de 95 % de la masse. Récupéré sous forme de nitrate d'uranyle puis oxydé, il peut être enrichi pour produire de l'uranium de retraitement enrichi (URE).



Mesurer les quantités de matières radioactives : la tonne de métal lourd (tML)

L'unité utilisée pour présenter les quantités de matières radioactives est la tonne de métal lourd (tML), unité représentative de la quantité d'uranium, de plutonium ou de thorium contenue dans les matières.

La notion de « métal » signifie que l'on ne « compte » que la masse de l'uranium, de plutonium ou de thorium, quelle que soit leur forme chimique.

Cette unité présente l'avantage de ne pas dépendre de la forme chimique de la matière. Cette dernière change tout au long des opérations de transformation qui jalonnent la fabrication et le retraitement du combustible¹⁰. Il est ainsi plus aisé de suivre les flux de matières lors des différentes étapes.

Le plutonium

Le plutonium est un élément radioactif artificiel produit par le fonctionnement des centrales nucléaires et, représentant 1 % de la masse d'un combustible UNE usé, il sert à la fabrication des combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium pour les réacteurs à eau pressurisée (REP) ou à neutrons rapides (RNR).

Le thorium

Orano et Solvay sont propriétaires d'environ **8 500 tML de thorium**, sous forme de nitrates et d'hydroxydes. Ces substances sont entreposées sur les sites de La Rochelle (environ 6 200 tML) et de Cadarache (environ 2 300 tML).

Les matières détenues par Orano sont issues de l'exploitation du gisement minier d'uranothorianite de Madagascar dans les années 1960, il n'y a donc plus de production nouvelle.

Jusqu'en 1994, Solvay a traité sur son site de La Rochelle des minerais thorifères (monazite principalement) pour en extraire les terres rares*. Depuis 1994, le site de La Rochelle est approvisionné exclusivement en concentrés de terres rares, épurées en radioactivité. Solvay ne produit donc plus de nouvelles matières thorifères.

Le thorium n'a pas d'utilisation établie à l'échelle industrielle aujourd'hui, mais plusieurs perspectives d'utilisation ultérieure sont affichées par Orano et Solvay. Les substances contenant du thorium sont donc considérées à ce stade comme des matières radioactives. Une utilisation du thorium comme combustible, sans utiliser l'uranium 235 ni le plutonium, est envisagée. Cependant, **plusieurs décennies seraient nécessaires** pour pouvoir voir aboutir cette piste, au vu des travaux de recherche et développement qui restent à mener.

➔ [Des présentations plus détaillées de l'uranium, du plutonium et du thorium sont fournies dans le PNGMDR 2016-2018, aux parties 2.2.1, 2.2.5 et 2.2.6.](#)

2.2.3. Les combustibles des réacteurs nucléaires de production d'électricité

Les **combustibles nucléaires** utilisés pour la production d'électricité, qu'ils soient neufs ou usés, sont **actuellement considérés comme des matières radioactives**. Ils sont soit en cours d'utilisation, soit en attente d'utilisation dans les réacteurs électronucléaires, soit entreposés après utilisation dans l'attente d'une valorisation ultérieure.

¹⁰ Par exemple, pour les opérations de fabrication des combustibles, la matière passe de la forme UF₆ à celle d'UO₂. Une masse de 1 tML d'uranium correspond à une masse brute de 1 470 kg d'UF₆ et 1 130 kg d'UO₂. Cet exemple illustre les difficultés qu'il y aurait à suivre les flux en utilisant les masses brutes.

Il existe différents types de combustibles :

- Le combustible REP* à l'uranium naturel enrichi (UNE), à base d'oxyde d'uranium et utilisé dans l'ensemble des réacteurs du parc actuel. Près de 1080 tonnes de métal lourd* (tML) d'UNE sont utilisées chaque année. Le combustible UNE utilisé peut être retraité afin d'en extraire le plutonium pour fabriquer de nouveaux combustibles, comme le MOx (voir ci-dessous). Le retraitement de l'UNE utilisé produit également de l'uranium de retraitement (URT) ;



La préparation des assemblages de combustible

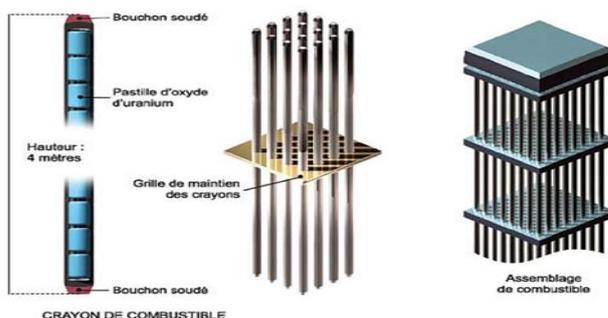


Figure 6 - Le combustible des réacteurs d'EDF prend la forme de pastilles cylindriques. Ces pastilles sont empilées à l'intérieur de « crayons », dont l'assemblage forme un « assemblage combustible » * (Source : EDF)

- Le combustible REP à l'uranium de retraitement réenrichi (URE), à base d'oxyde d'uranium provenant de l'enrichissement de l'uranium de retraitement (URT). En France, les quatre réacteurs de Cruas sont autorisés à utiliser des combustibles URE. L'introduction de nouveaux combustibles URE dans ces réacteurs a toutefois été interrompue depuis 2013¹¹, mais EDF prévoit d'y avoir à nouveau recours à partir de 2023.

Le combustible URE utilisé contient de l'uranium 235, mais également d'autres isotopes de l'uranium, dont les propriétés neutroniques conduisent à rendre plus difficilement envisageable la réutilisation de l'uranium contenu dans ce combustible pour une nouvelle utilisation dans un réacteur à eau sous pression. En revanche, le plutonium qu'il contient pourrait être utilisé pour alimenter des réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (RNR) ;

- Le combustible mixte REP à l'uranium et au plutonium (MOx), à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium, fabriqué à partir de plutonium issu du retraitement des combustibles UNE utilisés et d'uranium appauvri. EDF utilise actuellement les assemblages MOx dans 22 réacteurs de 900 MWe (24 réacteurs de 900 MWe sont autorisés à utiliser du combustible MOx mais 2 réacteurs ne font pas usage de cette autorisation) parmi les 58 réacteurs du parc français actuel. Près de 120 tML de MOx sont consommées par an.

Actuellement, le combustible MOx utilisé n'est pas retraité pour une réutilisation dans les réacteurs à eau sous pression (REP) du parc français en raison de la dégradation du contenu isotopique en plutonium fissile après un premier passage en réacteur. Toutefois, dans le cadre de la stratégie de retraitement-recyclage définie par la programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2028 (voir la partie 3.1.3), un nouveau concept de combustible mixte REP à l'uranium et au plutonium, permettant d'une part le multi-recyclage de ce dernier en REP et, d'autre part, de recycler les combustibles URE et MOx dans les réacteurs REP, fera l'objet d'actions de recherche et développement.

¹¹ Pour des raisons économiques, et notamment du fait de la différence de coût entre la filière uranium de retraitement et la filière uranium naturel.

Par ailleurs, à plus long terme, le combustible MOx pourrait être retraité afin d'en extraire le plutonium pour fabriquer de nouveaux combustibles destinés à alimenter des réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (RNR).

⇒ Le combustible MOx est présenté dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 10 : Le combustible MOx).

- Le combustible des réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (RNR) à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium. Ce combustible, qui n'est plus fabriqué aujourd'hui, a notamment été utilisé dans les réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix, aujourd'hui en démantèlement. Il pourrait être à nouveau fabriqué pour un éventuel parc de réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (RNR).

⇒ Des présentations plus détaillées des différents types de combustibles sont fournies aux parties 2.2.2 et 2.2.3 du PNGMDR 2016-2018.

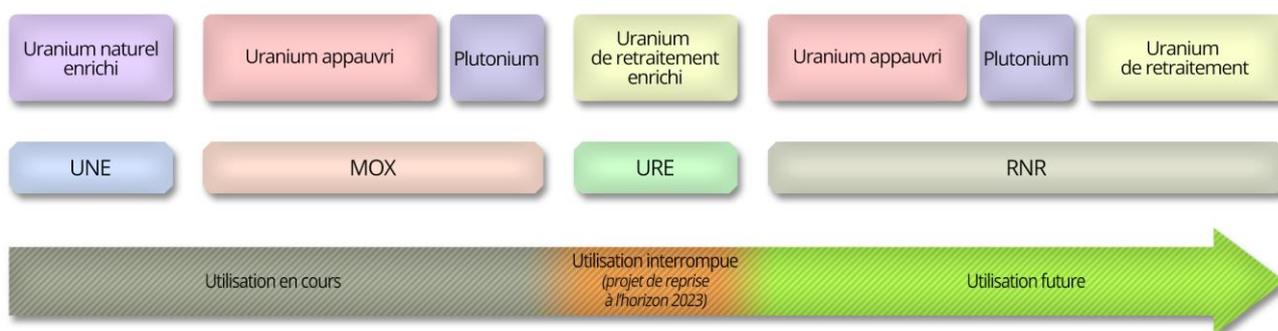


Figure 7- Composition des combustibles utilisés pour la production électronucléaire

L'entreposage des combustibles usés des réacteurs nucléaires de production d'électricité

Après leur utilisation, les combustibles usés sont entreposés en piscine, dans les centrales nucléaires. La puissance thermique qu'ils dégagent est trop importante pour pouvoir les transporter immédiatement. Ils sont ainsi refroidis pendant 2 ans en moyenne, avant d'être envoyés vers les installations de La Hague exploitées par Orano.

À leur arrivée, les combustibles usés sont à nouveau entreposés dans des piscines. Après une nouvelle période de refroidissement, qui dure entre 5 et 10 ans, les combustibles UNE usés sont retraités.

Les autres combustibles usés (MOx, URE) ne sont pas retraités, ils restent entreposés dans les piscines des installations de La Hague.

L'évolution des besoins des capacités d'entreposage des combustibles usés fait l'objet d'un développement dans la quatrième partie du présent document.

⇒ Les différentes modalités techniques d'entreposage du combustible usé sont présentées dans la partie 4 et dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 13 : L'entreposage du combustible nucléaire usé).

Le transport du combustible usé

Le combustible usé est transporté dans des colis spécifiques, offrant une forte protection radiologique et capables de résister à des accidents sévères.

Le combustible irradié est transporté dans des colis dits « de type B pouvant contenir des matières fissiles ». Ces modèles de colis doivent être agréés par l'ASN, après instruction technique de leurs dossiers de sûreté démontrant leur capacité à résister aux épreuves réglementaires simulant des conditions accidentelles sévères (équivalent des « crash-tests » de l'industrie automobile) :

- une épreuve de chute de 9 m de haut sur une cible indéformable ;
- une épreuve de poinçonnement (depuis 1 m de hauteur sur un poinçon métallique) ;
- une épreuve d'incendie de 800 °C pendant 30 min ;
- une épreuve d'immersion sous 15 m d'eau pendant 8 heures et sous 200 m d'eau pendant une heure.

La sûreté des transports repose, outre la robustesse des colis, sur la fiabilité des opérations, assurée notamment par le respect des conditions d'utilisations des colis, la formation des opérateurs, la bonne signalisation des colis et des véhicules, et sur la préparation des situations d'urgence, pour limiter les conséquences des incidents ou des accidents.

Les colis de combustibles usés sont transportés en partie sur route, avec une escorte, et en partie sur voie ferrée. Ces transports sont également soumis à des exigences additionnelles visant à assurer leur protection contre des actes malveillants. Ces exigences sont issues du code de la défense et leur application est contrôlée par les services du Haut fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère chargé de l'énergie.

On dénombre annuellement environ 200 transports organisés pour envoyer le combustible irradié des centrales nucléaires exploitées par EDF vers l'usine de retraitement Orano Cycle de La Hague.

↪ Les enjeux liés au transport des substances radioactives sont présentés dans le livret « [Approfondir ses connaissances](#) » (Fiche n°8 : [Le transport des substances radioactives](#)).

Le retraitement du combustible usé

Les combustibles UNE usés contiennent des matières radioactives : plutonium, uranium. Le retraitement effectué dans les usines de La Hague sépare ces matières des déchets ultimes : produits de fission*, actinides mineurs* d'une part et des structures métalliques des assemblages de combustibles usés d'autre part.

À l'issue des procédés de retraitement, le plutonium et l'uranium de retraitement séparés sont entreposés, dans l'attente de leur recyclage pour la fabrication de nouveaux combustibles d'oxyde mixte uranium-plutonium pour le plutonium, URE pour l'uranium de retraitement après son enrichissement¹²).

Les déchets ultimes issus du retraitement (produits de fission et actinides mineurs d'une part, structures métalliques d'autre part) sont conditionnés en colis. Ils constituent des déchets de haute et moyenne activité à vie longue. Ils sont actuellement entreposés dans des installations dédiées à La Hague, dans l'attente d'une solution de gestion définitive (voir la partie 2.3.2).

↪ Les opérations de retraitement du combustible usé sont décrites de manière plus développées dans le livret « [Quelques repères sur le nucléaire](#) » ([La gestion du combustible nucléaire](#)).

¹² Comme déjà indiqué au dans la partie 2.2.3 la fabrication d'URE à partir d'URT n'est plus mise en œuvre actuellement, mais pourrait reprendre à partir de 2023.

Le cycle du combustible

Le retraitement des combustibles nucléaires usés et le recyclage des matières fissiles qui en sont issues introduit un « cycle » à l'intérieur de la chaîne des opérations qui se succèdent pour alimenter les réacteurs nucléaires en combustible.

Dans cette perspective, les opérations comprises entre l'extraction du minerai d'uranium et la fabrication du combustible constituent l'amont du cycle. Celles qui vont de l'utilisation du combustible en réacteur, en passant par son retraitement et son recyclage jusqu'à son stockage le cas échéant, constituent l'aval du cycle.

Deux grandes options de gestion du combustible sont possibles, avec des déclinaisons intermédiaires :

- mise en œuvre d'une stratégie de gestion du combustible nucléaire sans retraitement des combustibles usés. Dans ce cas, les matières contenues dans les combustibles usés ne sont pas recyclées et les combustibles usés sont stockés ;
- mise en œuvre d'une stratégie de gestion du combustible nucléaire pour en extraire le plutonium et l'uranium et utiliser en totalité ou partiellement ces matières pour fabriquer de nouveaux combustibles. La France a opté pour le mono-recyclage, permettant de recycler une fois le plutonium, et étudie le déploiement du multi-recyclage.

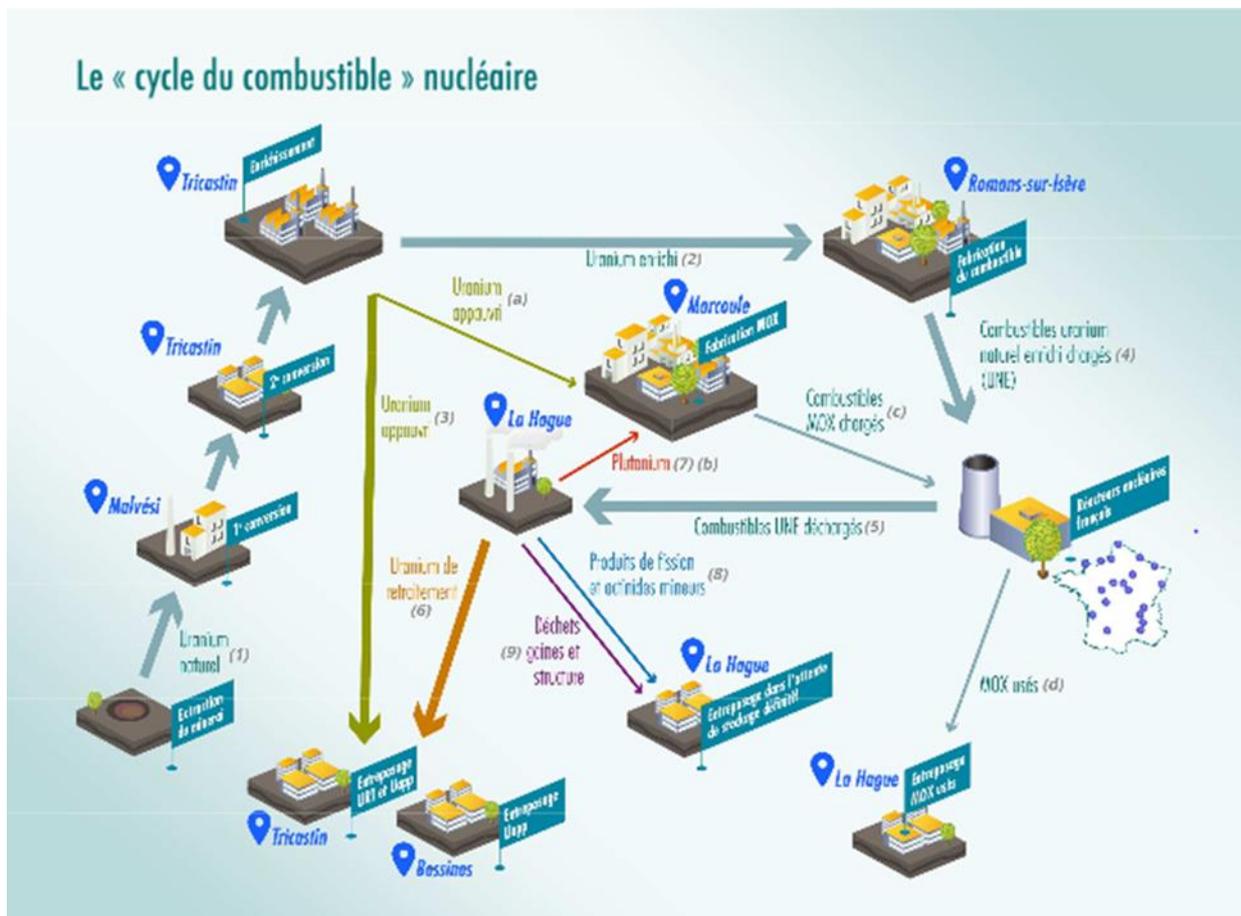


Figure 8 - Le cycle du combustible nucléaire mis en œuvre actuellement en France
(Source : ASN)

↳ Les principes et les différentes stratégies de gestion du combustible sont explicités dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire ». Les modalités de gestion du combustible retenues par d'autres pays ayant développé des programmes électronucléaires sont décrites dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 18 : Les cycles du combustible à l'international).

Comparaison des impacts environnementaux des stratégies de gestion du combustible utilisé

Une analyse des impacts pour l'environnement d'une stratégie de retraitement des combustibles usés en comparaison de celle qui résulterait de l'absence de retraitement, en considérant l'ensemble du cycle de vie du combustible, depuis l'extraction de l'uranium jusqu'au stockage des déchets induits est menée par Orano en lien avec les producteurs de déchets et l'Andra selon les prescriptions de l'article 9 de l'arrêté du 23 février 2017. Cette étude a été remise en décembre 2018 et est en cours d'instruction. Les résultats de cette analyse seront pris en compte pour l'élaboration du prochain PNGMDR.

Extrait des conclusions de l'étude par les producteurs (cette étude est disponible sur le site de l'ASN) :

« Le cycle actuel permet une économie de 10% d'uranium naturel (soit 975 tonnes d'uranium par an), et entraîne mécaniquement une réduction de 10% des impacts directement liés à la mine, tel que le volume des déchets miniers. Les écarts entre les deux scénarios pour les différentes catégories d'impact environnemental retenues sont généralement faibles (75 % des indicateurs présentent moins de 20 % de différence en relatif).

Le bilan comparé d'un cycle ouvert fait apparaître, par rapport au cycle actuel :

- Un indicateur ACV « radioélément » plus faible (-28%). Cet indicateur dépend notamment des rejets en C14 d'une part, de la modélisation des émissions de radon des résidus miniers d'autre part ;
- Un indicateur « volume des déchets MA-VL » plus faible (-66%). Les usines de l'aval du cycle, principaux contributeurs dans le cas du cycle actuel, n'existent pas dans un cycle ouvert ;
- Un indicateur « volume des déchets HA » beaucoup plus élevé (+283%), conduisant à une dégradation également du volume global pour les déchets MA-VL + HA destinés à Cigéo (+24%). Dans le cas d'un cycle ouvert, tous les combustibles usés sont considérés comme des déchets. Est illustré ici l'apport du traitement recyclage sur le volume des déchets destinés à CIGEO.

D'autres catégories d'impact mériteraient d'être considérées, telles que notamment les emprises ou l'impact au stockage. La démarche ACV doit également être complétée par une étude de sensibilité afin d'évaluer les incertitudes liées aux données, évaluations et hypothèses utilisées. Ces éléments constituent des axes d'amélioration de la présente étude. »

2.2.4. Les combustibles des réacteurs nucléaires de recherche

Les réacteurs de recherche ont pour objectif de contribuer à la recherche scientifique et technologique, en particulier pour améliorer la sûreté des centrales nucléaires. Ils sont exploités pour la plupart d'entre eux par le CEA dans ses différents centres de recherche. L'Institut Laue Langevin (ILL) exploite également un réacteur à Grenoble, le Réacteur à Haut Flux (RHF).

La consommation de combustible nécessaire au fonctionnement des réacteurs de recherche représente de faibles quantités en comparaison de celles mises en jeu dans l'industrie électronucléaire. La principale consommation pour le CEA est celle du réacteur Orphée¹³ à Saclay (91), de l'ordre de 0,015 tML/an. Celle du RHF est de l'ordre de 0,05 tML/an.

Les combustibles usés des réacteurs de recherche sont entreposés dans des installations nucléaires du CEA sur ces différents sites ou d'Orano Cycle à La Hague. Leurs propriétaires envisagent leur retraitement dans les installations de La Hague, ce qui nécessitera des travaux de R&D complémentaires d'une part, et des modifications des installations d'autre part. De plus, ils envisagent le recyclage de la matière qui les

¹³ Le CEA prévoit l'arrêt définitif du réacteur ORPHEE à la fin de l'année 2019 et en a fait la déclaration auprès de l'ASN.



constitue, soit pour de nouvelles applications en réacteur de recherche, soit pour une utilisation en réacteurs nucléaires pour la production d'électricité.

↪ Une présentation plus détaillée des combustibles des réacteurs de recherche est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, dans la partie 2.2.4.

2.3. *La gestion des déchets radioactifs*

2.3.1. Réduire la production des déchets radioactifs à la source et favoriser la valorisation

La gestion des déchets radioactifs s'inscrit dans le cadre général relatif au traitement des déchets, défini par les chapitres I et II du titre IV du livre V du code de l'environnement.

Le principe de limitation de la production de déchets à la source reste le premier axe d'amélioration et constitue la mesure préalable de référence en matière de politique de gestion des déchets, qu'ils soient radioactifs ou non.

Comme pour les déchets conventionnels, après la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets, la mise en place de filières de valorisation doit être favorisée avant d'envisager l'élimination. Du fait des risques sanitaires que comporte l'utilisation des substances radioactives, elle fait l'objet d'un encadrement particulier.

Ainsi, l'article R. 1333-2 du code de la santé publique interdit, dans la fabrication des biens de consommation, de denrées alimentaires ou d'aliments pour animaux :

- tout ajout de radionucléides, en plus de ceux naturellement présents, y compris par activation ;
- tout usage de substances radioactives d'origine naturelle ;
- tout usage de substances provenant d'une activité nucléaire lorsque celles-ci sont contaminées, activées ou susceptibles de l'être par des radionucléides mis en œuvre ou produits par l'activité nucléaire.

Le même article interdit l'addition de radionucléides artificiels, y compris lorsqu'ils sont obtenus par activation, et de substances radioactives d'origine naturelle, dans les produits de construction.

L'article R. 1333-4 du code de la santé publique introduit toutefois la possibilité de dérogations, à l'exclusion de certaines catégories de biens ou de produits, sous réserve que ces dérogations soient justifiées par les avantages qu'elles procurent au regard des risques sanitaires qu'elles peuvent présenter.

Les filières de valorisation mises en place en France ont ainsi été restreintes à une utilisation des substances recyclées au sein d'installations nucléaires.

Lorsque la valorisation des déchets n'est pas possible, ces derniers sont orientés vers une filière de gestion. Une filière de gestion des déchets radioactifs désigne l'ensemble des opérations réalisées sur les déchets radioactifs qui concourent, de leur production à leur stockage, à leur mise en sécurité définitive. Ces opérations comportent généralement une phase de conditionnement destinée à permettre l'entreposage puis le stockage des déchets.

Conditionnement des déchets avant entreposage puis stockage

Les déchets, pour être entreposés ou stockés, doivent être conditionnés dans des colis. Un colis de déchets est constitué de trois éléments : le déchet radioactif, un matériau d'immobilisation (verre, béton, résine ou bitume) et le conteneur (métal, béton, plastique...). Ce conditionnement vise à assurer la sûreté de la manutention, de l'entreposage, du transport et du stockage. Il est directement lié au type et à la dangerosité des déchets radioactifs qu'il renferme.

Les colis contenant les déchets les plus radioactifs sont les plus complexes. A l'opposé, certains déchets très peu radioactifs sont rassemblés dans des grands sacs appelés big-bags. Entre ces deux extrêmes, il y a toute une diversité de colis de déchets peu ou moyennement radioactifs : fûts ou caissons métalliques, cubes ou coques en béton.



Le rapport de synthèse 2018¹⁴ de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs établi par l'Andra fournit quelques éléments descriptifs des colis dans son chapitre 5 (dossier thématique 2).

¹⁴ Ce rapport est disponible sur le site internet de l'Andra : <https://inventaire.andra.fr/>

La décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017, relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage, fixe les exigences générales relatives aux colis de déchets radioactifs en vue de leur stockage. Elle précise notamment les responsabilités respectives du détenteur de déchets radioactifs, de l'exploitant procédant à son conditionnement et les responsabilités de l'exploitant de l'installation nucléaire de stockage à laquelle ils sont destinés.



Big Bags de déchets TFA stockés « en vrac »



Fûts de déchets (FMA-VC)



Colis vitrifié dans son alvéole de stockage, vu en coupe

2.3.2. Les filières de gestion des déchets radioactifs

Les paragraphes qui suivent renvoient, pour chacune des filières de déchets, vers les parties correspondantes de la dernière édition du PNGMDR¹⁵, qui en fournissent un descriptif plus détaillé. Les volumes associés à chaque catégorie de déchets sont présentés dans la partie 2.4 du présent document.

Les déchets à vie très courte (filière existante)

VTC

Les déchets à vie très courte sont les déchets contenant des radioéléments dont la période radioactive est inférieure à 100 jours.

Ils proviennent majoritairement du secteur médical ou de la recherche. Pour le médical, il peut s'agir d'effluents liquides ou gazeux, de déchets solides contaminés ou activés produits par l'utilisation de radionucléides dans ce domaine.

Les déchets à vie très courte ont une activité très faible et le temps nécessaire à l'atteinte d'un seuil ne présentant pas de risques pour la santé humaine et l'environnement est relativement court, jusqu'à environ trois ans.



¹⁵ Consultables sur le site internet de l'ASN : www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2016-2018

Les déchets à vie très courte peuvent être gérés par décroissance radioactive, avec la mise en place d'installations d'entreposage adaptées et sont ensuite orientés vers des filières de gestion conventionnelles.

↪ Une présentation plus détaillée des déchets à vie très courte et de leur mode de gestion est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, à la partie 3.4.

Les déchets de très faible activité (filière existante)

TFA

Les déchets dits de très faible activité présentent une activité massique généralement inférieure à 100 Bq/g, cette activité pouvant même être inférieure au seuil de détection de certains appareils de mesures.

Ils sont majoritairement issus du fonctionnement, de la maintenance et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible, des centres de recherche. Les déchets TFA se présentent généralement sous la forme de gravats (de béton, de terres, etc.), de déchets métalliques ou de plastiques (photos).



Travaux du HCTISN sur la gestion des déchets TFA

Un groupe de travail du HCTISN s'est réuni périodiquement depuis septembre 2017 en vue de répondre à une saisine de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) du 16 novembre 2016. Dans le cadre de l'évaluation PNGMDR 2016-2018, l'OPECST a souhaité que le HCTISN « puisse examiner, d'une part, la pertinence, dans le contexte national, d'une introduction des seuils de libération pour certains types de déchets très faiblement radioactifs, et, d'autre part, les conditions dans lesquelles la société civile pourrait être associée à une réflexion sur une telle décision et informée des conditions de son éventuelle mise en œuvre ».

Ce groupe a formulé ses premières recommandations dans le cadre d'un rapport intermédiaire (octobre 2018) en vue d'alimenter le présent débat sur ce sujet.

↪ Ce rapport est consultable sur le site internet du HCTISN¹⁶.

Une installation de stockage, implantée sur le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires, présenté dans la partie 2.3.5) exploitée par l'Andra, permet d'accueillir les déchets TFA depuis 2003. Les perspectives d'évolution de leur gestion font l'objet d'un développement dans la quatrième partie du présent document.

↪ Une présentation plus détaillée des déchets TFA et de leur mode de gestion est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, à la partie 3.5.

¹⁶ www.hctisn.fr/

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (filière existante)

FMA
-VC

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte ont un niveau de radioactivité de quelques centaines à un million de Bq/g et le temps nécessaire à l'atteinte d'un seuil ne présentant pas de risques pour la santé humaine et l'environnement est d'environ **trois cents ans**.

Ils sont principalement issus du fonctionnement (traitement des effluents liquides ou filtrations des effluents gazeux, etc.), de la maintenance (vêtements, outils, gants, filtres, etc.) et du démantèlement des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible, des centres de recherche. Ils proviennent aussi, pour une faible part, de la recherche médicale.

Ils se présentent sous forme :

- solide, comme par exemple des outils, gants, vêtements, pièces et composants démontés, des filtres d'eau ou d'air, des résines échangeuses d'ions, etc.
- liquide, comme par exemple des effluents de décontamination, des concentrats d'évaporateur, des solvants usagés, des liquides scintillants utilisés pour l'analyse, etc.



Les déchets FMA-VC sont stockés, depuis 1969, dans des centres de surface dédiés, d'abord au centre de stockage de la Manche jusqu'en 1994 puis au centre de stockage de l'Aube (CSM et CSA, présentés dans la partie 2.3.5).

Des déchets solides incinérables relevant de la catégorie FMA-VC peuvent être traités à Centraco (dont les installations sont présentées dans la partie 2.3.4). Les cendres et les mâchefers issus de l'incinération sont ensuite conditionnés puis expédiés en tant que déchets ultimes vers le centre de stockage de l'Aube.

Enfin, certains déchets métalliques peuvent être traités par fusion, ce qui permet de les décontaminer, au moins partiellement, et de recycler les matériaux en produits finis à destination des installations nucléaires de base.

↪ [Une présentation plus détaillée des déchets FMA-VC et de leur mode de gestion est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, dans la partie 3.6.](#)

La gestion des déchets de faible activité à vie longue (filière à développer)

FA-
VL

Les déchets de faible activité à vie longue ont un niveau de radioactivité de quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de Bq/g et le temps nécessaire à l'atteinte d'un seuil ne présentant pas de risques pour la santé humaine et l'environnement peut atteindre **plusieurs centaines de milliers d'années**.

Ils regroupent :

- des déchets de graphite provenant du fonctionnement et du démantèlement des anciens réacteurs de la filière UNGG* ;
- des déchets radifères (contenant du radium) provenant essentiellement d'activités industrielles non électronucléaires telles que l'extraction des terres rares ;
- d'autres types de déchets tels que certains colis de déchets anciens conditionnés dans du bitume et des résidus de traitement de conversion de l'uranium issus de l'usine d'Orano (ex Areva) située à Malvési.



Les déchets FA-VL doivent faire l'objet d'une gestion spécifique, adaptée à leur longue durée de vie, qui ne permet pas leur stockage dans les centres industriels existants de l'Andra dans l'Aube.

Dans l'attente de leur stockage, après traitement éventuel, les colis de déchets FA-VL sont entreposés dans des installations sur les sites de production :

- **les déchets radifères** de Solvay sont conditionnés dans environ 26 000 fûts de 220 litres, sur le site du CEA à Cadarache pour le compte de Solvay. D'autres déchets radifères sont entreposés sur les sites de Solvay à la Rochelle, d'Orano à Jarrie, sur des sites du CEA ou dans un bâtiment d'entreposage de l'Andra au Cires.
- **les déchets de graphite** sont entreposés sur les sites des centrales d'EDF en cours de démantèlement, sur le site d'Orano à La Hague et sur le site du CEA de Marcoule. La majorité de ces déchets sera produite lors de la déconstruction des anciens réacteurs de la filière UNGG.
- **les fûts de déchets bitumés FA-VL** sont entreposés sur le site CEA de Marcoule.

D'autres déchets relevant de la catégorie FA-VL (déchets des bassins de l'usine de décantation de Malvési, déchets technologiques de La Hague) sont également entreposés sur les sites de leurs producteurs.

Des investigations sont en cours sur le territoire de la communauté de communes de Soulaines pour étudier l'implantation d'un centre de stockage pour les déchets FA-VL. Ce projet est présenté dans la partie 2.3.6.

En parallèle, des **travaux de recherches** portant sur la **décontamination des déchets de graphite** sont en cours. Les perspectives d'évolution de leur gestion font l'objet d'un développement dans la partie 4.4 du présent document.

↪ Une présentation plus détaillée des déchets FA-VL et de leur mode de gestion est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, dans la partie 4.1, ainsi que dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 11 : Caractéristiques des déchets FA-VL)

La gestion des déchets de haute et moyenne activité à vie longue (filière à développer)

MA-
VL

Les déchets de moyenne activité à vie longue ont un niveau de radioactivité d'un million à un milliard de Bq/g et le temps nécessaire à l'atteinte d'un seuil ne présentant pas de risques pour la santé humaine et l'environnement peut atteindre **plusieurs centaines de milliers d'années**.

Il s'agit majoritairement de déchets de structures métalliques entourant les combustibles (coques et embouts) issus du retraitement du combustible usé et dans une moindre mesure de déchets technologiques liés à l'usage et à la maintenance des installations nucléaires, des déchets issus du traitement des effluents liquides (boues bitumées) et des déchets activés issus de l'exploitation des réacteurs nucléaires.



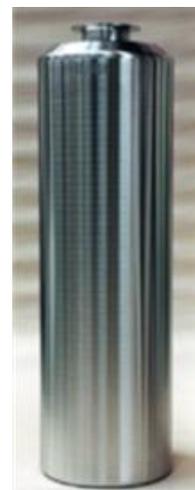
HA

Les déchets de haute activité ont un niveau de radioactivité de **plusieurs milliards de Bq/g** et le temps nécessaire à l'atteinte d'un seuil ne présentant pas de risque pour la santé humaine et l'environnement peut atteindre **plusieurs centaines de milliers d'années**.

Ils sont principalement issus du retraitement du combustible usé. Il s'agit de résidus hautement radioactifs provenant de la dissolution chimique des combustibles usés. Ces déchets sont incorporés dans du verre puis conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable (photo).

Pour les déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, le **code de l'environnement retient le stockage géologique profond réversible comme solution pour la gestion à long terme des déchets radioactifs** ultimes qui ne peuvent être stockés en surface ou à faible profondeur pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.

Cette disposition du code de l'environnement, issue de la loi du 28 juin 2006, constitue l'aboutissement de 15 années de recherches encadrées par la **loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, dite « loi Bataille »** (les lois de 2006 et de 1991 ont déjà été abordées dans la partie 1.2.1).



La loi du 30 décembre 1991 avait fixé les trois axes de recherche suivants :

- la recherche de solutions permettant **la séparation et la transmutation** des éléments radioactifs à vie longue présents dans les déchets de haute activité. Le principe de la transmutation est de transformer des radionucléides dont la période radioactive est très longue (jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années) en éléments stables ou à vie plus courte. Cette transformation aurait lieu soit dans les réacteurs nucléaires de nouvelle génération, dont la gestion du combustible devrait être adaptée, soit dans des systèmes dédiés pilotés par des accélérateurs ;

↪ **La transmutation est décrite de manière plus détaillée dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 12 : La séparation transmutation)**

- l'étude des possibilités de **stockage réversible** ou **irréversible** dans les formations géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains ;
- l'étude de procédés de **conditionnement** et **d'entreposage de longue durée** en surface de ces déchets.

Ces recherches ont permis de conclure que :

- la faisabilité technologique de la **séparation et de la transmutation** n'était pas acquise. Elle nécessiterait de développer de nouveaux procédés, nécessitant de nombreux sauts technologiques. Il est vraisemblable qu'elle ne serait pas applicable aux déchets déjà produits. Même en cas de mise en œuvre de cette solution, l'élimination des déchets radioactifs HA et MA-VL ne serait pas totale ;
- l'**entreposage de longue durée** n'était pas techniquement réhilitaire mais ne pouvait pas constituer une solution définitive pour la gestion des déchets radioactifs de haute activité à vie longue car elle supposait le maintien d'un contrôle de la part de la société et la reprise des déchets par les générations futures, ce qui semblait difficile à garantir sur des périodes de plusieurs centaines de milliers d'années ;
- des éléments relatifs à la faisabilité d'un **stockage en couche géologique** indiquaient la forte probabilité de pouvoir démontrer la sûreté d'une installation de stockage dans l'argile étudiée aux moyens du laboratoire de Meuse/Haute-Marne. L'ASN avait ainsi indiqué, dans son avis du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HA) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, que « le stockage en formation géologique profonde [était] une solution de gestion définitive qui [apparaissait] incontournable. »

Les étapes ultérieures du développement de la filière de gestion des déchets HA et MA-VL sont présentées à la partie 2.3.7, consacré au projet de stockage géologique Cigéo. Les mises en œuvre du principe de réversibilité et de la phase pilote du projet Cigéo font l'objet d'un développement dans la partie 4.5 du présent document.

⇒ **Une présentation plus détaillée des déchets HA et MA-VL et de leur mode de gestion est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, à la partie 4.2.**

Le stockage géologique profond dans d'autres pays

La directive européenne 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactif rappelle que «l'entreposage de déchets radioactifs, y compris de long terme, n'est qu'une solution provisoire qui ne saurait constituer une alternative au stockage ». Elle rappelle de plus qu'« il est communément admis que sur le plan technique, le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité et du combustible usé considéré comme déchet ». Un guide de l'AIEA établit des recommandations en matière de conception d'un stockage géologique de déchets radioactifs¹⁷.

Plusieurs pays disposent d'installations de recherche similaires au laboratoire souterrain de l'Andra à Bure. La Suède, la Finlande, la Corée et la Chine pilotent des programmes de recherche sur le stockage profond au sein de roches granitiques. La France, le Japon, la Suisse et la Belgique étudient les formations argileuses. La France est aujourd'hui, avec la Suède et la Finlande, l'un des pays les plus avancés sur ce sujet.

Pour l'heure, il n'existe pas d'installation de stockage géologique profond de déchets HA et MA-VL en exploitation. Une demande d'autorisation est en cours d'instruction en Suède pour une mise en service prévue à l'horizon 2020 / 2025. En Finlande, l'autorisation de création de l'installation a été

¹⁷ www.iaea.org/publications/8535/geological-disposal-facilities-for-radioactive-waste

accordée par le Gouvernement en 2015 et sa construction a été engagée en 2016. L'opérateur déposera une demande d'autorisation d'exploitation à l'horizon 2020.

Plus d'informations sont fournies dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 20 : L'état des recherches, études et projets de stockages géologiques profonds à l'international).

2.3.3. Les déchets faisant l'objet de stockages historiques

Certains déchets ont pu faire l'objet par le passé de gestion dont les modalités ne correspondent plus aux règles actuelles de gestion des déchets :

- Certains déchets provenant d'installations nucléaires de base (INB) ou d'installations nucléaires de base secrètes (INBS) ont été historiquement stockés au sein ou à proximité des sites de production ou dans des installations de stockage de déchets conventionnels, lorsque le niveau d'activité des déchets était jugé suffisamment faible.
- Des déchets de très faible activité provenant de certaines activités historiques de l'industrie conventionnelle ou de l'industrie nucléaire civile ou militaire ont pu être stockés dans des installations de stockage de déchets conventionnels.
- Des déchets à radioactivité naturelle élevée provenant de l'industrie conventionnelle ont été déposés (stockage ou transit) à proximité des sites de production ou dans les installations de stockage de déchets conventionnels relevant de la réglementation des installations classées pour l'environnement, ou pour certains, valorisés (réalisation de bâtiments ou de travaux routiers).

Afin d'assurer au mieux la gestion responsable et sûre des situations historiques précédemment décrites, des dispositions ont été prises pour identifier et surveiller les stockages historiques et pour définir des stratégies de gestion futures.

↪ Une présentation plus détaillée des déchets historiques et de leur mode de gestion est fournie dans le PNGMDR 2016-2018, dans la partie 3.1.

Il peut être également signalé que l'immersion des déchets radioactifs a été une solution de gestion considérée, à une certaine époque, comme sûre par la communauté scientifique internationale, car la dilution et la durée présumée d'isolement apportée par le milieu marin étaient jugées suffisantes. Quelques milliers de tonnes de déchets ont été immergés par la France entre 1967 et 1982.

Depuis 1993, toute immersion de déchets radioactifs est interdite. Le programme de surveillance des sites d'immersion de déchets, mené par l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), a conclu qu'il n'était pas nécessaire de maintenir une surveillance continue des sites d'immersion de déchets nucléaires.

2.3.4. Les installations de traitement des déchets

Plusieurs installations nucléaires sont spécifiquement dédiées à l'entreposage ou au traitement des déchets radioactifs.

Elles permettent la mise en œuvre des différentes stratégies de gestion des différents producteurs de déchets radioactifs. Ces stratégies de gestion sont périodiquement évaluées par l'ASN et l'ASND.

Les installations du CEA

Le CEA procède à de nombreuses opérations de **démantèlement** de ses anciennes installations nucléaires. Outre les déchets courants que produit l'exploitation de ses installations de recherche, le CEA doit assurer la gestion de déchets issus des opérations de reprise et de conditionnement de déchets anciens, en

particulier sur le site de **Marcoule**, ainsi que les déchets consécutifs à l'arrêt définitif et au démantèlement des installations.

Pour gérer ces déchets ainsi que ses combustibles usés issus des réacteurs de recherche et de la propulsion navale, le CEA dispose d'installations spécifiques pour le traitement, le conditionnement et l'entreposage, implantées sur les centres de Cadarache, de Marcoule et de Saclay. La plupart de ces installations sont mutualisées pour l'ensemble des centres du CEA, comme la station de traitement des effluents liquides de Marcoule ou la station de traitement des déchets solides de Cadarache.

Les installations d'Orano

L'usine de traitement des combustibles usés de l'établissement de La Hague produit une grande partie des déchets radioactifs d'Orano¹⁸. Les déchets présents sur le site de La Hague comprennent, d'une part, les déchets issus du traitement du combustible usé, provenant généralement de centrales nucléaires de production d'électricité mais également de réacteurs de recherche et, d'autre part, les déchets liés au fonctionnement des différentes installations du site. Orano doit également mettre en œuvre plusieurs grands projets sur le site de La Hague pour reprendre et conditionner des déchets anciens avant leur gestion ultérieure (stockage au CSA ou entreposage en attente de Cigéo).



Figure 10 - Vue de l'installation de La Hague (© Laurent Mignaux - Terra)

Orano exploite par ailleurs l'installation nucléaire de base Ecrin à Malvési, composée de deux bassins d'entreposage des boues, nitratées et chargées en uranium naturel, issues de son usine de conversion de l'uranium de Malvési.

Les installations d'EDF

Deux installations de gestion de déchets sont spécifiquement associées à la stratégie de gestion des déchets d'EDF :

- l'Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (Iceda) est une INB d'entreposage de déchets radioactifs basée sur le site de la centrale nucléaire du Bugey. Elle n'a

¹⁸ Il convient de noter qu'EDF reste quoi qu'il en soit propriétaire de déchets de procédé de haute activité et de moyenne activité à vie longue issus des combustibles usés, après traitement dans l'usine Orano de La Hague.

pas encore été mise en service. Elle a pour objectif d'entreposer, dans l'attente de leur transfert vers un lieu de stockage, les déchets activés provenant du fonctionnement des réacteurs d'EDF en exploitation, du démantèlement des réacteurs UNGG et de la centrale de Creys-Malville.

- Les silos de Saint Laurent des Eaux, constitués de deux casemates en béton enterrées, situés dans l'emprise du centre de production nucléaire du même nom, contiennent des chemises de graphite irradiées, issues de l'exploitation des réacteurs UNGG de Saint Laurent A. EDF prévoit de reprendre et de conditionner les déchets, pour les entreposer avant leur stockage.

L'installation de fusion/incinération de Socodei

Le Centre de traitement et de conditionnement de déchets de faible activité (Centraco), situé sur la commune de Codolet (Gard), à proximité du site de Marcoule, est exploité par la société Socodei, filiale d'EDF.

L'usine Centraco a pour but de trier, décontaminer, valoriser, traiter et conditionner, en particulier en réduisant leur volume, des déchets et des effluents faiblement radioactifs. Ces déchets sont ensuite acheminés vers le CSA de l'Andra. L'installation est constituée d'une unité de fusion où sont fondus les déchets métalliques ; d'une unité d'incinération où sont incinérés les déchets combustibles ; d'entrepôts de cendres et de mâchefers, de déchets liquides et d'effluents de lessivage ainsi que de déchets métalliques ; et d'une unité de maintenance.

2.3.5. Les centres de stockage des déchets existants



Figure 11 - Localisation des centres de stockage de déchets radioactifs (Source : Andra)



Deux installations de stockage sont exploitées par l'Andra dans l'Aube : le **Cires** pour les déchets de très faible activité (TFA) et le **Centre de Stockage de l'Aube (CSA)** pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC). Le CSA a pris la succession du centre de stockage de la Manche (CSM), qui a reçu son dernier colis en 1994.

Le Cires, le CSA et le CSM sont des **installations de stockage en surface**. Leurs principes de conception s'apparentent à ceux des installations utilisées pour le stockage des déchets dangereux non radioactifs et constituent une solution de gestion définitive pour 90 % du volume de déchets radioactifs produits en France.

- **Le Centre de stockage de l'Aube (CSA)** a été mis en service en 1992 et accueille les déchets FMA-VC. Depuis 1992, 384 582 colis de déchets ont été stockés soit 325 634 m³, ce qui représente environ 33 % de sa capacité totale de stockage autorisée.

↪ **Un descriptif plus détaillé du CSA est fourni dans la partie 3.6.5.2 du PNGMDR.**

Pour les déchets de faible et de moyenne activité à vie courte (FMA-VC) pris en charge par l'Andra sur le site du CSA, les coûts de stockage sont d'environ 5000 €/m³ de déchets. Ces coûts intègrent la prise en charge des déchets jusqu'à la fermeture du site.

- **Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)** a été mis en service en 2003 et accueille les déchets TFA. Depuis 2003, 426 760 colis de déchets ont été stockés, soit 352327 m³, ce qui représente, à fin 2017, 54,2 % de sa capacité totale de stockage autorisée. Les perspectives de saturation des capacités de stockage sont développées dans la partie 4.3 du présent document.

↪ **Un descriptif plus détaillé des modalités de stockage des déchets TFA est fourni par la partie 3.5.8 de l'édition 2016-2018 du PNGMDR.**

Pour les déchets de très faible activité (TFA) pris en charge par l'Andra sur le site du Cires, les coûts de stockage sont d'environ 500 €/m³ de déchets. Le coût total moyen, incorporant le conditionnement, le transport et le stockage s'élève à 1200 €/m³.

- **Le Centre de stockage de la Manche (CSM)** est un centre ayant reçu, entre 1969 à 1994, 527225 m³ de déchets radioactifs de FMA-VC. Aujourd'hui, le centre ne reçoit plus de colis de déchets mais continue de faire l'objet d'aménagements et d'adaptations en vue d'une fermeture définitive d'ici une cinquantaine d'années.

↪ **Le CSM fait l'objet de la partie 3.6.5.1 du PNGMDR.**

↪ **Le livret « Approfondir ses connaissances » fournit plus d'informations sur les équipements et les mesures de surveillance de l'environnement associés aux trois centres de stockages de l'Andra (Fiche n° 14 : Installations de stockage de déchets radioactifs), ainsi que leur impact sur l'environnement et les populations (Fiche n° 6 : Impact des activités de gestion des matières et des déchets radioactifs sur l'environnement et les populations)**

Les centres de stockage de déchets radioactifs font l'objet d'une surveillance environnementale, au même titre que les autres installations nucléaires. Cette surveillance porte notamment sur les rejets gazeux, elle concerne aussi bien le contrôle de l'activité rejetée que celui des quantités de substances chimiques émises dans l'environnement.

Emissions de substances radioactives dans l'air des installations nucléaires¹⁹

Les émissions de substances radioactives dans l'air des installations nucléaires sont encadrées et contrôlées par les autorités compétentes de l'Etat. Ces émissions, qui ne sont autorisées qu'après évaluation préalable de l'impact prévisible sur les milieux et sur la santé des populations, sont régulièrement revues à la baisse en application du principe d'optimisation²⁰. Les sites doivent utiliser les meilleures techniques disponibles pour réduire les rejets de substances polluantes dans l'air et obtenir des résultats inférieurs aux limites maximales fixées. Les rejets d'effluents gazeux radioactifs et chimiques de chaque installation doivent être publiés chaque année en détail, dans le rapport sur la sûreté nucléaire et la radioprotection des installations. Aujourd'hui, les deux principaux radionucléides rejetés dans l'atmosphère dans le cadre du fonctionnement normal des installations nucléaires sont le tritium et le carbone 14.

Activité	Emissions de Carbone 14 (GBq)		Emissions de Tritium (GBq)	
	Limite réglementaire	Emissions effectives	Limite réglementaire	Emissions effectives
Cires (stockage des déchets TFA)	1	0,012	30	0,032
CSA (stockage des déchets FMA-VC)	5	0,037	50	0,22
Activités du Centraco (incinération et fusion)	1250	3,6	6000	475
Utilisation du combustible dans l'industrie électronucléaire (ex. réacteur 1450 MWe de la Centrale de Civaux)	700	68	2500	860
Utilisation du combustible en recherche nucléaire (ex. CEA de Saclay)	2030	34,6	80 000	12 000
Activité de retraitement des combustibles usés à La Hague	28 000	20 600	150 000	61 900

Tableau : Emissions de carbone 14 et de tritium en Giga Becquerel de plusieurs INB (Source : Rapports sur la sûreté nucléaire et la radioprotection des installations et Rapport environnemental du CEA de Saclay).

Le site responsable des rejets les plus conséquents est le site d'Orano Cycle à La Hague et, à l'opposé, les installations de stockage ont des rejets pratiquement négligeables. Les enjeux portent sur la capacité des exploitants à :

- entretenir les sites pour disposer des meilleures techniques disponibles et obéir au principe d'optimisation ;
- faire face à l'augmentation anticipée de l'activité pour les sites de gestion des déchets, liée au démantèlement, sans aggraver l'impact actuel.

Les INB rejettent aussi des effluents chimiques, l'usine de La Hague atteignant par exemple des niveaux relativement élevés en matière de NOx* (environ 90 t par an de rejets effectifs), toutefois inférieurs à 20 % de la limite réglementaire.

¹⁹ Données issues de l'Evaluation environnementale stratégique du PNGMDR 2016-2018

²⁰ Le principe d'optimisation consiste à maintenir toutes les expositions au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (ALARA), compte tenu des facteurs économiques et sociaux. Ces dernières années, on a vu apparaître dans divers contextes un autre concept associé à ce principe : celui des Meilleures techniques disponibles (MTD).

Des consommations énergétiques supérieures des sites de traitement des déchets par rapport aux sites de stockage, mais relativement faibles à l'échelle globale²¹

Les émissions totales de CO₂ liées à la gestion des déchets radioactifs représentent moins de 1 % des émissions totales de la filière énergétique française, avec 57,5 Mt CO₂ par an.

Les activités les plus consommatrices d'énergie et les plus émettrices de CO₂ sont celles qui concernent le traitement des substances radioactives à savoir l'usine de traitement des combustibles usés de La Hague et l'installation Centraco. Toutefois, les émissions de chacun de ces sites restent modérées, puisque équivalentes à celles d'un site de catégorie A (<50kt CO₂ annuels) au regard du système d'échanges de quotas d'émissions de GES, soit des émissions comparables à celles d'une chaudière urbaine. Les installations de stockage sont encore moins consommatrices d'énergie et émettrices de gaz à effet de serre.

Site	Consommation d'électricité (GWh)	Consommation de fioul (m3)	Emission de CO2 (t CO2 eq.)
Centraco	27	990	3 900*
La Hague*	550	-	50 000
Sites de stockage (CSM, CSA, Cires et CMHM**)	12,17		630
Total			54 530

* En moyenne sur la période 2009-2013 pour l'installation CENTRACO et en considérant le facteur d'émission par défaut du fioul lourd (3.12 tCO₂/t) et de l'électricité en France (51 tCO₂/GWh)

** Le centre de recherche autour du projet Cigéo est déjà construit. Il n'est destiné qu'à l'étude

Tableau : Consommation annuelle d'énergie et émissions de CO₂ des sites de traitement et de stockage des matières et déchets radioactifs (Sources : Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection du site AREVA La Hague (2014) et de l'installation EDF Socodei (2013), et Bilan Andra des émissions de gaz à effet de serre 2011)

2.3.6. Le projet de stockage de déchets FA-VL

En juin 2008, le Gouvernement avait confié au Président de l'Andra la mission de lancer l'appel à candidatures auprès des collectivités locales pour accueillir une installation de stockage des déchets de type FA-VL. L'Andra avait contacté 3 115 communes, dont les territoires étaient géologiquement favorables à l'implantation du centre de stockage, afin de leur présenter le projet. Ces communes avaient jusqu'à fin octobre 2008 pour manifester leur intérêt. Suite à cet appel à candidatures, l'Andra avait reçu une quarantaine de délibérations favorables de conseils municipaux.

Fin 2008, l'Andra remettait au Gouvernement un rapport d'analyse (géologique, environnementale et socioéconomique) de ces candidatures.

En juin 2009, l'Andra annonçait la décision du Gouvernement de mener des investigations approfondies sur deux communes et de vérifier ainsi la faisabilité d'implantation de l'installation de stockage sur ces territoires. Toutefois, les deux communes retenues après évaluation ont retiré leur candidature.

²¹ Données issues de l'Évaluation environnementale stratégique du PNGMDR 2016-2018



Un nouveau processus a été relancé en 2012 sur la base des recommandations d'un rapport du HCTISN²², établi sur la base des enseignements tirés des premières recherches. Le rapport a notamment recommandé de se donner du temps pour mener à bien le processus en établissant un calendrier réaliste, tout en prévoyant un certain nombre d'étapes et de points de rendez-vous permettant l'évaluation du projet et une révision éventuelle du calendrier.

L'Andra a remis fin 2012 un rapport d'étape sur les scénarios de gestion à long terme des déchets FA-VL, qui concluait à la nécessité de lancer des investigations géologiques pour se prononcer sur la faisabilité d'un stockage à faible profondeur des déchets radifères.

Des investigations géologiques ont été réalisées entre 2013 et 2015 sur une zone d'environ 50 km² dans le territoire de la communauté de communes de Soulaines dans l'Aube, à proximité des centres de stockage existants. Elles ont montré la possibilité technique de poursuivre l'étude d'un stockage de faible profondeur sur une zone restreinte de 10 km².

Pendant la même période, les producteurs ont établi une liste de déchets à étudier pour un stockage à faible profondeur sur le site investigué. Les études des producteurs visant à améliorer la connaissance de ces déchets, en particulier leur contenu radiologique, ont été poursuivies. Des études de recherche et développement ont été initiées, en lien avec l'Andra, pour évaluer le comportement des déchets en situation de stockage.

En 2015, l'Andra a remis un rapport d'étape explicitant les avancées en termes de recherche de site, d'investigations radiologiques menées dans l'Aube, de caractérisation des déchets et de conception de nouvelles installations de stockage.

Les évaluations phénoménologiques et de sûreté préliminaires réalisées par l'Andra montrent que le site de la Communauté de communes de Soulaines présente des caractéristiques favorables à l'accueil de déchets FA-VL examinés dans le rapport d'étape. Néanmoins, ce site ne pourra pas prendre en charge la totalité des déchets FA-VL, qui représentent un périmètre plus large que celui sur lequel les évaluations de l'Andra ont porté. Les réflexions sur les perspectives relatives à la solution de stockage des déchets FA-VL font l'objet d'un développement dans la partie 4.4 du présent dossier.

2.3.7. Le centre de stockage Cigéo (stockage géologique profond des déchets les plus radioactifs (HA et MA-VL))

La définition d'une filière de gestion pour les déchets les plus radioactifs, les déchets HA et MA-VL, a fait l'objet de nombreuses recherches et étapes de décision.

Le choix du stockage géologique profond des déchets HA et MA-VL

1991 - La loi Bataille

Cette loi instaure un programme de recherche de 15 années pour réfléchir à une solution de gestion des déchets radioactifs les plus dangereux. Les 3 axes de ce programme de recherche ont été présentés dans la partie 2.3.2.

1998 - Le choix du site

Le Gouvernement fait le choix du site de Meuse/Haute-Marne pour créer un laboratoire souterrain.

2005 - Premier débat public

Les résultats des recherches menées dans le cadre de la loi Bataille font l'objet d'un premier débat public national organisé par la Commission nationale du débat public.

²² Rapport du 7 octobre 2011, disponible sur le site internet du HCTISN : www.hctisn.fr

2006 - Loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs

La loi du 28 juin 2006 retient la solution du stockage géologique profond comme solution pour la gestion des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue. Le Parlement demande que le futur site de stockage profond soit réversible pendant au moins 100 ans et que les recherches sur d'autres solutions de gestion soient poursuivies.

2012 - Présentation du projet Cigéo

Sur la base des études menées notamment dans le laboratoire souterrain de Bure, l'Andra présente les esquisses du futur centre de stockage. Le projet est baptisé Cigéo.

2013 - Deuxième débat public

La Commission nationale du débat public organise un deuxième débat public sur le projet Cigéo.

2016 - Loi sur les modalités de Cigéo

La loi du 25 juillet 2016 définit les modalités de création de l'installation de stockage profond et précise la notion de réversibilité.

2016-2018 - Instruction du dossier de sûreté

En avril 2016, l'Andra remet le dossier d'options de sûreté (DOS), qui détaille les éléments techniques du projet. Le 11 janvier 2018, l'ASN rend un avis globalement positif sur ce dossier, accompagné de préconisations techniques destinées à être prises en compte dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC).

Le principe du stockage géologique en couche profonde

Le **stockage géologique en couche profonde** vise à accueillir les déchets radioactifs les plus dangereux produits et à produire par le parc nucléaire actuel, dont une large part est d'ores et déjà produite. Il consiste à mettre en place des colis de déchets radioactifs dans une installation souterraine implantée dans une couche géologique dont les caractéristiques permettent de confiner les substances radioactives contenues dans ces déchets.

L'objectif du stockage géologique est de protéger, sur le très long terme, l'Homme et l'environnement du danger que représentent ces déchets radioactifs.

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement décrit la procédure applicable pour créer et mettre en service une installation de stockage réversible en couche géologique profonde. Cette installation serait une INB, à laquelle devra s'appliquer la réglementation propre à ce type d'installation.

Cependant, eu égard à la spécificité d'une installation de ce type, le Parlement a souhaité encadrer de manière dédiée ses procédures d'autorisation. La future installation de stockage en couche géologique profonde, appelée « Cigéo » et conçue par l'Andra devrait, sous réserve de son autorisation, être exploitée pendant plus de 100 ans et comporterait plusieurs phases successives :

- une mise en service limitée à une phase industrielle pilote à l'horizon 2030 ;
- une mise en service complète marquant le passage en exploitation courante du projet (cette mise en service complète n'interviendrait pas avant 2035 et dépendrait des retours relatifs à la mise en œuvre de la phase industrielle pilote) ;
- les opérations de fermeture prévues à l'horizon 2150, suivies par une phase de surveillance.

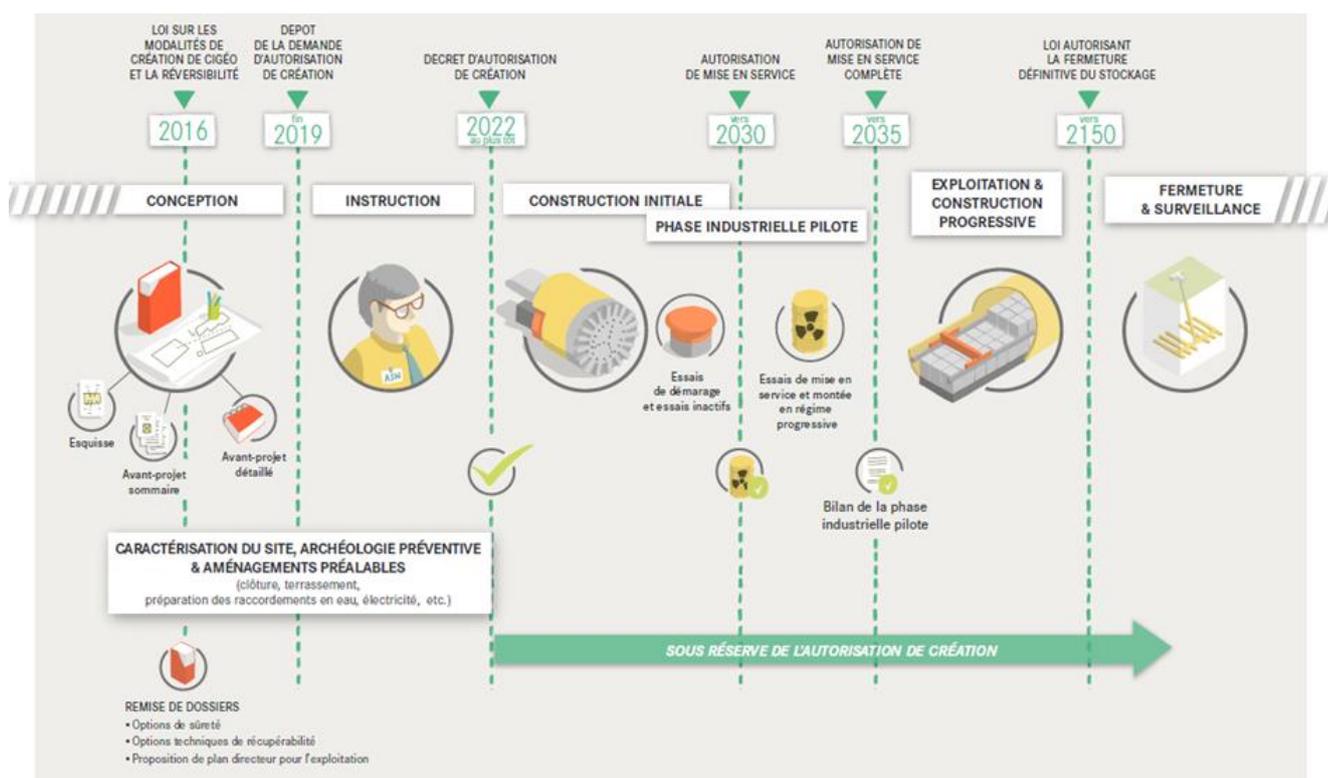


Figure 12- Le planning du projet Cigéo (Source : Andra)

À ce jour, le projet Cigéo poursuit sa phase de conception et de préparation des autorisations administratives.

➔ Pour plus de détails sur les principales étapes du projet Cigéo, se référer au livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 3 : Les principales étapes du projet Cigéo).

En septembre 2018, une plateforme de ressources internet dédiée au projet de stockage géologique profond www.cigeo.gouv.fr, sous pilotage de l'Etat et avec la participation de l'ASN et de l'IRSN, a été mise en ligne. Cette plateforme de ressources et d'information a pour objet, notamment, de rassembler des ressources documentaires produites par l'Andra, l'ASN et l'IRSN mais aussi des ONG, des opposants et des lanceurs d'alerte.

Dispositions de sûreté passives

Une telle installation de stockage - contrairement à une installation d'entreposage - doit être conçue de telle sorte que la sûreté à long terme soit assurée de manière passive : elle ne doit pas dépendre d'actions de surveillance ou de maintenance. Ces actions nécessiteraient en effet un contrôle institutionnel dont la pérennité ne peut être garantie au-delà d'une période de temps limitée.

La géologie du terrain retenu joue donc un rôle essentiel pour la sûreté à long terme, notamment le confinement. Enfin, la profondeur des ouvrages de stockage doit être telle que ces derniers ne puissent être affectés de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, changements climatiques, séismes...) ou par des activités humaines « banales ».

En 2018, l'ASN a rendu un avis sur le dossier d'options de sûreté (DOS) de Cigéo transmis par l'Andra en 2016. L'ASN estime que le projet Cigéo a atteint dans son ensemble une maturité technique satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté. Elle estime aussi que le dossier d'options de sûreté est documenté et étayé et constitue une avancée significative par rapport aux précédents dossiers ayant fait l'objet d'avis de l'ASN. L'ASN a néanmoins formulé plusieurs recommandations et une réserve concernant le stockage d'une



catégorie de déchets à Cigéo, les déchets bitumés. Le ministère de la Transition écologique et solidaire et l'ASN ont ainsi souhaité qu'une expertise indépendante et internationale soit menée sur cette problématique. Cette expertise est en cours, elle doit rendre ses conclusions mi-2019 au plus tard et doit permettre à l'Andra de tenir compte de ces éléments dans sa demande d'autorisation de création (DAC). L'Andra prévoit de déposer une demande de déclaration d'utilité publique (DUP) et une demande d'autorisation de création (DAC) au cours de l'année 2019.

Progressivité et adaptabilité

Afin de tenir compte toutefois des durées très longues de déploiement et d'utilisation d'un tel stockage, qui peuvent impliquer des évolutions de politique énergétique ou d'orientations en matière de gestion des déchets, un objectif central dans le déploiement de ce type de solution reste la progressivité, c'est à dire la réalisation du stockage par étape, ainsi que l'adaptabilité des concepts mis en œuvre. Le principe de réversibilité est détaillé dans la partie 4.5.2.

Éléments techniques sur le projet de stockage géologique profond Cigéo

Cigéo est destiné à stocker les déchets **HA et MA-VL français** existants, issus des installations déjà arrêtées, et ceux produits par les installations actuellement en fonctionnement ou autorisées. Le projet n'est donc pas conçu pour prendre en charge les déchets produits par un futur parc de réacteurs nucléaires, hormis ceux de l'EPR de Flamanville.

Localisé à la limite de **la Meuse** et de **la Haute-Marne**, le centre de stockage issu du projet Cigéo, s'il est autorisé, serait composé de **deux installations de surface** et **d'une installation souterraine** située en grande profondeur au cœur de la couche d'**argile** (à environ **500 mètres de profondeur**). Il serait complété d'infrastructures de liaison (descenderies) permettant de relier les installations entre elles.

Les colis de déchets seraient réceptionnés, contrôlés et préparés dans les installations de surface en vue de leur stockage dans l'installation souterraine. Cette installation serait fermée de manière progressive.

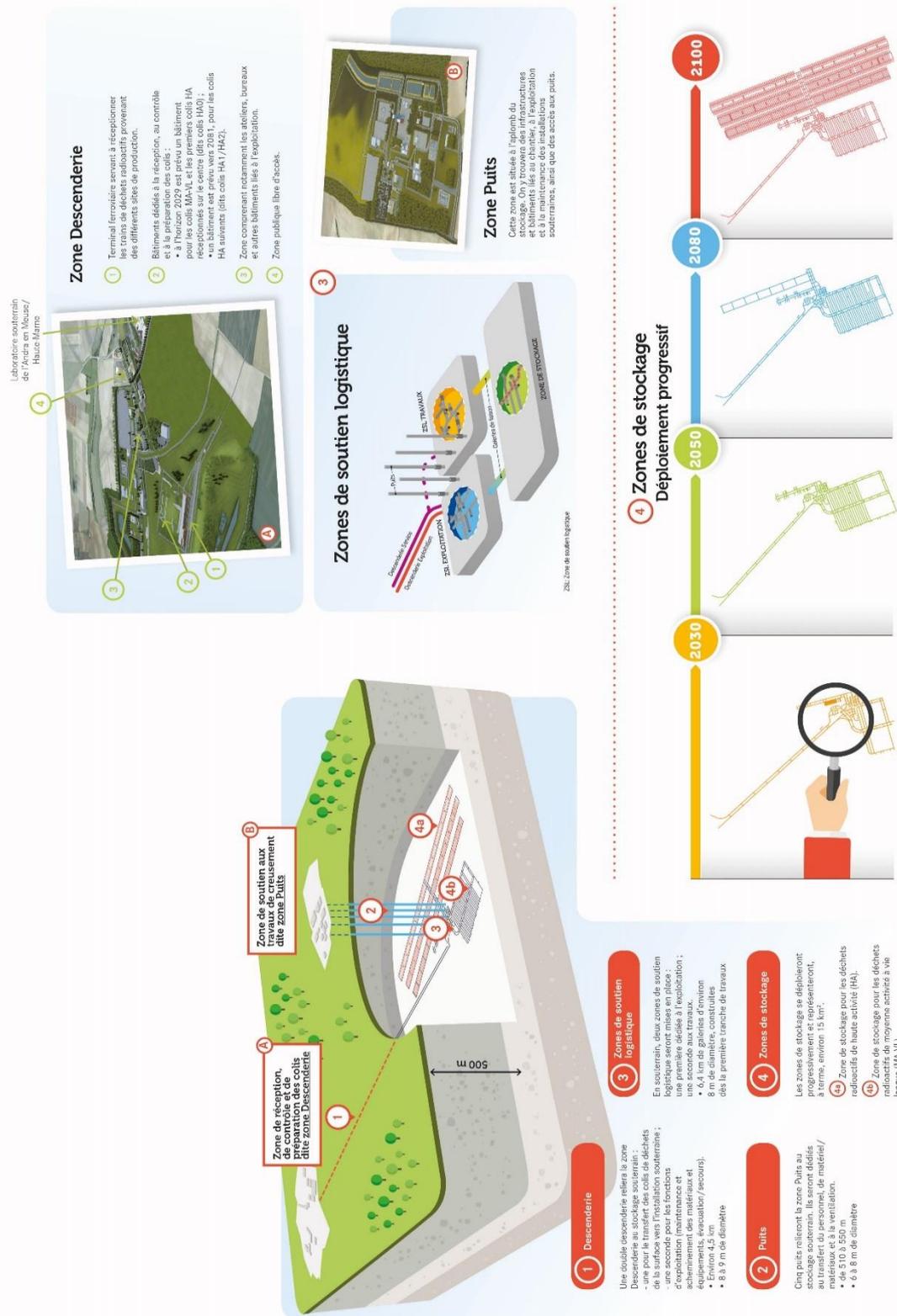


Figure 13 - Les installations du projet Cigéo (Source Andra)

Les principales échéances du projet à venir

Courant 2020 : l'Andra prévoit de déposer, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, la demande d'autorisation de création du centre de stockage réversible profond.

L'autorisation du projet n'interviendrait pas, le cas échéant, avant 2022, après au moins 3 ans d'instruction, et serait délivrée par décret en Conseil d'État, après une instruction technique de l'Autorité de sûreté nucléaire, une enquête publique, un avis de l'Autorité environnementale, un avis des collectivités locales concernées, de l'OPECST et de la Commission nationale d'évaluation.

La demande d'autorisation de mise en service partielle serait instruite pour la seule phase industrielle pilote.

2030 : démarrage de l'installation de stockage réversible profond par une phase industrielle pilote.

Les enjeux liés à la phase industrielle pilote sont présentés en partie 4.5.

En application des dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, les résultats de la phase industrielle pilote devront faire l'objet d'un rapport de l'Andra, d'un avis de la CNE, d'un avis de l'ASN et du recueil de l'avis des collectivités territoriales situées en tout ou partie dans une zone de consultation définie par décret pour soumission à l'OPECST. Le Gouvernement devra également présenter un projet de loi adaptant les conditions d'exercice de la réversibilité du stockage.

C'est au terme de l'analyse des résultats de la phase industrielle pilote que l'ASN pourra, le cas échéant, délivrer l'autorisation de mise en service complète de l'installation.

Cigéo - un projet qui repose sur des inventaires de déchets à stocker

Pour tenir compte de la période extrêmement longue de son exploitation (140 ans), le projet Cigéo est conçu comme un outil flexible dont le développement sera progressif. Ce mode de développement permet l'adaptation du projet aux évolutions de choix de politique énergétique.

En particulier, les décisions relatives à l'évolution du parc nucléaire, à la durée d'exploitation des réacteurs, ou au retraitement des combustibles usés impactent directement la quantité de déchets à stocker. Le non-renouvellement du parc actuel impliquerait par exemple le stockage de combustibles usés non retraités.

Afin de gérer les incertitudes inhérentes à ce projet, l'article D. 542-90 du code de l'environnement a divisé l'inventaire des déchets de Cigéo en deux ensembles :

- **l'inventaire de « référence »**, qui constitue la base de la conception du projet et qui est pris en compte dans la démonstration de sûreté soumise à l'ASN. Les déchets inclus dans cet inventaire ont vocation à être les seuls déchets dont le stockage sera initialement autorisé.

Il s'agit des déchets dont les volumes sont évalués sur la base des hypothèses suivantes :

- fonctionnement des réacteurs nucléaires à 50 ans en moyenne,
- retraitement de la totalité des combustibles usés dans le parc actuel et dans un parc futur,
- non prise en compte des déchets produits par un futur parc (les déchets qui seront produits par les installations nucléaires en cours de construction sont également pris en compte).

Ainsi, les volumes de déchets HA et MA-VL conditionnés, c'est-à-dire mis sous forme de colis de déchets par leur producteur, qui ont été pris en compte dans l'inventaire de référence de Cigéo sont estimés à :

- environ 10 000 m³ pour les déchets HA (soit environ 60 000 colis) ;
- environ 75 000 m³ pour les déchets MA-VL (soit environ 170 000 colis).

- **l'inventaire de « réserve »** prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique. Il intègre en particulier les combustibles usés non retraités (MOx usé et URE usé) issus de l'exploitation des

réacteurs électronucléaires, dans l'hypothèse d'un non-renouvellement du parc électronucléaire. Par précaution, il est en effet jugé nécessaire de s'assurer que les options de conception du projet ne rendent pas impossible leur stockage futur, si cette solution était finalement retenue.

La mise en œuvre du stockage des déchets de l'inventaire de réserve devrait faire l'objet d'une mise à jour de la démonstration de sûreté de Cigéo et d'une nouvelle autorisation, s'il en était décidé ainsi.

Les combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires, des réacteurs expérimentaux et de la propulsion nucléaire navale qui ne sont pas référencés dans l'inventaire de référence sont intégrés dans l'inventaire de réserve (article D. 542-91 du code de l'environnement).

L'évaluation du coût de Cigéo, projet de stockage réversible en couche géologique profonde

Le code de l'environnement prévoit que l'Andra propose au ministre chargé de l'énergie une évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue selon leur nature. Après avoir recueilli les observations des producteurs de déchets et l'avis de l'ASN, le ministre chargé de l'énergie arrête l'évaluation de ces coûts et la rend publique. Conformément à ces dispositions, l'Andra a remis en octobre 2014 au ministre une évaluation des coûts du projet Cigéo. L'ASN et la Commission nationale d'évaluation (CNE) ont rendu leur avis²³ sur le dossier d'évaluation de l'Andra. Les principaux producteurs de déchets radioactifs (Orano, le CEA et EDF) ont également émis des observations sur ce dossier. A l'issue de ce processus le ministre a fixé par arrêté du 15 janvier 2016 le coût de Cigéo à 25 milliards d'euros aux conditions économiques du 31 décembre 2011.

Ce coût est évalué sur une période de 140 ans à partir de 2016, soit 10 ans de conception et de construction des premiers ouvrages, 10 ans de phase pilote, 110 ans d'exploitation et de développement progressif du stockage et 10 ans pour la fermeture. L'évaluation de ce coût ne constitue ni une autorisation du projet, ni une décision relative à son niveau de sûreté.

Une actualisation régulière de ce coût est prévue, a minima aux étapes clés du développement du projet (autorisation de création, mise en service, fin de la "phase industrielle pilote", réexamens de sûreté).

2.3.8. Le transport des déchets radioactifs

Les transports de déchets nucléaires font partie (comme les transports des combustibles usés évoqués dans la partie 2.2.3) de l'ensemble, plus large des transports de substances radioactives. Ces derniers se distinguent par leur grande diversité. Les colis de substances radioactives peuvent peser de quelques centaines de grammes à plus d'une centaine de tonnes et l'activité radiologique de leur contenu peut s'étendre de quelques milliers de becquerels à des milliards de milliards de becquerels pour les colis de combustibles nucléaires irradiés.

Les enjeux de sûreté sont très variés, entre des transports d'évacuation des déchets radioactifs produits par des centres de soin (un tiers des colis de substances radioactives transportées est utilisé dans le secteur médical) et des transports de déchets radioactifs vitrifiés issus du retraitement du combustible usé.

Les familles de colis utilisés sont définies en fonction des caractéristiques des substances radioactives à transporter : On distingue ainsi cinq familles de colis : colis exceptés, colis de type industriel, colis de type A, colis de type B, colis de type C.

²³ www.cne2.fr/



En ce qui concerne le risque accidentel, l'IRSN liste quatorze accidents significatifs, liés au transport de substances radioactives, ayant eu lieu en territoire français ou impliquant la responsabilité d'un expéditeur français. En moyenne, un à deux accidents de transport par an ont entraîné un relâchement de radioactivité dans l'environnement ces 30 dernières années, dont aucun avec des conséquences graves sur l'environnement et la population.

⇒ Pour plus de détails sur le transport des substances radioactives, dont son impact environnemental, se référer au livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n°8 : Le transport des substances radioactives).

2.4. Bilan actuel des stocks de matières et de déchets radioactifs

L'Andra recense annuellement l'ensemble des matières et déchets radioactifs présents sur le territoire français au 31 décembre de chaque année sur la base des informations fournies par leurs détenteurs (voir la partie 1.3.3). Les sources scellées sont enregistrées par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en vertu de l'article R. 1333-47 du code de la santé publique.

Bilan des stocks de matières radioactives à fin 2017

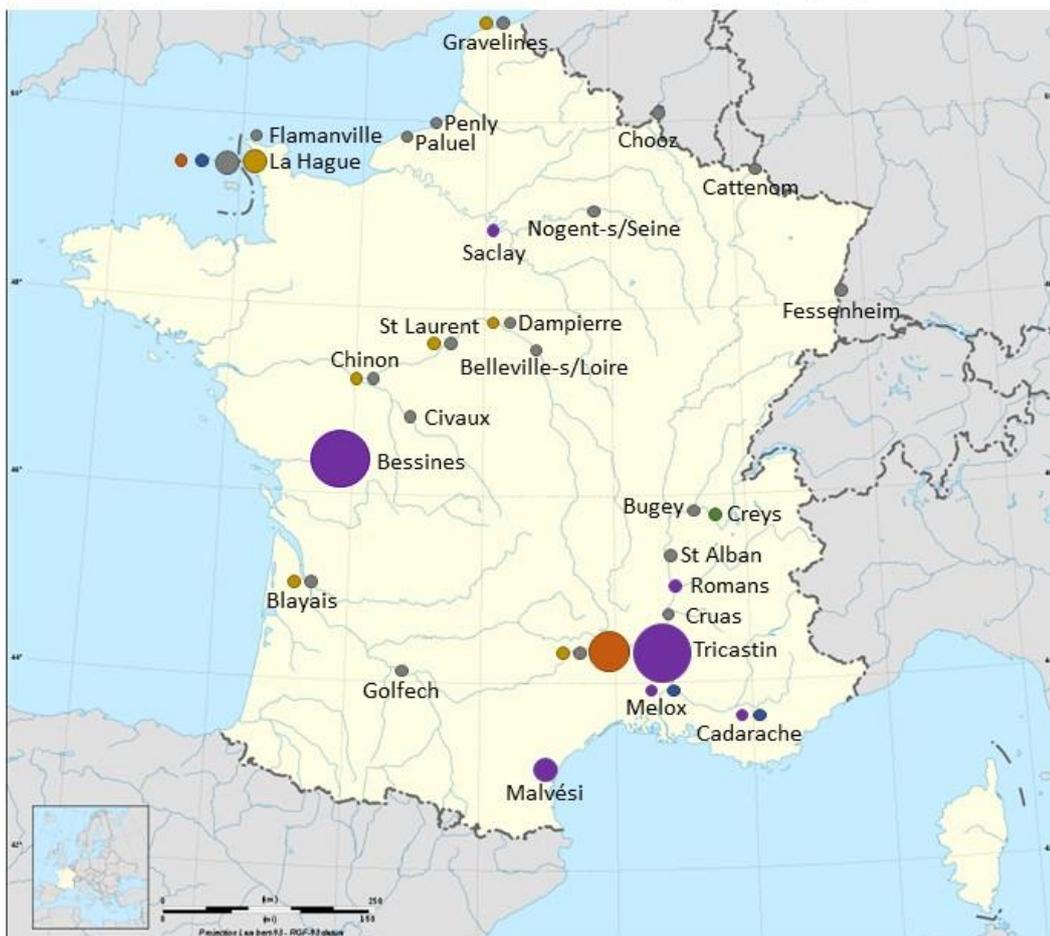
Les détenteurs de matières sont essentiellement, pour les matières fissiles, les acteurs du cycle du combustible nucléaire, tous les exploitants de réacteurs nucléaires (électronucléaire, défense nationale, recherche), et les acteurs de l'industrie chimique détenant des matières radioactives dans le cadre de leur activité (extraction de terres rares par exemple).

Le bilan des stocks de matières radioactives à fin 2017 figure dans le tableau ci-dessous :

Catégorie de matière		A fin 2017 (tML)
Uranium naturel	Uranium naturel extrait de la mine, sous toutes ses formes physico-chimiques	30 500
	Uranium naturel enrichi, sous toutes ses formes physico-chimiques	3 540
	Uranium appauvri, sous toutes ses formes physico-chimiques	315 000
Uranium issu du retraitement des combustibles usés	Uranium enrichi issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	-
	Uranium issu du retraitement des combustibles usés, sous toutes ses formes physico-chimiques	30 500
Combustible à base d'oxyde d'uranium des réacteurs électronucléaires (UNE, URE)	Combustibles avant utilisation	337
	Combustibles en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	4 210
	Combustibles usés en attente de retraitement	12 100
	Rebuts de combustibles d'uranium non irradiés en attente de retraitement	-
Combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium des réacteurs électronucléaires (Mox, RNR)	Combustibles avant utilisation ou en cours de fabrication	22
	Combustibles en cours d'utilisation dans les centrales électronucléaires	431
	Combustibles usés en attente de retraitement	2 030
	Rebuts de combustibles d'uranium non irradiés en attente de retraitement	276
Combustibles des réacteurs de recherche	Combustibles avant utilisation	-
	Combustibles en cours d'utilisation	0,8
	Autres combustibles usés civils	59
Plutonium séparé non irradié, sous toutes ses formes physico-chimiques		54
Thorium, sous la forme de nitrates et d'hydroxydes		8 570
Matières en suspension (sous-produits du traitement des minerais de terres rares)		5
Autres matières		70
Combustibles usés de la défense nationale)		194

Tableau 2 - Bilan des stocks de matières radioactives à fin 2016 (en tML, excepté pour les combustibles usés de la défense nationale en tonnes d'assemblages) (Source Les Essentiels 2019 de l'Andra)

Localisation des matières radioactives issues du secteur électronucléaire sur le territoire français au 31/12/2016



- Uranium naturel
 - Uranium issu du retraitement des combustibles usés
 - Combustibles à base d'oxyde d'uranium
 - Combustible à base d'oxyde mixte d'U et de Pu
 - Plutonium séparé non irradié
 - Autres matières
-
- $x > 100\,000$ tML
 - $10\,000 < x < 100\,000$ tML
 - $1\,000 < x < 10\,000$ tML
 - $x < 1\,000$ tML

Figure 14 - Localisation des matières radioactives issues du secteur électronucléaire sur le territoire français (Source Andra)

Bilan des stocks de déchets radioactifs à fin 2017

On compte plus d'un millier de détenteurs tous secteurs économiques confondus, dont une minorité détient la majorité des déchets radioactifs. Les volumes de déchets recensés correspondent aux volumes de déchets conditionnés, c'est-à-dire pour lesquels aucun traitement complémentaire n'est envisagé par leurs producteurs avant stockage. Les déchets ainsi conditionnés constituent les colis primaires. Afin de pouvoir effectuer des bilans, une unité de compte homogène a été adoptée : le « volume équivalent conditionné ». Pour les déchets dont le conditionnement n'est pas mis en œuvre à ce jour, des hypothèses sont faites pour évaluer le volume équivalent conditionné.

Pour le cas particulier du projet de stockage en couche géologique profonde Cigéo, un conditionnement complémentaire, appelé colis de stockage, sera éventuellement nécessaire afin d'assurer notamment des fonctions de manutention ou de récupérabilité. Seul le volume des colis primaires est pris en compte dans le tableau ci-dessous :

Catégorie	Volume des stocks à fin 2017 (m ³)	Volume (%)	Radioactivité (%)	Equivalent en nombre de piscine olympique	Centre de stockage (en exploitation, en projet ou en surveillance)
HA	3 740	- 0,2 %	94,90 %	1	Cigéo
MA-VL	42 800	- 2,9 %	4,90 %	12	Cigéo
FA-VL	93 600	- 5,8 %	0,14 %	24	En projet
FMA-VC	938 000	- 59,6 %	0,03 %	245	CSA/Cires
TFA	537 000	- 31,3 %	0,00 %	129	Cires
DSF*	1 770	- 0,2 %	0,00 %	0,5	
Total	~ 1 620 000	100,0 %	100,00 %		
* Déchets sans filière					

Tableau 3 - Bilan des volumes (m³) de déchets présents sur les sites des producteurs/détenteurs et stockés dans les centres de l'Andra à fin 2017 (Source Andra)

Ainsi, le volume occupé par les déchets HA représente l'équivalent d'une piscine olympique.

A titre comparatif, en 2012, en France, 11 millions de tonnes de déchets dangereux ont été produits, soit 3% du volume total des déchets produits en 2012. Le stock total²⁴ de déchets radioactifs, produits à fin 2017 depuis l'origine du programme électronucléaire français, représente l'équivalent de la production de 4 mois de déchets dangereux.

Site	Catégorie	Capacité d'accueil totale	Capacité utilisée à fin 2018	Taux de remplissage à fin 2018
Cires	TFA	650 000 m ³	376 000 m ³	57,9 %
CSA	FMA-VC	1 000 000 m ³	335 000 m ³	33,5 %
CSM	FMA-VC	530 000 m ³	530 000 m ³	100 %

Tableau 4 - Capacité utilisée à fin 2018 des sites de stockages de l'Andra en exploitation (Source Andra)

Le tableau ci-dessus complète les données concernant les volumes de déchets par catégorie avec les sites de stockage en exploitation à l'heure actuelle et leur capacité utilisée à fin 2018. Ainsi, plus des trois quarts des déchets radioactifs déjà produits sont définitivement stockés dans les centres de l'Andra : les déchets

²⁴ En considérant un tonnage équivalent des déchets radioactifs d'environ 3 millions de tonnes, pour une densité moyenne des déchets de 2 (1 m³ = 2 tonnes).



TFA au Cires (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage) et les déchets FMA-VC au CSM (Centre de stockage de la Manche, qui ne reçoit plus de déchets) et au CSA (Centre de stockage de l'Aube).

2.5. Bilan des précédents PNGMDR et de ses principales recommandations pour les différentes filières de gestion des matières et des déchets radioactifs

Les différentes éditions du PNGMDR ont permis une amélioration progressive et continue des différentes filières de gestion des matières et déchets radioactifs. La démarche d'élaboration (voir la partie 5) du plan constitue en elle-même un cadre permettant de définir les grandes actions à mener en matière de gestion des matières et déchets radioactifs.

D'un point de vue juridique, les principales mesures et demandes d'études sont transcrites dans des décrets et des arrêtés, leur conférant ainsi un caractère obligatoire.

➔ Ces textes réglementaires sont recensés sur le site de l'ASN²⁵.

L'ensemble des études prescrites par les différentes éditions du PNGMDR ont ainsi permis d'alimenter et de faire progresser les réflexions des PNGMDR successifs concernant les modes de gestion des matières et des déchets. Les études réalisées dans le cadre des PNGMDR sont accessibles sur le site de l'ASN.

Quatre plans se sont succédé depuis 2007. La loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs s'était nourrie des travaux menés pour l'élaboration du premier plan 2007-2009, travaux qui avaient été engagés dès 2003.

2.5.1. Le PNGMDR 2007-2009

Le premier plan (2007-2009) dressait un état des lieux des travaux menés selon les 3 axes d'études établis par la loi du 30 décembre 1991 pour la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (qui a été présentée dans la partie 1.2.2).

S'agissant du stockage géologique profond, le plan confirmait l'intérêt de la couche d'argile du site de Bure, couche présentant des propriétés physiques favorables au confinement des radionucléides et notait que les études menées sur le comportement des colis de déchets HA et MA-VL apportaient des garanties sur leur bonne tenue à très long terme. Il rappelait par ailleurs le consensus international sur le fait que le stockage géologique pourrait constituer une solution de gestion sûre et pérenne. Il proposait la mise en œuvre d'un programme d'ingénierie pour définir la conception et le fonctionnement d'une installation de stockage en couche géologique profonde et l'inventaire des déchets qui y seraient stockés.

Le plan 2007-2009 notait que les études sur la « séparation poussée », permettant d'éliminer des déchets issus des combustibles usés les radionucléides les plus « lourds » de durée de vie longue (autre que l'uranium et le plutonium), et celles sur les potentialités des réacteurs de 4^{ème} génération pour « transmuter » ces éléments étaient encore au stade de la recherche. Il préconisait l'élargissement des recherches à d'autres technologies que les réacteurs de 4^{ème} génération pour la transmutation. L'édition suivante du PNGMDR (2010-2012) dressait ainsi un état des lieux des programmes de recherche concernant la transmutation, en parallèle des travaux menés en lien avec les programmes de réacteurs de 4^{ème} génération.

S'agissant de l'entreposage de longue durée, le plan constatait qu'il ne pouvait constituer une solution satisfaisante pour le traitement des déchets à vie longue, du fait des contraintes qu'il fait peser sur les générations futures. Il recommandait la réalisation d'une évaluation des besoins d'entreposage en fonction des différents scénarios de stockage envisagés et la poursuite des travaux visant à améliorer le conditionnement des déchets anciens (ces travaux étant de la responsabilité des producteurs de déchets).

²⁵ www.asn.fr/Reglementer/Cadre-legislatif



L'inventaire national des matières et déchets radioactifs établi en 2009 par l'ANDRA fournissait ainsi une première évaluation des besoins d'entreposage pour les colis de déchets HA et MA-VL sur leurs sites de production avant la date prévisionnelle de mise en exploitation du stockage profond. Cette évaluation montrait que les installations d'entreposage sur les sites de production devraient permettre, sous réserve de la réalisation des extensions nécessaires, de répondre, en termes de capacités et de durées, aux besoins qui sont prévus actuellement et jusqu'à la mise en exploitation du stockage géologique. Par ailleurs, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble des études sur le comportement à long terme des colis de déchets HA et MA-VL, des structures de pilotage communes CEA, EDF, AREVA, Andra ont été mises en place.

La première édition du plan abordait également la question des déchets de faible activité et à vie longue, pour lesquels il a été demandé à l'Andra d'étudier le concept de stockage à faible profondeur et d'analyser les sites susceptibles de recevoir un tel stockage. Fin 2008, l'Andra a remis deux études au Gouvernement : une étude sur la recherche de site de stockage pour les déchets FA-VL et une étude de la possibilité de stocker d'autres types de déchets FA-VL avec les déchets de graphite et radifères.

Le plan identifiait enfin plusieurs actions particulières relatives à certaines catégories de déchets et matières radioactives (sources scellées dont la durée d'utilisation est échue, entreposage des déchets contenant du tritium, résidus miniers), destinées à en définir ou à en améliorer les conditions de gestion. Il dressait en particulier un état des lieux de la gestion des résidus miniers. Ces déchets présentent de faibles activités mais des risques liés au dégagement de radon. Le plan demandait donc aux exploitants des installations de stockage de ces résidus de remettre une étude sur l'impact à long terme sur la santé et l'environnement de ces stockages, assortie d'éventuelles mesures de renforcement des dispositions de prévention des risques d'exposition du public. ORANO (ex Areva) a remis une étude sur l'impact à long terme sur la santé et l'environnement des stockages de résidus miniers d'uranium, une étude sur l'évaluation de la tenue des digues, une étude sur la caractérisation des résidus ainsi que les préconisations associées à ces études.

2.5.2. Les éditions 2010-2012 et 2013-2015 du PNGMDR

Les éditions de 2010-2012 puis de 2013-2015 du PNGMDR ont poursuivi les travaux engagés sur les projets de stockage et sur le conditionnement des déchets anciens. Elles ont également lancé des plans d'action dans de nouveaux domaines : programmation de la reprise de déchets de certains anciens entreposages, étude de l'impact de la réutilisation historique des stériles miniers, développement de schémas industriels globaux de gestion des matières et déchets radioactifs.

Ces plans ont recommandé la réalisation d'études complémentaires permettant d'affiner les modalités pratiques de mise en œuvre d'un centre de stockage géologique profond, notamment par l'évaluation des besoins d'entreposage des producteurs de déchets tenant compte du calendrier de mise en exploitation envisageable du projet de centre de stockage. L'Andra a ainsi initié en 2011 la phase de conception industrielle de Cigéo avec pour objectif de remettre un dossier de demande d'autorisation de création dont l'instruction technique sera conduite par l'ASN. Un dossier d'options de sûreté a été remis par l'Andra à l'ASN en avril 2016, dossier sur lequel l'ASN a rendu un avis en janvier 2018.

Toutefois, certains sujets du dossier d'options de sûreté nécessitent des compléments en vue de la demande d'autorisation de création que l'Andra prévoit de déposer en 2019. Les principaux compléments demandés portent sur la justification de l'architecture de stockage, le dimensionnement de l'installation pour résister aux aléas naturels, la surveillance de l'installation et la gestion des situations post-accidentelles.

Les plans prévoient également la consolidation des travaux sur le concept de stockage en faible profondeur des déchets à faible activité et à vie longue, en précisant notamment le périmètre des déchets qui pourraient y être stockés :

- déchets radifères, issus des activités industrielles de Rhodia et d'Orano ou des activités de recherche du CEA ou issus des opérations d'assainissement des sols pollués au radium ;
- déchets de graphite dont la plus grande partie sera produite par le démantèlement des réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG) ;
- fûts d'enrobés bitumés entreposés au centre CEA de Marcoule et à La Hague.



Sur la période 2013-2015, les producteurs ont établi une liste de déchets à étudier pour un stockage à faible profondeur sur le site investigué. Ils ont mené des travaux complémentaires de caractérisation afin d'en améliorer la connaissance. L'Andra, EDF et le CEA ont également initié des travaux de R&D pour évaluer le comportement des déchets en situation de stockage dans des milieux cimentaires et argileux.

S'agissant des déchets de faible et moyenne activité à vie courte, les plans ont encadré les actions à mener pour favoriser le maintien de la mémoire du site de stockage de la Manche, ainsi que l'évaluation prévisionnelle de l'inventaire radiologique du centre de stockage de l'Aube, au regard de sa capacité autorisée. La mise à jour par l'Andra de son inventaire national a permis de conclure que les installations existantes ne seraient pas en capacité de recevoir l'ensemble des déchets produits par le fonctionnement et le démantèlement des installations actuelles.

L'évaluation de l'évolution des capacités de stockage restantes des déchets très faiblement radioactifs (TFA) dans le centre de Morvilliers a également donné lieu à des préconisations. Les plans ont recommandé l'élargissement des recherches sur les solutions de gestion globale des déchets TFA, en prenant notamment en considération les opérations de démantèlement des installations nucléaires de base à venir, qui seront productrices d'importants volumes de ce type de déchets. Un schéma industriel global de la filière de gestion des déchets TFA, présentant plusieurs pistes complémentaires d'optimisation pouvant être mis en œuvre, a été présenté lors de l'édition 2013-2015 du plan national.

Les plans ont introduit des axes d'étude concernant le potentiel de valorisation des matières dont les propriétés permettent d'envisager une utilisation dans de futures générations de réacteurs nucléaires. Les recommandations ont en particulier porté sur l'analyse de scénarios alternatifs, dans lesquels les matières seraient à l'avenir requalifiées en déchets.

En matière de gestion des résidus de traitement minier et des stériles miniers, les études engagées sur l'évaluation à long terme des risques d'exposition des populations, dont les premières conclusions permettaient d'acquiescer les bases nécessaires à l'évaluation de la stabilité des digues de rétention des sites de stockage et d'améliorer les connaissances relatives à la modélisation des impacts du radon, ont été poursuivies conformément aux recommandations des plans.

Enfin, les plans 2010-2012 et 2013-2015 ont permis de lancer des travaux d'inventaire des déchets radioactifs restant sans filière d'élimination identifiée et de définir les orientations de recherche à mener en priorité pour trouver des solutions de gestion.

2.5.3. Le PNGMDR 2016-2018

La dernière édition du plan de 2016-2018 renforce la structuration des différentes filières de gestion, en recommandant la constitution ou la mise à jour de schémas industriels globaux associés et insiste sur la nécessité de consolider les prévisions concernant la production de déchets radioactifs, notamment ceux de très faible activité. **La remise et l'analyse des études demandées par cette édition²⁶ sont en cours. Elles permettront d'alimenter l'élaboration de la prochaine édition du plan.**

Le PNGMDR a également ouvert de nouveaux axes de travail, notamment sur la nocivité à long terme des déchets radioactifs, les perspectives de valorisation de long terme de certaines matières radioactives ou encore les stratégies d'entreposage dans l'attente de la mise en place de solutions de gestion définitive.

En matière de gestion des déchets de haute activité ou de moyenne activité à vie longue, le dernier plan prévoit que l'Andra élabore une version préliminaire des spécifications d'acceptation des déchets dans l'installation de stockage en couche géologique profonde qu'elle conçoit. Sur la base de ces spécifications, les producteurs de déchets devront évaluer la conformité du conditionnement de leurs déchets dont l'exutoire envisagé est le stockage en couche géologique profonde.

²⁶ Ces études sont mises en lignes, au fur et à mesure, sur le site internet de l'ASN www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2016-2018

Le plan recommande également la réalisation d'une étude comparée, du point de vue de l'impact environnemental, d'une stratégie de retraitement des combustibles usés en comparaison de celle qui résulterait de l'absence de retraitement. Il demande de préciser et de développer les scénarios prospectifs d'utilisation des matières valorisables, en veillant à leur cohérence avec les objectifs fixés par la loi de transition énergétique pour la croissance verte. Les études relatives au stockage de ces substances, dans le cas où elles seraient à l'avenir qualifiées de déchets, devront être approfondies par l'Andra, en lien avec leurs propriétaires. Ces études sont actuellement en cours (elles sont listées dans la fiche thématique 7.3 [études prescrites dans le cadre du PNGMDR 2016-2018]).

Concernant la gestion des déchets FA-VL, le dernier PNGMDR demande à l'Andra de poursuivre les investigations géologiques menées sur le site de la communauté de communes de Soulaines, territoire qu'identifiait le rapport d'étape remis par l'ANDRA sur la gestion des déchets FA-VL dans le cadre du plan 2013-2015. L'Andra et les producteurs de déchets devront également poursuivre leurs études sur l'inventaire radiologique, le comportement dans le stockage et les possibilités de traitement de leurs déchets FA-VL. Un schéma industriel global de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs FA-VL devra par ailleurs être remis avant fin 2019.

L'édition 2016 - 2018 du PNGMDR recommande de poursuivre les travaux d'optimisation des déchets TFA et des déchets FMA-VC, en continuant les travaux sur la valorisation des déchets (les conditions de recyclage des déchets radioactifs étant restreintes au sein de la filière nucléaire), sur les conditions permettant d'augmenter les capacités de stockage des centres actuels et sur les perspectives de solutions de stockage alternatives pour les déchets TFA.

Les recommandations de la prochaine édition du plan s'appuieront notamment sur les résultats des études demandées par l'édition 2016- 2018, dont certaines sont déjà disponibles sur le site internet de l'ASN, ainsi que leurs évaluations.

*** Les enjeux environnementaux liés à la gestion des matières et des déchets radioactifs**

L'Autorité environnementale a rendu un avis sur l'évaluation environnementale du PNGMDR 2016 2018. Tout en constatant les progrès obtenus grâce aux éditions successives du PNGMDR, dix ans après la loi qui l'a créé, l'autorité environnementale préconise d'approfondir certains aspects du plan, qu'elle considère peu ou pas assez développés :

- *définition de la nocivité des déchets,*
- *description et prise en compte de l'évolution de leur radioactivité, y compris à très long terme,*
- *approche globale des impacts environnementaux des rejets et des déchets,*
- *ou encore cohérence des principes de gestion (en particulier pour ce qui concerne le recyclage et la valorisation).*

Elle recommande ainsi :

- *de produire une évaluation comparée des impacts pour la population et l'environnement (rejets et déchets) des différentes alternatives possibles ou envisagées et de démontrer leur cohérence avec les principes de gestion qui leur sont applicables*
- *d'appliquer une méthodologie adaptée à chaque filière de gestion des matières ou des déchets, en fonction des principaux enjeux environnementaux qui la concerne.*

Le PNGMDR 2016-2018 a pris en compte les recommandations de l'autorité environnementale, qui se sont traduites par plusieurs prescriptions de l'arrêté du 23 février 2017.

- *un rapport sur la nocivité actuelle et future des matières et déchets radioactifs (art.1 de l'arrêté du 23 février 2017) ;*

- 
- *pour les principales orientations stratégiques de gestion des matières et déchets radioactifs, des évaluations comparées des impacts pour la population et l'environnement des différentes alternatives possibles ou envisagées ;*
 - *une analyse comparée des impacts pour l'environnement d'une stratégie de retraitement des combustibles usés en comparaison de celle qui résulterait de l'absence de retraitement (art.9 de l'arrêté du 23 février 2017) ;*
 - *une proposition de grille d'analyse multicritères permettant de justifier la pertinence des choix retenus pour la gestion des déchets TFA, notamment sur le plan environnemental (art.31 de l'arrêté du 23 février 2017).*

Les éléments demandés permettront d'enrichir la prochaine édition du PNGMDR.

3. La politique énergétique et ses impacts sur la gestion des matières et des déchets radioactifs

Cette troisième partie du dossier vise à offrir une vision prospective des volumes de déchets et de matières qui seront produits par le parc actuellement en fonctionnement, selon différents scénarios de politique du cycle du combustible.

Le prochain PNGMDR aura vocation à s'inscrire en lien avec les choix structurants de politique énergétique faits par le Gouvernement, en particulier le maintien de la politique de traitement-recyclage du combustible nucléaire. Il apparaît qu'il en soit pertinent d'offrir une clé de compréhension des implications que pourraient avoir des évolutions majeures de politique sur les volumes à terminaison des matières et déchets radioactifs.

Cette partie explore également les conséquences d'autres facteurs structurants, tels que la disponibilité de technologies de transmutation, ou encore le décalage de la mise en œuvre d'un stockage pour les déchets HA/MA-VL.

3.1. *Les grandes orientations de la politique énergétique française définies par la PPE 2019-2028*

3.1.1. La définition de la politique énergétique en France

Pour répondre aux défis climatiques et énergétiques majeurs auxquels elle devra faire face dans les décennies à venir, la France s'est engagée dans une transition énergétique globale, déclinée par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). Cette loi fixe des grands objectifs à moyen et long termes :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 ;
- réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012 en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030 ;
- réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à 2012 ;
- porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030 ;
- porter la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à un horizon fixé - initialement - à 2025 ;
- atteindre un niveau de performance énergétique conforme aux normes « bâtiment basse consommation » pour l'ensemble du parc de logements à 2050 ;
- lutter contre la précarité énergétique ;
- affirmer un droit à l'accès de tous à l'énergie sans coût excessif au regard des ressources des ménages ;
- réduire de 50 % la quantité de déchets mis en décharge à l'horizon 2025 et découpler progressivement la croissance économique et la consommation de matières premières.

Afin d'atteindre ces objectifs, la LTECV prévoit notamment l'élaboration d'une stratégie nationale bas carbone (SNBC) et d'une programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). La PPE dont la première version couvrait les périodes 2016-2018 et 2018-2023 doit être révisée tous les 5 ans pour une période de 10 ans. Les grandes orientations de la PPE pour la période 2019-2028 ont été annoncées par le Gouvernement le 27 novembre 2018.

3.1.2. Réduire la part du nucléaire à 50 % de la production électrique

La centrale nucléaire de Fessenheim devrait être arrêtée à l'horizon 2020, en application du plafonnement de la puissance électronucléaire installée, instauré par la loi de transition énergétique pour la croissance verte, et pour permettre la mise en service de l'EPR de Flamanville.

EDF a d'ores-et-déjà indiqué que les deux réacteurs de la centrale ne seraient dans tous les cas pas exploités au-delà de leurs échéances de 4ème réexamen périodique de sûreté de 2020 et 2022. Si le démarrage du réacteur EPR de Flamanville intervient conformément au calendrier affiché par EDF à ce jour, l'arrêt des deux réacteurs de Fessenheim aurait lieu après l'hiver 2019-2020, et il serait possible de programmer la fin de la production d'électricité à partir de charbon durant le quinquennat. Si la mise en service de l'EPR prenait du retard, les deux réacteurs de Fessenheim seront dans tous les cas arrêtés au printemps 2020, mais le calendrier de l'arrêt des tranches au charbon devrait être revu, afin de respecter le critère de sécurité d'approvisionnement.

Au-delà de cette première étape, le Gouvernement poursuit l'objectif d'une diversification du mix électrique se traduisant par une réduction à 50 % de la part du nucléaire dans la production d'électricité.

Cette politique de diversification répond à différents enjeux :

- **Un système électrique plus diversifié, s'il réussit à gérer l'intégration d'un volume accru d'énergies renouvelables peut être plus résilient** à un choc externe comme par exemple une baisse de la capacité de production des réacteurs suite à un incident ou à un défaut générique, qui conduirait à l'indisponibilité de plusieurs réacteurs ;
- La très grande majorité du parc électronucléaire a été construite sur une courte période, environ une quinzaine d'années. **Définir une durée de fonctionnement similaire pour tous les réacteurs conduirait à déclasser le parc sur une période aussi concentrée** (« effet falaise »), ce qui ne serait soutenable ni en termes sociaux, ni pour la sécurité d'approvisionnement électrique.
- **Anticiper l'arrêt de certains réacteurs du parc existant permettra d'étaler les investissements dans de nouveaux moyens de production sans générer trop de surcapacité.** De ce point de vue, EDF a confirmé l'intérêt industriel que présente la fermeture d'une partie du parc en amont de sa durée d'exploitation maximale anticipée (60 ans) ;
- **Plusieurs filières de production d'électricité d'origine renouvelable ont démontré leur compétitivité et constitueront une part significative du mix électrique de long terme**, au moins jusqu'au niveau où un besoin de stockage massif d'électricité apparaîtra, et d'autant plus quand les dispositifs de stockage massif d'électricité deviendront également plus compétitifs ;
- Enfin, une diversification de cette ampleur vers les énergies renouvelables doit être lissée au cours du temps, car les nouvelles capacités renouvelables sont installées de manière diffuse et décentralisée par le biais de petits projets, et de filières nécessitant une montée en puissance progressive.

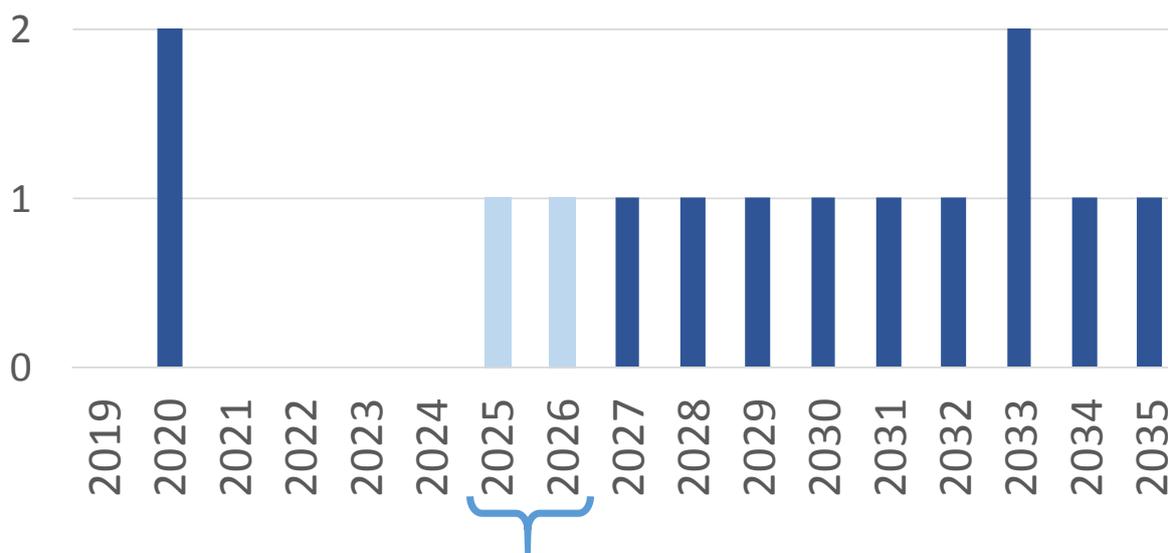
Le Gouvernement fixe comme objectif l'atteinte de 50 % de nucléaire dans la production électrique d'ici 2035. Cette réduction de la part du nucléaire sera faite sans nouveau projet de centrales thermiques à combustibles fossiles et ne conduira pas à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre de la production électrique française.

La trajectoire fixée reposera sur les échéances suivantes :

- 14 réacteurs nucléaires seront arrêtés d'ici 2035, dont les 2 réacteurs de la centrale de Fessenheim en 2020 ;
- Le principe général sera l'arrêt de 12 réacteurs, en plus de Fessenheim, au plus tard à l'échéance de leur 5^{ème} visite décennale, soit des arrêts au plus tard entre 2029 et 2035 ;

- Toutefois, afin de lisser l'arrêt des réacteurs pour en faciliter la mise en œuvre sur le plan social, technique et politique, 2 réacteurs seront fermés par anticipation des 5^{èmes} visites décennales en 2027 et en 2028 ;

Si certaines conditions relatives au prix de l'électricité et à l'évolution du marché de l'électricité à l'échelle européenne sont remplies, la fermeture de deux réacteurs additionnels pourra intervenir à l'horizon 2025-2026



Fermetures conditionnées (prix, mix de nos voisins, marges du système électrique)

Figure 15 - Chronique des fermetures de réacteurs prévue dans la PPE 2019-2028

Afin de minimiser les impacts sociaux de cette transition, le Gouvernement demande à EDF de privilégier les arrêts de réacteurs ne conduisant à l'arrêt complet d'aucun site nucléaire, en considérant que les fermetures devraient intervenir prioritairement parmi les sites regroupant des réacteurs de 900 MWe.

La question de la sensibilité du volume de déchets qui seront produits et à gérer selon la durée de vie moyenne du parc est abordée dans la suite de cette partie.

3.1.3. Le mix électrique de long terme au-delà de 2035

L'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 est une priorité de la France pour répondre à l'enjeu climatique de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elle suppose que le mix électrique soit sur le long-terme totalement décarboné.

En l'état actuel des technologies, il n'est pas possible de déterminer avec certitude la technologie de production d'électricité qui sera la plus compétitive pour remplacer le parc nucléaire existant au-delà de 2035, entre le nucléaire et les énergies renouvelables couplées au stockage d'électricité et à d'autres solutions de flexibilité. En raison de cette incertitude, il est nécessaire de préserver une capacité de construction de nouveaux réacteurs nucléaires fondée sur une technologie et des capacités industrielles nationales.

Afin de permettre une prise de décision sur le lancement éventuel d'un programme de construction de nouveaux réacteurs, le Gouvernement poursuivra des travaux destinés à préparer les éléments financiers, organisationnels, réglementaires et juridiques nécessaires, comprenant l'analyse des alternatives de



production d'électricité bas-carbone. Les conclusions de ces travaux devront être finalisées à l'horizon de mi-2021.

Ce programme de travail s'intéressera notamment à la question de la gestion des déchets radioactifs générés par un nouveau parc de réacteurs nucléaires.

3.1.4. Maintenir la stratégie de retraitement-recyclage du combustible utilisé

En ce qui concerne la stratégie de retraitement-recyclage du combustible utilisé, la PPE confirme que la stratégie mise en œuvre en France sera préservée sur la période de la PPE et au-delà, jusqu'à l'horizon des années 2040, où une grande partie des installations et des ateliers de l'usine d'Orano Cycle à La Hague arrivera en fin de vie. A cette fin, et pour compenser les fermetures de réacteurs 900 MWe moxés, le moxage d'un nombre suffisant de réacteurs 1300 MWe sera envisagé afin de pérenniser la gestion du cycle du combustible nucléaire français.

S'agissant plus particulièrement des évolutions relatives au combustible MOx, qui résulterait de l'arrêt de réacteurs actuellement autorisés à l'utiliser, l'ASN a indiqué dans son avis qu'elle estime nécessaire de disposer dans les meilleurs délais des éléments permettant de statuer, au regard des enjeux de sûreté et de radioprotection, sur la faisabilité de l'utilisation de combustible MOx dans les réacteurs de 1 300 MWe.

Au-delà de cet horizon, le Gouvernement, en lien avec la filière nucléaire, devra s'interroger sur les orientations stratégiques qu'il souhaite donner à sa politique du cycle du combustible et l'étude des options technologiques dans le domaine de la fermeture du cycle du combustible, sur la base des efforts de R&D qui seront poursuivis dans le cadre de la PPE.

Jusqu'à présent, les efforts de recherche s'étaient focalisés sur le déploiement de la filière des réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR) et la conception d'un démonstrateur industriel nommé ASTRID. Pour autant, dans la mesure où les ressources en uranium naturel sont abondantes et disponibles à bas prix, au moins jusqu'à la deuxième moitié du 21^{ème} siècle, le déploiement d'un démonstrateur et d'un parc de réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (RNR) ne sont pas utiles avant cet horizon.

En revanche, et à un horizon plus court, le multi-recyclage dans les réacteurs à eau sous pression (REP) pourrait permettre de stabiliser les stocks de plutonium ainsi que les stocks de combustibles usés, contrairement au mono-recyclage. Le déploiement d'une solution de multi-recyclage en REP nécessite la mise au point d'un nouveau type de combustible (oxyde mixte uranium-plutonium), dont l'emploi est conditionné à un programme approfondi de R&D et à des études d'ingénierie. De plus, une stratégie de multi-recyclage en REP nécessiterait le développement de nouvelles infrastructures du cycle (adaptation des installations de La Hague, révision en profondeur de l'INB Melox). Enfin, les impacts d'une telle stratégie devront être analysés.

Sur le long-terme, la perspective de fermeture du cycle du combustible se traduira par une réorientation des efforts de R&D autour d'un programme visant à renforcer et à maintenir les compétences sur la connaissance de la physique des RNR et des procédés du cycle du combustible associé.

Ainsi, le Gouvernement demande à ce qu'un programme de R&D concourant à la fermeture du cycle du combustible à moyen terme soit défini et mené par les acteurs de la filière nucléaire. Le programme gardera en vue un éventuel déploiement industriel à l'horizon de la 2^{ème} moitié du 21^{ème} siècle d'un parc de réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides.

Multi-recyclage en REP

La question du multi-recyclage des matières en REP n'est pas nouvelle et a déjà fait l'objet d'études à partir de la fin des années 90. Concernant les REP, on observe, à l'issue du mono-recyclage, une dégradation de la qualité énergétique du plutonium (augmentation de sa part non fissile dans le combustible usé). Cela impose d'augmenter la quantité de plutonium dans le mélange d'oxyde d'uranium appauvri et de plutonium, qui constitue les combustibles MOx, afin de garder la même

quantité de matière fissile dans le combustible. Cette teneur en plutonium irait alors au-delà d'une limite autorisée pour des raisons de sûreté. Cette limite empêche ainsi actuellement un second recyclage. Pour y remédier, une solution est, au sein d'un même assemblage MOx dont on aura limité la teneur en plutonium à la teneur actuelle, d'ajouter le complément fissile sous forme d'uranium enrichi.

Les études produites par le CEA et EDF notent qu'avec une telle solution, il serait possible de stabiliser la qualité énergétique du plutonium, autorisant ainsi le multi-recyclage et, par suite, d'atteindre une situation d'équilibre permettant de stabiliser le stock de plutonium.

Cette option de multi-recyclage en REP permet ainsi de stabiliser sur le moyen terme les stocks de combustibles usés en entreposage (UNE, URE et MOx « modifiés ») avec des technologies qui semblent accessibles vu d'aujourd'hui. Sa mise en œuvre nécessiterait cependant encore des programmes d'études importants et des instructions techniques destinées à en examiner les conséquences du point de vue de la sûreté

3.1.5.L'articulation entre la PPE et le PNGMDR

La PPE se positionne sur la place du nucléaire dans le mix électrique, sur les conditions de poursuite du fonctionnement des réacteurs existants, sur la construction de nouveaux réacteurs, sur les fermetures de réacteurs à envisager ou encore sur la stratégie de retraitement du combustible. Elle détermine des paramètres ayant des impacts très importants sur les modalités de gestion des matières radioactives et le rythme de production des déchets radioactifs.

Le PNGMDR, en tant qu'outil de pilotage de la gestion des matières et déchets radioactifs, doit donc prendre en compte la PPE. Il doit s'assurer que les solutions de gestion qu'il définit sont compatibles avec les orientations de la PPE.

Au regard des orientations retenues à ce stade dans le cadre de la PPE en matière d'évolution du parc nucléaire et de stratégie de fermeture du cycle, les hypothèses retenues en matière d'inventaire dans le cadre de la politique de gestion des déchets nucléaires doivent s'avérer robustes et constituer une base satisfaisante pour la préparation du prochain plan national de gestion des matières et déchets radioactifs.

L'exemple de quelques projets

Le projet de stockage des déchets HA et MAVL est un exemple de l'articulation entre la loi et le PNGMDR, comme souligné dans la partie 2.3.7 : le PNGMDR, parmi d'autres démarches, assure sa déclinaison concrète.

D'autres projets résultent également de la prise en compte de la PPE dans le PNGMDR, et de la mise en œuvre du PNGMDR. Certains de ces projets doivent, au titre de leurs impacts potentiels sur l'environnement ou de leurs enjeux socio-économiques, être soumis à des débats publics ou concertations spécifiques.

Il en est ainsi du projet de piscine centralisée en cours d'étude par EDF pour répondre à la demande du PNGMDR 2016-2018 de prévoir des capacités d'entreposage de combustibles usés supplémentaires. Ainsi, la question des besoins supplémentaires en capacités d'entreposage de combustibles usés doit être traitée dans le cadre du débat public PNGMDR, de même que les aspects liés au type d'entreposage (sous eau / à sec) ainsi qu'aux impacts globaux des solutions d'entreposage envisagées (enjeux de sûreté, transports, etc.). En revanche, les aspects liés au choix du site et aux impacts du projet en lui-même ont vocation à être traités par le débat public ou la concertation spécifique au projet.

3.2. Au-delà de la trajectoire dessinée par la PPE, des scénarios contrastés peuvent être construits pour illustrer les conséquences de la politique énergétique sur la nature et les volumes de déchets radioactifs

3.2.1. Les études prospectives de l'Andra et des exploitants

Les inventaires prospectifs de l'Andra

L'Inventaire national 2018 mentionné à la partie 1.3.3 présente plusieurs scénarios prospectifs, répondant aux recommandations du PNGMDR 2016-2018. L'objectif de cet exercice est de donner pour ces scénarios une estimation des quantités de matières et de déchets radioactifs à différentes échéances de temps, et en particulier à l'issue du démantèlement des installations nucléaires du parc actuel.

Ces scénarios (appelés SR1, SR2, SR3 et SNR) présentent les impacts sur les quantités de matières et de déchets radioactifs de différentes stratégies ou évolutions possibles de la politique énergétique française à long terme, sans présager des choix industriels qui pourraient être faits. Ils permettent d'anticiper les moyens nécessaires à la gestion des matières et des déchets radioactifs.

Les scénarios ne concernent que les matières et déchets liés aux installations existantes ou autorisées (EPR de Flamanville notamment). Les matières et déchets radioactifs produits par un potentiel futur parc qui viendrait en remplacement du parc actuel ne sont ainsi pas comptabilisés.

Focus sur les scénarios de l'Inventaire national 2018 :

SR1 : scénario de renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR* puis RNR*.

Ce scénario repose sur les hypothèses suivantes :

- la poursuite de la production électronucléaire ;
- une durée de fonctionnement des réacteurs du parc électronucléaire actuel comprise entre 50 et 60 ans ;
- un renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR puis par des réacteurs RNR qui pourraient constituer à terme la totalité d'un futur parc ;
- le retraitement de la totalité des combustibles usés issus du parc actuel.

SR2 : scénario (bis) de renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR puis RNR

Le scénario SR2 reprend les hypothèses et données du scénario de l'édition 2015 de l'Inventaire national. Il diffère de SR1 par une durée de fonctionnement uniforme de 50 ans de l'ensemble des réacteurs.

SR3 : scénario de renouvellement du parc électronucléaire par des réacteurs EPR uniquement

Ce scénario repose sur les hypothèses suivantes :

- la poursuite de la production électronucléaire ;
- une durée de fonctionnement des réacteurs du parc électronucléaire actuel comprise entre 50 et 60 ans ;
- un renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR seuls qui pourraient constituer à terme la totalité d'un futur parc ;

- *le retraitement des combustibles UNE usés du parc actuel uniquement, les combustibles MOx et URE usés ne sont pas retraités.*

SNR : scénario de non-renouvellement du parc électronucléaire

Ce scénario suppose le non-renouvellement du parc existant, entraînant l'arrêt du nucléaire. Il repose sur les hypothèses suivantes :

- *l'arrêt de la production électronucléaire ;*
- *une durée de fonctionnement des 58 réacteurs REP de 40 ans et de 60 ans pour l'EPR de Flamanville ;*
- *un arrêt anticipé du retraitement des combustibles UNE usés afin de ne pas détenir de plutonium séparé. Les combustibles MOx usés et URE usés ne sont pas retraités.*

Les études prescrites par le PNGMDR

Le PNGMDR peut prescrire des études prospectives aux exploitants pour approfondir l'analyse de certains scénarios et compléter les évaluations fournies par l'Inventaire national.

Par ailleurs, dans l'avis qu'elle a rendu sur le PNGMDR 2016-2018, l'Autorité environnementale a préconisé qu'une estimation des quantités de matières et de déchets qui seraient produits par un nouveau parc soit effectuée.

L'article 51 de l'arrêté du 23 février 2017 prescrit ainsi au CEA la remise d'un inventaire prospectif entre 2016 et 2100 des matières et des déchets radioactifs présents dans les combustibles usés qui seraient produits par le parc de réacteurs électronucléaires français selon différents scénarios. Cette analyse a été remise en octobre 2018. Les résultats de l'analyse seront pris en compte dans l'élaboration du prochain PNGMDR.

3.2.2. Étude de trois scénarios



Les différentes options de gestion du combustible sont expliquées dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire ».

Afin d'éclairer les enjeux du débat public, des scénarios particuliers sont définis dans ce document, sur la base des scénarios de l'Inventaire national. Ils dressent un état des stocks de matières et de déchets radioactifs à terminaison du parc actuel (c'est-à-dire à la fin du démantèlement des installations nucléaires autorisées à fin 2016, y compris l'EPR de Flamanville) pour différentes options de retraitement des combustibles usés :

1. **Un scénario « multi-recyclage »** reposant sur le déploiement de réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (RNR) en vue d'une fermeture complète du cycle et d'un multi-recyclage en RNR des matières (identique au scénario SR1 de l'IN) ;
2. **Un scénario « mono-recyclage »** qui consiste à poursuivre la stratégie actuelle de mono-recyclage des matières (identique au scénario SR3 de l'IN) ;
3. **Un scénario « arrêt du retraitement des combustibles usés »** reposant sur l'arrêt du retraitement et du recyclage des matières (ce scénario est équivalent au scénario SNR de l'Inventaire national mais il considère un arrêt du retraitement à la fin de la durée d'exploitation des réacteurs et non pas à 40 ans).

Ces trois scénarios prennent des hypothèses de durée de fonctionnement des réacteurs identiques afin de permettre des comparaisons. Ainsi, la durée de fonctionnement prise en compte pour tous les scénarios

étudiés prévoit des fermetures de certains réacteurs à 50 ans avec une durée moyenne de fonctionnement de 57 ans sur les 58 réacteurs en fonctionnement et de 60 ans pour l'EPR de Flamanville, comme détaillé à la partie 3.2.1. Ces scénarios supposent par convention une disponibilité des installations de fabrication et de retraitement des combustibles.

Les deux scénarios avec retraitement supposent également le déploiement de nouveaux réacteurs, avec des hypothèses différentes sur le type de réacteur déployé (EPR en mono-recyclage/RNR ou EPR seuls en mono-recyclage). Dans le cas du scénario sans retraitement, le déploiement ou non de nouveaux réacteurs n'a pas d'impact sur les estimations présentées dans la mesure où les combustibles qui alimenteraient ces réacteurs seraient issus dans tous les cas de nouvelles matières premières, et non pas issus du retraitement des combustibles usés du parc actuel.

Principales hypothèses structurantes	Scénario « multi-recyclage »	Scénario « mono-recyclage »	Scénario « arrêt du retraitement/recyclage »
Recyclage du plutonium	Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du retraitement
Poursuite ou arrêt de la production électronucléaire	Poursuite (durée totale de fonctionnement entre 50 et 60 ans)	Poursuite (durée totale de fonctionnement entre 50 et 60 ans)	Poursuite (durée totale de fonctionnement entre 50 et 60 ans)
Type de réacteurs déployés dans le futur parc	EPR puis RNR	EPR	-
Retraitement des combustibles usés	Tous : UNE, URE, MOx et RNR	UNE seuls	Arrêt anticipé du retraitement des UNE
Requalification des combustibles usés et de l'uranium en déchets en vue d'un stockage	Aucune	URE, MOx, RNR et uranium appauvri*	Tous combustibles usés, uranium appauvri* et URT

Tableau 5 - Principales hypothèses structurantes des différents scénarios prospectifs

* Une option de réenrichissement de l'uranium appauvri reste toujours possible. Cette dernière laisserait toutefois des volumes équivalents de déchets d'uranium très appauvri.

Scénario « multi-recyclage » : recyclage de la totalité des matières issues du parc actuel

Ce scénario est identique au scénario SR1 de l'édition 2018 de l'Inventaire national. Il prend pour hypothèse la poursuite de la production d'électricité d'origine nucléaire avec le déploiement de réacteurs EPR puis RNR dans une optique de retraitement de l'ensemble des combustibles usés. Ce scénario fait l'hypothèse que le parc futur de RNR sera capable de recycler le plutonium issu du retraitement du combustible MOx, réalisant ainsi du « multi-recyclage du plutonium ».

Ce scénario considère ainsi que la totalité des combustibles usés (UNE, URE et MOx) qui auront été utilisés par les réacteurs du parc actuel sont retraités. Les matières (uranium, plutonium) résultant du retraitement des combustibles UNE usés sont valorisées en partie dans le parc actuel puis, lorsque le parc actuel ne le permet plus, dans un parc futur de RNR. Les matières (uranium, plutonium) résultant du retraitement des combustibles URE usés et MOx usés sont valorisées dans un parc futur de réacteurs à neutrons rapides, le parc actuel ne le permettant pas. Aucune matière n'est donc requalifiée en déchets dans ce scénario. La totalité des déchets produits par le retraitement de tous les combustibles usés, y compris ceux dont la part valorisable sera utilisée dans un parc futur, est prise en compte pour établir l'inventaire de déchets.

Le multi-recyclage des combustibles usés en REP, possible solution de moyen terme permettant de retraiter les combustibles URE usés et MOx usés tel qu'évoqué dans la programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2028 (voir partie 3.1.3), plutôt qu'en RNR, n'a pas d'incidence, en terme d'inventaire de déchets à terminaison sur ce scénario. En effet, quel que soit le parc futur, RNR ou REP avec ce nouveau concept



d'assemblage, aucune matière n'est requalifiée en déchets puisque, dans les deux cas, combustibles UNE usés, URE usés et MOx usés peuvent être valorisés.

Scénario « mono-recyclage du plutonium » : retraitement des combustibles UNE usés issus du parc actuel

Ce scénario est identique au scénario SR3 de l'édition 2018 de l'Inventaire national. Il repose sur la poursuite de la production d'électricité d'origine nucléaire avec le déploiement de réacteurs EPR uniquement. Il prend l'hypothèse que le parc futur sera uniquement capable de recycler le plutonium issu du retraitement du combustible UNE usé et illustre le renouvellement du parc actuel sans poursuite de l'objectif de fermeture du cycle (abandon de la stratégie de multi-recyclage en RNR sans mise en œuvre du multi-recyclage en REP) mais en maintenant le mono-recyclage.

Ce scénario considère que les combustibles UNE usés qui auront été utilisés par les réacteurs du parc actuel sont retraités. Les matières (uranium, plutonium) résultant de ce retraitement sont valorisées dans le parc actuel ou, lorsque le parc actuel ne le permet plus, dans un parc futur. Les autres combustibles usés issus du parc actuel (URE, MOx) sont requalifiés en déchets dans ce scénario. La totalité des déchets produits par le retraitement de tous les combustibles UNE usés, y compris ceux dont la part valorisable sera utilisée dans un parc futur, est prise en compte pour établir l'inventaire de déchets.

Scénario « arrêt du retraitement des combustibles usés »

Ce scénario illustre un changement de politique de retraitement, en passant en cycle ouvert, c'est-à-dire un arrêt du traitement-recyclage des combustibles usés. Ce scénario considère que les combustibles usés dont la matière extraite après retraitement ne peut pas être recyclée dans le parc actuel ne sont pas retraités. Une partie des combustibles UNE usés ainsi que les combustibles URE usés et MOx usés issus de ce parc sont alors requalifiés en déchets.

Ce scénario prend en compte un arrêt du retraitement à destination des réacteurs moxés trois ans avant l'arrêt de ces réacteurs. Il ne préjuge pas du déploiement ou non d'un futur parc.

3.3. Analyse des incidences des différents scénarios de retraitement des combustibles usés

3.3.1. Incidence de la durée de fonctionnement des réacteurs électronucléaires sur la production de déchets radioactifs

L'impact de la durée de fonctionnement des centrales sur la production de déchets est estimé sur la base des inventaires prospectifs de l'Inventaire national 2018. Le graphique suivant présente uniquement les impacts sur les inventaires de déchets radioactifs et pas sur les inventaires de combustibles usés.

Inventaires des déchets radioactifs par catégorie



A fin 2016 et à la fin du démantèlement des installations nucléaires autorisées à fin 2016, pour différents scénarios de politique énergétique.

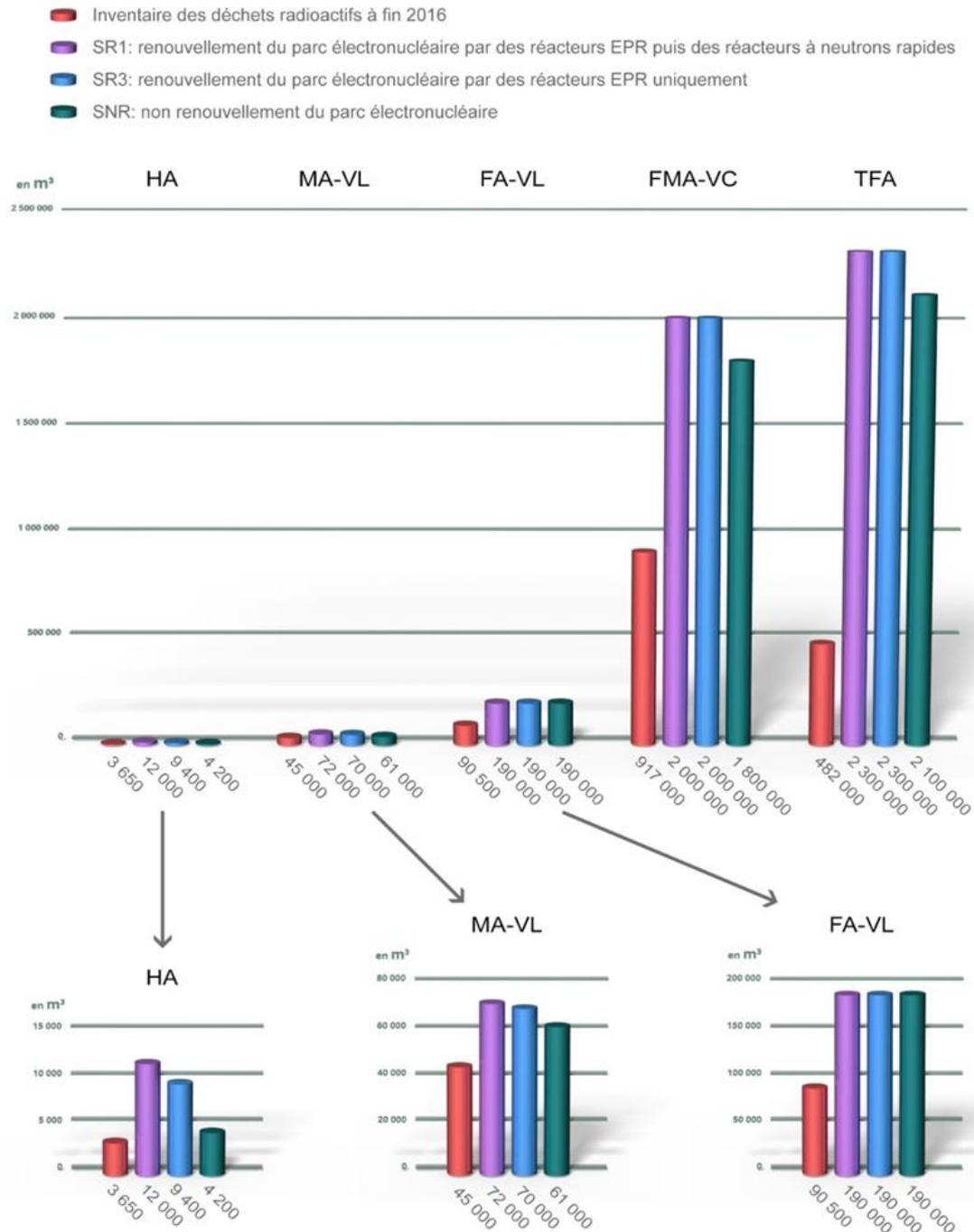


Figure 16 - Illustration des quantités de déchets à terminaison selon le scénario d'exploitation du parc nucléaire

Le graphique précédent montre l'impact limité d'un passage d'une durée de fonctionnement des réacteurs du parc de 40 ans à 57 ans en moyenne, mis à part pour les **déchets HA et MAVL**.

La **production de déchets HA** (voir partie 2.3.2) est moins importante pour les scénarios SR3 et SNR, dans la mesure où ces déchets sont issus du retraitement des combustibles usés. Si le retraitement est arrêté ou diminué, les déchets issus de ce retraitement diminuent également. Pour ces scénarios, il convient donc d'analyser leurs impacts au regard également de la part de combustibles usés restante, qui relèverait de la catégorie HA en cas de requalification en déchets. Ces quantités de combustibles usés sont indiquées à la partie 3.3.3.

Les **déchets MA-VL** sont également liés au cycle du combustible (retraitement des combustibles) et à la maintenance des usines de retraitement. La logique est donc la même que pour les déchets HA.

Déchets HA et combustibles usés

D'après le rapport du HCTISN intitulé « Présentation du cycle du combustible français en 2018 », dans l'hypothèse de la poursuite du mono-recyclage du plutonium tel qu'il est pratiqué aujourd'hui (retraitement des combustibles UNE usés uniquement), chaque année de fonctionnement conduit à la production d'environ 150 m³ de déchets HA (à mettre en perspective avec la quantité de HA déjà produite de 3 650 m³ à fin 2016) et 130 m³ de déchets MA-VL (intégrés dans le bilan à fin 2016 de 45 000 m³). A ces derniers s'ajoutent quelques dizaines de m³ de déchets de fonctionnement des réacteurs ainsi que des usines de retraitement.

En outre, chaque année, 120 tML de combustibles usés MOx sont déchargées et non retraitées. Ainsi, dix ans d'augmentation de la durée de fonctionnement moyenne des réacteurs conduiraient à une production de l'ordre de 1 500 m³ de déchets HA et de moins de 2 000 m³ de déchets MA-VL. A ces déchets viendraient s'ajouter 1 200 tML de combustibles usés MOx supplémentaires.

Les **déchets FA-VL** sont en majorité déjà existants, même s'ils ne sont pas encore tous considérés comme « produits ». En effet, ils sont liés en grande partie aux opérations de reprise en conditionnement de déchets anciens en cours ou en projet et au démantèlement d'installations existantes, telles que les réacteurs UNGG. Leur volume à terminaison est donc indépendant de la durée de fonctionnement des centrales, même si ce volume n'est pas encore considéré comme produit, le démantèlement du parc actuel n'ayant pas commencé.

Les **déchets FMA-VC** sont principalement produits par les opérations d'exploitation des installations nucléaires (maintenance, fonctionnement, démantèlement). Leur production est donc directement liée à la durée de fonctionnement des réacteurs. Toutefois, au regard des types d'activités engendrant ces déchets, similaires dans les différents scénarios, le volume global produit diffère peu entre les différents scénarios.

Enfin, les **déchets TFA** sont essentiellement liés aux matériaux de démantèlement des installations (structures des installations). Ainsi, leur volume est peu sensible à la durée de fonctionnement des centrales, qui doivent être démantelées dans tous les cas. Les inventaires prospectifs établis par l'Andra en fonction de différents scénarios d'évolution de la politique énergétique actuelle, font apparaître des différences maximales entre estimations de 200 000 m³ selon la durée de fonctionnement des réacteurs du parc, pour un volume à terminaison estimé de l'ordre de 2 000 000 m³.

3.3.2. Incidences d'une baisse de la part du nucléaire à 50 % de la production électrique sur les besoins en matières radioactives

La baisse à 50 % de la part du nucléaire va entraîner une variation des besoins en matières nécessaires au fonctionnement du parc électronucléaire.

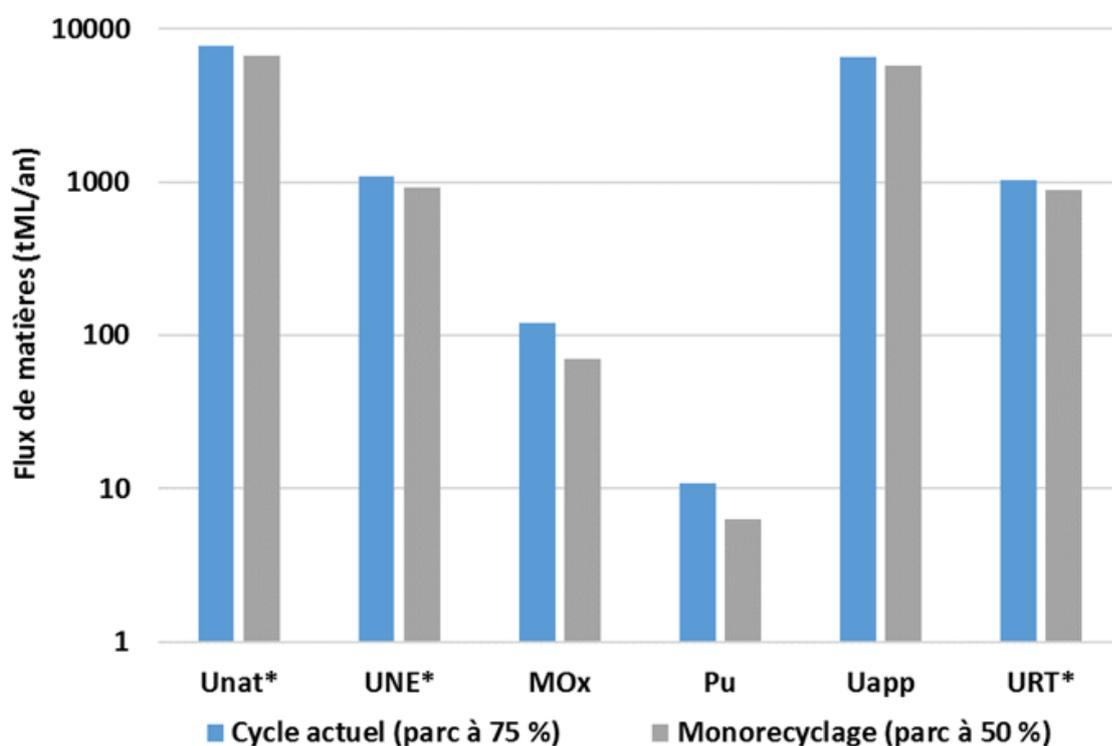


Figure 17- Flux annuels de matières (Source : données issues du rapport 2018 du HCTISN sur le cycle du combustible pour le parc à 75 % et estimations de la DGEC pour le parc à 50 %)

Les flux sont présentés en échelle logarithmique

* Ces flux présentent les quantités de matières consommées annuellement pour la fabrication des combustibles associés. En cas d'utilisation de l'URT pour fabriquer de l'URE, ces flux annuels diminueraient alors qu'un flux annuel d'URE apparaîtrait.

En restant dans l'hypothèse de cycle du combustible actuel (mono-recyclage), le tableau suivant représente le nombre d'années de fonctionnement que représenteraient les stocks de matières à fin 2016, d'une part pour le parc actuel, et d'autre part pour un parc dont la production représenterait 50 % de la production électrique totale.

Dans le cas d'un parc à 50 % de nucléaire, la consommation totale en combustibles se réduit à 1000 tML/an environ (en incluant l'EPR de Flamanville) contre 1200 tML actuellement.

	Cycle et parc actuels (mono-recyclage)	Mono-recyclage avec un parc à 50 %
Stocks en équivalent d'années de fonctionnement (années)		
Uranium naturel (pour UOx)	3,9	4,4
Uranium enrichi (pour UOx)	3,6	4,1
Uranium appauvri (pour MOx et/ou RNR)	2820	4540
Uranium de retraitement (pour URE)	3,8	4,4
Combustibles UNE usés	10,7	17
Plutonium	5	8

Tableau 6 - Nombre d'années de fonctionnement que représenteraient les stocks de matières à fin 2016, pour le parc actuel et pour un parc dont la production représenterait 50% de la production électrique totale

Une baisse à 50 % de la part du nucléaire entraîne une baisse de la consommation de combustibles de 220 tML environ. En termes de stock de matières disponibles, cette baisse présente réellement des incidences pour l'uranium appauvri, les combustibles UNE usés et le plutonium :

- **uranium naturel et enrichi** : il existe environ un facteur 7 entre la quantité d'uranium naturel nécessaire à la fabrication d'un combustible UNE et la quantité produite de ce combustible. Par conséquent, un impact de 220 t de combustibles en moins implique environ 1400 t de besoins en moins d'uranium naturel, à comparer au stock actuel de 29 900 tonnes ;
- **uranium appauvri** : le passage à 50 % de la part d'énergie nucléaire dans le mix électrique pourrait conduire à un peu moins que doubler l'équivalence du stock de cette matière en années de fonctionnement. Cela étant, la quantité d'Uapp actuellement disponible est tellement importante (plus de 2 000 ans de fonctionnement des centrales) que la question d'une requalification d'une partie de ce stock en déchets pourrait se poser quel que soit l'impact de la baisse à 50 % ;
- **uranium de retraitement** : la baisse à 50 % de la part d'énergie nucléaire dans le mix électrique n'a pas d'impact réellement dimensionnant. De plus, la relance de la filière en combustible URE à base d'URT (tout en générant également de l'URE usé qu'on ne pourrait pas valoriser dans le parc actuel) serait de nature à réduire plus ou moins rapidement ces stocks en fonction du nombre de réacteurs concernés ;
- **combustibles UNE usés** : la baisse à 50 % de la part d'énergie nucléaire dans le mix électrique entraîne un allongement de la durée nécessaire pour consommer l'ensemble du stock de combustibles UNE usés produits depuis les débuts du parc nucléaire civil français et actuellement entreposés avant retraitement ;
- **plutonium** : la baisse à 50 % du parc nucléaire dans le mix électrique engendre des conséquences non négligeables sur le stock de cette matière en termes de flux qui sera évacué annuellement pour être intégré à des combustibles recyclés. Ces impacts mériteraient d'être approfondis dans le cadre de la nouvelle édition du PNGMDR, de même que les conditions pour limiter la production de plutonium.

3.3.3. Incidences de la politique de retraitement des combustibles usés sur les stocks et les flux de matières et de déchets radioactifs

Impact sur les stocks de déchets radioactifs et de combustibles usés

Scénarios			S.Multi-recyclage	S.Mono-recyclage	S. Ouverture du cycle
Recyclage du plutonium			Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
Déchets (m ³)	HA	total	12 000	9 400	6 700
	MA-VL	total	72 000	70 000	67 700
		dont déchets de structure provenant du retraitement des combustibles en vue d'une valorisation de l'uranium et du plutonium dans un futur parc	4 300	2 300	0
	FA-VL	total	190 000	190 000	190 000

	FMA-VC	total	2 000 000	2 000 000	2 000 000
	TFA	total	2 300 000	2 300 000	2 300 000
Combustibles usés requalifiés en déchets (tML)		UNE	0	0	20 000
		URE	0	3 700	3 700
		MOx	0	5 200	5 200
Quantités d'uranium et de plutonium valorisées dans un futur parc (t)		Provenant du retraitement des UNE	19 200	19 200	0
		Provenant du retraitement des URE	3 500	0	0
		Provenant du retraitement des MOx	5 000	0	0

Tableau 1 : Volumes des déchets radioactifs et des matières valorisées par catégorie à terminaison (fin du démantèlement des installations autorisées à fin 2016)

Le choix du scénario de politique énergétique a un impact essentiellement sur le volume de déchets HA et MA-VL.

Dans le scénario d'arrêt du retraitement, les combustibles usés, qui ne seraient plus considérés comme des matières, seraient classés en déchets HA. Il existe ainsi une corrélation directe entre les stocks de déchets HA et de combustibles usés entre les différents scénarios.

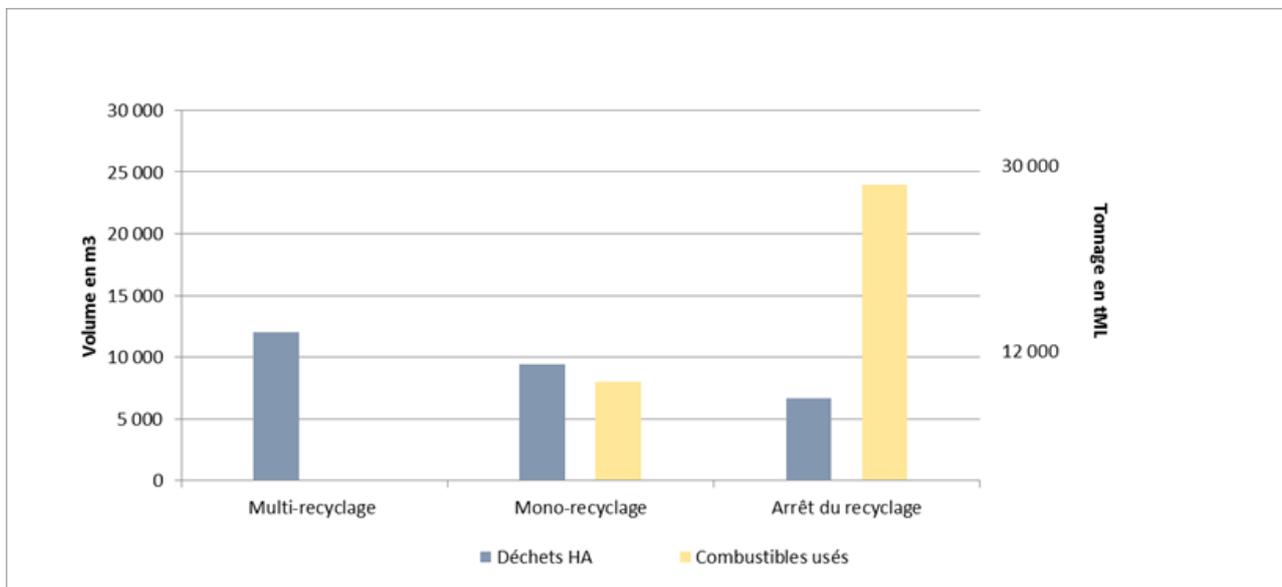


Figure 18 - Inventaire de déchets HA (exprimés en m³) et de combustibles usés classés en déchets (exprimés en tML) produits par le parc existant

Suivant les scénarios retenus, d'autres matières comme l'URT et l'uranium appauvri (présentées à la partie 2.2.2) devraient également être requalifiées en déchets. L'URT ou l'uranium appauvri pourraient être considérés comme des déchets FA-VL en première estimation. De telles estimations font l'objet des études prévues par le PNGMDR 2016-2018.



Il convient de noter en tout état de cause qu'une comparaison directe des stocks de déchets pour les scénarios n'est pas entièrement satisfaisante, dans la mesure où les scénarios de renouvellement du parc nucléaire ne prennent pas en compte les déchets produits par un futur parc et qui devraient être gérés à terminaison de ce parc.

Impact sur les flux de matières et de déchets radioactifs²⁷

D'après le rapport du HCTISN intitulé « Présentation du cycle du combustible français en 2018 », une année de fonctionnement du parc actuel consomme en moyenne 1 200 tML de combustibles, dont 1 080 tML de combustibles UNE et 120 tML de combustibles MOx (*ces combustibles sont présentés à la partie 2.2.2*). Ainsi, dans un scénario d'arrêt du retraitement dans les prochaines années, les stocks de combustibles usés augmenteraient de 1200 tML par an (en combustible UNE puisqu'il n'y aurait plus de production de combustible MOx).

Cette augmentation serait 10 fois supérieure à l'accroissement actuel du stock des combustibles usés MOx (*voir partie 4.2.1*). Elle conduirait à une augmentation d'environ 24 000 tML sur 20 ans, soit un total de près de 40 000 tML de combustibles usés à terminaison en ajoutant le stock actuel, à comparer avec l'estimation de 28 900 tML du scénario « sans recyclage » (*voir figure 18*). La conséquence la plus directe d'une telle augmentation serait la saturation des capacités d'entreposage de combustible usé à un horizon de 2-3 ans après l'arrêt du retraitement.

L'évolution des besoins des capacités d'entreposage des combustibles usés font l'objet d'un développement dans la quatrième partie du présent document.

3.3.4. Incidences sur la qualification en matière des substances radioactives en cas de changement de politique de retraitement des combustibles usés

Les substances radioactives sont classées en matières ou en déchets en fonction de la politique de retraitement retenue, comme souligné à la partie 1.1.

Dans le cas du multi-recyclage en REP, ou en RNR, le cycle du combustible est « *in fine* » entièrement fermé et se caractérise par la valorisation de l'uranium appauvri, de l'uranium de retraitement et de l'ensemble des combustibles usés (UNE, MOx et URE usés) pour fabriquer de nouveaux combustibles mixtes REP ou RNR à l'uranium et au plutonium : ils ont ainsi le statut de « matières ».

A contrario, **un cycle ouvert sans retraitement des combustibles usés** ne permet pas de valoriser les matières radioactives susmentionnées. Il fonctionne sans production de MOx, uniquement à partir de combustible UNE. Les combustibles UNE usés deviendraient alors des déchets qui devraient être stockés, soit près de 30 000 tML de déchets supplémentaires par rapport au multi-recyclage pour une durée d'exploitation du parc actuel entre 50 et 60 ans. La mise en œuvre de ce cycle ouvert nécessite des quantités d'uranium naturel plus importantes que dans le cas d'un cycle avec recyclage (mono ou multi).

Dans le cas du mono-recyclage utilisé en France, le MOx usé et l'URE usé, soit près de 9 000 tML, auront été entreposés dans l'attente d'une valorisation ultérieure qui pourrait notamment passer par la mise en œuvre à moyen terme du multi-recyclage en REP ou, à plus long-terme d'une filière de RNR. Les combustibles usés, ainsi que l'uranium de retraitement et l'uranium appauvri conservent le statut de « matières » du fait de leur valorisation possible en réacteurs REP ou RNR.

Le schéma ci-dessous illustre ainsi comment un produit actuel du cycle peut avoir le statut de « matière » ou de « déchet » selon la politique de retraitement retenue :

²⁷ Données issues de l'étude du CEA « Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides »

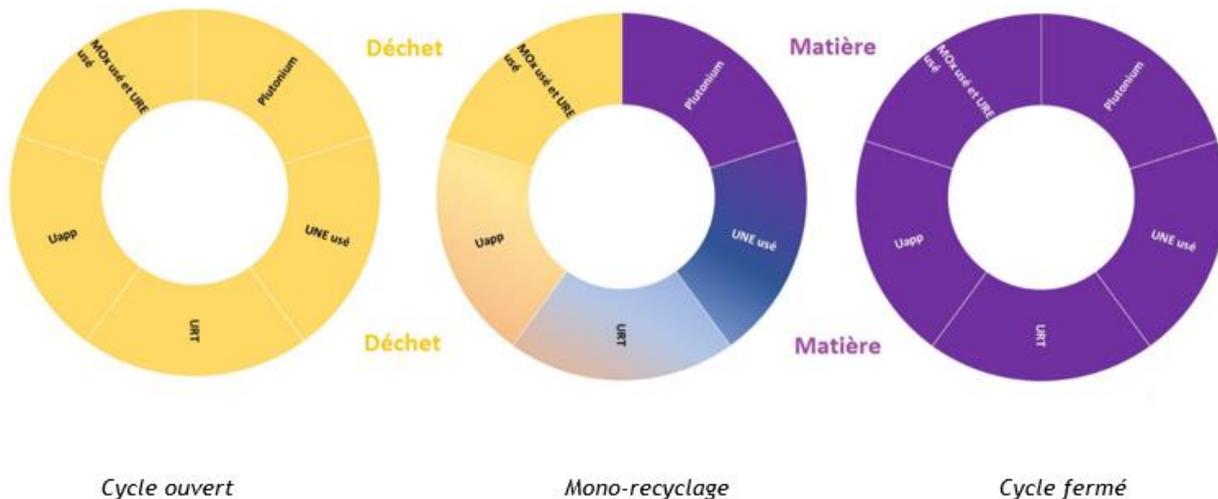


Figure 19 - Statut des matières actuelles en fonction du cycle choisi

(Les déchets sont en jaune, les matières en violet). La possibilité d'une qualification duale déchets-matières et inversement (qui pourrait notamment dépendre du stock présent à la date du changement de cycle) est représentée en bleu.

Le plutonium séparé

L'enjeu principal autour du « mono-recyclage » est d'assurer l'équilibre des flux de matières radioactives : il ne doit pas y avoir d'accumulation de plutonium séparé, source de radiotoxicité la plus élevée et sensible aux actes de malveillance, ni d'accumulation de combustible usé à l'uranium enrichi (UNE usé) afin de ne pas recourir plus que de besoin aux capacités d'entreposage disponibles. Cette stratégie gouverne la gestion du traitement des combustibles usés aujourd'hui, l'objectif étant de retraiter tout le combustible UNE usé pour en extraire le plutonium transformé en combustible MOx. Seuls les MOx (et les URE) usés (et pas le Pu sous une forme séparée) sont entreposés dans l'attente d'une valorisation ultérieure. Dans la pratique, cet équilibre est visé en moyenne sur une période de plusieurs années, des variations annuelles de stocks de plutonium séparé ou de combustible usé étant inhérentes aux procédés industriels.

Ainsi, un changement de stratégie relative au cycle du combustible (comme l'abandon de la stratégie de fermeture du cycle voire une réorientation vers un cycle ouvert) aurait des conséquences sur le statut des substances actuellement classées comme matières, soit environ 30 000 tML de combustibles usés, près de 500 000 tML d'uranium appauvri et près de 30 000 tML d'uranium de retraitement concernés pour une durée d'exploitation du parc existant entre 50 et 60 ans.

Ces conséquences seraient de plusieurs ordres : impacts sur les coûts de financement et de gestion pour les producteurs de déchets, impact sur les capacités d'entreposage et impacts sur le stockage des matières devenues déchets. Ces impacts devraient être pris en compte si une nouvelle orientation politique devait être prise en matière de traitement-recyclage. Le PNGMDR pourrait notamment chiffrer ces impacts au regard des effets qu'ils pourraient avoir (les impacts sur les capacités d'entreposage sont détaillés à la partie 3.3.5).

Plus généralement, le passage d'un mono-recyclage à un cycle ouvert aurait un impact économique sur la filière industrielle du retraitement-recyclage car les installations associées pourraient être mises à l'arrêt.

Uranium appauvri et uranium de retraitement

Le réenrichissement de l'uranium appauvri

L'uranium appauvri est valorisable pour la fabrication de combustible MOx en représentant près de 90 % de sa composition en matières. Il pourra également l'être pour la fabrication de combustible multi-recyclable en REP dans les mêmes proportions et les combustibles RNR à hauteur de 70-80 % de sa composition en matières.

Il existe également une autre voie de valorisation qui reste ouverte : le réenrichissement. Le réenrichissement du stock actuel de plus de 300 000 t d'uranium appauvri d'une teneur fissile moyenne de 0,25 % est équivalent à la production de près de 60 000 t d'uranium naturel (source HCTISN), soit 9 années de fonctionnement du parc électronucléaire. Cette méthode de valorisation pourrait représenter une alternative intéressante à l'utilisation d'une mine d'uranium en fonction du coût des services d'enrichissement et du prix de l'uranium naturel. La valorisation de l'uranium très appauvri issu de ce réenrichissement fait encore l'objet d'études de recherche et développement.

L'uranium appauvri et l'uranium de retraitement sont actuellement qualifiés de matières. S'ils devaient être requalifiés en déchets, les charges de gestion de ces déchets devraient alors être provisionnées par les producteurs et être couvertes par des actifs dédiés supplémentaires. La partie 1.5 de ce document présente les exigences financières relatives à la gestion des déchets.

La partie 4 développe les questions du PNGMDR liées à ce sujet.

Une telle requalification pourrait également entraîner des adaptations dans la mise en œuvre du projet Cigéo, dont les conséquences seraient à évaluer plus précisément.

C'est en partie pour tenir compte de ces possibilités de requalification que la réglementation a instauré l'inventaire de réserve de Cigéo (les inventaires sont présentés à la partie 2.3.7).

Les combustibles usés et le plutonium

Les charges de gestion des combustibles usés et des déchets issus du retraitement doivent être provisionnées par les exploitants, que ces combustibles usés soient valorisables ou non (voir partie 1.5).

Conformément au paragraphe 1.5.1 sur le financement des charges de long terme du présent document, une requalification de combustibles usés en déchets n'aurait pas d'impact pour les charges de long terme des producteurs dans le cas des combustibles MOx usés, combustibles URE usés, combustibles usés issus de Superphénix, déjà provisionnés et couverts par des actifs dédiés. En revanche, l'abandon du retraitement des combustibles UNE usés aurait un impact sur les comptes d'EDF. Les provisions constituées par EDF devraient être évaluées suivant un nouveau scénario excluant leur retraitement alors que le scénario actuel repose sur leur retraitement. De plus, elles devraient être entièrement couvertes par des actifs dédiés.

En termes d'impacts sur le projet Cigéo, en cas de choix de ne pas s'orienter vers du multi-recyclage (plus de perspective de valorisation des combustibles usés en REP ou dans des réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides), les combustibles usés MOx, les combustibles à l'uranium de retraitement enrichi (URE) et les combustibles des réacteurs à neutrons rapides (RNR) issus des réacteurs Phénix et Superphénix devraient être considérés comme des déchets à stocker dans Cigéo. La requalification des combustibles usés en déchets nécessiterait divers ajustements du projet allant de modifications de conception à une extension de l'emprise du stockage Cigéo. Ces impacts sont pris en compte via les différentes études préconisées par le PNGMDR 2016-2018.

Concernant le plutonium séparé, il conviendrait de s'assurer également de la gestion des stocks de matières potentiellement présents. Dans le scénario de multi-recyclage, le plutonium séparé est valorisable dans de nouveaux combustibles. En cas d'absence de retraitement, le plutonium séparé pourrait devenir un déchet



à inscrire dans l'inventaire de référence de Cigéo. Selon l'article 17 de l'arrêté correspondant, le PNGMDR 2016-2018 a ainsi demandé au CEA des justifications complémentaires sur le caractère effectivement valorisable de l'ensemble des formes physico-chimiques et isotopiques du plutonium qu'il détient.

3.3.5. Incidence d'un changement de stratégie énergétique sur les besoins d'entreposage des combustibles usés

Les grandes orientations de la PPE 2019-2028 ont défini un rythme de décroissance de la capacité du parc électronucléaire existant pour atteindre 50 % de nucléaire dans la production électrique en 2035. Les capacités d'entreposage des combustibles usés actuelles et futures prévues (notamment au regard des nouvelles capacités d'entreposage envisagées au titre du PNGMDR 2016-2018) seront à réexaminer en conséquence, bien que les analyses préliminaires menées tendent à montrer que les conclusions du précédent PNGMDR ne devraient pas être remises en cause.

Néanmoins, un changement profond de politique énergétique pourrait avoir des conséquences importantes sur la disponibilité des capacités d'entreposage.

Les impacts de la politique énergétique sur les besoins d'entreposage

La PPE 2019-2028 prévoit la fermeture de 14 réacteurs nucléaires d'ici 2035, dont 6 à 8 réacteurs avant 2030 (en incluant les réacteurs de la centrale de Fessenheim). Un tel scénario devrait entraîner l'arrêt de réacteurs 900 MWe moxés, et ce potentiellement avant 2028, ce qui aurait un impact sur les flux de combustibles retraités à La Hague, et donc sur l'évolution des besoins en capacités d'entreposages des combustibles usés.

En particulier, si des réacteurs utilisant du combustible MOx²⁸ étaient mis à l'arrêt, le besoin de retraitement des combustibles UNE usés (dont est issu le plutonium des combustibles MOx) serait moindre, conduisant à une hausse des besoins d'entreposage de ces combustibles UNE usés.

La résilience d'un tel scénario par rapport aux capacités d'entreposage en combustibles usés disponibles a été étudiée et confirmée par la DGEC jusqu'à l'horizon 2030 dans le cadre des travaux sur la PPE. Pour mémoire, cet horizon avait été identifié dans le PNGMDR 2016-2018 comme l'horizon nécessitant la mise en service de nouvelles capacités d'entreposage dans le cas où l'exploitation du parc existant serait poursuivie jusqu'à 50 ans minimum. Cette analyse préliminaire de la DGEC présente néanmoins une sensibilité aux hypothèses de retraitement et de marges d'exploitation considérées et nécessitera d'être approfondie.

Afin de réduire le risque de saturation anticipée avant l'horizon 2030, quel que soit le calendrier de fermeture des réacteurs moxés, l'extension de l'utilisation du combustible MOx à d'autres réacteurs plus récents, notamment ceux du palier 1300 MWe, a été annoncée dans la PPE, sous réserve qu'EDF en obtienne l'autorisation auprès de l'ASN.

En tout état de cause, les études sur les capacités d'entreposage des combustibles usés devront être poursuivies et mises à jour régulièrement. Elles seront d'ores et déjà affinées par la DGEC, l'ASN et l'IRSN dans les mois à venir.

Les impacts de la politique de retraitement sur les besoins d'entreposage

Les options de retraitement choisies (pas de retraitement, mono-recyclage, multi-recyclage) ont un impact différent sur la date du besoin de nouvelles capacités d'entreposage.

Dans le scénario de mono-recyclage, le besoin en entreposage, du fait de l'augmentation de la quantité de MOx et d'URE entreposés devrait être comblé par la mise en service de nouvelles capacités d'entreposage à l'horizon 2030, telles que prévues par le PNGMDR 2016-2018.

²⁸ Les 22 réacteurs d'EDF qui sont actuellement alimentés chaque année en combustible MOx sont tous des réacteurs de 900 MWe.

Dans le scénario de multi-recyclage, qui repose sur le mono-recyclage puis le multi-recyclage par des REP ou des RNR, le besoin en entreposage est similaire à celui du scénario de mono-recyclage dans la mesure où l'horizon de déploiement d'un parc capable de consommer les matières entreposées est trop lointain pour impacter à court terme ce besoin d'entreposage. Dans ce cas, les capacités d'entreposage supplémentaires prévues par le PNGMDR 2016-2018 à l'horizon 2030 sont également nécessaires.

Dans le scénario de cycle ouvert, le besoin en capacités nouvelles d'entreposage arriverait également à l'horizon 2030, la durée de fonctionnement étant identique aux scénarios avec retraitement et la fin du retraitement correspondant à la fin d'exploitation des réacteurs. En revanche, si l'arrêt du retraitement était avancé avant la fin d'exploitation des réacteurs, l'accumulation de combustibles UNE usés non recyclés à entreposer serait très rapide et conduirait à une saturation des capacités d'entreposage bien avant l'horizon 2025. L'horizon de 2030 pour la mise en service de nouvelles capacités ne serait alors pas suffisant.

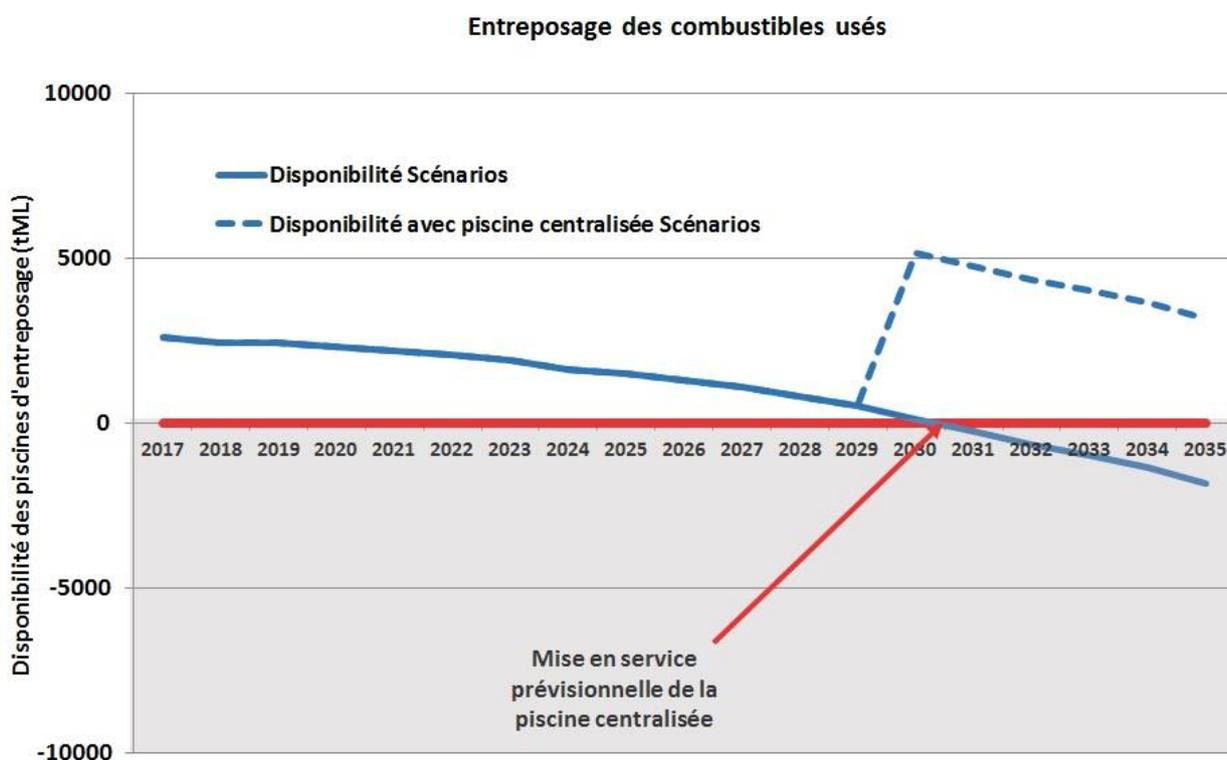


Figure 20 - Disponibilité des piscines d'entreposage en fonction des années. La disponibilité représente la différence entre la capacité opérationnelle des entreposages et le stock de combustibles usés entreposés à la date considérée

L'ASN demande périodiquement qu'EDF transmette un dossier dit « **Impact cycle** », rédigé conjointement avec les acteurs du cycle, présentant les conséquences sur chaque étape du cycle du combustible de la stratégie d'EDF d'utilisation dans ses réacteurs des différents types de combustibles.

Après instruction du dernier dossier déposé par EDF en 2016, l'ASN a rendu le 18 octobre 2018 son avis²⁹. Elle y souligne en particulier le besoin d'anticiper au minimum d'une dizaine d'années toute évolution stratégique du fonctionnement du cycle du combustible.

²⁹ Avis n° 2018-AV-0316 de l'ASN du 18 octobre 2018 relatif à la cohérence du cycle du combustible nucléaire en France

3.3.6. Incidences de la mise en œuvre de la transmutation dans le cadre d'un changement de politique sur la gestion des déchets HA-MAVL

⇒ Le principe de la transmutation est expliqué dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 12 : la séparation transmutation).

La transmutation s'entend dans le cadre où le combustible est retraité et le plutonium réutilisé et a pour but d'optimiser la gestion globale des déchets nucléaires de haute activité (HA). Cette option peut être complémentaire au stockage géologique des déchets HA (présenté à la partie 2.3.7) sous forme de colis vitrifiés en permettant d'optimiser les volumes et l'emprise nécessaire pour le stockage des déchets produits. Les enjeux autour de la transmutation sont les suivants :

- la transmutation des actinides mineurs dans les réacteurs à eau pressurisée du parc actuel ne permettrait de transformer que des quantités modestes de ces éléments ;
- des rendements significatifs pourraient être obtenus :
 - dans les réacteurs à neutrons rapides, dits de quatrième génération ;
 - dans des systèmes dédiés pilotés par accélérateurs (ADS), ces derniers présentant cependant un bilan avantages/inconvénients défavorable (maturité technologique faible, gestion complexe des combustibles) ;
- la transmutation du neptunium et du curium (produits par les réacteurs nucléaires à partir de l'uranium et du plutonium) présente peu d'intérêt, d'une part parce que la réduction de l'inventaire global en actinides reste faible, et, d'autre part, parce que la mise en œuvre de la transmutation du curium s'accompagne d'importantes difficultés techniques liées à sa forte radioactivité ;
- la transmutation des produits de fission à vie longue à une échelle industrielle apparaît, quant à elle, très difficile, voire impossible. En effet, bien que leurs caractéristiques montrent qu'elle serait techniquement possible pour le technétium, le césium et l'iode, les rendements de transmutation sont faibles (pour le technétium) et la mise en œuvre de cette transmutation est complexe et peu réaliste pour le césium et l'iode.

Ainsi, seule la transmutation de l'américium dans des réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération peut être envisagée, associée à un retraitement poussé permettant de le séparer des autres actinides mineurs et des produits de fission. Sa mise en œuvre à l'échelle industrielle ne pourrait intervenir qu'avec le déploiement important de réacteurs à neutrons rapides. Elle permettrait de réduire d'un facteur 10 l'emprise du stockage des déchets HA et d'un facteur 3 l'emprise totale d'un stockage des déchets HA-MAVL produits par un parc nucléaire constitué de réacteurs nucléaires à neutrons rapides par rapport à un parc futur de réacteurs à eau pressurisée, sans toutefois pouvoir l'annuler.

Par ailleurs, concernant l'impact radiologique du stockage, les actinides mineurs restant confinés dans l'argile proche et ne contribuant pas aux flux d'activité susceptibles d'être relâchés dans la biosphère à très long terme, la transmutation de ces éléments n'est donc pas de nature à modifier sensiblement cet impact.

Enfin, il ne paraît pas envisageable d'un point de vue technico-économique (complexité technique rendant le processus a priori peu compétitif économiquement, outre les mesures à prendre en matière de sûreté), en l'état des connaissances actuelles, d'envisager une récupération à des fins de transmutation des actinides mineurs dans les déchets vitrifiés déjà produits.

Ainsi, l'impact de la transmutation sur les déchets produits par le parc actuel serait négligeable. En effet :

- la transmutation ne peut s'opérer de façon significative qu'avec le déploiement de réacteurs à neutrons rapides (dont l'échéance est envisagée à l'horizon de la fin du siècle) associé à un retraitement poussé qui n'est pas industriellement disponible aujourd'hui ;
- la transmutation ne permet pas d'éviter le besoin d'un stockage profond ;

- la récupération des actinides mineurs dans les déchets vitrifiés déjà produits ne s'avère pas envisageable.

3.3.7. Incidences d'un décalage de la mise en service de Cigéo sur les capacités d'entreposage des déchets HA et MAVL

Si l'entreposage de longue durée des déchets ne peut pas constituer une solution de gestion définitive des déchets HA et MA-VL, comme exposé dans la partie 2.1, **un entreposage adapté est indispensable** dans l'attente de la mise en service du projet de stockage Cigéo. Pendant l'exploitation industrielle de l'installation de stockage, qui se développera par étape, des capacités d'entreposage en surface resteront nécessaires, pour la gestion opérationnelle.

Tout retard de la mise en service de Cigéo pourrait ainsi conduire à la nécessité d'augmenter ou de renouveler ces capacités d'entreposage. La question du maintien de capacités opérationnelles, y compris pendant la phase industrielle pilote du projet Cigéo, afin par exemple d'assurer la pleine récupérabilité des colis dont le stockage serait ainsi testé, pourrait également se poser. L'impact est toutefois différent selon la catégorie des déchets, HA ou MA-VL.

Si le projet est autorisé, les premiers colis destinés à être stockés dans Cigéo, dès sa mise en service, seraient des déchets MA-VL. En ce qui concerne les déchets HA, l'envoi des premiers colis à Cigéo pour y être stockés n'interviendrait pas avant 2080. Ce délai résulte d'une part de la période de refroidissement en surface, nécessaire pour satisfaire l'exigence de puissance thermique maximale des colis stockés, et d'autre part des chroniques de livraison prévues par les producteurs.

Ainsi, un décalage de la mise en service du projet de stockage n'aurait pas d'impact sur les capacités d'entreposage prévues pour les déchets HA, ces dernières ayant déjà été calculées pour prendre en compte cet horizon lointain de 2080. Pour autant, l'évaluation des **besoins d'entreposage de déchets HA** est menée de façon périodique afin de s'assurer du maintien de l'adéquation entre besoin et capacité disponible.

Un décalage de la mise en service de Cigéo aurait toutefois un impact sur les capacités d'entreposage de déchets MA-VL. En effet, les producteurs prennent en compte dans leurs stratégies la possibilité de libérer des capacités d'entreposage pour de nouveaux colis MA-VL avec l'envoi de colis plus anciens vers Cigéo, en se basant sur le planning prévisionnel de mise en service progressive du stockage. La construction et le juste dimensionnement de nouvelles capacités d'entreposage doivent ainsi permettre de parer à tout retard sur la mise en œuvre de Cigéo ou sur l'envoi des premiers colis, notamment pour la phase industrielle pilote.

Par ailleurs, des opérations de **reprise et de conditionnement de déchets anciens** sont en cours ou en projet, en particulier sur le site de La Hague par Orano et sur ceux de Marcoule, Cadarache et Saclay par le CEA, afin d'entreposer de manière plus sûre ces déchets. Il s'agit d'opérations longues et complexes. L'article L. 542-1-3 du code de l'environnement dispose que « les propriétaires de déchets de moyenne activité à vie longue produits avant 2015 les conditionnent au plus tard en 2030 ».

Dans ce cadre, les exploitants construisent ou prévoient de nouvelles installations d'entreposage de déchets MA-VL issus du fonctionnement de leurs installations mais aussi de leur démantèlement (EIP et Diadem pour le CEA, Iceda pour EDF).

Des marges suffisantes doivent donc être prises par les exploitants dans le dimensionnement de leurs installations et les dates de leur mise en service. Cette problématique a ainsi été anticipée et prise en compte dans le cadre du PNGMDR 2016-2018. Des études demandées aux producteurs de déchets visent à définir les besoins en entreposage futurs pour toutes les familles de déchets HA et MA-VL, portant au minimum sur les vingt prochaines années (article 53 de l'arrêté du 23 février 2017).

Une étude sur les modalités de transport des colis HA et MA-VL destinés à Cigéo depuis leurs installations d'entreposage a également été réalisée par les producteurs (article 54 de l'arrêté du 23 février 2017) et est en cours d'instruction.



En complément, l'Andra établit, en lien avec les producteurs de déchets, le Programme industriel de gestion des déchets (PIGD) de Cigéo qui précise l'inventaire de référence du projet, c'est-à-dire l'ensemble des déchets et des colis à retenir pour les études de conception ainsi que les hypothèses structurantes sous-tendant l'élaboration de cet inventaire de référence. Il présente l'ordonnancement et les flux prévisionnels de livraison des colis. Il fait état des équipements industriels existants ou à mettre en œuvre par les producteurs de déchets, sur les sites de production et en matière de transports, et identifie ceux à mettre en œuvre par l'Andra sur le site de Cigéo ; il en montre l'articulation dans le contexte de la mise en service puis de l'exploitation de Cigéo.

Une première version du PIGD a ainsi été établie en janvier 2012, et est actualisée régulièrement pour tenir compte de l'avancée du projet, la dernière version étant la version E de novembre 2016.

4. Les réflexions proposées par le maître d'ouvrage pour la 5^{ème} édition du PNGMDR

4.1. *Les matières radioactives entreposées, des enjeux reposant sur les perspectives de valorisation*

Selon qu'une substance radioactive est classée en matière ou en déchet (*distinction présentée à la partie 1.1.1*), les perspectives de gestion sur le long terme diffèrent. Dans la mesure où ils ne sont pas destinés à être réutilisés, les déchets radioactifs nécessitent une solution de gestion de long terme qui est le stockage, après éventuellement une étape intermédiaire (traitement, conditionnement, entreposage). Les matières étant destinées à être valorisées, elles sont seulement entreposées, jusqu'au moment de leur utilisation.

Les matières radioactives qui font l'objet d'une valorisation ou de projets de valorisation par les industriels de la filière nucléaire pour la production d'électricité sont principalement l'uranium (naturel, de retraitement, enrichi ou appauvri), le plutonium, le thorium, les combustibles UNE, MOx et URE. La liste détaillée de l'ensemble des matières radioactives est disponible dans l'Inventaire national élaboré par l'Andra.

Les différentes matières radioactives évoquées dans les paragraphes qui suivent sont présentées à la partie 2.2.

4.1.1. Une gestion prudente des matières radioactives

Les trois idées sur lesquelles se fonde une gestion prudente des matières radioactives ont été présentées à la partie 2.2.1 du présent document. Elles sont également développées dans les 3 paragraphes suivants.

La crédibilité du caractère valorisable d'une matière radioactive

Considérer de manière indue des substances radioactives comme des matières risque de faire incombler la charge de leur gestion aux générations futures. Des critères d'appréciation du caractère valorisable des matières radioactives sont donc nécessaires.

Ces critères sont les suivants :

- l'utilisation des matières radioactives peut être immédiate ou différée mais doit être en tout état de cause fondée sur des hypothèses crédibles de valorisation ;
- le caractère raisonnablement valorisable d'une substance radioactive dépend non seulement de la maîtrise technique de son procédé de valorisation mais également des conditions économiques prévisibles, des conditions socio-politiques de la mise en œuvre des procédés de valorisation et de l'adéquation entre la quantité détenue, son flux de production et les flux prévisionnels de consommation ;
- les utilisations potentielles de ces matières hors de France peuvent être prises en compte, mais il convient alors aussi de tenir compte de la situation actuelle et prospective du marché mondial ;
- les conditions de valorisation d'une substance radioactive peuvent ne pas être identiques suivant
- sa teneur, sa forme chimique, son isotopie ou son association avec d'autres substances. À ce titre, lorsqu'une substance peut se présenter sous plusieurs formes, des lots homogènes pour lesquels les conditions de valorisation seraient similaires devraient être définis ;
- les modalités de valorisation des substances radioactives peuvent être « en concurrence » entre elles. Par exemple, le recyclage de l'URT et le réenrichissement de l'uranium appauvri visent dans les deux cas à produire du combustible pour les réacteurs nucléaires. L'appréciation des possibilités effectives de valorisation d'une matière radioactive doit en tenir compte.



Le statut de matière radioactive dépend donc essentiellement du **caractère raisonnablement valorisable de la substance**, tenant compte de la stratégie industrielle du propriétaire et de la politique énergétique. **Les conditions de valorisation des matières radioactives doivent donc être périodiquement revues en fonction notamment des évolutions de la politique énergétique ou des avancées techniques.**

À cette fin, l'article L. 542-13-2 du code de l'environnement dispose :

- que « les propriétaires de matières radioactives, à l'exclusion des matières nucléaires nécessaires à la défense, informent, à chaque mise à jour du PNGMDR, les ministres chargés de l'énergie et de la sûreté nucléaire des procédés de valorisation qu'ils envisagent ou, s'ils ont déjà fourni ces éléments, des changements envisagés ».
- qu'après avis de l'ASN, l'État « peut requalifier des matières radioactives en déchets radioactifs si les perspectives de valorisation de ces matières ne sont pas suffisamment établies. Il peut également annuler cette requalification dans les mêmes formes ».

L'assurance de la disponibilité à court et moyen terme des capacités d'entreposage des matières

Il est nécessaire de veiller à la suffisance, dans des conditions de sûreté satisfaisantes, des capacités d'entreposage des matières existantes mais également d'identifier les besoins futurs. À ce titre, l'arrêté du 23 février 2017 a prescrit les actions suivantes :

- **Pour l'uranium appauvri** : dépôt par Orano, avant le 31 décembre 2017, d'une demande d'autorisation de création d'une **nouvelle installation ou d'une extension des capacités d'entreposage**, afin de prévenir la saturation des installations d'entreposage d'uranium appauvri prévue à l'horizon 2022 (article 3) ;

Orano exploite actuellement deux installations d'entreposage dédiées à l'oxyde d'uranium appauvri, l'une implantée sur le site de Tricastin (26) et l'autre sur le site de Bessines-sur-Gartempe (87). Afin de répondre à la prescription du PNGMDR 2016-2018, Orano a déposé une demande d'extension de la capacité d'entreposage autorisée en Haute-Vienne en vue de porter celle-ci de 200 000 tonnes à 260 000 tonnes. Cette demande a été déposée auprès du préfet le 19 décembre 2017 et est en cours d'instruction.

- **Pour l'uranium de retraitement** : dépôt par Orano, avant le 31 décembre 2017, d'une demande d'autorisation de création d'une **nouvelle installation, ou d'une extension des capacités d'entreposage**, afin de prévenir la saturation des installations d'entreposage prévue à l'horizon 2021 (article 5) ; présentation par EDF, avant le 31 décembre 2017, de la **stratégie permettant de réduire à moyen terme la croissance des stocks d'uranium de retraitement** détenus puis d'assurer le plafonnement de ces stocks (article 6) ;

Orano entrepose actuellement l'URT sous forme d'oxyde sur son site du Tricastin. Afin de répondre à la prescription du PNGMDR 2016-2018, Orano a déposé une demande d'autorisation de création d'une nouvelle INB sur le site du Tricastin. Cette demande a été déposée auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire le 25 octobre 2017 et est en cours d'instruction.

EDF a précisé son projet de reprise du recyclage de l'uranium de retraitement dans les réacteurs de la centrale nucléaire de Cruas à l'horizon 2023. Elle a également indiqué que l'utilisation d'uranium de retraitement enrichi pourrait être étendue à certains réacteurs d'une puissance de 1300 MWe. Cette utilisation reste conditionnée à l'approbation par l'ASN des études de sûreté afférentes.

- **Pour les combustibles usés** : appréciation de l'ensemble des **dépenses aval de la gestion des combustibles usés** (Orano, EDF, CEA et Andra) avant le 31 décembre 2017 (article 8), analyse, par EDF, de la disponibilité des **capacités d'entreposage** des UNE, URE et MOx au regard de la saturation des entreposages entre 2025 et 2035, avant le 31 décembre 2017 (article 10), présentation par le CEA avant le 31 décembre 2018 d'un programme pouvant être mené dans le réacteur-prototype de 4^{ème} génération ASTRID (article 11), présentation par EDF avant le 31 décembre 2017 de la faisabilité technico-économique du multi-recyclage de l'uranium et du plutonium dans un parc de réacteurs de technologie REP (article 12).



Le sujet de la suffisance des capacités d'entreposage pour les combustibles usés d'EDF est présenté dans la partie 4.1.

Dans le rapport remis au titre de l'article 12, EDF indique, sur la base des études déjà menées, que le multi-recyclage de l'uranium et du plutonium, ainsi que la résorption des stocks des combustibles MOx et URE en un temps court, de l'ordre de 15 ans, apparaît possible dans un parc de réacteurs à eau sous pression (REP). Cela aurait néanmoins pour conséquence une plus grande complexité du retraitement du combustible et une production plus importante d'actinides mineurs*. A ce stade, la faisabilité industrielle n'est pas assurée. Un programme de R&D sur le multi-recyclage en REP sera mené sur la période 2019-2028 de la PPE (voir le paragraphe 3.1.4).

L'existence de solutions de gestion dans le cas où la valorisation ne serait finalement pas possible

Lorsque les stocks d'une matière radioactive sont régulièrement écoulés, il n'y a pas lieu de questionner son utilisation effective et sa qualification de « matière ».

En revanche, au regard du concept de valorisation, des questionnements peuvent apparaître lorsqu'une substance qualifiée de matière radioactive (ou, par extension, un objet contenant cette matière radioactive en mélange avec d'autres substances et pour laquelle un traitement préalable est nécessaire pour son utilisation) ne trouve pas d'usage immédiat. Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ce constat :

- les **débouchés** sont **limités** et ne permettent d'écouler que de faibles quantités de la matière considérée en comparaison des stocks disponibles ; telle apparaît être la situation du thorium, et dans une moindre mesure, de l'uranium appauvri, dont les stocks sont importants et dont l'utilisation présente moins d'intérêt économique actuellement compte tenu du faible cours du prix de l'uranium naturel ;
- les **modes d'utilisation futurs ou la maîtrise des procédés de traitement préalables nécessaires** ne sont qu'à l'état de projets, dont, pour certains, la faisabilité industrielle reste à démontrer ; dans cette famille, on pourrait classer le thorium dont l'utilisation passe par un changement complet de cycle (thorium232/uranium233 en lieu et place de uranium238/plutonium239), les MOx usés et les URE usés, qui nécessitent la mise en place du multi-recyclage par rapport au cycle actuel ;
- les **conditions économiques** rendent plus attractive l'utilisation de **produits de substitution**. Par exemple, tant que le cours de l'uranium naturel est bas, son utilisation restera plus attractive que le recours à l'URT ou à l'uranium appauvri.

Dans le cas où les perspectives de valorisation d'une matière radioactive spécifique ne se concrétiseraient pas, ce serait alors à la génération qui acterait cette impossibilité de devoir supporter l'entière charge de la gestion en tant que déchet de cette substance, jusque-là considérée comme matière radioactive.

Afin de prévenir et de limiter ce risque et conformément aux principes de l'article L. 542-1 du code de l'environnement, des dispositions sont d'ores et déjà prises.

Ainsi, le code de l'environnement prévoit la tenue d'un inventaire de réserve pour le centre de stockage **Cigéo** (voir partie 2.3.7).

Par ailleurs, des études visant à définir les modalités de stockage des matières, si elles devaient être requalifiées en déchets, ont été lancées. Ainsi, plusieurs études de faisabilité ont été demandées par l'arrêté du 23 février 2017 relatif aux prescriptions du PNGMDR pour les matières suivantes (voir annexe études PNGMDR) :

- **Uranium appauvri** : étude, par l'Andra, de faisabilité d'un concept de stockage pour apprécier les conséquences d'une éventuelle requalification en déchets de tout ou partie des stocks et de l'impact financier (article 4 - échéance au 31/12/2019) ;
- **Uranium de retraitement** : étude, par l'Andra, de faisabilité d'un concept de stockage pour apprécier les conséquences d'une éventuelle requalification en déchets de tout ou partie des stocks et de l'impact financier (article 7 - échéance au 31/12/2019) ;

- **Combustibles usés** : adaptabilité du projet Cigéo au stockage direct des combustibles usés issus des réacteurs expérimentaux (Andra) (article 14 - échéance décalée à mi-2019) et appréciation des coûts d'un stockage direct des combustibles usés issus de l'ensemble des réacteurs en exploitation (Andra) (article 15 - échéance décalée à mi-2019). Concernant les combustibles usés, la réglementation prévoit également que les charges de gestion des combustibles usés et des déchets issus de leur retraitement doivent être provisionnées par les exploitants, que ces combustibles usés soient valorisables ou non (voir la partie 1.5) ;
- **Thorium** : études par Orano et Solvay de la gestion à long-terme des matières thorifères dans le cas d'une requalification en déchets (article 18).

En réponse à cette dernière prescription, Orano et Solvay ont remis en novembre 2017 un rapport présentant les inventaires des matières thorifères qu'ils détiennent, leurs descriptions, leurs localisations et leurs conditions d'entreposage. Ce rapport présente également les traitements ou conditionnements envisageables avant éventuel stockage si ces matières étaient à l'avenir requalifiées en déchets, ainsi que les filières de gestion envisageables.

4.1.2. Sujets de réflexion pour la prochaine édition du PNGMDR

Les perspectives de valorisation des matières radioactives sont-elles crédibles ? Comment évaluer cette crédibilité et avec quel degré de confiance ? Quels choix de gestion doivent en découler ? Comment limiter les impacts des choix actuels pour les générations futures ?

La consolidation du processus actuel de validation du caractère valorisable d'une matière radioactive

La logique actuelle pourrait être maintenue tout en réinterrogeant les critères et la procédure conduisant à qualifier une substance radioactive en matière. Tout en prenant en compte les quantités disponibles et à venir au regard des quantités probables effectivement utilisables des différentes matières, cela pourrait conduire à :

- établir des critères, à définir, en fonction desquels les matières seraient requalifiées en déchets ;
- requalifier en déchets tout ou partie de certaines matières.

En matière environnementale, cette approche respecte les principes de l'économie circulaire et les exigences définies par le code de l'environnement en matière de hiérarchie des modes de traitement des déchets. En effet, pour mémoire, l'article L. 541-1 du code de l'environnement dispose qu'il faut privilégier en premier lieu la valorisation des déchets par la réutilisation, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie, avant d'envisager leur élimination.

En matière de gouvernance, le renforcement du processus d'instruction devrait viser à mieux prendre en compte les attentes de la société civile, par exemple au travers d'une procédure mieux structurée. Un tel renforcement impliquerait de définir des critères permettant d'évaluer le potentiel de valorisation d'une substance d'une manière plus précise. Cette approche devrait toutefois veiller à définir des critères représentatifs, qui n'obèrent pas les perspectives de valorisation à une échéance lointaine.

La question de la temporalité de la solution de gestion à mettre en place peut se poser. En effet, les perspectives de valorisation de certaines matières peuvent s'inscrire à un horizon plus lointain que le déploiement de la solution de gestion associée, si cette matière était requalifiée en déchet.

Ainsi, les modifications à apporter aux installations de stockage pour accueillir les combustibles usés, s'ils étaient requalifiés en déchets, auront des impacts différents, selon le stade de développement du projet Cigéo. Elles seraient de nature à faire évoluer de manière significative le calendrier du projet, ces évolutions pouvant avoir des conséquences en matière de sûreté (voir partie 3.3.4).



Enfin, les moyens de garantir que les matières n'auraient pas à être reprises et reconditionnées avant leur utilisation, pendant leur phase d'entreposage, pourraient être étudiés. Les impacts financiers de telles solutions devraient être par ailleurs analysés. La stabilisation, voire la réduction des stocks de matières pour limiter les besoins en entreposage, serait une piste importante à approfondir dans ce cadre.

La requalification par défaut des matières radioactives en déchets

D'autres voies d'évolution de la politique de gestion des substances radioactives pourraient également être explorées, telles qu'une modification de la logique actuelle, visant à considérer par défaut comme des déchets les substances radioactives qui ne peuvent être valorisées dans l'immédiat.

Cette approche est sécurisante pour les matières autres que les combustibles usés (dans la mesure où ces derniers font déjà l'objet de dispositions visant à sécuriser leur gestion future en tant que déchets - voir partie 1.5), car elle garantit que les charges de gestion des substances concernées seront provisionnées. Les producteurs doivent également constituer des actifs dédiés à la couverture de ces provisions, en dehors de celles liées au cycle d'exploitation.

D'un point de vue environnemental, elle présente cependant deux inconvénients : (i) elle est contraire à la hiérarchie des modes de traitement des déchets et (ii) elle est susceptible d'engendrer des impacts « non nécessaires ».

Sur le premier point, le fait de requalifier par défaut une substance radioactive en déchet n'inciterait pas à poursuivre la recherche et la mise en œuvre des solutions de valorisation de cette substance, y compris en cas de contexte technico-économique favorable.

Sur le deuxième point, la requalification en déchet impliquerait de définir immédiatement des solutions de gestion, stockage et conditionnement principalement, pour prendre en charge ces déchets. Leur sortie ultérieure du statut de déchets rendrait alors la création de ces installations de gestion inutiles *in fine*. Or, de telles installations seraient à l'origine d'impacts potentiellement plus importants, notamment en cas de traitement, que dans le cas de simples entreposages : impacts liés aux travaux et besoins fonciers en particulier.

En matière industrielle et de gestion des déchets, catégoriser par défaut toutes les matières radioactives en déchets sans préjudice des possibilités de valorisation future reviendrait à créer des stockages potentiellement réversibles pour chacune d'elles. Le coût de telles mesures serait à déterminer dans la mesure où la faisabilité de la réversibilité à long terme serait à qualifier, de même que les coûts et la faisabilité d'une surveillance de long terme.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'uranium appauvri, reclasser en déchet cette matière entraînerait des impacts sur la filière industrielle française d'une part en renvoyant automatiquement vers les pays d'origine l'uranium appauvri non destiné à être enrichi et d'autre part en supprimant une activité du champ de la filière française.

D'un point de vue financier, cette approche aurait également des impacts potentiellement importants :

- charges inutiles pour les propriétaires de substances en cas de surdimensionnement des solutions,
- pertes de perspectives industrielles pour les entreprises, pouvant conduire notamment à des impacts en matière de maintien des emplois et des compétences,
- pertes de perspectives industrielles pour les entreprises pouvant conduire à des impacts en termes d'investissements, par exemple en ce qui concerne la sûreté des installations,
- impacts financiers de par le provisionnement immédiat des coûts futurs de stockage dans les comptes des entreprises.

Cette approche n'est pas celle privilégiée par le gouvernement. En effet, elle ne conduirait pas à des progrès immédiats dans la sûreté des entreposages des substances ainsi reclassées, dont les caractéristiques resteraient les mêmes. Elle pourrait avoir des conséquences financières très importantes, en étant susceptible de conduire à des dotations aux provisions importantes dans les comptes des exploitants.



De plus, elle pourrait conduire à la création de solutions de gestion et à des impacts environnementaux inutiles. Enfin, elle pourrait conduire à préempter des perspectives de valorisation future de ces substances.

4.2. Les capacités d'entreposage des combustibles usés

Dans cette partie, ne sont visés que les combustibles usés issus de l'exploitation des centrales de production d'électricité dans la mesure où ils représentent la majeure partie des combustibles usés.

Les différents types de combustibles sont présentés à la partie 2.2.3.

Pour pouvoir mettre en œuvre la politique de retraitement et faire fonctionner les centrales nucléaires, il est nécessaire de disposer de capacités d'entreposage des combustibles usés adaptées. Si l'on souhaitait maintenir le même niveau de production d'électricité, un manque de capacités nécessiterait en effet :

- soit de retraiter plus que de nécessaire les combustibles UNE usés pour libérer de l'espace dans les entreposages au risque de devoir accumuler du plutonium séparé et d'en augmenter son stock ;
- soit de construire de nouvelles capacités d'entreposage pour répondre au besoin.

Le dimensionnement approprié de ces capacités d'entreposage est donc un sujet essentiel qu'aborde le PNGMDR.

Dans ce cadre, les questions suivantes se posent :

Par quels dispositifs techniques complémentaires pourrait-on renforcer la stratégie d'entreposage des combustibles usés ? Comment gérer au mieux les risques et les aléas liés au fonctionnement des installations du cycle du combustible ? Dans le cadre de la réduction de la part du nucléaire dans le mix électrique, sur la base de quels scénarios définir ces besoins en entreposage complémentaires ?

Les enjeux évoqués ci-après sont développés à partir du bilan et des perspectives concernant ces capacités traitées à la partie 2.2 du PNGMDR 2016-2018.

Les incidences qu'aurait un changement de stratégie de traitement-recyclage sur les capacités d'entreposage des combustibles usés sont précisées à la partie 3.3.5.

4.2.1. Le besoin de nouvelles capacités d'entreposage des combustibles usés

Pourquoi un tel besoin ?

Chaque réacteur du parc électronucléaire dispose d'une piscine dénommée « piscine BK », permettant l'**entreposage et le refroidissement des assemblages de combustibles**. En effet, après leur déchargement des réacteurs, les combustibles usés (UNE, MOx et URE - voir la partie 2.2.3) sont entreposés dans ces piscines pendant deux ans en moyenne. Ils sont ensuite évacués des piscines BK vers l'usine de La Hague où ils sont de nouveau entreposés en piscine afin de continuer à être refroidis avant leur retraitement.

Ainsi, les **capacités d'entreposage** des combustibles usés sont constituées des **piscines BK des centrales nucléaires** et des **piscines des installations de La Hague**.

Les **combustibles UNE** sont ensuite **retraités (les autres combustibles sont entreposés dans l'attente d'un retraitement futur)**. Le temps moyen entre le déchargement d'un réacteur et le traitement du combustible UNE usé est ainsi de l'ordre d'une dizaine d'années (2 ans en moyenne dans les piscines BK, pour permettre un refroidissement suffisant avant le transport, et 7 ans dans les piscines de La Hague).

Cette durée de l'ordre de dix ans implique un besoin important en entreposage : une capacité d'entreposage 10 fois supérieure au volume annuel de combustible usé traité est de fait nécessaire.

La capacité réellement disponible d'une piscine BK est en réalité inférieure à sa capacité physique totale. En effet, pour des raisons de sûreté, l'exploitant doit en permanence disposer dans cette piscine d'emplacements d'entreposage libres pour les assemblages de combustibles présents dans le réacteur afin que ceux-ci puissent y être déchargés. Par ailleurs, les piscines BK doivent également pouvoir accueillir des assemblages de combustibles neufs pour pouvoir procéder au renouvellement du combustible du réacteur. Enfin, elles contiennent aussi des déchets activés issus de l'exploitation du réacteur. **En considérant**



l'ensemble de ces paramètres, la capacité totale effectivement disponible des piscines BK se situe aux alentours de 5 400 tML.

Les piscines du site de La Hague disposent d'une capacité opérationnelle maximale limitée à environ 14 000 tML, laquelle n'est pas exclusivement allouée à l'entreposage des combustibles usés français.

Au 31 décembre 2017, la capacité d'entreposage restant disponible à La Hague était estimée à 6,0 % de la capacité totale opérationnelle. La saturation de ces capacités ne devrait pas être observée avant 2030.

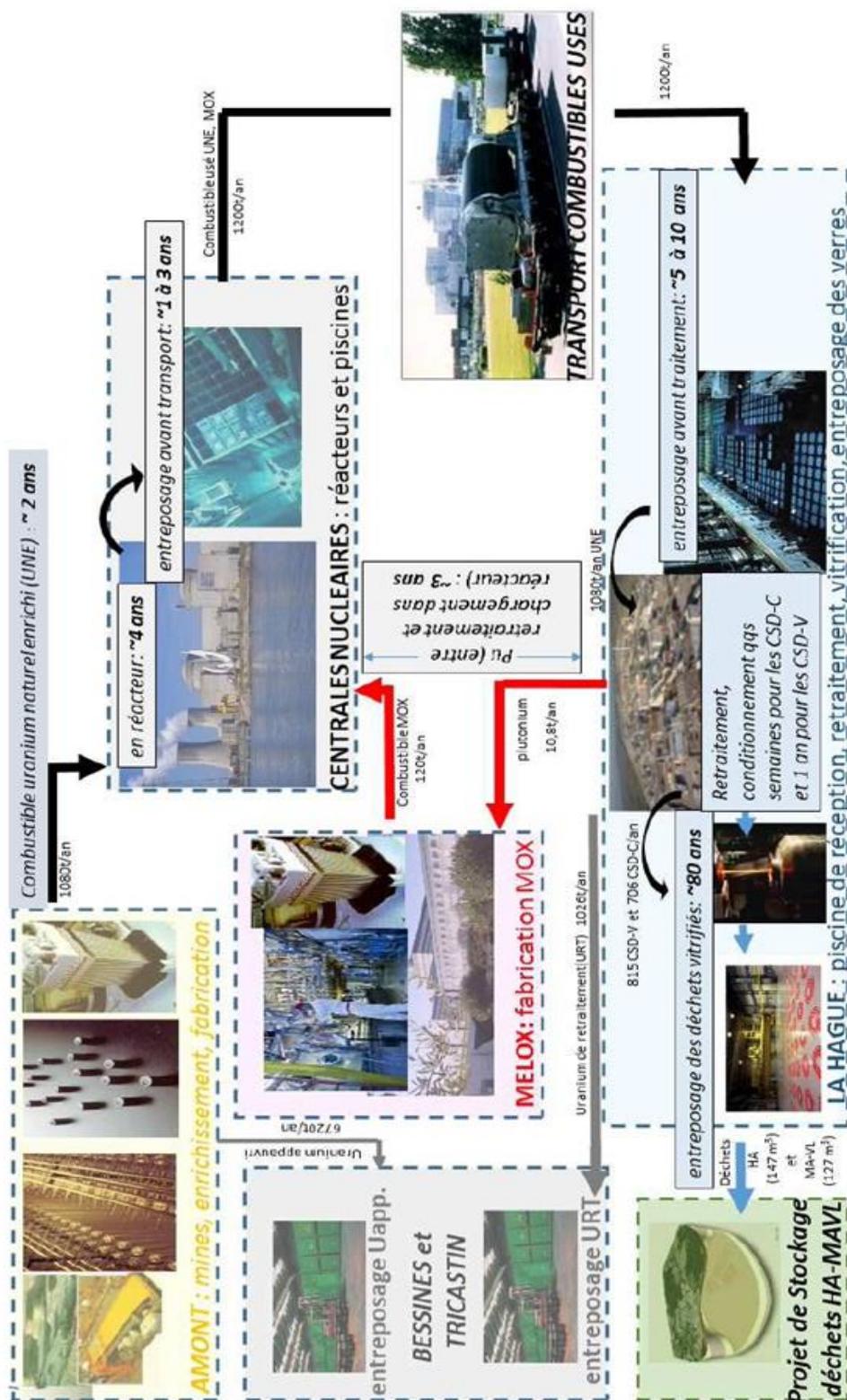


Figure 21- Le cycle du combustible avec les dimensions temporelles et les flux (Source : rapport Cycle 2018 HCTISN)



De manière schématique, comme l'illustre la figure ci-dessus, environ 1 200 tML/an de combustibles usés (UNE et MOx) sont actuellement transférées, après leur période de refroidissement dans les piscines BK des centrales nucléaires, dans les installations de La Hague.

Sur ces 1 200 tonnes entreposées en piscine, environ 1 080 tonnes d'UNE usés seront ensuite retraitées. **La quantité de combustible usé non retraité à entreposer augmente donc de près de 120 tML par an³⁰.** Les capacités d'entreposage des combustibles sont donc destinées à arriver à saturation à court ou moyen terme.

Au regard de cette perspective de saturation et du rythme actuel d'accroissement des quantités de combustibles usés à entreposer, EDF a mené des études prospectives afin de définir la date de cette saturation. Ces études ont conclu sur ce besoin à **l'horizon 2030**.

Quelles solutions pour répondre aux besoins supplémentaires d'entreposage ?

Par le passé, EDF et Orano ont étudié des mesures pour d'une part **optimiser le taux de remplissage des piscines d'entreposage des combustibles usés** et d'autre part **augmenter les capacités d'entreposage**.

Ainsi, en 2010, une modification des râteliers d'entreposage des combustibles dans les piscines BK des réacteurs de 900 MWe a été étudiée par EDF. Cette modification était destinée à augmenter les capacités d'accueil des piscines BK. Cependant, plusieurs questions soulevées pendant l'instruction technique du dossier par l'ASN, relatives aux dispositions de sûreté proposées par l'exploitant en phase de déploiement de la modification puis en phase d'exploitation, n'ayant pas obtenu de réponse satisfaisante, l'option a été abandonnée.

Par ailleurs, un projet de construction d'une nouvelle piscine d'entreposage, dite « piscine F » sur le site de La Hague, avait fait l'objet d'une demande auprès de l'ASN (dossier d'options de sûreté) déposée par Orano (ex Areva) en 2009. L'ASN avait formulé plusieurs observations portant sur le dimensionnement de l'installation. L'ASN avait en particulier indiqué que la conception de la piscine F devrait tenir compte du retour d'expérience de l'accident de Fukushima survenu en 2011. Ce projet n'a pas été poursuivi par Orano.

EDF et Orano ont également indiqué que plusieurs mesures d'optimisation de l'utilisation des capacités d'entreposage actuelles étaient susceptibles de reporter de quelques années l'atteinte de la saturation :

- la libération de paniers occupés par des déchets en attente de gestion pourrait permettre un gain d'au moins 5 % de la capacité opérationnelle des piscines de La Hague.
- l'évacuation à l'horizon 2020 de déchets d'exploitation actuellement entreposés dans les piscines BK vers l'installation Iceda (voir partie 2.3.4) devrait permettre un gain d'au moins 15 % de la capacité opérationnelle de ces piscines.

Cependant, de telles optimisations, si elles doivent être effectivement engagées, ne seraient pas suffisantes et devraient être complétées par la création de nouvelles capacités d'entreposage.

Le retour d'expérience récent des installations Diadem et Iceda, installations destinées à l'entreposage de déchets³¹, montre que **la durée nécessaire pour la création de nouvelles installations d'entreposage, depuis les premières études jusqu'à la mise en service, est de l'ordre d'une dizaine à une quinzaine d'années**. Il est donc essentiel de prévoir dès à présent la réalisation de nouvelles capacités d'entreposage,

³⁰ Dans ce schéma, le volume d'UNE usés entreposés reste stable, puisque les flux annuels retraités pour permettre la fabrication du MOx neuf sont équivalents aux flux annuels de combustibles UNE usés envoyés chaque année à La Hague : seul le volume d'entreposage du combustible MOx usés augmente. Dans un schéma intégrant l'enrichissement de l'URT pour fabriquer de l'URE, le volume d'entreposage du combustible URE usé, qui n'est pas retraité, augmenterait également.

³¹ L'installation nucléaire de base Diadem (pour Déchets radioactifs Irradiants ou Alpha de DEMantèlement) est une installation du CEA destinée à l'entreposage de conteneurs de déchets irradiants sur le centre de Marcoule. L'installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (Iceda) est une installation nucléaire de base d'EDF pour l'entreposage de déchets radioactifs issu du démantèlement des réacteurs UNGG et de l'exploitation des réacteurs en fonctionnement. Elle est basée sur le site de la Centrale nucléaire du Bugey.



en intégrant notamment l'ensemble du processus d'instruction technique et administratif permettant d'obtenir les autorisations nécessaires, ainsi que les délais de concertation avec le public.

Ainsi, le PNGMDR 2016-2018 a demandé à EDF de présenter au ministre chargé de l'énergie avant le 31 mars 2017 *sa stratégie de gestion des capacités d'entreposage de combustibles usés et le calendrier associé à la création de nouvelles capacités d'entreposage*. L'article 10 de l'arrêté du 23 février 2017 prescrit également à EDF de transmettre à l'ASN les options techniques et de sûreté relatives à la création de nouvelles capacités d'entreposage (*voir annexe dédiée aux études prescrites dans le cadre du PNGMDR 2016-2018*).

Ce même article prescrit également le dépôt par EDF, avant le 31 décembre 2020, d'une demande d'autorisation de création pour une nouvelle installation d'entreposage de combustibles usés, ou une demande de modification substantielle s'il s'agit de l'extension d'une installation existante.

En réponse, EDF a indiqué avoir lancé les études d'une piscine d'entreposage centralisée, destinée à entreposer en priorité les combustibles MOx et URE usés actuellement dans les piscines BK. En effet, le retraitement de ces combustibles pour fabrication de combustibles utilisables dans des réacteurs existants n'est prévu qu'ultérieurement.

4.2.2. Les différentes solutions techniques : impacts, avantages et inconvénients

Comme indiqué à la partie 4.2.1, différentes solutions d'optimisation des capacités d'entreposage existantes ou de création sur le site de La Hague font ou ont fait l'objet d'études. Néanmoins, le retour d'expérience montre que ces solutions ne permettront pas de répondre aux besoins supplémentaires de capacités d'entreposage identifiés. Par conséquent, la création de nouvelles capacités reste indispensable.

Pour ce faire, deux types d'entreposage pourraient être mis en œuvre : l'entreposage à sec et l'entreposage sous eau. La question de la mise en œuvre de ces types d'entreposage de façon centralisée ou décentralisée peut également se poser, chacune ayant des avantages et des inconvénients.

En réponse à une saisine de la commission d'enquête parlementaire sur la sûreté et la sécurité des installations nucléaires, l'IRSN a remis à l'été 2018 un rapport³² sur les enjeux associés, en termes de sûreté nucléaire, aux entreposages sous eau et à sec.

L'avis de l'IRSN souligne dans sa conclusion que le type de combustible utilisé (UNE, MOx, URE) influe sur le choix du type d'entreposage que l'on peut retenir, au minimum durant une certaine période de temps. Ainsi, les combustibles MOx présentent une puissance thermique plus élevée pendant une durée plus longue, conduisant ainsi à des exigences de sûreté différentes.

Dans le cas où l'entreposage à sec serait retenu, la figure ci-dessous extraite du rapport de l'IRSN montre qu'il serait auparavant nécessaire de refroidir sous eau les combustibles UNE usés pendant quelques années et les combustibles usés MOx pendant quelques dizaines d'années. En effet, ce délai est nécessaire pour leur permettre d'atteindre la puissance thermique maximale (~2 kW) permettant leur entreposage à sec avec les solutions existantes.

³² rapport de l'IRSN n° 2018-00003

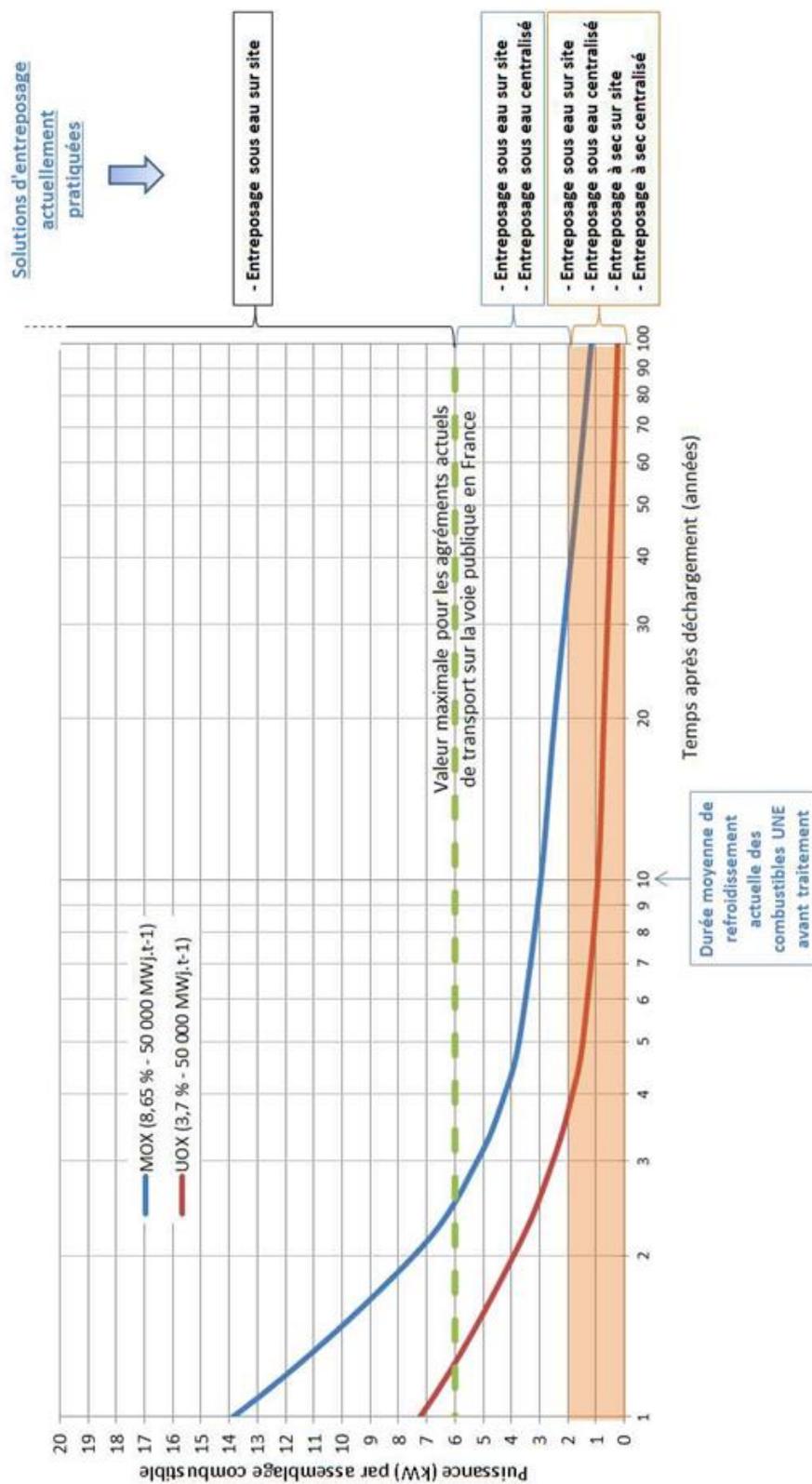


Figure 22 - Durée de refroidissement nécessaire avant entreposage à sec, pour des combustibles irradiés dans un REP en France (Source : extrait du rapport de l'IRSN n° 2018-00003)



En réponse aux exigences du PNGMDR 2016-2018, EDF a déposé en 2018, auprès de l'ASN, un dossier d'options de sûreté d'une **piscine centralisée sous eau**. L'examen des dispositions proposées par EDF dans son dossier d'options de sûreté constitue la première étape de l'instruction technique menée par l'ASN avec l'appui de l'expertise de l'IRSN. L'ASN a prévu de remettre son avis technique sur ce dossier début 2019.

Les impacts, avantages et inconvénients des solutions évoquées ci-dessus sont présentés ci-après.

L'entreposage sous eau

Du point de vue de la sûreté, dans son avis remis à la commission parlementaire, l'IRSN indique que **l'entreposage sous eau favorise la maîtrise et la surveillance du vieillissement des assemblages de combustibles usés**. L'eau présente en effet l'avantage de bien évacuer la chaleur. Son utilisation dans les systèmes de refroidissement d'une installation d'entreposage en piscine permet ainsi de maintenir une température basse des gaines, qui constituent la première barrière de confinement de la radioactivité contenue dans les assemblages de combustibles usés. L'entreposage sous eau rend également possible l'examen direct des gaines des assemblages de combustibles, et le cas échéant, en cas de détection d'un défaut, le recours à des moyens de confinement supplémentaires.

Les principales exigences en termes de sûreté portent sur le maintien de quantités d'eau suffisantes et sur le fonctionnement des systèmes de refroidissement, y compris en conditions accidentelles. En effet, une perte prolongée de refroidissement sans apport d'eau pourrait entraîner la dissémination de radionucléides, du fait de l'endommagement des structures des combustibles usés sous l'effet de la chaleur, pouvant conduire à des conséquences très importantes pour l'environnement.

Du point de vue des transports, la typologie de l'entreposage importe peu puisque l'installation, quelle qu'elle soit, devra assurer la réception et l'expédition des colis de combustibles en provenance des centrales nucléaires et à destination de La Hague sur le réseau ferré ou routier, ainsi que les transferts entre les véhicules, trains ou camions, et les équipements de l'installation par la mise en place de connexions routières et/ou ferroviaires. Le véritable enjeu repose plutôt sur la décentralisation ou non des entreposages.

D'un point de vue technico-économique, les exigences de sûreté auraient des impacts financiers, pour la conception (protection contre les agressions externes naturelles et anthropiques), la construction, l'exploitation et le démantèlement de l'installation. Ces impacts sont à chiffrer projet par projet.

Du point de vue environnemental, la construction et l'exploitation d'une piscine auraient des impacts, notamment en termes d'artificialisation des sols, de prélèvements d'eau, de rejets thermiques et d'effluents liquides ou gazeux. Ces impacts dépendent des procédés industriels, notamment les équipements de refroidissement ou de ventilation des installations, qui seraient effectivement mis en œuvre.

L'entreposage à sec

Le chapitre 5 du rapport de l'IRSN dresse l'inventaire des différents concepts d'entreposage de combustibles usés à sec dans le monde, avant d'en lister les atouts et les facteurs limitants.

Du point de vue de la sûreté, l'entreposage à sec étant réservé aux combustibles suffisamment refroidis, il présente l'intérêt de faire généralement appel à des systèmes passifs : refroidissement par convection naturelle d'air, confinement de la radioactivité et protection contre les rayonnements par les modules d'entreposage et les structures dans lesquelles ces derniers sont placés. **L'espacement** que ménagent les installations d'entreposage à sec entre modules d'entreposage ainsi que la faible puissance thermique des assemblages de combustibles usés constituent des facteurs favorables en cas d'accident.

Toutefois, la surveillance des gaines des combustibles n'est en général pas possible en raison des conditions thermiques. De ce fait, la capacité d'examen de ces gaines est très limitée, ce qui ne permettrait pas de mettre en évidence un phénomène de vieillissement des gaines de combustible. Cela serait préjudiciable pour les opérations de retraitement des combustibles usés qui interviendraient à l'issue de l'entreposage.



D'un point de vue technico-économique, l'IRSN souligne dans son rapport la **simplicité d'exploitation de ce type d'entreposage**. Il nécessite peu d'actions de conduite et peu de contrôles. De plus, la flexibilité de mise en œuvre de telles installations permet un déploiement *a priori* plus rapide de nouvelles capacités qu'avec des technologies d'entreposage sous eau. L'IRSN évalue en effet à 5 ans la durée caractéristique de réalisation d'une installation d'entreposage de combustibles usés à sec, une fois prise la décision de sa réalisation.

Le caractère modulable de l'entreposage à sec permet d'envisager plus facilement que pour l'entreposage sous eau la possibilité de créer des entreposages décentralisés.

Enfin, certains concepts d'entreposage à sec permettent d'utiliser les emballages des combustibles à la fois comme modules d'entreposage et comme colis de transport. Cela permet donc de limiter les opérations de reconditionnement des combustibles usés. Il faut cependant significativement plus d'emballages que pour un entreposage en piscine.

D'un point de vue sanitaire et environnemental, la comparaison des impacts des entreposages à sec et sous eau est difficile à établir.

La consommation d'eau et les rejets sont *a priori* plus importants pour les entreposages sous eau, pour lesquels le refroidissement des combustibles est plus exigeant que pour une installation d'entreposage à sec, du fait de la limitation de la puissance thermique du combustible usé pour cette dernière.

En termes d'emprise au sol, l'IRSN indique dans son rapport que les entreposages à sec sont souvent moins denses que ceux sous eau, nécessitant ainsi une emprise foncière plus importante. Néanmoins, de nouveaux concepts basés sur la superposition de modules d'entreposage sont en cours de développement pour les entreposages à sec.

Enfin, la comparaison des conséquences d'un accident entre entreposage à sec et sous eau ne peut être établie de manière directe, puisque par conception, l'entreposage à sec ne peut recevoir que des combustibles plus refroidis que dans le cas de l'entreposage sous eau.

Du point de vue de la capacité à recycler les combustibles usés, le rapport de l'IRSN signale que l'entreposage à sec rend les assemblages de combustibles difficilement inspectables. Il paraît plus difficile de détecter une dégradation des combustibles dans le cas d'un entreposage à sec, ce qui est préjudiciable pour les opérations de retraitement des combustibles usés intervenant à l'issue de l'entreposage.

Installations décentralisées

La création de capacités supplémentaires d'entreposage peut se faire de façon centralisée (comme la proposition de piscine centralisée faite par EDF) ou peut être répartie sur plusieurs sites, par exemple au sein des centrales nucléaires.

En termes de faisabilité foncière, plusieurs installations décentralisées requièrent plus de disponibilité foncière et davantage de connexions ferroviaires ou routières pour assurer l'accessibilité aux différents sites. L'emprise foncière locale d'une installation serait en revanche moindre que dans le cas d'installations centralisées.

En matière de construction et d'exploitation, l'impact technico-économique pourrait aussi être plus important que pour une installation centralisée. En effet, les besoins en matériaux et en main d'œuvre seraient plus importants et les économies seraient potentiellement moindres compte tenu d'un moindre recours aux effets d'échelle.

En matière de sûreté, les risques seraient répartis sur plusieurs installations et nécessiteraient donc des investissements proportionnels.

Les flux de transport des combustibles usés risqueraient également d'augmenter par rapport à des solutions centralisées entraînant des impacts environnementaux, des risques et des coûts supplémentaires. En contrepartie, les quantités transportées devraient être moindres que dans le cas d'installations centralisées.

A l'inverse, des installations décentralisées permettraient d'avoir des solutions de repli et des entreposages tampons, si un problème venait à être rencontré sur l'une des installations. La décentralisation offrirait



également des avantages en termes de modularité par la taille plus petite des entreposages et de souplesse dans la gestion des flux.

L'impact sur le planning de mise en service est davantage sujet à caution. D'un côté, la multiplication des installations pourrait augmenter la probabilité d'occurrence de risques et aléas pouvant retarder leur mise en service. D'un autre côté, plusieurs chantiers menés de front permettraient de minimiser le risque de saturation des entreposages si un des chantiers venait à être retardé.

4.2.3. Sujets de réflexion pour la prochaine édition du PNGMDR

Par quels dispositifs techniques complémentaires pourrait-on renforcer la stratégie d'entreposage des combustibles usés ? Comment gérer au mieux les risques et les aléas liés au fonctionnement des installations du cycle du combustible ? Dans le cadre de la réduction de la part du nucléaire dans le mix électrique, sur la base de quels scénarios définir les futurs besoins d'entreposages complémentaires ?

Le prochain PNGMDR, à l'instar du PNGMDR 2016-2018, devra préciser les besoins d'entreposage des combustibles usés à court, moyen et long terme. Pour ce faire, il devra prendre en compte différents scénarios contrastés de politique énergétique et proposer la mise en place de solutions pour y répondre.

Les réflexions suivantes paraissent intéressantes à mener dans le cadre du nouveau PNGMDR.

Affiner l'évaluation des besoins en entreposage des combustibles usés au regard des choix opérés par la programmation pluriannuelle de l'énergie

La PPE précise la mise en œuvre de la réduction de la part du nucléaire dans le mix électrique. Au regard de ces éléments, il est important de s'assurer que les besoins d'entreposage sont correctement estimés, en prenant des marges de sécurité suffisantes, au moins sur les 15 prochaines années.

L'instruction des pistes d'optimisation pour l'utilisation des capacités d'entreposage existantes pourrait également être poursuivie. La piste de l'évacuation des déchets de certaines piscines BK vers d'autres installations d'entreposage adaptées pourrait être approfondie. Même si elles ne permettent pas de résoudre le problème de saturation des entreposages à moyen et long terme, elles permettront d'assurer des marges d'exploitation des capacités existantes jusqu'à la mise en service de nouvelles capacités.

Etudier les risques associés à la mise en place d'une piscine centralisée, établir un plan de gestion de ces risques, selon différents scénarios contrastés de politique énergétique, pouvant faire appel à des solutions complémentaires

Différents risques et aléas pourraient affecter la création de la piscine centralisée proposée par EDF tels que :

- **Un retard dans la construction** et la mise en service, soit du fait d'aléas inhérents aux chantiers, soit d'évolutions du projet, notamment due à l'instruction par l'État de la future demande d'autorisation de création de l'installation. L'échéance de mise en service envisagée par EDF est proche de la date de saturation des capacités actuelles d'entreposage des combustibles usés. Cette situation de saturation doit être étudiée afin que ses effets soient maîtrisés du point de vue de la sûreté et de la radioprotection ;
- **Un changement de politique énergétique** impliquant une anticipation éventuelle des besoins en nouvelles capacités (voir partie 3.3).

Pour faire face à ces risques, il semble important de disposer d'un plan de gestion adapté qui permettrait de définir les actions à mettre en place le cas échéant. Le prochain PNGMDR pourrait ainsi s'attacher à

caractériser ces risques et définir ce plan de gestion. Ce plan pourrait prévoir la combinaison de différentes solutions d'entreposage. Il devrait également présenter un bilan coût-avantage des différentes solutions envisagées, que ce soit en matière d'impacts environnementaux, financiers ou de sûreté et de sécurité nucléaires.

De plus, le prochain PNGMDR pourrait également analyser l'impact de différents scénarios d'évolution de la politique publique, notamment de traitement-recyclage des combustibles usés. Une telle analyse pourrait conduire, par exemple, à la définition de critères destinés à garantir l'adéquation entre une prise de décision politique (une modification de la stratégie de retraitement par exemple) et l'échéance associée (faisabilité technique de cette décision selon un calendrier donné).

4.3. L'importance des volumes de déchets TFA attendus lors du démantèlement du parc actuel

Comme décrit à la partie 2.3.2. du présent document, les déchets dits de **très faible activité (TFA)** proviennent majoritairement de la **maintenance** et du **démantèlement** des installations nucléaires. Ces déchets sont destinés à être stockés au **centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)**. Ce centre, exploité par l'Andra, a été mis en service en août 2003, avec une **capacité de stockage autorisée de 650 000 m³**.

↪ Les enjeux évoqués ci-après font écho au bilan et aux perspectives concernant cette filière de gestion traités à la partie 3.5 du PNGMDR 2016-2018.

4.3.1. La politique de gestion par « zonage » retenue par la France

Deux méthodes de gestion sont habituellement employées dans les pays ayant à assurer la gestion de déchets TFA, suivant qu'ils recourent ou non à une « libération » d'une partie de ces déchets.

La « libération » consiste à dispenser de toute contrainte de radioprotection* (contraintes réglementaires liées au caractère radioactifs de la substance) les déchets radioactifs dès lors que leur niveau de radioactivité est inférieur à certains seuils définis au niveau européen³³. Dès lors, ces déchets peuvent être réutilisés ou gérés comme des déchets conventionnels.

En France, une série d'incidents, dans les années 90, mettant en évidence le risque que des déchets radioactifs se retrouvent éliminés dans des filières de gestion de déchets conventionnels de manière non intentionnelle, a conduit à ne pas retenir une gestion selon le principe de « libération » mais à décider d'une gestion de ces déchets fondée sur leur lieu de production. **C'est ce qu'on appelle la gestion « par zonage ».**

S'agissant des déchets produits dans les installations nucléaires, quel que soit leur statut réglementaire, INB, INBS, ICPE ou activités autorisées au titre du code de la santé publique (voir partie 1.2.3), le critère permettant de caractériser un déchet ne repose donc pas sur un seuil, en deçà duquel il pourrait être considéré comme non radioactif, mais sur la connaissance de son **lieu d'origine** : chaque exploitant d'installation nucléaire ou responsable d'activité nucléaire délimite *a priori* les zones dans lesquelles les déchets produits sont susceptibles d'être contaminés. Tous les déchets provenant de ces zones, quel que soit leur niveau d'activité radioactive réel, sont gérés comme des déchets radioactifs.

Ce « zonage déchet » établi *a priori* se fonde sur la connaissance des caractéristiques de l'installation vis-à-vis du risque de contamination ou d'activation*. Par exemple, des locaux dont on sait qu'ils ont pu être contaminés au cours de l'exploitation d'une installation, ou par lesquels peuvent transiter des substances



contaminées, ou qui sont soumis à des niveaux d'irradiation susceptibles d'en activer les structures, seront classés, par précaution, en tant que zones à production possible de déchets nucléaires.

Les exploitants s'assurent régulièrement de la pertinence de ce classement au moyen de **programmes de mesures** de contamination, dont les modalités de mise en œuvre peuvent donner lieu à des contrôles en inspection de l'ASN, de l'ASND ou des DREAL selon le type d'installation. Le zonage peut être modifié au cours de l'exploitation des installations nucléaires de base, notamment pour « déclasser » une zone radioactive en zone à déchets conventionnels. Ces modifications de zonage sont encadrées par la réglementation³⁴.

Lors du démantèlement des installations, le « zonage déchets » est réexaminé en préalable des opérations de déconstruction, en tenant compte de campagnes de mesures radiologiques des bâtiments et de l'historique des activités qui s'y sont déroulées. Ce réexamen est essentiel pour éviter de produire, sans que l'état radiologique des matériaux ou la nature des activités des installations ne le justifie, des quantités importantes de déchets TFA.

4.3.2. Les capacités du centre de stockage des déchets TFA seront saturées à moyen terme

Le flux annuel de déchets TFA, et donc la vitesse de remplissage du Cires, sont très dépendants du programme de démantèlement des installations nucléaires. Selon les données des Essentiels de l'inventaire national des matières et des déchets radioactifs publié par l'Andra en 2019, la quantité de déchets TFA produite à fin 2017 est d'environ 537 000 m³. 335 000 m³ sont d'ores et déjà stockés au Cires à fin 2018, les volumes restants sont entreposés sur les sites des producteurs de déchets dans l'attente de leur envoi au Cires.

Les évaluations prospectives de production réalisées par les exploitants conduisent à estimer les productions cumulées de déchets TFA à environ **2 200 000 m³ à la fin du démantèlement des installations existantes**. Ces quantités de déchets sont évaluées sur la base du retour d'expérience des opérations de démantèlement déjà réalisées.

Estimation des volumes de déchets TFA produits par le démantèlement

Dans le cadre du PNGMDR 2016-2018, l'article 20 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR a demandé à Orano, au CEA et à EDF de remettre une étude présentant, sur la base du retour d'expérience de chantiers de démantèlement, la méthodologie et les incertitudes associées aux estimations prévisionnelles de la production de déchets TFA. L'étude devait être accompagnée d'études de cas de démantèlement, pour chaque exploitant, évaluant les volumes de déchets produits selon plusieurs scénarios d'**assainissement***.

Il ressort de cette étude que l'évaluation actuelle du volume final des déchets TFA pourrait être significativement révisée à la hausse, compte tenu :

- des **incertitudes** sur l'état des structures et des sols des installations (incertitudes que les exploitants doivent préciser autant que possible mais qui ne pourront être levées qu'une fois le démantèlement commencé, notamment pour les pollutions présentes sous les bâtiments),

³⁴ Par exemple, pour les INB, ces modifications sont encadrées par le chapitre 3.6 du titre 3 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base traitée du déclasserment et du reclassement du zonage déchets

- de la forte dépendance du volume de déchets aux **objectifs d'assainissement** (c'est-à-dire au niveau de radioactivité maximal restant dans les structures ou les sols à l'issue du démantèlement des installations³⁵).

Concernant ce sujet, pour les INB, l'ASN recommande la mise en œuvre d'un assainissement complet, autrement dit de revenir à l'état initial du site, avant les activités nucléaires. Si cet objectif ne peut être atteint, l'exploitant doit le justifier et mettre en œuvre un assainissement poussé afin de permettre le déclassement de son installation, le cas échéant avec la mise en place de servitudes d'utilité publique.

Les perspectives offertes par l'incinération des déchets TFA

Compte tenu des flux de déchets TFA prévisionnels, d'autres modes de gestion de ces déchets que leur stockage au Cires sont déjà étudiés et utilisés.

Certaines catégories de déchets TFA **incinérables** (équipements de protection jetables par exemple) sont envoyées dans l'unité d'incinération de l'usine Centraco à Marcoule, exploitée par Socodei. Dans le cadre du PNGMDR 2016-2018, l'article 25 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR a demandé à l'Andra, en lien avec Socodei et les producteurs de déchets TFA, de faire, pour chaque type de déchets incinérables, une étude comparant, sur les plans de la protection de la santé des personnes, de l'environnement et de la sécurité, l'incinération puis le stockage des résidus, par rapport à un stockage direct au Cires. La prescription précisait que les rejets radioactifs et chimiques induits par le procédé d'incinération devaient être pris en compte.

L'étude conclut que l'incinération permet d'économiser des volumes de stockage mais qu'elle implique une consommation d'énergie³⁶, d'eau et des rejets atmosphériques (gaz à effet de serre et gaz radioactifs) supplémentaires (dans les limites toutefois des autorisations de prélèvement d'eau et de rejets de l'installation de Centraco). Quoi qu'il en soit, les volumes de déchets TFA incinérables ne représentent qu'une part réduite du flux annuel de déchets : l'étude de l'Andra évalue à moins de 5% du volume annuel de déchets stockés le gain procuré par l'incinération. Cette dernière n'apparaît donc pas susceptible de modifier de manière significative les prévisions d'évolution des volumes de déchets stockés au Cires.

Par ailleurs, le PNGMDR 2016-2018 (articles 25, 27 et 28 de l'arrêté PNGMDR) prévoit que les efforts soient poursuivis en matière de densification des déchets produits afin d'optimiser les capacités de stockage.

À moyen terme, en tout état de cause, la capacité autorisée du Cires de 650 000 m³ ne sera pas suffisante et la saturation du centre pourrait être atteinte entre 2025 et 2030, soit 3 à 8 ans plus tôt que prévu au moment de la construction du stockage.

De nouvelles capacités de stockage sont donc nécessaires. Les conclusions des études remises au titre du PNGMDR 2016-2018 ainsi que la perspective de saturation à moyen terme du centre de stockage affecté à la gestion des déchets TFA, apparaissent propices à questionner les évolutions envisageables des pratiques de gestion actuelles et les impacts qu'elles pourraient avoir.

³⁵ Ces objectifs sont proposés par les exploitants au cas par cas pour chaque opération de démantèlement et soumis à la validation des autorités compétentes. Par exemple, pour les INB, les objectifs d'assainissement des sols et structures sont décrits dans les guides 14 et 24 de l'ASN.

³⁶ A titre d'illustration, d'après l'évaluation environnementale du PNGMDR 2016-2018, les installations de Centraco, autorisée à traiter quelques milliers de tonnes de déchets solides et liquides incinérables, consomment annuellement 900 m³ de fioul et 27 GWh d'électricité et émettent 3900 t eq CO₂. L'ensemble des sites de stockages de déchets exploités par l'Andra consomment annuellement 12 GWh d'électricité et émettent 630 t eq CO₂.

4.3.3. Sujets de réflexion pour le prochain PNGMDR

Face aux grands volumes à venir de déchets de nocivité réduite dans les prochaines décennies, comment faut-il faire évoluer les modalités de gestion actuelles de ces déchets de très faible activité ?

Approfondir les pistes d'optimisation de la gestion des déchets TFA dans le cadre réglementaire actuel

La question de l'optimisation de la gestion des TFA est étudiée depuis plusieurs années dans le cadre des PNGMDR qui se sont succédé (voir la partie 2.5 du présent document et plus précisément l'encadré de la partie 2.5.1).

Le bilan de ces travaux et une première approche des impacts potentiels des pistes d'optimisation envisagées actuellement sont présentés dans la suite.

- **Limitation de la production de déchets**

Le principe de limitation de la production des déchets à la source reste le premier axe d'amélioration et constitue la mesure préalable de référence en matière de politique de gestion des déchets qu'ils soient radioactifs ou non.

La conception et l'organisation mise en place pour exploiter les installations nucléaires auront un impact fort sur la production de déchets TFA au cours du démantèlement. Dans le cadre du PNGMDR 2016-2018, l'article 21 de l'arrêté du 23 février 2017 prescrit aux exploitants d'installations nucléaires de remettre, avant la fin 2020, un rapport identifiant les bonnes pratiques en matière de conception et d'organisation pour optimiser le zonage déchets des installations et faciliter le déclassement des zones à production possible de déchets radioactifs lors du démantèlement.

- **Optimisation des volumes de stockage disponible dans l'emprise du Cires**

Depuis le début de l'exploitation du Cires en 2003, l'Andra a amélioré l'utilisation des volumes dont elle dispose sur le site d'implantation du centre. La géométrie des alvéoles de stockage a évolué, pour en augmenter leur surface, leur profondeur et leur hauteur, ce qui permet désormais d'envisager une augmentation de 40 % de la capacité en volume actuellement autorisée du Cires.

L'article 29 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR demande, dans ce cadre, à l'Andra de déposer une demande d'augmentation de la capacité autorisée du Cires, sous réserve d'avoir au préalable confirmé la faisabilité, auprès du Préfet de l'Aube. Le dossier, qui devra détailler les impacts du projet, devra être déposé au moins 6 ans avant la date prévisionnelle de saturation des capacités du Cires, saturation estimée à 2028 en l'état des études de l'Andra.

D'un point de vue environnemental, l'augmentation de la capacité volumique du Cires, sans évolution de son emprise en sol, apparaît à ce stade comme une évolution favorable. Elle limiterait en effet l'artificialisation des sols et les perturbations de l'environnement qu'occasionnerait une extension du périmètre d'implantation du site.

Les rejets actuels de l'installation dans l'environnement sont limités (voir encadré de la partie 2.3.5). L'augmentation de la capacité du Cires ne devrait pas générer d'impacts sanitaires ou environnementaux sensibles. Elle ne devrait pas non plus modifier l'activité socio-économique à proximité du centre. Ces éléments resteraient toutefois à confirmer dans le cadre de la demande d'autorisation précitée.

D'autres pistes d'optimisation pourraient également être poursuivies. L'Andra a étudié, en réponse à l'article 22 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR, la réutilisation d'une partie des gravats de très faible activité comme matériaux de comblement des vides dans les alvéoles du Cires.

En matière de solution de gestion, une économie de volume de stockage de plusieurs dizaines de milliers de m³ pourrait être attendue de cette réutilisation des gravats. Ces résultats sont cependant tributaires



d'hypothèses majorantes sur les flux annuels de gravats. Par ailleurs, un procédé de concassage reste nécessaire et est, par nature, générateur de poussières. Sa mise en œuvre nécessiterait des opérations de manutention et de transport supplémentaires à l'intérieur de l'emprise du Cires. Elle se traduirait enfin également par des nuisances sonores supplémentaires.

D'un point de vue économique, l'exploitation de l'installation de concassage qu'il faudrait alors mettre en œuvre nécessiterait en particulier le déploiement de moyens de protection importants pour limiter l'exposition des travailleurs aux poussières potentiellement contaminées. Cela pourrait avoir un impact non négligeable sur le coût du stockage.

A ce stade, les conclusions de cette étude, qui pourra faire l'objet d'un examen complémentaire dans le cadre de l'élaboration du prochain PNGMDR, n'ont donc pas conduit à engager le déploiement de cette filière.

Par ailleurs, plusieurs études, dont les conclusions sont attendues pour la fin de l'année 2018, ont été demandées par le PNGMDR 2016-2018 concernant les dispositions permettant d'augmenter la densité des déchets. En effet, la densité des colis de déchets est actuellement inférieure de 20 à 30 % aux prévisions initiales de l'Andra. Cette faiblesse explique en partie la saturation anticipée du Cires. L'article 27 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR prescrit ainsi à l'Andra de remettre une étude analysant plusieurs options en vue d'une densification des déchets stockés au Cires : densification sur les sites des producteurs, amélioration des équipements de densification existants ou mise en service de nouveaux équipements au Cires. L'article 28 prescrit par ailleurs aux producteurs de déchets métalliques TFA et à SOCODEI, exploitant de l'unité de fusion de CENTRACO, de remettre une étude sur la faisabilité technico-économique de la fusion de déchets métalliques TFA en vue de leur densification.

La réutilisation des gravats ou l'augmentation de la densité des colis constituent des pistes devant encore faire l'objet d'une optimisation économique. Il convient cependant de souligner que, même en association avec l'augmentation des volumes autorisés à être stockés au Cires, elles seraient insuffisantes pour permettre au Cires d'accueillir la totalité des déchets TFA qui seront produits par le démantèlement des installations nucléaires.

- **Développement d'un nouveau site de stockage centralisé**

Devant les volumes importants de déchets TFA prévus à la fin du démantèlement des installations existantes, dépassant la capacité étendue du Cires, la construction de nouvelles capacités de stockage semble être une nécessité. En particulier, la création d'un nouveau site de stockage est à l'étude.

D'un point de vue sanitaire et environnemental, le Cires a été construit dans un environnement géologique favorable : couche argileuse homogène présentant des propriétés physiques (impermeabilité en particulier) favorables pour la sûreté du stockage et faibles écoulements d'eau dans la formation sur laquelle repose la couche d'argile exploitée.

La création d'un nouveau centre de stockage centralisé permettrait de concentrer le déploiement des moyens de gestion des déchets et de surveillance de l'environnement (atmosphère, eaux souterraines et eaux de surface, écosystèmes aquatiques et terrestres). Toutefois, comme toute création d'installation, elle serait synonyme d'emprise foncière, donc d'artificialisation des sols et d'impact sur l'écosystème local et de nouveaux impacts locaux liés au transport des déchets.

D'un point de vue économique, les volumes importants de déchets TFA mis en jeu ont contribué à établir un coût moyen de stockage relativement faible pour un centre de déchets radioactifs, s'il est comparé à celui du centre de stockage de l'Aube (déchets FMA-VC), qui est globalement 10 fois supérieur, ou à d'autres centres de stockage de déchets radioactifs à l'étranger. Le coût du stockage au Cires est de l'ordre de 500€ par m³ de déchets, tandis qu'il est de l'ordre de 300€ par m³ dans les centres de stockages de déchets dangereux « conventionnels ».

L'intérêt technico-économique d'un nouveau centre de stockage devrait être étudié également à l'aune des conditions économiques présentées par d'autres options (valorisation notamment). Enfin, la création d'un nouveau centre modifiera l'équilibre socio-économique local de la zone d'implantation par un afflux d'activité.

- **Construction d'installations décentralisées de stockage**

En complément ou à la place d'un nouveau site de stockage, le développement d'installations décentralisées proches des sites nucléaires est également étudié.

En matière de solution de gestion, le stockage local de certains déchets radioactifs TFA, notamment là où la production de déchets sera la plus importante, présenterait l'intérêt de limiter les transports de déchets en nombre et en volume. L'article 26 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR a donc prescrit la réalisation d'une étude, qui doit être remise en juin 2020, sur la faisabilité de créer, sur ou à proximité de leurs sites de production respectifs, des installations de stockage adaptées à certaines typologies de déchets TFA. Pour ces déchets, leurs caractéristiques permettraient d'envisager un stockage dans des installations dédiées autres que le Cires, dans des conditions technico-économiques acceptables.

D'un point de vue sanitaire et environnemental, la réduction de la consommation énergétique et des émissions des gaz à effet de serre liées à la baisse des transports constitue un point favorable, que l'étude demandée par le PNGMDR 2016-2018 devra permettre de quantifier. Il convient de noter par ailleurs que la remise d'une étude permettant d'évaluer et de réduire les impacts environnementaux liés aux transports des déchets TFA des lieux de production au Cires a été prescrite pour la fin 2018 à Orano, au CEA et à EDF, par l'article 32 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR.

La possibilité d'implanter des installations de stockage spécifiques à certains déchets devra être appréciée au cas par cas, au regard des normes de sûreté applicables en matière de conception des installations de stockage de déchets de surface. Les impacts pour la santé et l'environnement de telles installations, même s'ils sont potentiellement faibles compte tenu du niveau de radioactivité des déchets considérés, pourront être comparés aux impacts évalués pour le stockage du Cires ou d'un nouveau site de stockage centralisé. Cette comparaison pourrait être rapportée aux gains obtenus en matière de transports.

D'un point de vue économique, il résulterait de la création de centres sur ou à proximité des sites de production une évolution des coûts de gestion des déchets TFA. Ces coûts intègrent, outre le coût du stockage, le coût du traitement et du conditionnement par le producteur et le coût de transport. La diminution des coûts liés au transport, pour les déchets éligibles à un stockage local, pourrait être en partie effacée par une réévaluation des coûts du stockage au Cires ou dans un nouveau centre, si des volumes importants de déchets en étaient détournés³⁷. Si ce dernier point ne constitue naturellement pas en lui-même un motif suffisant pour ne pas perturber les flux de déchets à destination du Cires ou d'un nouveau centre, les impacts économiques seraient donc à évaluer plus précisément.

Pour ces stockages décentralisés, les aspects relatifs à leurs modalités d'exploitation (à qui les confier et selon quelle répartition des responsabilités) et à leurs impacts socio-économiques pourraient être évoqués, en lien avec les enjeux de mémoire associés à ces stockages compte tenu du temps de décroissance radioactive long de certains déchets ou de la présence de toxiques chimiques. La question de l'articulation de ces centres de stockages avec les stratégies de démantèlement des installations nucléaires sera à étudier.

- **Poursuite des études sur la valorisation des matériaux métalliques TFA**

Une manière d'optimiser les capacités de stockage des déchets TFA serait d'en valoriser une partie.

L'article R. 1333-4 du code de la santé publique introduit la possibilité de déroger aux interdictions d'usage de substances provenant d'une activité nucléaire dans la fabrication de certaines catégories de produits de consommation ou pour les matériaux de construction. Actuellement, les possibilités de recyclage des matériaux TFA provenant des installations nucléaires françaises sont restreintes, à titre conservatoire, au sein de la filière nucléaire.

³⁷ Les coûts fixes du Cires, qui représentent une part significative des coûts totaux, seraient en effet répartis sur un volume de déchets moindre.



Dans le respect de ce cadre réglementaire, l'installation de fusion de Centraco permet par exemple depuis les années 2000 le recyclage de déchets métalliques ferreux sous forme de protections radiologiques intégrées à des colis de déchets radioactifs. Les volumes recyclés demeurent toutefois limités.

Les études sur les conditions de valorisation des matériaux métalliques et des gravats TFA se sont poursuivies dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 avec notamment la mise en place d'un groupe de travail pluraliste en 2015³⁸, composé de représentants des exploitants, de l'Andra, du ministère de l'Environnement et d'experts français et étrangers.

Les conclusions de ce groupe de travail ont mis en lumière plusieurs axes d'études pour créer des conditions favorables au recyclage de matériaux contaminés, activés ou susceptibles de l'être, produits dans les installations nucléaires.

Le groupe de travail a notamment préconisé, sur la base du retour d'expérience en matière de recyclage en France et en Europe, l'examen prioritaire des filières de valorisation pour les grands lots de déchets présentant des caractéristiques homogènes. Les matériaux métalliques des diffuseurs de l'usine d'enrichissement Georges Besse I (environ 140 000 tonnes) et les générateurs de vapeurs du parc de réacteurs à eau sous pression d'EDF (environ 90 000 tonnes) sont ainsi concernés en priorité.

Le groupe de travail a recommandé que ces filières soient constituées d'installations de traitement spécifiques, utilisant des procédés offrant des garanties de performances solides, et intégrant des modalités de traçabilité rigoureuses, que les débouchés soient choisis en priorité selon des critères de traçabilité des produits sur le long terme et qu'ils fassent l'objet de modalités d'information du public adaptées.

Dans le prolongement des travaux du groupe de travail, l'article 24 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR a prescrit à EDF et à Orano de remettre un dossier comprenant une présentation des options techniques et de sûreté d'une installation de traitement de leurs grands lots homogènes de matériaux métalliques TFA avec son calendrier de mise en service ainsi qu'une description des filières de gestion associées, devant être prioritairement recherchées dans la filière nucléaire. Ce dossier a été déposé et fait l'objet d'un examen dans le cadre de la préparation du prochain PNGMDR.

En matière de solution de gestion, le recyclage permet de réduire les quantités de déchets à stocker. Dans la hiérarchie des modes de traitement des déchets³⁹, le recyclage doit être étudié avant l'élimination du déchet. Selon l'implantation des installations de traitement, il est susceptible également de réduire les transports de déchets.

D'un point de vue sanitaire et environnemental, les procédés de valorisation consomment de l'énergie et sont sources de rejets gazeux et liquides. Leur mise en œuvre pour des matériaux même faiblement contaminés, impliquent des risques d'exposition des travailleurs à la radioactivité qui peuvent être non négligeables, et nécessitent des dispositions de radioprotection adaptées. Des études d'impact poussées devraient donc être réalisées pour chaque usage possible des matériaux recyclés. Une définition des usages acceptables pourrait alors être envisagée.

Envisager de nouvelles pistes de gestion dans un cadre réglementaire adapté

De nouvelles pistes de gestion allant dans le sens d'une plus grande intégration des déchets TFA aux filières de gestion conventionnelles pourraient être étudiées.

De nouvelles pistes de gestion pourraient être étudiées d'après les angles suivants :

- Quelles pourraient être les possibilités d'usage des centres de stockage de déchets dangereux dans la gestion des déchets TFA ? Comment garantir le maintien de la mémoire du stockage de déchets issus d'activités nucléaires dans des installations conventionnelles ?

³⁸ Le rapport du groupe de travail sur la valorisation des matériaux de très faible activité est consultable sur le site internet de l'ASN : www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/La-gestion-des-dechets-radioactifs/Plan-national-de-gestion-des-matieres-et-dechets-radioactifs/PNGMDR-2016-2018

³⁹ Définie à l'article L. 541-1 du code de l'environnement

- 
- Quelles pourraient être les possibilités de valorisation des déchets TFA, notamment métalliques, par la mise en place de procédures facilitées de dérogation ? Quelles seraient les exigences associées en termes de déchets éligibles, de voies de valorisation, de maintien de la mémoire ?
 - Quelle place pourrait être accordée au principe de libération des déchets TFA les moins actifs ? Quels seraient les conditions préalables nécessaires avant de pouvoir envisager son introduction en France ?

Les pistes suivantes pourraient par exemple être explorées.

- **Stockage de déchets de très faible activité dans des installations de stockage de déchets dangereux**

L'extension du principe de gestion existant pour les déchets à radioactivité naturelle élevée (déchets NORM), qui permet d'orienter ce type de déchets vers des centres de stockage de déchets conventionnels⁴⁰ pourrait être étudiée pour les déchets de très faible activité produits par les installations nucléaires.

Une étude remise en 2011 par l'Andra a établi une comparaison des approches de sûreté des centres de stockage de déchets ultimes (non nucléaires) et du Cires. Les conclusions de cette étude soulignent que les principes de conception des installations de stockage de déchets dangereux et du Cires sont similaires, en termes de typologie de barrière (argile, couverture, membrane), de dispositions de contrôle (puits de contrôle), de critères d'acceptation de déchets en stockage (nature, caractérisation, stockage) et d'objectifs de surveillance de l'environnement.

En matière environnementale, les avantages qu'offrirait l'utilisation d'installations de stockage de déchets dangereux non nucléaires pour le stockage de déchets TFA seraient comparables à ceux déjà évoqués concernant l'utilisation de centres de stockage décentralisés. Elle pourrait en particulier réduire le volume des transports d'évacuation de déchets TFA, dans des proportions toutefois inférieures à celles d'un stockage direct sur les sites de production. Elle permettrait d'éviter l'utilisation de nouvelles emprises foncières et des terres vierges également. La similarité des approches de sûreté entre le Cires et les installations de stockage de déchets dangereux mise en évidence par l'étude de l'Andra de 2011 constitue une base favorable, qu'il conviendrait de conforter par des études plus précises au cas par cas.

Cette solution de gestion nécessiterait en revanche de définir des dispositions fiables pour garantir la traçabilité et minimiser les risques de perte de mémoire de la présence de déchets faiblement radioactifs sur des sites de stockage dont les volumes principaux seraient constitués de déchets non radioactifs.

- **Valorisation des déchets TFA par la mise en place de procédures facilitées de dérogation vers le domaine conventionnel**

Comme indiqué précédemment, les possibilités de recyclage des déchets TFA provenant des installations nucléaires françaises sont restreintes, à titre conservatoire, au sein de la filière nucléaire. Il pourrait être envisagé de réétudier ce cadre dérogatoire afin de faciliter la réutilisation dans le domaine conventionnel de certains lots spécifiques de déchets TFA. Un tel régime pourrait notamment s'appliquer aux matériaux métalliques TFA.

Concernant les matériaux métalliques, les producteurs évaluent sur la période 2015-2070 à plus de 900 000 tonnes la masse de déchets TFA potentiellement valorisables. Hormis les grands lots homogènes déjà évoqués, les exploitants nucléaires estiment qu'une partie significative des déchets TFA métalliques en vrac qui seront produits serait exempte de contamination radioactive.

⁴⁰ Déchets présentant une activité est inférieure à 1 Bq/g pour les chaînes de l'Uranium 238 et du Thorium 232



Une dérogation pourrait être ainsi accordée, sur la base d'un dossier qui présenterait les modalités de choix du type de métaux concernés, le type d'installation de traitement avec les différentes mesures et seuils de radioactivité qui seraient atteints, ainsi que les débouchés prévus. Par ailleurs, les impacts sanitaires et environnementaux des procédés de traitement mis en œuvre, devront également être examinés pour pouvoir se prononcer sur leur caractère acceptable.

Au-delà des impacts sur la réduction du volume de déchets stockés au Cires et sur l'environnement qu'engendrerait la valorisation, un régime dérogatoire adapté en vue d'un recyclage de certains lots de matériaux homogènes vers le domaine conventionnel (installations de stockage, fabrication de biens) permettrait une certaine flexibilité de gestion administrative et un traitement au cas par cas.

- **Introduction de seuils de libération**

La possibilité de généraliser la mise en place de seuils de libération n'a jusqu'à présent pas été explorée plus avant dans les précédents PNGMDR, en cohérence avec le choix fait par la France d'une gestion par « zonage », sans seuil de libération généralisé.

Cependant, la majorité des pays, notamment européens (Royaume-Uni, Allemagne, Suède...), a mis en œuvre une politique de gestion des déchets de très faible activité qui recourt à leur libération, c'est-à-dire à leur gestion comme des déchets conventionnels. La pratique de la libération varie grandement d'un pays à un autre, que ce soit en termes de définition des seuils ou de débouchés.

D'un point de vue sanitaire et environnemental, cette option n'implique pas que tous les déchets puissent être « libérés » : les déchets dont l'activité massique dépasse les seuils d'exemption doivent toujours être gérés en tant que déchets radioactifs et faire l'objet d'un stockage dans une installation adaptée à cet effet.

Le recours au principe de seuils de libération pour la gestion des déchets de très faible activité présente l'avantage de limiter, par la mesure, les quantités de déchets destinées à rejoindre des stockages de déchets radioactifs. Les déchets libérés peuvent ensuite être recyclés ou envoyés en installation de stockage de déchets non radioactifs. Une telle option permet donc d'optimiser la gestion de ces déchets. Concrètement, le recours à des seuils de libération peut conduire à différentes mesures, qui présentent des degrés d'ouverture vers les possibilités conventionnelles plus ou moins importants : stockage dans des installations de déchets dangereux, recyclage dans des filières conventionnelles, etc.

Néanmoins, il convient de rappeler que d'après les évaluations prospectives de l'Andra, même si des seuils de libération étaient mis en place, et même s'ils étaient couplés aux autres pistes d'optimisation précitées, l'économie en termes de volumes de déchets TFA produits à la fin du démantèlement des installations existantes n'atteindrait que 600 000 m³⁴¹. La nécessité d'augmenter les capacités de stockage de déchets TFA demeurerait.

D'un point de vue économique, la mise en œuvre de tels seuils serait à comparer au coût du stockage direct de ces déchets.

Dans certains pays, la mise en œuvre des seuils de libération répond à un besoin économique pour les producteurs de déchets radioactifs. En effet, lorsque les installations de stockage dédiées à ces déchets sont principalement dimensionnées pour des déchets qui présentent une radioactivité supérieure à celle usuellement présente dans les déchets de déconstruction, elles sont plus coûteuses.

À ce sujet, il convient de noter la situation particulière de la France, qui dispose d'un parc d'installations nucléaires important comparativement à d'autres pays européens : les effets de taille ont constitué un facteur favorable au développement d'un centre de stockage TFA centralisé à faible coût.

⁴¹ Donnée issue du Schéma industriel pour la gestion des déchets TFA, établi par l'Andra dans le cadre du PNGMDR 2013-2015



En matière de sûreté, la pratique de la libération des déchets TFA nécessiterait des mesures de contrôle systématiques, dont les modalités devraient être précisées et dont l'impact économique devrait également être pris en compte. De telles procédures pourraient être complexes et longues à mettre en œuvre dans le cas de grandes quantités de matériaux, en vrac ou contaminés par de nombreux radionucléides. D'autre part, il est primordial que les procédures permettant la libération de certains déchets soient appliquées rigoureusement, au risque d'exposer le public à des déchets d'activité significative dans le cas d'une défaillance du contrôle.

Dans son avis du 18 février 2016, l'ASN a ainsi réaffirmé que la gestion des déchets radioactifs TFA devait rester fondée sur le lieu d'origine des déchets et garantir leur traçabilité, grâce à des filières spécifiques, depuis la production jusqu'au stockage. Ce principe ne serait pas compatible avec la mise en place généralisée de seuils de libération.

Lors de son évaluation du PNGMDR 2016-2018, l'OPECST a recommandé que la question de la mise en place d'un seuil de libération pour la gestion des déchets TFA les moins actifs soit regardée à nouveau à la lumière de l'expérience acquise en ce domaine par les pays qui ont mis en place un tel dispositif. Sur saisine de l'OPECST, un groupe de travail du HCTISN a ainsi été chargé d'examiner dans quelles conditions la société civile pourrait être associée à une réflexion sur l'introduction, dans la législation française, de seuils de libération des déchets radioactifs et informée des conditions de son éventuelle mise en œuvre. Ce groupe a formulé ses premières recommandations dans le cadre d'un rapport intermédiaire (octobre 2018) en vue d'alimenter le présent débat sur ce sujet. Ce rapport souligne la nécessité d'associer pleinement la société civile aux pistes de réflexion liées à l'évolution de la gestion des déchets TFA.

4.4. La gestion des déchets FA-VL, des enjeux reposant sur leur diversité

Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) sont des déchets qui ne peuvent être considérés **ni comme des déchets à vie courte (FMA-VC) ni comme des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL)**.

Ils doivent faire l'objet d'une gestion spécifique, adaptée à la longue durée de vie des radionucléides présents, qui ne permettent pas leur stockage dans les centres de surface existants de l'Andra. Cependant, leur faible activité ne nécessite pas non plus un stockage en couche géologique profonde. **C'est ainsi que le concept intermédiaire de stockage à faible profondeur a émergé pour cette catégorie de déchets.**

La définition de cette catégorie par exclusion des autres catégories de déchets a conduit à y intégrer au fil du temps des déchets de typologies très diverses (*voir partie 4.4.1*), rendant difficile la conception d'un centre de stockage les recevant tous (*voir partie 4.4.2*) et respectant les différentes exigences de sûreté.

 [La section 4.2 du PNGMDR 2016-2018 décrit la gestion actuelle des déchets FA-VL.](#)

4.4.1. L'évolution du périmètre des déchets FA-VL

Comme présenté dans la partie 1.2.2, la loi du 28 juin 2006 a défini des dispositions de gestion pour les déchets n'entrant pas dans la catégorie des déchets à vie courte ou à haute et moyenne activité à vie longue. Elle a institué ainsi un programme de recherche et d'études visant à mettre au point des solutions de stockage pour les déchets radifères et les déchets graphites, *déchets issus en majorité d'activités industrielles historiques* :

- **Les déchets radifères** proviennent essentiellement de l'exploitation de minerais pour l'extraction de terres rares, de zirconium ou d'uranium ainsi que de l'assainissement d'anciens sites industriels ayant utilisé du radium ou du thorium dans les années 1900 à 1960. En volume, ces déchets représentent environ 25 % de l'inventaire à stocker.
- **Les déchets de graphite** (empilements, chemises et déchets dits UNGG de La Hague) proviennent essentiellement de la première génération de réacteurs d'EDF et du CEA (Bugey, Saint-Laurent,



Chinon, Marcoule), aujourd'hui arrêtés et devant être démantelés. En volume, ces déchets représentent environ 30 % de l'inventaire à stocker.

Afin de traiter ce sujet, le PNGMDR 2007-2009 a défini une nouvelle catégorie de déchets : les déchets de « faible activité à vie longue » (FA-VL).

L'Andra a engagé des études relatives à la conception d'un centre de stockage permettant d'accueillir les **déchets radifères**. Le concept de stockage développé consistait à stocker ces déchets radifères à faible profondeur, dans un milieu géologique argileux possédant de bonnes propriétés de confinement.

Les études menées en parallèle à partir de 1997 sur le stockage des déchets de **graphite** ont conduit à réunir en 2001 ces deux études au sein d'un **même projet** de solution de gestion. Un dossier de conception sommaire sur site générique a été réalisé en 2005. Ce projet a ensuite été mis en veille jusqu'à la parution de la loi de 2006, dans la mesure où cette dernière était destinée à préciser certains éléments relatifs au concept de stockage en faible profondeur.

La loi de 2006 a introduit le concept de stockage en faible profondeur par opposition au stockage géologique profond, ce dernier devant rester une solution de dernier recours par rapport au stockage en surface ou à faible profondeur.

À partir de ce moment, le périmètre des déchets FA-VL a commencé à évoluer.

Le PNGMDR 2016-2018, en plus des déchets radifères et de graphite, considère les déchets suivants comme relevant de la catégorie FA-VL :

- des déchets **d'enrobés dans une matrice bitume** provenant du traitement passé des effluents liquides radioactifs générés par les installations du site de Marcoule ; en volume, ces déchets représentent environ 15 % de l'inventaire à stocker ;
- des déchets uranifères qui seront produits, à partir de 2019, **par l'installation de Malvési d'Orano** ; en volume, ces déchets représentent environ 25 % de l'inventaire à stocker ;
- certaines **sources scellées** usagées ;
- des objets contenant du radium, de l'uranium ou du thorium, **collectés notamment chez des particuliers**.

Le concept d'un stockage à faible profondeur pourrait également être étendu à d'autres substances dont la radioactivité est faible mais à vie longue, sans pour autant rechercher la mise en place d'un centre de stockage unique. C'est notamment le cas :

- de certains déchets à radioactivité naturelle élevée, issus de matières non utilisées pour leurs caractéristiques radioactives (et donc non classées comme des déchets FA-VL),
- des déchets uranifères produits par l'installation de Malvési d'Orano depuis sa mise en exploitation en 1959 (une solution à proximité du site est recherchée de manière privilégiée du fait de leur volume important),
- des matières uranifères (uranium appauvri, uranium de retraitement) et thorifères, qui ont fait l'objet de différentes études en vue de la recherche d'une solution de gestion à long terme, si à l'avenir elles étaient qualifiées de déchets.

Des premiers travaux autour de stockages à faible profondeur pour les matières uranifères et thorifères ont été évalués dans le cadre du PNGMDR 2010-2012. Le PNGMDR 2016-2018 demande que ces études soient approfondies par l'Andra, en lien avec les producteurs, pour l'uranium appauvri, l'URT et le thorium.

➔ [Pour plus d'informations sur cette recommandation, se référer à la partie 4.1.5 du PNGMDR 2016-2018.](#)

4.4.2. Les déchets FA-VL présentent des caractéristiques hétérogènes, rendant difficile une solution de stockage unique

De par leur origine, les déchets relevant de la catégorie FA-VL et ceux présentant des caractéristiques similaires sont intrinsèquement hétérogènes. En particulier, selon la typologie des déchets, leur activité évolue de manière différente dans le temps.

↳ Les déchets relevant de la catégorie FA-VL sont décrits dans le livret « Approfondir ses connaissances » (Fiche n° 11 : Caractéristiques des déchets FA-VL).

La solution d'un stockage en faible profondeur rend particulièrement délicate la détermination de la profondeur adaptée, qui dépend fortement des caractéristiques des déchets destinés à y être stockés ainsi que des caractéristiques du site. En effet, celle-ci doit prendre en compte à la fois la présence de nappes d'eaux souterraines qui ne doivent pas être contaminées, et l'érosion du site qui pourrait conduire à la remise en surface de déchets dont la décroissance radioactive ne serait pas encore suffisante.

En 2008, l'ASN a publié sur son site internet une note d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue. Cette note définit les caractéristiques de l'installation de stockage devant jouer un rôle dans la sûreté à long terme. Cette note indique que les enjeux de sûreté de l'installation de stockage à long terme sont de limiter la circulation d'eau, de confiner la radioactivité et d'isoler les déchets de l'homme et de la biosphère compte tenu des phénomènes d'érosion et des activités humaines.

L'analyse prévalant au choix du site doit ainsi être menée **au regard des caractéristiques du milieu géologique choisi (profondeur et épaisseur de ce milieu, stabilité de sa géologie dans le temps, hydrogéologie du site, proximité d'aquifères, hypothèses d'érosion, scénarios d'évolutions envisagés, etc.) et des caractéristiques de chaque famille de déchets** destinée au stockage. Le respect d'un optimum technico-économique de la solution implique que ces caractéristiques ne soient pas trop hétérogènes au risque de ne pas être conciliables. **Le choix d'un site de stockage et la démonstration de sûreté associée pourraient ainsi différer selon les types de déchets.**

La prise en compte de l'ensemble des critères, en vue de définir une solution proportionnée aux enjeux, qu'ils soient environnementaux, sanitaires, techniques ou financiers nécessite ainsi de stabiliser l'inventaire des déchets considérés. Les études prescrites par le PNGMDR 2016-2018 (voir l'Annexe du présent document) exposées ci-après, visent justement à fiabiliser cet inventaire.

4.4.3. Un site d'accueil pour les déchets FA-VL identifié mais ne permettant pas de stocker tous les déchets FA-VL

L'État a confié à l'Andra la mission de trouver des solutions de stockage pour les divers types de déchets radioactifs, et notamment « la mise au point de solutions de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères ».

En 2008, et sur la base d'une étude géologique menée par le BRGM, un appel à candidatures à l'échelle nationale a été lancé par l'Andra avec l'accord du Gouvernement. Une quarantaine de communes ont marqué leur intérêt pour le projet. Après analyse de l'Andra et consultation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), de la Commission nationale d'évaluation (CNE) et des élus des territoires concernés, le Gouvernement a demandé à l'Andra en 2009 de mener des investigations géologiques approfondies sur deux communes. Toutefois, ces dernières ont retiré leurs candidatures à l'été 2009.

Dans ce contexte, l'Etat a demandé à l'Andra de poursuivre les discussions avec les territoires où des communes avaient exprimé leur candidature. Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) a mis en place un groupe de travail pour élaborer des recommandations pour la suite de la démarche de recherche de site.



Dans son rapport de 2012 sur les scénarios de gestion à long terme des déchets FA-VL, l'Andra a conclu à la nécessité de lancer des investigations géologiques pour avancer dans la conception d'un projet de stockage à faible profondeur. La communauté de communes de Soulaines (Aube) a donné son accord en 2013 pour la réalisation d'investigations géologiques sur son territoire.

À mi-2015, l'Andra a remis au Gouvernement son rapport d'étape relatif au projet de stockage à faible profondeur des déchets FA-VL sur le site investigué. Ce rapport a permis de tirer les enseignements des premières investigations géologiques réalisées ainsi que des avancées des études et des recherches menées sur les déchets par l'Andra et les producteurs (EDF, CEA, Orano, Solvay). Des études de conception préliminaires du stockage ont été menées et ont fait l'objet d'une première évaluation de sûreté.

En parallèle, l'analyse des différents scénarios de gestion des déchets de graphite et bitumés FA-VL a été poursuivie dans le cadre d'un groupe de travail PNGMDR sur l'optimisation des filières. Ce groupe de travail a rendu ses conclusions en avril 2015. Au-delà des travaux menés afin de mieux caractériser les déchets ou d'optimiser les modes de traitement de certains déchets, ce groupe de travail a conclu que la création d'un stockage à faible profondeur apporterait un bénéfice important dans l'optimisation des filières. Les conclusions de ce groupe ont été intégrées aux réflexions menées dans le cadre du PNGMDR 2016-2018.

L'ASN s'est prononcée, dans son avis n° 2016-AV-264 du 29 mars 2016, sur l'ensemble des études relatives à la gestion des déchets FA-VL, notamment sur l'inventaire des déchets, sur l'analyse globale du rapport d'étape et sur la mise en œuvre de solutions de gestion complémentaires au stockage sur le site investigué dans l'Aube. **L'ASN estime ainsi que, compte-tenu des caractéristiques du site étudié, il sera difficile de démontrer la faisabilité, dans la zone investiguée, d'une installation de stockage de l'intégralité des déchets de type FA-VL retenus par l'Andra.**

L'ASN considère en particulier que pour permettre d'envisager l'implantation d'un stockage sur le site étudié, l'Andra devra s'assurer :

- que des marges sont prises sur l'épaisseur de la couverture supérieure du stockage pour tenir compte de son altération, de l'érosion et des risques d'intrusion ;
- de conserver une épaisseur de garde inférieure d'épaisseur suffisante pour limiter des relâchements de substances radioactives dans l'aquifère des sables verts de l'Albien sous-jacent.

Dans ce contexte, le PNGMDR 2016-2018 a prescrit la poursuite des investigations géologiques sur le site étudié, l'évaluation de l'inventaire des déchets FA-VL susceptibles d'y être stockés (article 39 de l'arrêté du 23 février 2017), ainsi que la remise à mi-2019 d'un rapport présentant les options techniques et de sûreté de cette installation de stockage, associé à une estimation de son coût à terminaison (articles 36 et 37). L'Andra et les producteurs de déchets doivent également poursuivre leurs études sur l'inventaire radiologique (article 39), le comportement dans le stockage et les possibilités de traitement de leurs déchets FA-VL (article 38).

Concernant cette dernière étude relative au traitement des déchets graphites, du point de vue des détenteurs de ces déchets, et à partir de leurs résultats de recherche et développement, les procédés envisagés, à base de traitement thermique, ne semblent à ce stade pas suffisamment performants pour représenter une alternative crédible au stockage direct.

D'un point de vue sanitaire et environnemental, les traitements envisagés conduiraient à des rejets dans l'environnement des radionucléides contenus dans le graphite, dans des proportions que les recherches en cours visent à limiter au minimum, tout en réduisant les volumes de déchets ultimes à stocker⁴².

Un schéma industriel global de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs FA-VL devra par ailleurs être remis avant la fin 2019 en prenant en compte les orientations suivantes :

⁴² L'activité totale en Carbone 14 contenue dans les volumes de graphite détenus par EDF et le CEA s'élève ainsi à plus de 800 TBq. A titre d'illustration, les rejets annuels gazeux des installations de La Hague maximum en Carbone 14 autorisés par la décision 2015-DC-0536 de l'ASN du 22 décembre 2015 s'élèvent à 28 TBq.

- l'inventaire des déchets FA-VL considérés doit notamment couvrir les déchets de graphite, les déchets bitumés FA-VL, les déchets radifères ainsi que la fraction des déchets produits à partir du 1er janvier 2019 de l'usine Orano Cycle de Malvési devant relever d'une filière de gestion FA-VL ;
- les investigations sur le site de la communauté de communes de Soulaines pour la mise en place d'une installation de stockage doivent être poursuivies. L'inventaire des déchets susceptibles d'être stockés sur ce site devra être précisé et justifié ;
- un deuxième site de stockage en faible profondeur doit être considéré. Celui-ci sera recherché en priorité sur les sites des INB et INBS existantes ou à leur proximité ;
- certains déchets, qualifiés de FA-VL par les producteurs, doivent rester à titre conservatoire dans les inventaires de Cigéo (*voir partie 2.3.7, inventaires de Cigéo*).

Depuis lors, l'IRSN a évoqué une alternative, qui consisterait à examiner la possibilité, d'une part de gérer dans un centre de stockage commun les déchets uranifères (déchets de Malvési et uranium appauvri), radifères et thorifères et, d'autre part, de répartir les déchets FA-VL en provenance du retraitement des combustibles et du démantèlement des centrales (graphites, bitumes...) dans des centres de surface existants et le futur centre de stockage en formation géologique profonde (Cigéo).

Enfin, et en complément, le PNGMDR 2016-2018, qui précise où sont actuellement entreposés les déchets FA-VL et sous quelles formes, a prescrit aux producteurs et détenteurs de déchets FA-VL de définir d'une part, les capacités d'entreposage existantes en précisant leur disponibilité et, d'autre part, les prévisions de saturation ou de fin de fonctionnement de ces capacités et les besoins de nouvelles capacités pour les trente prochaines années (article 42 de l'arrêté du 23 février 2017).

4.4.4. Sujets de réflexion pour le prochain PNGMDR

Face aux difficultés rencontrées pour développer un centre de stockage pour l'ensemble de ces déchets, quelles alternatives pourraient compléter les projets en cours ? Quels contours donner à de nouvelles orientations de gestion ?

La définition d'une solution de gestion pour les déchets FA-VL est complexe. Elle nécessite toutefois que deux conditions préalables soient remplies :

- l'inventaire des déchets FA-VL doit être stabilisé afin de permettre la définition de critères de sûreté adaptés au stockage des déchets retenus ;
- les interactions entre la solution de gestion à mettre en œuvre et d'autres solutions de gestion ou politiques menées par ailleurs (démantèlement des anciennes installations nucléaires par exemple) doivent être prises en compte. En effet, la prise en compte du volume et des familles de déchets à considérer et de leurs caractéristiques ainsi que la chronologie des besoins de stockage pour les différents déchets semblent nécessaires pour la définition du ou des concepts de stockage et de leurs options de sûreté.

La définition des caractéristiques d'un centre de stockage sur le site de Soulaines

Il s'agirait de poursuivre la caractérisation du site de Soulaines et de confirmer la solution de stockage en faible profondeur sur ce site pour une partie de l'inventaire FA-VL à déterminer. Les travaux sur la caractérisation et le traitement de certains déchets, comme le graphite ou les déchets bitumés devraient être poursuivis.

En complément, le site de Soulaines ne permettant pas de stocker l'ensemble des déchets FA-VL, il conviendrait de rechercher d'autres sites permettant la prise en charge des déchets restants de l'inventaire.



Sur la base des études remises dans le cadre du précédent PNGMDR (article 42), le PNGMDR pourrait affiner les besoins en approfondissant la question de prévoir des capacités d'entreposage suffisantes et adaptées, notamment, au calendrier du projet de stockage FA-VL sur le site de Soulaines. En effet, il est nécessaire de garantir la gestion de ces déchets durant la construction et le début d'exploitation du stockage.

La question de l'incorporation d'une partie de l'inventaire FA-VL dans l'inventaire de réserve de Cigéo continuerait à se poser. Une telle orientation ne garantirait toutefois pas une gestion proportionnée des déchets FA-VL. En effet, la conception du stockage profond répond à des critères de sûreté supérieurs aux besoins liés aux caractéristiques des déchets FA-VL.

Une telle orientation aurait également des impacts importants sur la conception du stockage Cigéo, en termes de solutions de conception, de délais et de coûts, impacts qui seraient à étudier. Si tant est que le site envisagé pour l'installation Cigéo permette de démontrer la sûreté de stockage d'un volume, qui pourrait être important, de déchets FA-VL, les impacts financiers seraient probablement très importants. Les avantages d'un tel surdimensionnement devraient aussi être étudiés au regard des solutions de gestion retenues pour les matières mentionnées dans la partie 4.1.1 ne relevant pas de l'inventaire FA-VL mais dont les caractéristiques sont similaires.

Enfin, sous réserve des progrès réalisés dans la caractérisation de l'inventaire radiologique des déchets de graphite et de la faisabilité des procédés de traitement, la question de l'évaluation du stockage de tout ou partie de ces déchets en surface pourrait être abordée.

Mener une réflexion approfondie sur les exigences à prendre en compte dans la conception d'une installation de stockage

Compte-tenu des caractéristiques des déchets FA-VL et du maintien de leurs activités radiologiques, bien que faibles, sur des temps très longs, cette réflexion reposerait sur une nouvelle approche des exigences de sûreté attendues d'une installation de stockage de déchets FA-VL.

Il s'agirait alors de reposer, de manière approfondie et en l'éclairant sous différents angles - tant techniques qu'éthiques - la question de l'acceptabilité des impacts des déchets FA-VL à moyen et long terme.

Une telle démarche amènerait à ouvrir la question des préférences temporelles, en étudiant la question de l'acceptabilité de certains impacts à long terme au regard des bénéfices environnementaux, financiers, sanitaires, de sûreté, etc. à moyen terme qu'une telle acceptabilité pourrait impliquer en contrepartie.

Les questions suivantes pourraient notamment être posées :

- Étant donné que l'activité de certains déchets FA-VL décroît peu, quel degré de confinement des radionucléides l'installation de stockage destinées à les recevoir devrait-elle atteindre ?
- Faudrait-il privilégier :
 - un meilleur confinement mais pouvant conduire à des contraintes de doses élevées en cas d'intrusion à long terme ou,
 - *a contrario* un confinement par le milieu géologique un peu moins performant, permettant une migration maîtrisée des radioéléments vers un exutoire connu, dans le respect des contraintes de radioprotection à long terme et de manière à ce que le transfert des radioéléments dans l'environnement soit à un niveau suffisamment faible pour que ses conséquences soient acceptables ?

Le traitement de ces questions nécessiterait de s'interroger sur la notion d'impacts acceptables à long terme, sur des critères qui pourraient alors être définis : associer des objectifs de protection à une durée donnée, élargir les critères de protection de l'environnement au-delà de la seule question de la radiotoxicité, etc.

Cela impliquerait également d'envisager de recourir à des solutions de gestion similaires à celles mises en œuvre sur des déchets aux caractéristiques proches (stockage en surface à l'instar de certains entreposages historiques par exemple). Les impacts sanitaires devraient également être étudiés. Enfin, l'évaluation financière de nouvelles modalités de gestion des déchets FA-VL devrait également être envisagée.

Cette approche permettrait d'ouvrir un champ plus large de solutions de gestion, par exemple, en les adaptant à des critères propres à certaines familles de déchets FA-VL, ou en rapprochant ces solutions de gestion de solutions déjà mises en œuvre pour des déchets aux caractéristiques similaires.

Compte tenu des enjeux liés à cette orientation, sa mise en œuvre pourrait s'accompagner d'un dispositif de gouvernance et de prise de décision ad hoc, au sein du GT PNGMDR par exemple.

4.5. La mise en œuvre d'un stockage géologique profond

Les exigences législatives concernant le déploiement d'un stockage géologique profond et le projet Cigéo sont présentés dans les parties 1.2. et 2.3.7.

Le Parlement a réaffirmé dans la loi de 2016⁴³ sa volonté que le projet de stockage en couche géologique profonde soit poursuivi, en suivant deux principes que sont la réversibilité et la mise en place d'une phase industrielle pilote préalable à sa mise en service complète. Comment mettre en œuvre ces deux principes pour répondre aux attentes de la société civile ? Comment impliquer la société civile tout au long de la vie du projet ?

Comment faire participer la société civile aux grandes décisions liées à la réversibilité du projet (évolutions de politique énergétique, progrès technologiques) ? Comment prendre les décisions de fermeture des alvéoles de stockage ?

Comment suivre la phase industrielle pilote ? Quels objectifs lui fixer ?

4.5.1. L'état des lieux de la mise en œuvre du stockage géologique profond

Le déploiement d'un stockage géologique profond présente des enjeux exceptionnels, de par sa durée qui s'étale sur quatre générations (un siècle environ). Un tel projet doit donc être conçu de façon à pouvoir intégrer, d'une part, les progrès technologiques et les évolutions de politique énergétique et, d'autre part, de répondre aux attentes de la société civile tout au long de sa vie.

Afin de répondre à ces enjeux, la loi et la réglementation ont prévu différentes dispositions : instauration du principe de réversibilité du stockage pendant 100 ans, définition d'un inventaire de réserve pour Cigéo, mise en œuvre d'une phase d'essais préalable notamment pour tester le stockage des colis et leur récupérabilité (phase industrielle pilote) et développement d'un plan directeur d'exploitation (PDE) par l'Andra.

Certaines de ces dispositions ont été introduites après le débat public de 2013.

↳ Les principales étapes du projet Cigéo encadrées par la loi sont présentées dans le livret « Approfondir ses connaissances ».

Les éléments du débat public sur Cigéo de 2013 sont disponibles sur le site internet de la CNDP⁴⁴.

La mise en œuvre concrète de ces dispositions nécessite d'être définie, notamment les outils qui permettront de répondre aux questions suivantes tout au long de la vie du projet : qui associer ? À quel moment ? De quelle manière ? Dans quelles conditions et avec quels moyens ?

⁴³ Loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue

⁴⁴ <http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-cigeo/>

Afin d'offrir aux parties prenantes un document de référence autour duquel la discussion pourrait s'engager, l'Andra a produit une première version du PDE en avril 2016. Ce document présente le déroulement prévu du projet Cigéo, c'est-à-dire la vie de l'exploitation de l'installation telle qu'elle a été définie : l'inventaire des déchets qu'elle aura à stocker, ainsi que les principales étapes de sa construction, de son exploitation et de sa fermeture. Plus particulièrement, le PDE explicite les conditions de démarrage de l'installation par une phase industrielle pilote et les objectifs de cette phase. Enfin, il décrit les possibilités offertes par Cigéo dans le cadre de la réversibilité.

Afin de contribuer à la définition et à la construction du futur dispositif de gouvernance du projet de stockage Cigéo, des réflexions portant sur les problématiques plus précises de la mise en œuvre de la réversibilité du stockage et de la phase industrielle pilote sont à mener.

4.5.2. Le principe de réversibilité du projet de stockage géologique profond

La loi a demandé en 2006⁴⁵ que le stockage géologique profond soit réversible, principe qui a été précisé par une nouvelle loi en 2016.

La réversibilité du stockage géologique profond

Le principe de réversibilité est défini à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement comme « la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion.

La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage. »

La loi prévoit de plus que « des revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité dans un stockage en couche géologique profonde sont organisées au moins tous les cinq ans, en cohérence avec les réexamens périodiques [...]. »

La réversibilité du stockage est donc considérée comme la capacité à offrir aux générations suivantes le choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs.

L'ASN, dans son avis du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde, jugeait que les conditions d'application du principe de réversibilité devraient être régulièrement réévaluées de manière transparente avec l'ensemble des parties prenantes. L'Autorité précisait de plus que cette réversibilité devait respecter un double impératif de sûreté :

- les dispositions retenues pour un fonctionnement réversible du stockage devront être compatibles avec le respect des objectifs de sûreté et de radioprotection en exploitation et après la fermeture du stockage ;
- la phase de fonctionnement de cette installation devra, en tout état de cause, être limitée, la sûreté à long terme d'une telle installation imposant sa fermeture.

L'ASN, dans sa lettre à l'Andra concernant le DOS de Cigéo du 12 janvier 2018, a également recommandé à l'Andra d'intégrer dans le PDE les modalités de passage de la phase industrielle pilote à la phase d'exploitation courante.

⁴⁵ Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs



La mise en œuvre de la réversibilité doit impliquer la société civile. En effet, de nombreuses questions vont se poser tout au long de la vie du projet, sur lesquelles il est important que les citoyens puissent s'exprimer. La réversibilité repose sur plusieurs critères :

1. Le développement progressif de Cigéo

Cette progressivité vise à permettre l'intégration aux futures tranches de construction, de toutes les améliorations qui seront rendues possibles sur la durée d'exploitation, notamment les progrès scientifiques et techniques ainsi que le retour d'expérience des premières phases d'exploitation. Les évolutions de politique énergétique pourront également être prises en compte grâce à ce développement progressif.

Des sujets à enjeux émergeront donc à chaque étape du projet : comment prendre en compte les évolutions de politique énergétique et les progrès technologiques ?

2. La flexibilité de l'exploitation

Elle offre la possibilité de décaler ou d'accélérer (dans certaines limites liées aux performances des équipements, à leur taux d'utilisation et à la disponibilité des opérateurs) les flux de colis reçus dans l'installation. Elle permet également de modifier le rythme de fermeture des alvéoles de stockage. **Or, la question de la fermeture des alvéoles va se poser dans la mesure où chaque opération de fermeture permet d'accroître la sûreté du stockage mais restreint en même temps la possibilité de récupérer plus facilement les colis (contraintes supplémentaires associées à une éventuelle réouverture des alvéoles ou des galeries fermées).**

La Commission Nationale d'Évaluation dans son rapport n° 12 de Juin 2018 n'estime pas souhaitable de laisser délibérément ouverts les alvéoles de stockage remplis jusqu'à la fin du remplissage du quartier de stockage auxquelles ils appartiennent. Elle recommande la mise en place, au cours de l'exploitation de Cigéo, d'une structure d'isolement étanche permettant à chaque alvéole remplie d'être fermée sans besoin de dispositifs de sûreté supplémentaires. Ces alvéoles devraient par ailleurs faire l'objet d'un programme de surveillance continu.

3. L'adaptabilité des installations de Cigéo

Elle permet des modifications de la conception du projet par rapport à son dimensionnement initial. Par exemple, l'inventaire de référence (nombre et type des familles de colis de déchets pour lesquels Cigéo a été initialement conçu) pourrait évoluer si de nouveaux choix de politique énergétique étaient faits. L'adaptabilité du projet permettrait alors d'intégrer une éventuelle décision de stockage des combustibles usés ou de déchets destinés actuellement à un stockage à faible profondeur (déchets de faible activité à vie longue). L'adaptabilité du projet se décline autour des inventaires de référence et de réserve de l'installation (les définitions des inventaires de référence et de réserve sont présentées au paragraphe 1.4.3. de ce document). Ces inventaires sont définis dans l'optique d'optimiser le dimensionnement du stockage géologique profond.

Au regard du rôle clé qu'ils ont à jouer dans la mise en œuvre de l'adaptabilité de l'installation, la question de l'évolution du concept des inventaires pour mieux prendre en compte les incertitudes et enjeux liés à Cigéo pourrait se poser.

4. La récupérabilité des colis stockés

Elle offre aux générations futures la possibilité de revenir sur le choix du stockage géologique profond comme mode de gestion des déchets radioactifs, en permettant de récupérer des colis de déchets déjà stockés. Cette récupérabilité pourrait également être mise en œuvre pour des raisons d'exploitation du stockage.

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement précise que la réversibilité inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec



la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage. À ce jour, cette durée de récupérabilité n'est pas définie. Cette dernière apparaît comme très dépendante des conditions d'exploitation du stockage et surtout de l'évolution de l'état des colis pendant la durée d'exploitation et de la durabilité des ouvrages garantissant les opérations de retrait. En fonction de l'avancée des travaux de Cigéo (rythme de fermeture des alvéoles par exemple), les conditions techniques et économiques dans lesquelles les colis seraient récupérables ne seront pas les mêmes. Ces aspects sont donc à considérer pour définir la durée de récupérabilité.

Au regard de ces éléments, la durée de récupérabilité des colis est un sujet qui mérite réflexion :

- **Quelles options seraient envisageables pour concilier les objectifs de sûreté et de radioprotection de l'installation et la capacité de récupérer des colis de déchets ?**
- **Quelle gouvernance et quels choix préalables pour décider des opérations de fermeture progressive, des alvéoles, des quartiers et des liaisons entre le fond et la surface ?**

4.5.3. La mise en œuvre de la phase industrielle pilote

Pour répondre aux demandes exprimées à l'occasion du débat public de 2013, la loi du 25 juillet 2016 a défini plusieurs principes de gouvernance du projet Cigéo, et a introduit une phase industrielle pilote au démarrage de l'exploitation de l'installation avant le passage en exploitation courante.

La phase industrielle pilote constituera une période temporelle du projet qui débutera lors des essais de démarrage en inactif de l'installation et prendra fin au passage en exploitation courante (autorisation de mise en service complète). Elle fera l'objet d'un bilan transmis à l'ASN et présenté au Parlement et à l'ensemble des parties intéressées. Le passage en exploitation courante sera validé par un processus réglementaire associant l'ASN et les parties intéressées.

La loi du 25 juillet 2016 planifie également l'organisation, tous les cinq ans, d'une consultation des parties prenantes sur le plan directeur pour l'exploitation de Cigéo et d'une revue de mise en œuvre du principe de réversibilité.

Les objectifs de la phase industrielle pilote définis par le Conseil d'administration de l'Andra portent sur :

- la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation ;
- les performances des équipements industriels ;
- la capacité à retirer des colis de déchets de leur alvéole de stockage ;
- la capacité à surveiller les ouvrages de stockage ;
- la capacité à obturer et à sceller les alvéoles et galeries ;
- des essais pour tester des pistes d'optimisation technico-économique.

La mise en place d'une phase industrielle pilote doit permettre de conforter le caractère réversible du stockage ainsi que la réalisation de tests grandeur nature (notamment des essais de récupération de colis).

Le PNGMDR 2016-2018 s'est déjà emparé de la question de la phase industrielle pilote. L'article 55 de l'arrêté du 23 février 2017 demande à l'Andra d'explicitier dans son dossier de demande d'autorisation de création quels seraient les déchets à prendre en compte durant cette phase. Les déchets à considérer ainsi que la nature des essais à envisager devront notamment permettre de conforter les démonstrations de sûreté, notamment en ce qui concerne les questions de réversibilité. Cette phase devra également permettre de démontrer la capacité de l'installation à monter progressivement vers une cadence industrielle d'exploitation.

Plusieurs acteurs se sont positionnés sur les enjeux de la phase industrielle pilote.



Dans son avis de janvier 2018 sur le dossier d'options de sûreté de Cigéo, l'ASN a ainsi précisé ses attentes en demandant notamment à l'Andra de démontrer la récupérabilité des colis durant cette phase industrielle pilote, en fonctionnement normal et en situations incidentelles et accidentelles.

Dans son rapport d'évaluation n° 12 de Juin 2018, la Commission Nationale d'Évaluation (CNE) rappelle que l'Andra doit prouver que la réalisation de Cigéo est possible avec les techniques disponibles aujourd'hui et que la phase industrielle pilote doit durer le temps nécessaire pour valider les options techniques et atteindre le fonctionnement en régime nominal.

L'implication de la société civile dans la gouvernance de la phase industrielle pilote de Cigéo est une garantie d'acceptabilité de la mise en service industrielle du projet ensuite. **A ce titre, les attentes de la société civile relatives aux objectifs et à la mise en œuvre de cette phase pilote pourraient être précisées :**

- **Quelles sont les attentes complémentaires, en termes d'objectifs de cette phase, de la part de la société civile ? Quelle implication de la société civile dans la gouvernance de cette phase ?**
- **Comment devrait être définie cette phase pilote (périmètre et durée) ?**
- **Quels critères, autres que les questions de sûreté instruites par l'ASN, permettraient de valider la poursuite du projet au-delà de cette phase industrielle pilote ?**

En ce qui concerne l'implication de la société civile dans la gouvernance de cette phase, plusieurs options sont envisageables. La gouvernance de Cigéo, et plus particulièrement de la phase industrielle pilote, pourrait s'appuyer sur le schéma à deux niveaux proposé ci-après à titre d'exemple :

1. Une gouvernance stratégique du projet, avec l'objectif :
 - a. De rendre accessibles les données relatives à l'installation ;
 - b. De rendre accessibles les données relatives aux opérations qui y sont réalisées et les éléments ayant justifié les décisions prises pour son développement ;
 - c. D'assurer la veille technologique, alimentée par l'Andra, de la solution de stockage géologique et des solutions alternatives en produisant régulièrement une revue de leurs travaux ;
 - d. De présenter les résultats scientifiques et technologiques obtenus au centre de Meuse/Haute-Marne de l'Andra, notamment au laboratoire souterrain.
2. Une conduite du projet avec l'objectif de suivre :
 - a. la mise en œuvre du projet pour tirer tous les enseignements de la phase industrielle pilote ;
 - b. l'intégration de la veille technologique par l'Andra, en lien avec les travaux assurés par la gouvernance stratégique.

5. Les suites du débat public, la rédaction du PNGMDR

5.1. *Les suites du débat public*

Dans un délai de deux mois après le débat public, comme prévu par l'article L. 121-11 du code de l'environnement, la présidente de la commission particulière publiera un compte rendu du débat public. Ce document reprendra les éléments de l'organisation du débat, reviendra sur les grandes étapes qui ont marqué la période du débat et détaillera les sujets et questionnements abordés. Il présentera également les arguments des uns et des autres.

Parallèlement et dans les mêmes délais, la présidente de la Commission Nationale du Débat Public présentera un bilan du débat public qui donnera quant à lui un éclairage sur les conditions d'information et de participation du public, sur la qualité des échanges, les difficultés spécifiques du débat. Le bilan synthétisera également les arguments échangés lors du débat et mettra en lumière les points saillants soulevés par le public.

A partir de la date de publication du compte rendu et du bilan, le maître d'ouvrage disposera de 3 mois pour faire connaître ce qu'il a retenu du débat et les suites qu'il compte y donner.

Concrètement, les suites qui seront données au débat seront étudiées par le maître d'ouvrage dans le cadre de la rédaction du nouveau plan, en lien avec le groupe de travail pluraliste chargé de cette rédaction.

5.2. *La rédaction de la cinquième édition du PNGMDR*

La rédaction du PNGMDR débutera par l'identification, à l'issue du débat public, des questions importantes qui devront y être traitées, au regard notamment du bilan global de la concertation. Cette phase coïncidera en partie avec la préparation du document qui exposera les suites que le maître d'ouvrage compte donner. Elle donnera lieu à une concertation au sein du GT PNGMDR. Dans ce cadre, le maître d'ouvrage envisage de proposer à la CNDP de venir exposer les conclusions du débat public au GT PNGMDR afin que les suites à y donner puissent être discutées au sein de cette instance multipartite.

En ce qui concerne la gestion des matières et des déchets radioactifs, l'actualisation des objectifs généraux à atteindre, des principales échéances et des calendriers permettant de respecter ces échéances, comme le prévoit l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement, s'appuiera en premier lieu sur l'analyse des études remises par les producteurs de déchets, l'Andra ou l'IRSN, en réponse aux prescriptions établies par les précédentes éditions du plan. Ces études sont publiques ou doivent être transmises dans une version publique si certaines données relèvent du secret en matière commerciale, industrielle ou relevant du code de la défense. Cette phase d'analyse pourra comprendre une étape d'instruction des études remises par l'ASN et l'ASND lesquelles devront rendre des avis lorsque cela est prévu par l'arrêté du 23 février 2017 relatif aux prescriptions du PNGMDR, le cas échéant après avoir sollicité l'IRSN ou un tiers expert. Ces avis seront rendus publics dans la limite du secret protégé par la loi.

La rédaction du plan proprement dit est organisée conjointement par la DGEC et l'ASN, et met à contribution les principaux producteurs de déchets (EDF, Orano, CEA, Solvay), l'Andra, la DGPR et l'ASND. Le contenu du plan et son architecture seront soumis à l'avis du GT PNGMDR. Les orientations et les futures prescriptions du plan seront également débattues au sein du GT PNGMDR. Conformément aux recommandations de l'OPESET, en cas de désaccord majeur, la position des différentes parties sera explicitement présentée dans le plan. Dans ces conditions, il semble aujourd'hui envisageable d'aboutir à un premier projet de plan à l'horizon du premier semestre 2020.

En termes de procédure, en application des dispositions du décret n° 2012-616 du 2 mai 2012, pris pour l'application de l'article L. 122-1 du code de l'environnement, relatif à l'évaluation de certains plans et documents ayant une incidence sur l'environnement, le PNGMDR doit également faire l'objet d'une évaluation environnementale. Cette évaluation sera confiée à un organisme extérieur. Cette évaluation du plan, ainsi que le plan en lui-même et les documents associés seront ensuite soumis à l'avis de l'Autorité environnementale (CGEDD pour le PNGMDR). Ce fut le cas de l'édition 2016-2018 du plan, ce qui a conduit



le maître d'ouvrage à améliorer la rédaction du plan et à compléter ses prescriptions vis-à-vis des enjeux environnementaux.

Les préconisations du plan se traduisent par des prescriptions réglementaires établies par décret et par arrêté et rédigées par la DGEC, en lien avec l'ASN, l'ASND et la DGPR. Un avis sera par ailleurs rendu par l'ASN sur les projets de prescriptions, en application de l'article L. 592-25 du code de l'environnement.

Au-delà de l'Autorité environnementale, le plan et ses documents associés feront l'objet d'une consultation du public. Cette phase de consultation obligatoire se déroulera au cours de l'année 2020.

Une fois adopté, le plan est transmis au Parlement, qui en saisit pour évaluation l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Le plan est rendu public.

5.3. *Le calendrier d'élaboration*

L'élaboration du prochain PNGMDR va s'inscrire dans un calendrier qui permettra de prendre en compte les conclusions du débat public et de mener la concertation nécessaire au sein du GT PNGMDR. Les prochaines étapes pourraient par conséquent s'inscrire dans le calendrier indicatif suivant :

Jusqu'à fin 2019- début 2020

- instruction des études remises au titre du PNGMDR 2016-2018 ;
- réflexion sur le contenu du plan au sein du GT PNGMDR avec présentation des conclusions du débat public en GT ;
- rédaction du projet de plan en concertation avec le GT ;
- élaboration du rapport d'incidences environnementales ;

Jusqu'à mi 2020

- consultation de l'Autorité environnementale (AE) sur le projet de plan et le rapport d'incidences environnementales ;
- élaboration des projets de décret et d'arrêté établissant les prescriptions du PNGMDR ;
- prise en compte de l'avis de l'AE dans le projet de plan et les projets de décret et d'arrêté puis consultation du public sur ces textes ;

D'ici fin 2020

- modifications du projet de PNGMDR et des textes réglementaires pour prendre en compte les commentaires du public ;
- transmission du PNGMDR au Parlement pour qu'il en saisisse l'OPECST pour évaluation ;
- adoption du décret et de l'arrêté établissant les prescriptions du PNGMDR.

Glossaire

Actinides mineurs : Noyaux lourds formés en relativement faibles quantités dans un réacteur nucléaire par captures successives de neutrons à partir des noyaux du combustible. Ces isotopes à vie longue sont principalement le neptunium (237), l'américium (241, 243) et le curium (243, 244, 245) (voir la fiche n° 12 « La séparation-transmutation » dans le livret « Approfondir ses connaissances »).

Activation : Opération rendant radioactif un élément stable en l'exposant à des rayonnements ionisants.

Assemblage de combustible nucléaire : Le combustible nucléaire se présente sous la forme d'assemblages constitués d'un faisceau de crayons, liés par une structure rigide constituée de tubes et de grilles. Chaque crayon est constitué d'un tube de zirconium étanche dans lequel sont empilées les pastilles d'oxyde d'uranium, constituant le combustible. Les assemblages, chargés les uns à côté des autres dans la cuve du réacteur - il faut 205 assemblages pour un réacteur de 1450 MWe -, constituent le cœur. En fonctionnement, ces assemblages sont traversés de bas en haut par l'eau primaire qui les refroidissent et en emporte l'énergie.

Curiethérapie : La curiethérapie permet de traiter, de façon spécifique ou en complément d'une autre technique de traitement, des tumeurs cancéreuses, notamment de la sphère ORL, de la peau, du sein ou des organes génitaux.

Décroissance radioactive ou désactivation : Diminution d'activité nucléaire d'une substance radioactive par désintégrations spontanées (voir la fiche « Qu'est-ce que la radioactivité » dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire »).

Médecine nucléaire : La médecine nucléaire regroupe toutes les utilisations de radionucléides en sources non scellées à des fins de diagnostic ou de thérapie. Les utilisations diagnostiques se décomposent en techniques in vivo, fondées sur l'administration de radionucléides au patient, et en applications exclusivement in vitro.

NOx : Abréviation utilisée dans le domaine de la chimie, de la pollution et de la qualité de l'air, qui regroupe principalement deux molécules gazeuses, odorantes et toxiques à faible dose : le monoxyde d'azote (NO), et le dioxyde d'azote (NO₂).

Produits de fission : Fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure des éléments formés selon ce processus. Les produits de fission sont issus de la fission des atomes d'uranium et de plutonium (césium, strontium, iode, xénon...). Radioactifs pour la plupart, ils se transforment d'eux-mêmes en d'autres éléments. Ceux qui ne se désintègrent pas rapidement constituent une part des déchets radioactifs.

Radionucléide : Espèce atomique radioactive, définie par son nombre de masse, son numéro atomique et son état énergétique nucléaire (voir la fiche « Qu'est-ce que la radioactivité » dans le livret « Quelques repères sur le nucléaire »).

Radioprotection : La radioprotection est définie comme l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements



ionisants produits sur les personnes directement ou indirectement, y compris lors des atteintes portées à l'environnement.

Retraitement des combustibles usés : Après un séjour de 3 à 4 années en réacteur, le combustible nucléaire usé doit être déchargé. Il contient alors 95 % d'uranium récupérable, 1 % de plutonium et 4 % de produits de fission. L'uranium et le plutonium récupérés lors des opérations de traitement sont recyclés et entrent dans la fabrication de nouveaux combustibles, notamment le combustible MOx.

Sécurité nucléaire : La sécurité nucléaire recouvre la sécurité civile en cas d'accident, la protection des installations contre les actes de malveillance, la sûreté nucléaire, c'est-à-dire le fonctionnement sécurisé de l'installation et la radioprotection qui vise à protéger les personnes et l'environnement contre les effets de rayonnements ionisants.

Source scellée : Une source radioactive scellée est une source dont la structure ou le conditionnement empêche, en utilisation normale, toute dispersion de matières radioactives dans le milieu ambiant. Les sources radioactives scellées sont utilisées dans l'industrie, la médecine et la recherche dans une grande variété d'applications et de lieux d'utilisation (irradiations industrielles, contrôles non destructifs, radiothérapie...).

Contrôlées par l'État, leur détention et leur utilisation nécessitent une autorisation préalable officielle, selon les dispositions du code de la santé publique. Dès lors, elles seront suivies et inscrites dans une base de données nationale.

Sûreté nucléaire : La sûreté nucléaire est l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.

Terres rares : Métaux naturellement présents dans l'écorce terrestre, utilisés dans de nombreuses applications (matériels électroniques, catalyseurs automobiles, etc.).

Tonne de métal lourd (tML) : Unité utilisée pour présenter les quantités de matières radioactives, représentative de la quantité d'uranium, de plutonium ou de thorium contenue dans les matières (l'encadré du paragraphe 2.2.2 intitulé « Mesurer les quantités de matières radioactives : la tonne de métal lourd (tML) » donne des précisions sur cette unité).

UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz) : Ancienne filière de réacteurs nucléaires (voir la fiche n°9 « Panorama des installations nucléaires de base en France » dans le livret « Approfondir ses connaissances »).

Liste des abréviations

ADS	Accelerator Driven System ; Réacteur nucléaire piloté par accélérateur
AE	Autorité environnementale
AEN	Agence pour l'énergie nucléaire
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ANCCLI	Association nationale des comités et commissions locales d'information
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
ASND	Autorité de Sûreté Nucléaire Défense
ASTRID	Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration
ATR	Accord de traitement-recyclage
Bq	Becquerel
Bq/g	Becquerel par gramme
CE	Code de l'Environnement
CEA	Commissariat à l'Énergie atomique et aux Énergies alternatives
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
Ci	Curie
Cigéo	Centre industriel de stockage géologique
CIPR	Commission international de protection radiologique
Cires	Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage
CLI	Commission locale d'information
CLIS	Comité local d'information et de suivi
CMHM	Centre de Meuse/Haute-Marne
CNDP	Commission nationale du débat public
CNEZ	Commission nationale d'Évaluation des recherches et Etudes relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs
CPDP	Commission particulière du débat public
CSA	Centre de stockage de l'Aube
CSD-C	Colis standard de déchets compactés
CSD-V	Colis standard de déchets vitrifiés
CSM	Centre de stockage de la Manche
CSP	Code de la Santé Publique
DAC	Demande d'autorisation de création
DGEC	Direction Générale de l'Énergie et du Climat
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DIADEM	Déchets radioactifs Irradiants ou Alpha de DEMantèlement

DOS	Dossier d'options de sûreté
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DUP	Déclaration d'utilité publique
EDF	Électricité de France
EPR	European Pressurized Reactor ; Réacteur à eau pressurisée européen
EIP	Entreposage Intermédiaire Polyvalent
FA-VL	Déchets de Faible Activité - Vie Longue
FMA-VC	Déchets de Faible et moyenne activité - vie courte
GT	Groupe de travail
GWh	Giga Watt-heure
Gy	Gray
HA	Déchets de Haute Activité
HCTISN	Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire
Iceda	Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IN	Inventaire national
INB	Installation nucléaire de base
INBS	Installation nucléaire de base secrète
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
kW	KiloWatt
LTECV	Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte
MA-VL	Déchets de Moyenne Activité - Vie Longue
MOx	Combustible mixte REP à l'uranium et au plutonium
mSv	Milli sievert
MWe	MégaWatt
NORM	Naturally occurring radioactive materials ; déchets à radioactivité naturelle élevée
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ONG	Organisation non gouvernementale
OPECST	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques
PDE	Plan directeur d'exploitation
PIGD	Programme industriel de gestion des déchets
PNGMDR	Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
Pu	Plutonium
REP	Réacteur à eau pressurisée
RNM	Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement
RNR	Réacteurs à neutrons rapides



RTE	Réseau de transport d'électricité
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
STEL	Station de traitement des effluents liquides
Sv	Sievert
TBq	Téra becquerel
t eq CO2	Tonne équivalent CO2
TFA	Très faible activité
tML	Tonne de métal lourd
Uapp	Uranium appauvri
UF6	Hexafluorure d'uranium
UNE	Uranium naturel enrichi
UNGG	Uranium naturel graphite gaz
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ; Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants
UOx	Oxyde d'uranium
URE	Uranium de retraitement réenrichi
URT	Uranium de retraitement
VTC	Déchets à Vie Très Courte
Wh	Watt-heure

Annexe - Etudes prescrites par le PNGMDR 2016-2018

Cette fiche présente l'ensemble des études prescrites dans le cadre du PNGMDR 2016-2018, elle fait référence à l'arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret no 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Elle présente les enjeux de certaines études et liste les paragraphes du présent document dans lesquels elles sont citées

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
DISPOSITIONS GENERALES					
1	Rapport sur la méthodologie et les critères envisageables pour apprécier la nocivité des matières et déchets radioactifs	IRSN	31-déc-17		
2	Scénarios prospectifs de l'inventaire national	Andra	/		3.2
MATIERES RADIOACTIVES					
Uranium appauvri					
3	Demande d'extension des capacités d'entreposage d'uranium appauvri auprès de l'autorité administrative compétente.	Orano	31-déc-17	Disponibilité des capacités d'entreposage pour l'uranium appauvri au regard des perspectives de croissance des stocks, dans l'hypothèse prudente d'une non requalification des stocks d'uranium appauvri Capacité de l'exploitant à assurer la surveillance et le maintien en sécurité des installations selon une approche proportionnée	4.1.1
4	Faisabilité d'un concept de stockage de l'uranium appauvri, coût associé, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par ses détenteurs.	Andra	31-déc-19	Appréciation des conséquences financières d'une éventuelle requalification de tout ou partie des stocks d'uranium appauvri en déchets radioactifs Impact d'une requalification de tout ou partie des stocks sur d'autres filières de	3.3.4

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
				stockage en projet, notamment la filière FA-VL	
Uranium de retraitement					
5	Demande de création ou d'extension des capacités d'entreposage d'URT auprès de l'autorité administrative compétente.	Orano	31-déc-17	Disponibilité des capacités d'entreposage pour l'uranium de retraitement au regard des perspectives de croissance des stocks, dans l'hypothèse prudente d'une non requalification des stocks d'uranium appauvri Capacité de l'exploitant à assurer la surveillance et le maintien en sécurité des installations selon une approche proportionnée	4.1.1
6	Stratégie permettant de réduire à moyen terme la croissance des stocks d'URT détenus puis d'assurer le plafonnement de ces stocks.	Orano, EDF	31-déc-17	Maitrise de l'évolution du stock d'uranium de retraitement Continuité du suivi de la stratégie proposée par EDF pour faire atteindre un plafond au stock d'uranium de retraitement, puis résorber le stock	4.1.1

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
7	Faisabilité d'un concept de stockage de l'uranium de retraitement en indiquant le coût associé, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par ses détenteurs.	Andra	31-déc-19	Appréciation des conséquences financières d'une éventuelle requalification de tout ou partie des stocks d'uranium de retraitement en déchets radioactifs Impact d'une requalification de tout ou partie des stocks sur d'autres filières de stockage en projet	3.3.4 4.1.1
Plutonium et combustibles usés					
8	Éléments détaillés sur les coûts de gestion des combustibles usés et des déchets détenus ou gérés.	Orano, CEA, EDF, Andra	31-déc-17		
9	Étude comparée des impacts pour l'environnement d'une stratégie de retraitement des combustibles usés par rapport à l'absence de retraitement.	Orano, en lien avec EDF, le CEA et l'Andra	30-juin-18	Appréciation de l'impact environnemental des stratégies de retraitement du combustible usé	4.1.1
10	Stratégie de gestion des capacités d'entreposage de combustibles usés REP (UOx, URE et MOx usés) et le calendrier associé à la création de nouvelles capacités d'entreposage	EDF	31-mars-17	Disponibilité des capacités d'entreposage pour les combustibles usés au regard des perspectives de croissance des stocks	4.1.1
10	Options techniques et de sûreté relatives à la création de nouvelles capacités d'entreposage (extension d'une installation existante ou création d'une nouvelle installation d'entreposage de combustibles usés).	EDF	30-juin-17	Niveau de sûreté, au stade de la conception, des installations nouvelles (extension ou création)	
10	Dépôt d'une demande d'autorisation de création d'un nouvel entreposage de combustibles usés.	EDF	31-déc-20	Information et concertation en préalable relatives au projet qui sera soumis par EDF à l'ASN et au ministre chargé de la sûreté nucléaire	

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
11	Programme d'étude pour démontrer la capacité d'Astrid à multi-recycler le plutonium contenu dans les combustibles MOx usés, à stabiliser ou réduire les inventaires en plutonium et à transmuter l'américium	CEA	31-déc-18	<p>Capacité des réacteurs de 4e génération à recycler le plutonium contenu dans les assemblages de combustibles usés MOx</p> <p>Maîtrise à long terme de l'inventaire en plutonium</p> <p>Appréciation des conséquences du déploiement d'un programme de réacteur de 4e génération en termes de gestion de leurs déchets</p> <p>Perspectives pratiques de développement des installations liées à la 4ème génération (démonstrateur industriel, installations du cycle du combustible associées)</p>	4.1.1
12	Faisabilité technique à grande échelle du traitement URE et MOx usés, quantités de Pu nécessaires à la mise en place d'un parc de RNR.	Propriétaires (dont EDF)	31-déc-17	<p>Capacité des réacteurs de génération actuelle à traiter les combustibles usés dans la perspective d'une valorisation après séparation de l'uranium et du plutonium</p> <p>Capacité des réacteurs de 4e génération à recycler le plutonium contenu dans les assemblages de combustibles usés MOx</p>	4.1.1
13	Typologie de l'ensemble des combustibles usés détenus, les développements à réaliser pour permettre leur valorisation, ainsi que l'intérêt des propriétés des matières séparées en vue de leur réutilisation. Coût de traitement par rapport à leur stockage direct.	Propriétaires (dont CEA)	31-déc-17	Appréciation des coûts d'une solution de stockage géologique profond des combustibles usés	

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
14	Faisabilité du stockage direct des combustibles usés issus des réacteurs expérimentaux et des combustibles usés métalliques de la propulsion nucléaire navale, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique de ces substances transmis par leurs propriétaires	Andra	30-juin-17		
15	Évaluation du coût du stockage des combustibles usés dans Cigéo	Andra	31-déc-18	Appréciation de l'ensemble des dépenses aval de la gestion des combustibles usés.	4.1.1
16	comparaison du coût d'un programme de traitement des combustibles usés issus des réacteurs expérimentaux et des combustibles usés métalliques de la propulsion nucléaire navale par rapport à leur stockage direct	CEA, en lien avec l'Andra et Areva	31-déc-18		
17	Justifications complémentaires sur le caractère effectivement valorisable de l'ensemble des formes physico-chimiques et isotopiques de plutonium détenu.	CEA	31-déc-17	Confirmation du caractère valorisable du stock de Plutonium détenu par le CEA est dans les réacteurs de 4e génération ou dans le combustible MOx.	3.3.4
Matières thorifères					
18	Inventaires des matières thorifères, traitements ou conditionnements envisageables avant éventuel stockage, filières de gestion envisageables	Areva et Solvay	31-déc-17		4.1.1

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
18	Etude de la faisabilité du stockage de l'hydroxyde de thorium et du nitrate de thorium si ceux-ci étaient à l'avenir requalifiés en déchets, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par leurs propriétaires.	Andra	31-déc-19		4.1.1
GESTION A LONG TERME DES DECHETS RADIOACTIFS					
Stockages historiques de déchets radioactifs					
19	Investigations stockages historiques, avec inventaires physiques et radiologiques, et modes de gestion retenus.	Orano, CEA, EDF	31-déc-17		
Déchets radioactifs de très faible activité (TFA)					
20	Méthodologie et incertitudes associées aux estimations prévisionnelles de la production de déchets TFA et études de cas de démantèlement pour chaque exploitant évaluant les volumes de déchets TFA produits selon plusieurs scénarios d'assainissement.	Orano, CEA, EDF	30-juin-18	Estimation prudente des volumes de déchets nucléaires produits par le démantèlement des installations nucléaires de base Évaluation et justification par les exploitants d'installations nucléaires de base des incertitudes associées aux estimations prévisionnelles de la production des déchets TFA	4.3.2
21	Retour d'expérience de la mise en œuvre du zonage déchets.	Orano, CEA, EDF	30-déc-20	Limitation à la source, par des dispositions de conception et d'organisation, de la production de déchets TFA	4.3.3
22	Étude sur l'utilisation de gravats TFA comme matériau de comblement au Cires.	Andra	31-mars-17	Optimisation de la gestion des volumes de stockage disponibles du CIREs	4.3.3

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
23	Mise en œuvre de la valorisation des gravats TFA au Cires.	Andra	31-déc-18	Mise en œuvre dans des conditions de sécurité satisfaisantes de disposition d'optimisation des capacités volumiques du CIREs	
24	Options techniques et de sûreté d'une installation de traitement de matériaux métalliques et filières de valorisation associées	Orano, EDF	30-juin-18	Poursuite des travaux de valorisation des déchets TFA	4.3.3.
25	Comparaison incinération-stockage des résidus par rapport au stockage direct des déchets TFA incinérables	Andra en lien avec Socodei et les producteurs	30-déc-17	Perspectives de réduction volumique des déchets faiblement radioactifs produits avant leur stockage Mise en service d'une technologie mature et éprouvée pour optimiser le traitement des déchets faiblement radioactifs	4.3.2
26	Faisabilité de la création de centres de stockage TFA à proximité des sites INB existants	Orano, CEA, EDF, Andra	30-juin-20	Analyse comparatives des différentes solutions de traitement vis-à-vis de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement Appréciation des gains d'une solution de stockage sur site ou à proximité des sites en termes de limitation des transports de déchets radioactifs en distance et en volumes.	4.3.3
27	Étude sur les modalités de densification du stockage TFA	Andra et producteurs	30-juin-18	Optimisation de la capacité de stockage du CIREs	4.3.3
28	Étude sur la faisabilité technico-économique de la fusion de déchets métalliques TFA en vue de leur densification	Producteurs et Socodei en lien avec l'Andra	30-juin-18	Optimisation de la capacité de stockage du CIREs	4.3.3

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
29	Demande d'extension des capacités du Cires pour une même emprise au sol.	Andra	6 ans avant la saturation	Prolongement de la durée d'exploitation du CIREs avant saturation Sûreté de la gestion des déchets TFA à produire d'ici la fin du démantèlement des installations existantes	4.3.3
30	Mise à jour des critères d'acceptation au stockage TFA des substances thorifères et uranifères.	Andra	31-déc-20	Sûreté de la gestion des déchets thorifères en stockage TFA	
31	Mise à jour du schéma industriel global de gestion des déchets TFA et proposition de grille d'analyse multicritères permettant de justifier la pertinence des choix de gestion des déchets TFA, notamment sur le plan environnemental	Andra	31-déc-20	Etude des pistes complémentaires de gestion des déchets TFA, notamment pour améliorer la prise en compte des principes de gestion des déchets établis par la réglementation (hiérarchisation des modes de gestion des déchets, prévention et réduction à la source du volume et de la nocivité des déchets, limitation des transports)	
32	Étude sur les transports de déchets radioactifs TFA	Orano, CEA, EDF	31-déc-18	Optimisation du transport de déchets radioactifs vis-à-vis des impacts environnementaux	4.3.3
Déchets radioactifs de faible et de moyenne activité à vie courte (FMA-VC)					
33	Avant-projet sommaire d'une installation de traitement du plomb	Orano, CEA, EDF en lien le cas échéant avec Socodei	31-déc-18		
34	Étude sur les transports de déchets radioactifs FMA-VC	Orano, CEA, EDF, Socodei	31-déc-17		
Déchets radioactifs de faible et de moyenne activité à vie longue (FA-VL)					
35	Rapport intermédiaire sur le stockage FA-VL définissant les exigences de sûreté applicables au stockage	Andra	30-juin-18	Définition des objectifs de sûreté pour le stockage de déchets FA VL Prise en compte des très longues échelles de temps	4.4.3

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
				pour trouver un optimum entre le confinement des substances radioactives et leur possible mise à jour à très long terme Protection des écosystèmes et aquifères	
36	Options techniques et de sûreté d'une installation de stockage à faible profondeur de déchets FA-VL	Andra	30-juin-19	Poursuite des travaux lancés par l'ANDRA sur le site de Soulaïnes pour un stockage à faible profondeur des déchets FA-VL	4.4.3
37	Dossier d'options de sûreté (niveau APS) d'un centre de stockage de déchets FA-VL	Andra	31-déc-21	Poursuite des travaux lancés par l'ANDRA sur le site de Soulaïnes pour un stockage à faible profondeur des déchets FA-VL Identification d'un sous-ensemble de déchets FA-VL susceptibles d'être stockés sur ce site.	4.4.3
37	Proposition d'une date de mise en service prudente du stockage FA-VL	Andra	31-mars-17	Poursuite des travaux lancés par l'ANDRA sur le site de Soulaïnes pour un stockage à faible profondeur des déchets FA-VL Identification d'un sous-ensemble de déchets FA-VL susceptibles d'être stockés sur ce site.	4.4.3
38	Rapport d'étape sur le traitement-décontamination des déchets de graphites	CEA, EDF	31-déc-17	Poursuite des études sur le traitement des déchets de graphite Obtention de colis de déchets compatibles avec les possibles spécifications d'un stockage FA-VL Maturité technologique et soutenabilité économique	4.4.3

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
				des processus de traitement envisagés	
38	Options techniques et de sûreté (niveau APS) d'une installation de traitement des déchets de graphite	CEA, EDF	31-déc-19	Poursuite des études sur le traitement des déchets de graphite Obtention de colis de déchets compatibles avec les possibles spécifications d'un stockage FA-VL Maturité technologique et soutenabilité économique des processus de traitement envisagés	4.4.3
39	Étude sur l'évaluation de l'inventaire en chlore 36 des déchets de graphite	EDF	30-juin-19	Caractérisation radiologique des déchets de graphites	4.4.3
39	Résultats intermédiaires des mesures sur les déchets de graphite	CEA	30 juin 2019 [3]	Connaissance de l'inventaire radiologique que devrait pouvoir recevoir une installation de stockage de déchets de graphite	4.4.3
40	Schéma industriel global de gestion des déchets FA-VL	Andra en lien avec les producteurs	31-déc-19	Délimitation des déchets relevant de la filière de traitement FA-VL Sûreté d'une éventuelle installation de stockage qui serait implantée à Soulaines Définition d'une stratégie de gestion traitant de la totalité des déchets FA-VL.	

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
41	Méthodologie de recherche d'un nouveau centre de stockage FA-VL	Andra	30-juin-18	Recherche d'un autre site pour les déchets FA-VL qui ne pourront pas être stockés dans le site de Soulaines, dans une optique d'optimisation globale des impacts	
42	Détail des capacités d'entreposage et stratégie de création de nouvelles capacités pour les déchets FA-VL	Producteurs et détenteurs de déchets FA-VL	31-déc-17	Mesures conservatoires en matière d'entreposage pour tenir compte des délais de mise en service d'une solution de stockage des déchets FA-VL	4.4.3 4.4.4
43	Options techniques et de sûreté (niveau APS) d'un entreposage de déchets graphite pour les déchets des silos de Saint-Laurent des Eaux	EDF	31-déc-19	Coordination entre opérations de démantèlement des réacteurs UNGG d'EDF et mise en service d'une solution de stockage des déchets graphites	
Déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL)					
44	Mise à jour, si nécessaire, du calendrier de Cigéo	Andra	30-juin-17		
44	Évaluation de l'acceptabilité dans Cigéo des colis de déchets déjà conditionnés	Orano, CEA, EDF	2 ans après la remise des spécifications d'acceptation par l'Andra	Acceptabilité des déchets déjà produits dans le stockage Cigéo	
45	Caractérisation et conditionnement des déchets MA-VL produits avant 2015	CEA	30-juin-17		
46	Évaluation du comportement des colis de déchets bitumés (notamment réactivité et vieillissement) ; Impact de cette évaluation sur les conditions d'accueil dans Cigéo	CEA, en lien avec l'Andra et les propriétaires de déchets bitumés ; Andra	30-juin-17 30-juin-18	Développement de traitements pour rendre plus inertes les déchets bitumés Étude de l'acceptabilité d'un stockage à Cigéo des déchets bitumés, moyennant une modification de la conception des alvéoles	

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
47	Modalités de transports des colis de déchets bitumés	Orano, CEA	30-juin-18	Sûreté du transport des déchets bitumés en vue de leur éventuel envoi pour stockage à Cigéo	
48	Avancement des travaux sur les modes de traitement et de conditionnement des colis de déchets bitumés (FA-VL et HA-MAVL)	CEA	30-juin-18	Déchets bitumés : traitement pour les rendre plus inertes ou stockage direct avec modification de l'installation ? Éventuel panachage des différentes options envisagées ?	
48	Évaluation technique, économique et de sûreté comparant les différents modes de traitement et de conditionnement envisagés pour les déchets bitumés.	Orano, CEA, EDF et Andra	31-déc-19	Déchets bitumés : traitement pour les rendre plus inertes ou stockage direct avec modification de l'installation ? Éventuel panachage des différentes options envisagées ?	
49	Point d'étape du développement du procédé d'incinération/vitrification PIVIC.	Orano	31-déc-18	Conditionnement des déchets MA-VL organiques	
50	Schéma de reprise des déchets de structure et des combustibles usés UNGG entreposés à Marcoule.	CEA	31-déc-17	Reprise et conditionnement de certains déchets HA/MA-VL historiques entreposés à Marcoule, dont la manipulation présente des risques.	
51	Inventaire prospectif des matières et déchets produits par le parc de réacteurs français selon différents scénarios et emprise de ces substances en stockage en couche géologique profonde.	CEA	Oct-18	Études des différents scénarios, notamment celui du non retraitement des combustibles usés	
52	Éléments techniques sur la base desquels l'abandon de l'entreposage à faible profondeur a été décidé.	Andra	31-déc-17	Justification, en complément des éléments déjà remis par l'ANDRA dans le cadre de la précédente édition du PNGMDR, de l'arrêt des recherches concernant les installations d'entreposage à faible profondeur	

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
53	Besoins en entreposages de déchets HA-MAVL pour les vingt prochaines années.	Orano, CEA, EDF	30-juin-17	<p>Actualisation et tenue à jour des inventaires de déchets radioactifs HA/MA-VL</p> <p>Évaluation prudente des capacités d'entreposage prenant en compte d'éventuels retards dans le développement du projet Cigéo</p> <p>Anticipation des besoins de nouvelles capacités d'entreposage de déchets HA/MA-VL</p>	
54	Mise à jour du plan de mise à disposition des emballages de transports de déchets vers Cigéo.	Orano, CEA, EDF	31-déc-17	<p>Faisabilité du transport des déchets en vue de leur stockage à Cigéo</p> <p>Optimisation du transport des déchets</p> <p>Chroniques</p>	
54	Étude sur le transport des déchets HA-MAVL vers Cigéo.	Orano, CEA, EDF, en lien avec Andra	31-déc-17	<p>Faisabilité du transport des déchets en vue de leur stockage à Cigéo</p> <p>Optimisation du transport des déchets</p> <p>Chroniques</p>	
55	Expliciter dans le cadre de la demande d'autorisation de création de Cigéo la quantité et la nature des colis nécessaires pour que la phase industrielle pilote mentionnée à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement permette, d'une part, de conforter la démonstration de sûreté, d'autre part, de démontrer la capacité de l'installation à monter progressivement vers	Andra	/		4.5.3

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
	une cadence industrielle de stockage.				
56	Inventaire des déchets à inclure dans les réserves de Cigéo.	Andra	31-mars-17	Adaptabilité du projet Cigéo	
57	Certains déchets appartenant à l'inventaire de réserve de Cigéo peuvent être inclus dans l'inventaire prévu pour la demande d'autorisation de création de Cigéo et dans la démonstration de sûreté associée sans pour autant que l'envoi de ces déchets dans Cigéo ne soit considéré comme la solution de référence.	Andra, en lien avec les producteurs	/		
Déchets radioactifs nécessitant des travaux spécifiques					
58	Acceptabilité des déchets mercuriels stabilisés par le soufre dans les centres de stockage existant.	Andra	31-déc-17		
58	Poursuite des études sur les modalités de traitement/conditionnement des autres types de déchets mercuriels pour lesquels une filière de gestion n'est pas encore définie.	Orano, CEA, EDF	/		
59	Point d'avancement relatif au développement et à la mise en œuvre des procédés envisagés pour le traitement des huiles et liquides organiques	Orano, CEA	31-déc-17		

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
59	Étude de l'acceptabilité des déchets liquides et organiques qu'ils détiennent dans les filières mises en place par Orano et le CEA	EDF, Andra	/		
60	État d'avancement relatif à la prise en charge des déchets activés des petits producteurs.	Andra	31-déc-17		
61	Comparaison pour différentes typologies de déchets tritiés de différentes solutions de gestion : entreposage, incinération, stockage direct.	CEA, Socodei en lien avec l'Andra	31-déc-17		
61	Étude de la possibilité de prendre en charge, pour entreposage ou stockage, dans ses installations les déchets tritiés de responsables défallants.	Andra	31-déc-20		
61	État d'avancement de la recherche de filières de gestion adaptées pour les déchets tritiés gazeux et liquides des petits producteurs hors électronucléaire.	Andra	31-déc-19		
61	Stratégie envisagée pour la gestion des déchets tritiés solides des petits producteurs dans l'attente de la mise en service des installations d'entreposage prévues pour ITER.	Andra	31-déc-17		
62	Présentation du déploiement des filières de gestion des sources scellées usagées considérées comme des déchets.	Andra	31-déc-17		
63	Rapport d'avancement des recherches sur les solutions de gestion définitives pour les déchets entreposés sur l'INB ECRIN.	Orano	31-juil-20		

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
63	Stratégie de gestion pour les boues déshydratées actuellement produites par l'usine de Malvés qui ne seront pas entreposées dans l'INB ECRIN.	Orano	31-déc-17		
Stériles miniers et résidus de traitement de minerai uranifère					
64	Bilan d'étape sur la stratégie de gestion des eaux issues des anciens sites miniers.	Orano	31 décembre 2017[1]		
65	Étude sur les flux rejetés par le site de Bois-Noir-Limouzat.	Orano	31-mars-17		
65	Complément étude Bois-Noir-Limouzat par modélisation de la sédimentation et des transferts de radionucléides.	Orano	31-déc-18		
66	Recensement des verses à stériles.	Orano	31-déc-17		
67	Étude sur l'évolution à long terme des stériles miniers.	Orano	31-juin-18		
67	Ajustage du modèle d'évolution des stériles miniers pour l'ensemble des verses à stériles.	Orano	31-déc-19		
68	Modélisation du transfert d'uranium et de radium dans les sites de stockage de résidus.	Orano	31-déc-17		
68	Ajustage du modèle d'évolution des stockages de résidus miniers uranifères.	Orano	31-déc-19		

Arrêté du 23 février 2017 - Article n°	Etudes PNGMDR 2016-2018	Rédacteur	Date de remise	Enjeux en lien avec les prescriptions issues de la dernière édition du Plan 2016-2018	On en parle dans le DMO au(x) paragraphe(s)
69	Conclusions en termes de robustesse des digues ceinturant les stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium pour les durées de vie visées et propositions en termes de suivi et d'entretien des ouvrages ou de renforcement.	Orano	31-déc-18		
70	Bilan de la campagne de recensement des stériles miniers ; fin des actions de traitement des stériles.	Orano	31-déc-17 31-déc-19		