

DOCUMENT TECHNIQUE

# PNGMDR 2013-2015

## RAPPORT 2015 DU GROUPE DE TRAVAIL «OPTIMISATION DE LA RÉPARTITION DES DÉCHETS ENTRE FILIÈRES DE GESTION»

**Identification**  
FR.PA.DPG.15.0004/A

Pages : **34**

Ce document, bien que propriété de l'Andra,  
peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation

REALISÉ EN COLLABORATION AVEC :



Le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2010-2012 a constitué un groupe de travail pour définir des pistes d'optimisation de la répartition des déchets radioactifs entre filières de gestion en considérant l'ensemble de la chaîne de gestion, de la production des déchets à leur stockage (Figure 1).

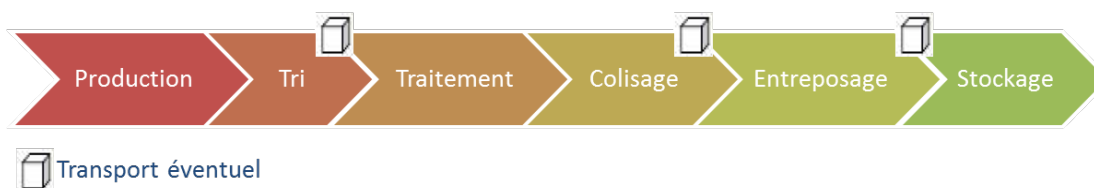


Figure 1 Représentation d'une filière de gestion des déchets

Les travaux menés par le groupe de travail en 2010-2012 [1] ont permis de recenser un ensemble de déchets qui a fait l'objet d'une réflexion sur les possibilités d'optimisation de leur mode de gestion, sous l'angle de la bonne utilisation des différentes ressources (stockages de surface, perspectives de stockage à faible profondeur, projet Cigéo), de la maîtrise des risques liés à chaque type de déchet ainsi que de la cohérence globale du dispositif de gestion et son optimisation technique et économique.

Une liste de déchets à examiner en priorité a été retenue sur la base de considérations de sûreté en exploitation et à long terme des stockages. Les filières de stockage ayant été considérées sont : centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires, Aube), centre de stockage de l'Aube (CSA, Aube), stockage à une quinzaine de mètres de profondeur, stockage à une centaine de mètres de profondeur, Cigéo.

Le groupe de travail a remis en janvier 2012 un rapport d'étape identifiant différentes pistes d'optimisations susceptibles d'être déployées industriellement. Il en ressort que le tri des déchets et des colis ainsi que l'examen de possibilités de traitement pour certains déchets sont des axes forts de la démarche d'optimisation. Ce rapport a mis en exergue la nécessité de progresser sur plusieurs points notamment :

- une meilleure connaissance du contenu radiologique des déchets, pour identifier de manière plus précise les possibilités d'optimisation associées au tri des déchets ;
- selon les orientations données au projet de stockage à faible profondeur, l'évaluation de la faisabilité technique des scénarios de gestion du graphite et d'autres familles de déchets potentiellement compatibles avec un stockage à une quinzaine de mètres, sur la base des caractéristiques de site qui seraient acquises *in situ* ;
- la faisabilité industrielle du traitement du graphite (EDF et CEA), des déchets bitumés (CEA) et des résidus solides banalisés (Solvay).

Le décret établissant les prescriptions du PNGMDR 2013-2015 dispose dans son article 19 que :

*« I. — Un groupe de travail, présidé par le directeur général de l'énergie et du climat ou son représentant, vise à optimiser la répartition des flux de déchets radioactifs entre les filières de gestion existantes ou en projet en tenant compte des risques liés à chaque type de déchet et des exigences des 1°, 2° et 3° de l'article 3 du présent décret. L'ANDRA assure le secrétariat de ce groupe de travail.*

*L'Andra remet aux ministres chargés de l'énergie, de la sûreté nucléaire et de la défense, pour le 31 décembre 2014, après consultation des autres participants au groupe de travail, une synthèse des travaux du groupe de travail sous la forme d'un rapport présentant des scénarios industriels de gestion de ces déchets intégrant les opérations à réaliser (tri, traitement...) en amont de leur stockage.*

*L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ce rapport.*

*II. - Areva, le CEA, EDF et Solvay poursuivent les travaux de caractérisation des déchets et colis de déchets déjà produits. Pour les colis d'enrobés bitumineux, les déchets de graphite et les résidus solides banalisés, les exploitants concernés présentent les solutions de gestion alternatives au stockage direct et la stratégie qu'ils proposent de retenir.*

*1° Le CEA et EDF remettent, avant le 31 décembre 2014, aux ministres chargés de l'énergie, de la défense et de la sûreté nucléaire le bilan de leurs études permettant de consolider la connaissance du contenu radiologique de leurs différents types de déchets de graphite.*

*L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ces bilans ;*

*2° Areva et le CEA demandent à l'ANDRA de réaliser une étude portant sur les possibilités d'acceptation des colis d'enrobes bitumineux faiblement actifs au sein d'une filière de stockage de type subsurface lorsque les données de site seront disponibles et des caractérisations complémentaires menées sur les déchets par le CEA. Areva et le CEA remettent aux ministres chargés de l'énergie, de la défense et de la sûreté nucléaire un rapport sur cette étude avant le 30 juin 2015. L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ce rapport ;*

*3° Le CEA remet aux ministres chargés de l'énergie, de la sûreté nucléaire et de la défense, pour le 31 décembre 2013, un rapport sur l'analyse technique et économique concernant l'évaluation du traitement chimique ou thermique de composés bituminés pour tenter d'immobiliser dans d'autres matrices les déchets radioactifs qu'ils contiennent. Dans ce rapport, les capacités futures d'entreposage nécessaires sont précisées par le CEA en tenant compte des résultats d'étude des différents scénarios de gestion envisagés pour ces déchets et des données fournies par l'ANDRA. L'ASN, l'ASND et l'ANDRA sont saisies pour avis sur ce rapport ;*

*4° Solvay remet aux ministres chargés de l'énergie et de la sûreté nucléaire avant le 31 décembre 2013, un rapport sur l'évaluation technico-économique des solutions de gestion envisageables pour les résidus solides banalisés et la stratégie de gestion qu'elle propose de retenir. L'ASN et l'ANDRA sont saisies pour avis sur ce rapport. »*

Ce décret prévoit également dans son article 16 que :

*« Sur la base des investigations géologiques qui pourront être réalisées sur la période 2013-2015, de la poursuite de la caractérisation des déchets, des actions de recherche spécifiques sur le traitement des déchets et d'une analyse de sûreté, l'Andra remet aux ministres chargés de l'énergie et de la sûreté nucléaire, pour le 30 juin 2015, un rapport comprenant :*

*1° L'analyse de faisabilité des scénarios de gestion pour les déchets de graphite et les déchets bitumés, avec notamment l'opportunité ou non de relancer la recherche d'un site de stockage sous couverture intacte ;*

*2° Un dossier de faisabilité du projet de stockage sous couverture remaniée, le périmètre des déchets à y stocker et le calendrier de sa mise en œuvre.*

*L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ce rapport. »*

Le groupe de travail (ci-après désigné GT) s'est intéressé en 2013-2014 aux déchets identifiés par le groupe dans son rapport de janvier 2012 comme sujets à une optimisation. Il a en particulier suivi (i) les résultats des travaux de caractérisation des déchets de graphite menés par EDF et CEA et des déchets bitumés menés par le CEA, (ii) les actions en cours de l'Andra sur le stockage à faible profondeur pour préciser en 2015 le périmètre des déchets relevant de ce stockage et (iii) les travaux de R&D sur le traitement des déchets de graphite, des déchets bitumés et des résidus solides banalisés (RSB) portés par EDF, CEA et Solvay respectivement.

Le groupe a également initié une analyse des impacts qualitatifs de chaque étape de gestion sur le coût global de la filière en tenant compte du degré de maturité industrielle de l'étape considérée de façon à exploiter les résultats des études à partir de 2015.

Enfin le groupe s'est attaché à identifier des éléments de planification d'actions à mener au-delà de 2015 dans le cadre de la mise à jour du PNGMDR. Pour cela le GT a considéré l'ensemble de la chaîne de gestion présentée ci-dessus en tenant compte des stockages existants et en projet ainsi que des procédés de traitement à l'étude.

Le présent document constitue le rapport de synthèse des travaux du GT. Il présente l'état d'avancement des différents points ci-dessus compte tenu des connaissances disponibles à ce jour. La section 1 présente les enjeux de l'optimisation des filières. Une description des déchets retenus pour l'analyse est donnée à la section 2. Les voies d'optimisation analysées pour chaque type de déchets sont explicitées dans la section 3 ainsi que les scénarios de gestion alternatifs envisagés. La section 4 décrit un état d'avancement des différents axes d'optimisation étudiés. Le GT a mené d'autres réflexions sur l'optimisation des filières qui sont explicités à la section 5. Enfin les sections 6 et 7 présentent les conclusions et les perspectives des travaux du groupe.

# Sommaire

<b>1.</b>	<b><i>Enjeux de l'optimisation des filières et axes associés</i></b>	<b>8</b>
1.1	Axes de travail	8
1.2	Enjeux associés	9
<b>2.</b>	<b><i>Description générale des déchets faisant l'objet d'une étude d'optimisation de filières</i></b>	<b>10</b>
2.1	Déchets de graphite	10
2.2	Colis d'enrobés bitumineux de Marcoule	11
2.3	Résidus solides banalisés	13
2.4	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs bétons fibres CBF-C'2 (Areva La Hague)	14
<b>3.</b>	<b><i>Voies d'optimisation étudiées et scénarios alternatifs</i></b>	<b>16</b>
3.1	Déchets de graphite	16
3.2	Fûts d'enrobés bitumineux	16
3.3	Résidus solides banalisés de Solvay	17
3.4	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs bétons fibres CBF-C'2	18
3.5	Récapitulatif	18
<b>4.</b>	<b><i>Etat d'avancement des axes d'optimisation étudiés</i></b>	<b>20</b>
4.1	<b>Amélioration de la caractérisation des déchets de graphite et des enrobés bitumineux</b>	<b>20</b>
4.1.1	Déchets de graphite	20
4.1.2	Fûts d'enrobés bitumineux	20
4.2	<b>Etat d'avancement des études et travaux sur le stockage de déchets FA-VL</b>	<b>21</b>
4.2.1	Contexte	21
4.2.2	Concept de stockage à faible profondeur	22
4.2.3	Etudes techniques en cours	23
4.3	<b>Etat d'avancement des études de traitement des déchets de graphite, des colis d'enrobés bitumineux et des RSB</b>	<b>24</b>
4.3.1	Déchets de graphite	24
4.3.2	Enrobés bitumineux	25
4.3.3	RSB	25
<b>5.</b>	<b><i>Autres axes de réflexions du groupe</i></b>	<b>25</b>
5.1	Déchets de démantèlement	25
5.2	Démarche technico-économique	27
<b>6.</b>	<b><i>Perspectives vis-à-vis des scénarios de gestion envisagés et des voies d'optimisation et travaux à venir</i></b>	<b>30</b>
6.1	Déchets de graphite, enrobés bitumineux FAVL, CBF C'2 et RSB	30

<b>6.2</b>	<b>Déchets de démantèlement</b>	<b>31</b>
<b>7.</b>	<b><i>Conclusions et perspectives</i></b>	<b>32</b>
7.1	Déchets de graphite	32
7.2	Enrobés bitumineux de Marcoule	32
7.3	RSB	33
7.4	Déchets technologiques en CBF-C'2	33
7.5	Perspectives	33
<b>8.</b>	<b><i>Références</i></b>	<b>34</b>

# 1. Enjeux de l'optimisation des filières et axes associés

## 1.1 Axes de travail

L'optimisation des filières de gestion des déchets a pour objet de s'assurer que chaque déchet puisse être géré dans une filière conforme à ses caractéristiques, en veillant à l'équilibre technique, économique et à la sûreté de l'ensemble du dispositif. L'optimisation des filières est notamment liée :

- à l'amélioration de l'inventaire radiologique des déchets

Des travaux de caractérisation et d'estimation au plus juste de l'inventaire radiologique de certains déchets sont nécessaires pour les orienter vers la filière qui correspond le mieux à leurs caractéristiques et donc optimiser techniquement (préservation de la ressource stockage) et économiquement le dispositif global de gestion des déchets. Une meilleure connaissance des déchets permet de les orienter vers les filières adéquates selon le principe d'une gestion proportionnelle aux risques. Elle permet aussi de fonder les évaluations de performance à long terme du stockage sur des valeurs de paramètres physiques les plus réalistes.

- aux capacités d'accueil du stockage à faible profondeur à l'étude (inventaire des déchets acceptables)

Le GT considère que la mise en service d'un stockage à faible profondeur peut apporter un bénéfice dans l'optimisation de la gestion des déchets qui dépend notablement de ses capacités d'accueil. Ce stockage permettrait de proposer une nouvelle solution de gestion intermédiaire pour des déchets ne pouvant être stockés en surface et ne nécessitant pas, pour des raisons de sûreté ou de radioprotection, d'être stockés dans Cigéo.

Les capacités d'accueil d'un tel stockage permettront de déterminer les déchets qui pourront y être acceptés en tenant compte des besoins exprimés par les producteurs de déchets (en particulier les déchets radifères, de graphite, enrobés bitumineux de faible activité et certains déchets d'exploitation de La Hague). Ces capacités seront à ce titre une donnée importante dans l'optimisation des filières.

- à la faisabilité technique et à la pertinence de scénarios de tri et de traitement

Les scénarios de tri ont vocation à identifier au sein d'un ensemble de déchets des familles qui pourraient relever de modes de gestion différents et d'optimiser ainsi leur gestion.

Les scénarios de traitement peuvent permettre de diminuer les volumes de déchets à stocker et/ou de réduire leur nocivité et rediriger certains flux de déchets vers des centres de stockage à moindre profondeur. Le traitement des déchets est néanmoins une activité techniquement complexe et qui peut générer des rejets ainsi que des déchets induits. Les solutions technologiques ne sont pas toujours disponibles ou atteignables aux meilleures conditions économiques du moment. L'intérêt de la mise en place d'une filière de traitement est donc à analyser au cas par cas, notamment à travers une analyse comparative de scénarios de gestion globaux, incluant également les évaluations de performance à long terme des stockages et les enjeux liés aux procédés de traitement.

- à la réduction de la production de déchets à la source et au recyclage

La réduction de la production de déchets est un élément important pour préserver la ressource rare que constitue le stockage. Cet axe de travail a été identifié pour les déchets de très faible activité, produits en quantités importantes lors du démantèlement, avec des activités radiologiques soit très faibles soit inexistantes mais classés administrativement en déchets TFA. Cette production importante contribue à la saturation plus rapide que prévue du centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage des déchets TFA (Cires).

Le recyclage est également une piste potentielle d'optimisation des filières pour deux catégories de déchets TFA : les déchets béton (gravats) d'une part, les déchets métalliques (ferrailles) d'autre part. Le recyclage fait l'objet de travaux spécifiques.

## 1.2 Enjeux associés

- Mieux préparer l'amont du stockage

L'optimisation des filières repose sur une meilleure définition des déchets en amont du stockage. Cela se traduit par (i) la recherche de réduction à la source des volumes de déchets à stocker, (ii) de meilleures caractérisation et estimation des inventaires radiologiques des déchets afin de pouvoir les orienter vers la filière correspondant à leurs caractéristiques, si les performances et critères d'acceptation sont définis, et (iii) la réalisation de tris ou traitements préalables, le cas échéant, lorsque ces opérations ont été identifiées comme pertinentes par l'ensemble des acteurs de la filière. Ces actions sont conduites en les mettant en perspective de la conception du stockage notamment leurs conséquences sur ses performances à long terme.

Ce travail préalable au stockage permet de préserver la ressource rare qu'est le stockage et d'optimiser techniquement et économiquement les filières de déchets.

- Compléter la palette des solutions industrielles de stockages

La mise en service d'un centre de stockage à faible profondeur permettrait de compléter la palette des solutions de gestion existantes ou en projet. Un tel centre vise à accueillir les déchets de faible activité à vie longue non admissibles au Cires ou au Centre de stockage de l'Aube (CSA). En effet un stockage à faible profondeur permet de confiner les déchets sur des durées plus longues que les centres de surface. A ce titre, les producteurs souhaitent notamment que le stockage à faible profondeur offre une capacité radiologique en chlore 36 plus importante que celle autorisée dans les centres de surface.

Un stockage à faible profondeur est particulièrement favorable à la gestion de radionucléides peu mobiles et présentant une décroissance significative à l'échelle de quelques dizaines de milliers d'années tels que le radium 226 (caractéristique des déchets radifères), le carbone 14 (présent en quantité importante dans les déchets de graphite) ou encore l'américium 241 (présent dans un grand nombre de sources radioactives et dans les déchets bitumés FAVL). Dans les déchets candidats au stockage à faible profondeur, ces radionucléides sont accompagnés de radionucléides à période plus longue : des produits d'activation ou de fission comme le chlore 36 et le technétium 99, des émetteurs alpha comme le thorium, l'uranium ou le plutonium. Ces radionucléides sont pris en compte dans l'évaluation de sûreté du stockage.

La définition des capacités d'accueil d'un centre de stockage à faible profondeur repose sur un processus itératif entre la caractérisation de site par l'Andra, l'amélioration de la caractérisation des déchets par leurs détenteurs autant que de besoin, la conception du centre et l'évaluation de ses performances. Le rapport sur le projet FAVL dû en 2015 au titre du PNGMDR 2013-2015 sera un rapport d'étape, permettant de tirer les enseignements des investigations géologiques en cours et de cette première itération de conception ainsi que d'avancer dans la structuration d'un projet industriel.



## 2. Description générale des déchets faisant l'objet d'une étude d'optimisation de filières

Le groupe a poursuivi l'examen de la liste des déchets recensés en 2011 comme prioritaires pour l'analyse. Il s'agit des déchets de graphite de EDF et CEA, des déchets bitumés FA-VL de Marcoule (CEA), des résidus solides banalisés de Solvay (RSB) et de certains colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs bétons fibres CBF-C'2 de la Hague (Areva). Le groupe a également identifié une problématique liée aux déchets de démantèlement.

### 2.1 Déchets de graphite

Les déchets de graphite d'EDF et du CEA représentent un tonnage d'environ **21 700 tonnes**. Ils peuvent être distingués selon leur origine au sein des réacteurs : empilements en graphite et protections biologiques (cf. Figure 2) d'une part et chemises de cartouches de combustibles d'autre part (cf. Figure 3).

La plus grande part (environ **15 000 tonnes**) proviendra du démantèlement des empilements et protections biologiques des six réacteurs EDF de la filière Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG) de Chinon (37), Saint-Laurent-des-Eaux (41) et Bugey (01). D'après le planning EDF, les premiers déchets de graphite issus du démantèlement proviendront de Bugey 1.



Figure 2 Empilement en graphite

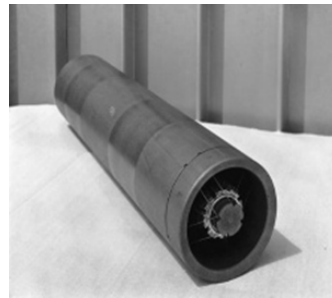


Figure 3 Chemise en graphite

Les chemises du réacteur de Bugey 1 sont stockées au centre de stockage de l'Aube (CSA, Andra) et au centre de stockage de la Manche (CSM, Andra). Les chemises de Chinon A2 et A3 ont été transférées au centre CEA de Marcoule, qui a réalisé le « déchemisage » (récupération des éléments combustibles), puis les a concassées et entreposées dans les fosses de l'installation MAR 400 et de l'installation de dégainage. Les chemises de Saint Laurent-des-Eaux sont entreposées dans des silos semi-enterrés sur site. L'ensemble des chemises représente un tonnage d'environ **2 700 tonnes**.

Environ **3 930 tonnes** seront produites également par le démantèlement des réacteurs expérimentaux G1, G2 et G3 du CEA ainsi que celui des réacteurs EL2, EL3 et Rapsodie.

L'essentiel des radionucléides contenus dans les déchets sont des produits d'activation (PA) du graphite et de ses impuretés : c'est le cas notamment du cobalt 60 et du fer 55 pour les PA à période courte, du carbone 14, chlore 36, calcium 41, nickel 59 et 63, niobium 94... pour les PA à période longue. Il s'y ajoute des produits de fission (strontium 90, césium 137 et 135, technétium 99...) et des actinides (américium, plutonium...) qui ont été relâchés par des combustibles lors du fonctionnement des réacteurs.

Les plus fortes activités dans les empilements sont représentées par le carbone 14, le tritium et le nickel 63 et dans les chemises par le fer 55, le cobalt 60, le nickel 63 et le strontium 90.

Une attention particulière est portée aux activités du chlore 36 et du carbone 14, principaux contributeurs à l'impact à long terme en stockage dû pour le chlore 36 à sa mobilité et pour le carbone 14 à son inventaire initial important associé au risque de présence d'une forme organique mobile dans le stockage. La phase organique du carbone 14 fait l'objet d'études particulières.

Pour le conditionnement de ses déchets de graphite, EDF a développé en concertation avec l'Andra un nouveau conteneur en béton armé. Les déchets sont mis dans un panier métallique qui est ensuite placé dans le conteneur en béton (cf. Figure 4). Un coulis de blocage vient remplir l'intérieur avant sa fermeture par un bouchon également en béton. Le CEA prévoit l'utilisation du même conditionnement pour ses déchets de graphite.

Le conditionnement des déchets de graphite d'EDF et du CEA conduira à un volume à stocker de l'ordre de **79 600 m<sup>3</sup>**.

Les déchets de graphite sont classés dans la catégorie « FA-VL » dans l'inventaire national des matières et déchets radioactifs (édité par l'Andra tous les trois ans). Leur nomenclature est présentée dans le Tableau 1.



Figure 4 Colis de graphite à l'étude par EDF

Tableau 1 Nomenclature de l'inventaire national 2012 pour les déchets de graphite

Empilements, réflecteurs, aires de support, en graphite (anciens réacteurs UNGG d'EDF)	F5-2-02
Empilements et réflecteurs en graphite, dans l'ancien réacteur G1 (CEA / Marcoule)	F5-5-02
Déchets graphite des réacteurs expérimentaux (EL2, EL3, Rapsodie) du CEA	F5-5-03
Empilements et réflecteurs en graphite, dans les anciens réacteurs G2 et G3 (CEA / Marcoule)	F5-6-01
Chemises en graphite entreposées sur le site d'EDF (EDF / Saint Laurent A)	F5-2-01
Chemises en graphite entreposées à Marcoule (CEA / Marcoule)	F5-4-01

## 2.2 Colis d'enrobés bitumineux de Marcoule

Depuis mai 1966, les effluents liquides radioactifs générés par les opérations d'exploitation des installations du site de Marcoule sont traités à la Station de Traitement des Effluents Liquides (STEL) et entreposés par catégorie selon leur activité. Le traitement chimique de ces effluents produit des boues concentrées sous forme solide qui sont enrobées dans du bitume avant d'être conditionnées en fûts. Au fur et à mesure de leur production, les fûts bitumineux de la STEL ont été répartis sur le site de Marcoule dans différentes installations de types fosses et casemates.

Le procédé d'enrobage mis en œuvre entre 1966 et 1987 a produit également des fûts de relargage issus du traitement des eaux de relargage. La majorité des fûts de relargage font l'objet d'un accord de principe de l'Andra pour leur acceptation au Centre de stockage de l'Aube (CSA). Une partie est aujourd'hui déclarée « FA-VL ».

A partir de janvier 1995, les fûts bitumineux ont été produits selon une spécification de référence dite qualité produit « 300 AQ 048 ».

Le CEA estime que certains fûts d'enrobés bitumineux relèvent de la catégorie « FA-VL » de par leur inventaire radiologique établi au travers de l'historique des combustibles traités à l'origine. Ces enrobés ont été produits entre 1966 et janvier 1995 et représentent les fûts anciens les moins radioactifs.

En l'absence de spécification d'acceptation de colis dans un stockage de déchets FA-VL, les critères de tri considérés par le CEA pour définir les colis d'enrobés bitumineux FA-VL sont issus des spécifications d'acceptation Andra des colis de déchets au CSA :

- une activité alpha par fût inférieure à 10,72 GBq à 300 ans ;
- un débit de dose au contact du fût inférieur à 60 mGy/h.

Compte tenu de ce tri, les plus fortes activités dans les enrobés bitumineux FA-VL sont représentées par le plutonium, l'américium 241, le technétium 99, le niobium 94 et le tritium. Ils contiennent également du chlore 36 et de l'iode 129.

Une attention particulière est portée aux activités du chlore 36, de l'iode 129, du technétium 99 et du plutonium, principaux contributeurs à l'impact à long terme en stockage. Cela résulte pour le chlore 36 et l'iode 129 de leur mobilité, pour le technétium 99 de sa sensibilité aux conditions oxydantes et pour le plutonium de sa nocivité en cas d'accessibilité directe des déchets à l'homme (en cas de scénario d'intrusion humaine involontaire).

La totalité des casemates d'entreposage doit être progressivement reprise à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire Défense. Lors de la reprise, les fûts primaires en acier noir sont reconditionnés en sur-fûts en acier inoxydable. La reprise de l'ensemble des fûts produits est prévue par le CEA d'ici fin 2035. **32 901** fûts bitumés sont affectés à la catégorie « FA-VL » et **28 831** fûts bitumés (à terminaison de l'exploitation de l'atelier de bitumage de la STEL de Marcoule) au type MA-VL.

Une partie de ces fûts est déjà extraite et reconditionnée pour être placée dans l'installation d'entreposage intermédiaire polyvalent (EIP). Les fûts bitumés repris, depuis l'an 2000 de la zone nord d'entreposage de Marcoule et depuis 2006 des casemates 1 et 2 de la zone sud d'entreposage, et entreposés à l'EIP sont des fûts FA-VL.

Les enrobés bitumineux ont pour emballages primaires :

- des fûts de 225 litres en acier noir pour la production de 1966 à 1995 ;
- des fûts de 217 litres en acier noir pour la production de 1995 à 1996 ;
- Des fûts de 217 litres en inox pour la production depuis 1996.

La composition de l'enrobé est donnée pour indication dans la Figure 5. La masse moyenne d'enrobés bitumineux est d'environ 254 kg par fût.

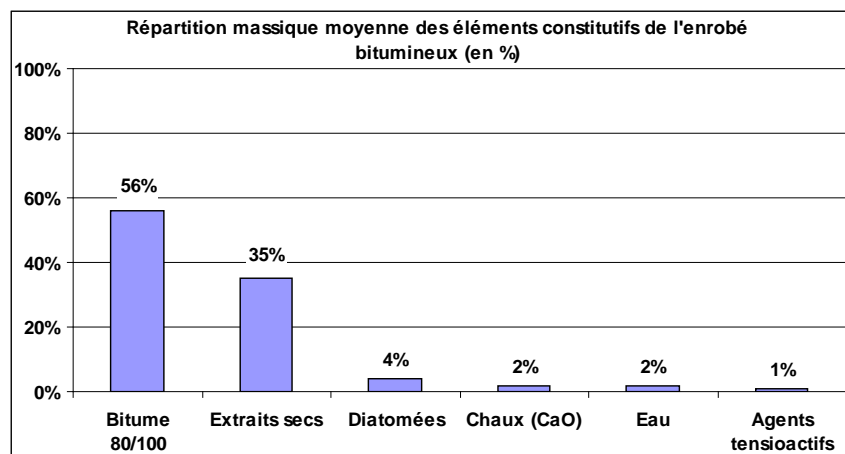


Figure 5 Composition de l'enrobé bitumineux

Le volume de colis primaires des fûts de bitumes FA-VL est de **12 500 m<sup>3</sup>**. Celui des fûts de bitume MA-VL est de **11 000 m<sup>3</sup>**.

Une fois placés dans des sur-fûts EIP de 380 litres, les colis FA-VL représentent un volume EIP d'environ **42 000 m<sup>3</sup>**.

La nomenclature de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs de l'ensemble des enrobés bitumineux de Marcoule est présentée dans le Tableau 2.

*Tableau 2 Nomenclature de l'inventaire national 2012 pour les déchets bitumés de Marcoule*

Catégorie « FA-VL »	Colis d'enrobés bitumineux, produits avant janvier 1995 (CEA / Marcoule)	F9-4-01
	Fûts de relargage « soupape » (CEA / Marcoule)	F9-4-02
Catégorie « MA-VL »	Colis d'enrobés bitumineux, produits depuis janvier 1995 (CEA / Marcoule)	F2-4-03
	Colis d'enrobés bitumineux, produits avant janvier 1995 (CEA / Marcoule)	F2-4-04
Catégorie « FMA-VC »	Colis de relargage de boues provenant de l'ancienne machine de bitumage (CEA / Marcoule)	F3-4-08
	Colis de déchets solides d'exploitation (avec ou sans fûts de bitumes)	F3-4-03

### 2.3 Résidus solides banalisés

Jusqu'en juillet 1994, la Société Rhodia Opérations (préalablement Rhodia Electronics & Catalysis) a traité, dans son usine de La Rochelle, de la monazite, minerai faiblement radioactif contenant des terres rares, du thorium et de l'uranium. Les terres rares entrent notamment dans la fabrication de la micro-HIFI-vidéo et de catalyseurs pour automobiles. Cette utilisation a généré des déchets dont un "résidu solide banalisé" (RSB), produit entre 1987 et 1994.

Ce déchet, provenant de l'attaque chimique de la monazite, se présente sous forme d'une poudre humide dont l'extrait sec est composé essentiellement de phosphate de calcium, de silice, d'oxydes de terres rares et d'oxyde de zirconium.

La majorité des RSB a été déposée dans la zone portuaire de La Pallice selon un cadre administratif contrôlé. Compte-tenu de la fermeture de la zone de dépôt courant 1993, la production de RSB des derniers mois a été entreposée sur site.

Les RSB entreposés sur le site de La Rochelle représentent un tonnage de 8 400 tonnes et un volume de 7 000 m<sup>3</sup>. Ils sont disposés en vrac sur une aire étanche sous bâche thermosoudée.

Du fait d'un procédé de production continu sur une période de moins d'un an, les RSB sont de composition relativement stable tant en composés majeurs que mineurs.

Les RSB sont composés majoritairement de terres rares (1 000 t sous forme oxyde), de calcium, de silice, de sulfate et de phosphate. Ils contiennent également environ 35 tonnes de thorium (autour de 15 Bq/g) et 4 tonnes d'uranium (autour de 5 Bq/g) stabilisés dans une matrice phosphate. Les RSB contiennent en outre des impuretés mineures.

Le débit de dose au contact est voisin de 10 µSv/h, soit comparable à celui estimé pour des résidus de traitement dynamique des minerais d'uranium (contenant 30 à 40 Bq/g de radium 226) tels que ceux stockés dans les bassins de Bellezanne.

Les tests de lixiviation montrent une absence de relargage de thorium, d'uranium et de radium. Cette stabilité du RSB s'explique notamment par l'effet séquestrant du phosphate, présent dans le RSB.

Depuis septembre 2014, il est prévu de conditionner les RSB dans un conteneur métallique développé par l'Andra, de volume utile 5,7 m<sup>3</sup> et de volume externe 7,9 m<sup>3</sup>. Le volume du produit ainsi conditionné est évalué à **9 700 m<sup>3</sup>**.

Le RSB est considéré comme un déchet de catégorie « FA-VL » et a été classé sous la référence F6-8-02 dès la mise en place du premier inventaire national des matières et déchets radioactifs.

## 2.4 Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs bétons fibres CBF-C'2 (Areva La Hague)

L'exploitation des différents ateliers et laboratoires implantés sur le site Areva de La Hague génère des déchets technologiques (gants, vinyles, tenues) qui sont conditionnés dans l'atelier AD2, selon des procédés qui tiennent compte de leur nature et de leur activité. Le même type de déchets sera également généré par des opérations de démantèlement des équipements des usines (outillages, équipements métalliques, ...). D'autres déchets conditionnés selon le même procédé proviennent de la reprise de fûts anciens entreposés dans le Bâtiment 119 (historique La Hague et déchets issus de l'usine de fabrication des combustibles MOX [MELOX] de Marcoule).

Depuis mars 1994, en remplacement du conditionnement en colis « Conteneurs Amiante Ciment », une partie de ces déchets est conditionnée dans des conteneurs en béton-fibres cylindriques de type CBF-C2. Ces colis sont triés sur la base des critères d'acceptation au centre de stockage de l'Aube de l'Andra (CSA). Tous les colis dépassant ces critères sont alors appelés CBF-C'2 et sont affectés à Cigéo. Les autres colis sont expédiés pour être stockés au CSA.

Le retour d'expérience d'Areva de la production d'environ 5 000 colis à fin 2010 montre que les caractéristiques de ces colis conduisent à une répartition continue entre des valeurs de critères acceptables au CSA et des valeurs plus élevées. De ce fait Areva estime qu'une partie des colis affectés aujourd'hui par défaut à Cigéo pourrait relever d'une catégorie « FA-VL ». Cela a conduit le GT à les intégrer dans ses réflexions.

En l'absence à ce jour de critères d'acceptation de colis en stockage à faible profondeur (cf. section 4.2), Areva s'est fondé sur les critères d'acceptation au CSA afin d'identifier la population de colis CBF-C'2 à considérer dans l'étude d'optimisation de leur gestion.

L'analyse menée par Areva sur la répartition des valeurs caractérisant ces colis montre que :

- Il existe plusieurs milliers de colis dont le débit équivalent de dose bêta gamma au contact à la production est inférieur au critère d'acceptation au CSA ;
- Il existe plusieurs centaines de colis dont l'activité massique alpha à 300 ans est inférieure à la limite maximale d'activité (LMA) du CSA, et plusieurs milliers inférieurs à 5 ou 10 fois cette LMA à 300 ans ;
- La plupart des colis possèdent des activités massiques en émetteurs bêta à vie longue ( $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{126}\text{Sn}$ ) très inférieurs aux critères d'acceptation dans un stockage de surface.

Les critères de sélection utilisés par Areva reposent sur une majoration des critères du CSA en termes de débit de dose et de LMA en émetteurs alpha à 300 ans. Sur ces bases, Areva estime qu'environ 30 % de la population des colis produits pourraient faire l'objet d'une étude d'acceptation en stockage à faible profondeur, soit **1 368 colis** CBF-C'2 correspondant à un volume de stockage de **1 614 m<sup>3</sup>**.

En élargissant cette proportion à toute la population produite et prévisionnelles, cela correspondrait à environ **2 700 colis** CBF-C'2, soit **3186 m<sup>3</sup>** pour un volume total prévisionnel (qui reste largement à affiner pour la partie démantèlement) d'environ 9 700 m<sup>3</sup> pour l'ensemble des colis CBF-C'2.

Dans le cadre des travaux du groupe, Areva a précisé les activités totales de radionucléides d'intérêt au sens de ce qui précède, d'une population de 1 368 CBF-C'2 candidats au stockage à faible profondeur sur le site investigué :

- $^{129}\text{I}$  = 8,56 MBq à la production ;
- $^{36}\text{Cl}$  = 5,09 GBq à la production ;
- $^{126}\text{Sn}$  = 21 GBq à la production ;
- Total bêta gamma = 5,07 10<sup>6</sup> GBq à la production ;
- Total alpha à 300 ans = 1,65 10<sup>5</sup> GBq.

Compte tenu de ce tri, les plus grandes activités des colis de déchets CBF-C'2 qui pourraient relever d'une catégorie « FA-VL » sont dues au césium 137, strontium 90 et au curium 244. En radionucléides à vie longue, ils contiennent majoritairement de l'américium 241, du plutonium, du technétium 99 et dans une moindre mesure du chlore 36, de l'iode 129 et du carbone 14.

Le débit d'équivalent de dose à la production au contact d'un colis moyen (i) en bêta gamma est de l'ordre de 20 mSv/h et (ii) en neutron est d'environ  $4.10^{-3}$  mSv/h.

Les déchets solides d'exploitation sont déposés dans des étuis, des paniers ou des fûts métalliques de 400 litres, suivant leur origine. Ces déchets pré-conditionnés ainsi que les poubelles irradiantes des laboratoires sont ensuite déposés dans les conteneurs cylindriques en béton-fibres. Les colis de déchets CBF-C'2 sont conditionnés selon la spécification 300 AQ 044.

Le remplissage des conteneurs se fait par injection, sous vibrations, de béton fibré de même composition que l'enveloppe. Un dispositif (plateau métallique) évite la remontée des déchets lors de l'injection du coulis. La masse moyenne du colis fini est d'environ 2 552 kg pour un volume de 1,18 m<sup>3</sup>.



Figure 6 Ecorché d'un conteneur béton fibres cylindrique (inactif)

Les colis CBF-C'2 sont entreposés horizontalement (Figure 1), sur 8 niveaux au maximum, dans les ateliers EDS (Entreposage Déchets Solides), ADT (Aire Déchets Technologiques), EDS/EDT (Entreposage Déchets Technologiques)-et EDC (Entreposage Des Coques).

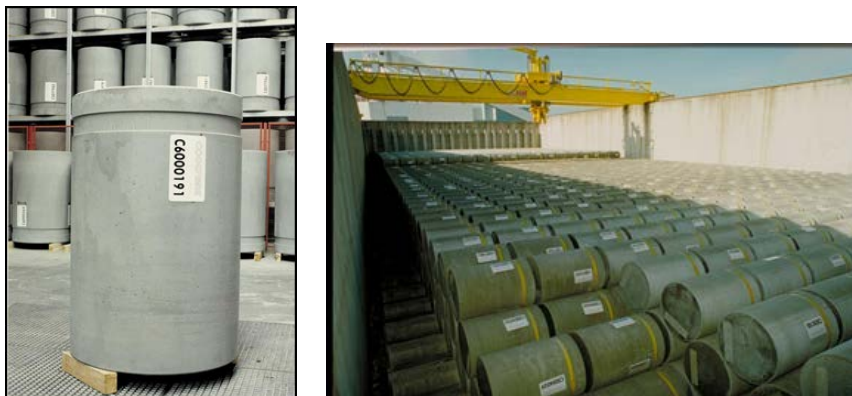


Figure 7 Entreposage des colis béton-fibres CBF-C2 cylindriques

Dans le cadre de l'édition 2015 de l'Inventaire National des matières et déchets radioactifs, à paraître en juin 2015, Areva a déclaré les 1 368 colis de déchets CBF-C'2 identifiés comme potentiellement FA-VL, dans la catégorie « FA-VL » sous le nom de famille F9-3-03.

### 3. Voies d'optimisation étudiées et scénarios alternatifs

#### 3.1 Déchets de graphite

Compte tenu de leur inventaire présumé en produits d'activation à vie longue mobiles (en particulier le chlore 36, estimé initialement de l'ordre de 32 TBq), les études menées par l'Andra jusqu'en 2009 conduisaient à proposer un stockage à une centaine de mètres de profondeur pour ces déchets.

Depuis 2010, les évolutions en matière de caractérisation radiologique et les récents développements en matière de procédés de traitement ont conduit l'Andra, EDF et le CEA à envisager, pour leurs déchets de graphite, d'autres scénarios de gestion, fondés sur des opérations de tri et de traitement en amont, pouvant élargir le choix de filières de stockage. Il s'agit des scénarios suivants :

1. Stockage à une quinzaine de mètres de profondeur sur le site investigué par l'Andra en intégrant des possibilités de tri ;
2. Traitement de décontamination, suivi d'une destruction totale et stockage des résidus dans Cigéo ;
3. Traitement de décontamination partielle et stockage du graphite traité sur le site investigué et des résidus dans Cigéo ;
4. Stockage en couche argileuse à une centaine de mètres de profondeur ou dans Cigéo.

EDF et le CEA ont engagé un programme de caractérisation pour améliorer la connaissance des caractéristiques de leurs déchets de graphite. Les résultats encourageants déjà obtenus sur les empilements EDF et les chemises entreposées sur le site CEA de Marcoule ont conduit le GT à considérer le premier scénario comme la voie d'optimisation de gestion à privilégier. La faisabilité de ce scénario dépendra des résultats du programme de caractérisation déployé, présenté à la section 4.7 et des capacités d'accueil du futur centre de stockage à faible profondeur à l'étude dont un point d'avancement est explicité à la section 4.2.

Par précaution, EDF étudie également depuis plusieurs années des solutions de traitement du graphite, notamment par décontamination thermique suivie ou non de destruction par gazéification. Les résultats de ces travaux permettront d'évaluer la faisabilité des scénarios 2 et 3 au cas où une partie ou l'ensemble des déchets de graphite EDF et CEA ne seraient pas compatibles avec le stockage à faible profondeur étudié. Un point d'avancement des travaux sur le traitement est décrit au paragraphe 4.3.

#### 3.2 Fûts d'enrobés bitumineux

Dans le cadre du programme de reprise des fûts d'enrobés bitumineux anciens, le CEA mène des travaux de caractérisation radiochimiques et nucléaires, adossés à des développements continus de moyens de mesures permettant de mieux cadrer l'inventaire des déchets bitumés FA-VL.

A l'instar des déchets de graphite, la voie d'optimisation privilégiée par le GT pour la part FA-VL de ces déchets est leur stockage à faible profondeur sur le site investigué par l'Andra. Son aboutissement dépendra également des résultats des travaux complémentaires de caractérisation sur la part de la population de fûts restant encore à reconditionner, présenté à la section 4.1 et des capacités d'accueil du futur centre de stockage à faible profondeur à l'étude.

Dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, le CEA analyse également un scénario prospectif du traitement des enrobés bitumineux du site de Marcoule sous l'angle technique, économique et de sûreté. Les principales conclusions de cette étude sont présentées à la section 4.3.

En cas de non compatibilité de ces déchets avec le stockage étudié, l'opportunité d'un stockage à une centaine de mètres de profondeur sera à analyser si cette solution était retenue pour les déchets de graphite ou un stockage dans Cigéo.

### 3.3 Résidus solides banalisés de Solvay

Les RSB sont intégrés dans l'inventaire des déchets radifères destinés au stockage à l'étude par l'Andra sur le site investigué. Solvay étudie des procédés de traitement en vue d'une valorisation du thorium et des terres rares contenus et/ou de réduction du volume à stocker. La réduction des quantités de thorium dans les RSB peut leur ouvrir l'opportunité d'une filière TFA. La possibilité de stocker les RSB en l'état dans un stockage accueillant des déchets TFA est aussi étudiée.

Les considérations initiales qui ont alimenté les réflexions sur une optimisation de leur gestion sont les suivantes :

- Les RSB, de par leur activité massique en thorium et uranium, ne sont pas acceptés dans les installations de stockage des déchets dangereux (ISDD, application de la circulaire du 10 juin 2003).
- Les RSB, de par leur contenu en thorium notamment (environ 35 t), ne sont pas acceptés au Cires dont la capacité est administrativement (Arrêté préfectoral d'exploitation) limitée en thorium (3 t).
- Le stockage tel que retenu pour les déchets radifères paraît pour Solvay peu optimisé pour les RSB au regard de leur composition radiologique (quelques dizaines de Bq/g) et de leur stabilité chimique.
- Le RSB contient l'équivalent d'environ 1 000 t d'oxydes de terres rares, qui sont des composés valorisés dans des marchés en croissance tels que la fabrication d'équipements électroniques comme les écrans plats, la téléphonie mobile, les catalyseurs, les ampoules basse consommation, l'optique de précision, les radars, les turbines d'éoliennes (jusqu'à plusieurs centaines de kilogrammes de néodyme par éolienne offshore). Les terres rares sont également utilisées pour leurs propriétés catalytiques (raffinage et dépollution automobile) ou électromagnétiques en tant qu'aimants permanents dans la fabrication de moteurs électriques ou d'alternateurs.

Compte tenu de ces éléments, différentes solutions de gestion pour les RSB sont proposées par Solvay :

- Stockage de surface avec des résidus provenant du traitement d'uranium naturel (minerais, concentrés uranifères) dont la radiotoxicité intrinsèque est du même ordre de grandeur. Le stockage en vrac ou après conditionnement en Big-Bag (au global 7 000 m<sup>3</sup>) est proposé.
- Stockage de surface dans un nouveau centre pour les déchets TFA à capacité renforcée en thorium (environ 50 t au lieu de 3 t). Le conditionnement privilégié serait un Big-Bag (au global 7 000 m<sup>3</sup>) similaire à celui utilisé par l'Andra sur le Cires.
- Calcination des RSB et stockage à faible profondeur du résidu calciné avec les autres déchets radifères, représentant au global 4 000 m<sup>3</sup> de volume à stocker en conteneur de 6 m<sup>3</sup> (conditionnement retenu pour les déchets radifères), De manière alternative, le matériau calciné est envisagé comme matériau de remplissage pour des conteneurs de 6 m<sup>3</sup> (cas où les fûts de résidus radifères devraient être surconditionnés en conteneur).
- Traitement hydrométallurgique permettant de valoriser les terres rares et le thorium contenu dans les RSB avec production de deux types de déchets, l'un destiné à un stockage de surface (7 000 t en ISDD ou TFA avec capacité thorium supérieure à 3 t), l'autre de type radifère conditionné en conteneur 6 m<sup>3</sup> (au global 500 m<sup>3</sup>) destiné à un stockage à faible profondeur. Ce traitement permet également d'extraire plus de 90 % du thorium contenu et de valoriser 1 000 t de terres rares.

Ces solutions de gestion ont fait l'objet de premières évaluations (investissements, coûts opératoires). Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'un rapport [3] transmis par Solvay à la DGEC en décembre 2013.

Le scénario optimisé n'est pas encore choisi à ce stade. En effet, si les options de gestion des RSB intégrant des retraitements cherchent à réduire le volume de déchets à stocker dans la filière à faible profondeur, l'adéquation économique entre le coût global du scénario et son bénéfice reste, même en cas de valorisation, en bonne partie fondée sur le coût de prise en charge des déchets dans le futur centre de stockage à faible profondeur et du calendrier de sa mise en œuvre.



### 3.4 Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en conteneurs bétons fibres CBF-C'2

Ces colis de déchets sont destinés par précaution à un stockage dans Cigéo pour l'ensemble de la population. La voie d'optimisation étudiée est fondée sur la définition de critères d'acceptation au stockage à faible profondeur. En effet, aucun tri de déchets ou de colis n'est nécessaire puisque les colis étudiés à ce stade sont tous produits et leurs caractéristiques connues pour chaque colis. Ces critères seront fournis ultérieurement par l'Andra en fonction de l'avancement de ce projet de stockage (cf. section 4.2).

Selon Areva, l'intérêt et les éléments de faisabilité technique, réglementaire, et économiques d'une telle optimisation sont fondés sur les éléments suivants :

- Même si les coûts des stockages en projet (Cigéo et faible profondeur) ne sont pas connus à ce jour, le coût d'un stockage à faible profondeur devrait a priori être nettement inférieur à celui d'un stockage de type Cigéo ;
- Les tris des déchets sont déjà réalisés pour distinguer les CBF-C2, les CBF-C2i (plus irradiants mais acceptés au CSA), et les CBF-C'2. L'optimisation envisagée ne nécessiterait donc pas d'opération supplémentaire de tri des déchets ;
- Les modes de transport (concept d'emballage, obtention et gestion de l'agrément de transport, et flotte) étudiés pour l'évacuation des CBF-C'2 vers Cigéo seraient envisageables vers un stockage à faible profondeur ;
- Si les échéances de leur mise en service le permettent, l'évacuation simultanée vers Cigéo et les futures installations de stockage à faible profondeur permettrait une optimisation de la gestion des entreposages ;
- Il existe dès à présent des populations de colis pouvant alimenter les deux stockages ;
- Compte tenu du caractère moins irradiant des colis proposés pour un stockage à faible profondeur, la gestion des opérations de désentreposage et de transport vers ce stockage ne posera pas de problème de radioprotection nouveau mais pourra au contraire bénéficier du retour d'expérience des expéditions vers Cigéo.

La mise en œuvre de cette voie d'optimisation consistant en l'acceptation d'une partie des colis CBF-C'2 en stockage à faible profondeur dépendra de la capacité d'accueil de ce futur centre et de la compatibilité de ces colis avec ces futures installations (notamment la gestion de leur caractère irradiant par des dispositifs spécifiques de radioprotection).

### 3.5 Récapitulatif

Le Tableau 3 présente un récapitulatif des différents scénarios de gestion étudiés par typologie de déchets.

Pour les déchets de graphite et les colis d'enrobés bitumineux FA-VL, le scénario « Caractérisation + stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra » est considéré comme la voie d'optimisation recherchée. Sa faisabilité est liée à l'avancement du projet de stockage à faible profondeur dont un point d'étape est fixé en juin 2015.

Les RSB de Solvay sont destinés au stockage à faible profondeur sur le site étudié. Le scénario optimum n'est pas encore fixé, il dépend de l'adéquation économique entre stockage direct et traitement associé à des filières de stockage adaptées après traitement. La faisabilité de ces dernières reste à évaluer.

La voie d'optimisation recherchée pour une partie des CBF-C'2 est un stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra. A l'instar des déchets de graphite et bitumés, la prochaine échéance dans la faisabilité de ce scénario est fixée à juin 2015.

Tableau 3 Scénarios de gestion étudiés pour les déchets de graphites, les colis d'enrobés bitumineux, les RSB et une partie des CBF-C'2

Déchets	N°	Scénarios à l'étude	Volume TFA (m <sup>3</sup> )	Volume stockage sur le site investigué par l'Andra (m <sup>3</sup> )	Volume stockage sur un autre site à définir (m <sup>3</sup> )	Volume stockage dans Cigéo (m <sup>3</sup> )
Graphite	1	Caractérisation + stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	79 600	0	0
	2	Caractérisation, tri, stockage à faible profondeur étudié par l'Andra + stockage dans Cigéo	0	69 600	0	10 000
	3	Décontamination + destruction totale du graphite, stockage des résidus dans Cigéo	0	0	0	Reste à déterminer
	4	Décontamination partielle, stockage du graphite traité à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra + résidus dans Cigéo	0	79 600	0	Reste à déterminer
	5	Stockage sur un autre site à définir	0	0	79 600	
Bitumes FAVL	1	Caractérisation + stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	42 000	0	0
	2	Traitement + stockage des résidus dans Cigéo	0	0	0	21 000
	3	Stockage sur un autre site à définir	0	0	42 000	0
	4	Stockage dans Cigéo	0	0	0	42 000
RSB	1	Stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	9 700	0	0
	2	Stockage avec des résidus miniers				
	3	Traitement métallurgique + valorisation, stockage d'une partie au Cires ou ISDD, stockage d'une autre partie à faible profondeur	7 000	500	0	0
	4	Traitement de réduction de volume, stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	4 000	0	0
	5	Stockage en filière TFA	9 700	0	0	0
CBFC'2	1	Identification de colis pouvant être stockés à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	1 614	0	0
	2	Stockage dans Cigéo	0	0	0	1 614

## 4. Etat d'avancement des axes d'optimisation étudiés

### 4.1 Amélioration de la caractérisation des déchets de graphite et des enrobés bitumineux

#### 4.1.1 Déchets de graphite

L'inventaire radiologique des déchets de graphite présentait un caractère enveloppe lié à des incertitudes sur son évaluation. Ces incertitudes proviennent notamment du manque de connaissance sur la sensibilité de l'inventaire à des paramètres tels que le coke utilisé, le procédé de fabrication des éléments de graphite, l'historique d'exploitation du réacteur et le procédé de démantèlement.

Pour lever ces incertitudes, EDF a développé une méthode d'évaluation fondée sur des mesures réalisées sur des prélèvements, provenant d'empilements de chaque site, retraitées ensuite par calcul. Cette méthode a permis une évaluation plus précise de l'activité du chlore 36, à 300 GBq pour les empilements, soit cinquante fois inférieure à l'estimation initiale de 2007.

EDF prévoit d'appliquer cette méthode de caractérisation aux chemises qui présentent à ce jour un inventaire radiologique majorant de 5 TBq (cette première évaluation a été fondée sur un très faible nombre de mesures et prélèvements). Elle sera réalisée en deux étapes :

- Sur la base des mesures que le CEA avait réalisées sur les chemises de Chinon A 2 et 3, une extrapolation par calcul sera réalisée en première approche ;
- Sur la base de chemises provenant de Saint Laurent A, des prélèvements seront réalisés pour être analysés et les résultats seront retraités par calcul, comme cela a été effectué pour les empilements.

Le CEA a engagé une ré-évaluation de l'inventaire de ses déchets de graphite en utilisant la même démarche que EDF. Les empilements des réacteurs de Marcoule font l'objet de calculs d'activation et d'études géostatistiques. Les résultats d'inventaire radiologique obtenus par cette méthodologie sur les empilements EDF ont largement démontré les marges d'optimisation restantes. Les travaux engagés par le CEA sur le réacteur G1, sur la période 2014-2016, devraient conduire à une très sensible diminution des estimations d'inventaire radiologique. Des calculs d'activation associés à une analyse statistique sur les échantillons disponibles doivent démarrer en 2015 sur les réacteurs G2 et G3 pour aboutir à une meilleure définition de l'inventaire à l'horizon 2018.

EDF et le CEA ont fourni dans leur rapport sur les inventaires des déchets de graphite dû au titre du PNGMDR 2013-2015 [4] une mise à jour de l'inventaire radiologique des déchets de graphite, qui est estimé à 1,71 TBq en  $^{36}\text{Cl}$  pour l'ensemble des empilements et des chemises.

#### 4.1.2 Fûts d'enrobés bitumineux

L'inventaire radiologique des enrobés bitumineux produits avant janvier 1995 présente un caractère enveloppe lié à des incertitudes sur son évaluation de par l'historique de leur production. Les opérations de reprise des fûts de bitumes menées depuis le début des années 2000 ont permis au CEA d'affiner les connaissances des inventaires radiologiques, grâce d'une part à des mesures systématiques non destructives sur chaque fût par spectrométrie gamma, et d'autre part grâce à des micro-prélèvements suivis d'analyses radiochimiques sur environ 5 % des fûts statistiquement représentatifs des populations.

Pour tous les fûts FA-VL repris à ce jour (environ 10 000 fûts sur un inventaire de 32 901 fûts), les analyses radiochimiques indiquent que les teneurs en radionucléides à vie longue ( $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{129}\text{I}$ ) sont systématiquement inférieures aux limites de détection (respectivement  $\leq 3$  Bq/g et  $\leq 5$  Bq/g).

Le CEA a ainsi poursuivi ses travaux visant à réduire les seuils de détection du chlore 36 et de l'iode 129 en vue de mieux encadrer l'inventaire radiologique des fûts d'enrobés. Ainsi, l'inventaire en ces deux radionucléides pris égal au seuil de détection amélioré a été réduit d'un facteur 34 pour le chlore 36 et de 10 pour l'iode 129 (par rapport à l'estimation initiale de fin 2008). Cela conduit à des activités en iode 129 de 43 GBq et en chlore 36 de 25 GBq.

A l'issue de ces travaux, les enrobés bitumineux présentent la radioactivité totale reportée dans le Tableau 4. L'histogramme de la Figure 8 indique la répartition du débit de dose à la production pour les fûts produits entre 1966 et janvier 1995.

Le CEA estime que des perspectives d'une baisse supplémentaire sont encore possibles pour l'inventaire en iode 129, sur la base de la mise en œuvre de techniques analytiques en spectrométrie de masse par accélération.

Tableau 4 Inventaire radiologique des enrobés bitumineux de Marcoule

	2013	2030	300 ans	Principaux radionucléides
Total alpha	1,6E+14	1,6E+14	1,2E+14	<sup>238</sup> Pu, <sup>239</sup> Pu, <sup>240</sup> Pu, <sup>241</sup> Am, <sup>244</sup> Cm
Total bêta, gamma vies courtes	3,7E+15	2,5E+15		<sup>90</sup> Sr, <sup>137</sup> Cs,
Total bêta, gamma vies courtes	2,3E+13	2,2E+13		<sup>99</sup> Tc, <sup>151</sup> Sm

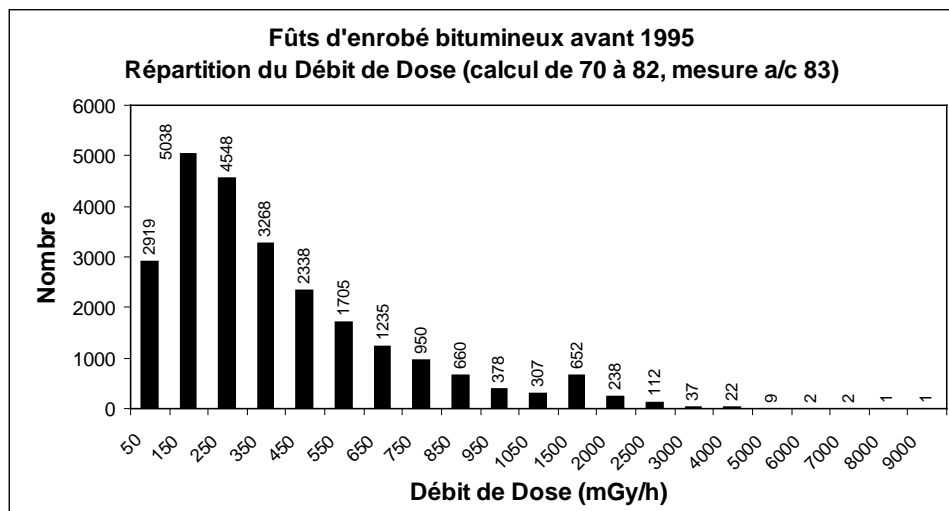


Figure 8 Répartition du débit de dose des fûts d'enrobés bitumineux FA-VL

## 4.2 Etat d'avancement des études et travaux sur le stockage de déchets FA-VL

### 4.2.1 Contexte

Dans le cadre de la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), l'Andra a remis fin décembre 2012 au Gouvernement son rapport sur les scénarios de gestion à long terme des déchets FA-VL qui conclut à la nécessité de lancer des investigations géologiques pour l'implantation éventuelle d'un stockage à faible profondeur des déchets radifères. La possibilité d'y intégrer des déchets de graphite, des déchets bitumés et autres déchets FA-VL est à analyser sur la base des résultats des investigations géologiques et des travaux de caractérisation et de R&D sur ces déchets.

Le décret du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR 2013-2015 prévoit que :  
« 1. - Les solutions de stockage mentionnées au 1° de l'article 4 de la loi du 28 juin 2006 susvisée sont étudiées et conçues par l'ANDRA pour recevoir des déchets de faible activité à vie longue, tels que :

1° Les déchets de graphite et de procédés associés issus du démantèlement des réacteurs uranium naturel graphite-gaz (UNGG) ainsi que d'autres réacteurs, notamment d'expérimentation ;

2° Les déchets radifères dont l'activité massique est telle qu'elle ne permet pas leur stockage en centre de surface ;

3° D'autres types de déchets de faible activité à vie longue, notamment certains effluents bitumés, des substances contenant du radium, de l'uranium et du thorium de faible activité massique ainsi que certaines sources radioactives scellées usagées à vie longue de faible activité.

*Sur la base des investigations géologiques qui pourront être réalisées sur la période 2013-2015, de la poursuite de la caractérisation des déchets, des actions de recherche spécifiques sur le traitement des déchets et d'une analyse de sûreté, l'ANDRA remet aux ministres chargés de l'énergie et de la sûreté nucléaire, pour le 30 juin 2015, un rapport comprenant :*

*1° L'analyse de faisabilité des scénarios de gestion pour les déchets de graphite et les déchets bitumés, avec notamment l'opportunité ou non de relancer la recherche d'un site de stockage sous couverture intacte ;*

*2° Un dossier de faisabilité du projet de stockage sous couverture remaniée, le périmètre des déchets à y stocker et le calendrier de sa mise en œuvre. »*

Suite aux orientations données par l'Etat, des investigations géologiques ont été engagées en 2013 dans l'Aube à proximité des centres de stockage exploités par l'Andra pour les déchets FMA-VC et TFA. Conformément à la demande des élus, un comité de concertation a été mis en place sous l'égide de l'Etat pour définir les modalités d'accompagnement du projet et les commissions locales d'information existantes sont régulièrement informées de l'avancement.

Les investigations réalisées et les études correspondantes concernent un stockage à une quinzaine de mètres de profondeur.

L'évaluation des études menées en 2015 permettra de définir les orientations pour les phases suivantes et de préciser les scénarios de gestion des différents types de déchets FA-VL.

#### **4.2.2 Concept de stockage à faible profondeur**

Le concept de stockage à faible profondeur envisagé pour les déchets FA-VL est une implantation des alvéoles de stockage dans une couche à dominante argileuse affleurante ou sub-affleurante dont le niveau d'implantation et la technique de réalisation seront adaptées aux caractéristiques du site d'accueil.

Après fermeture, l'objectif fondamental du stockage est de protéger les personnes et l'environnement contre les risques liés à la dissémination des substances radioactives contenues dans les déchets, ainsi que de l'exposition externe. Certains déchets radioactifs pouvant également comprendre des toxiques chimiques, le respect de l'objectif fondamental assigné à un stockage implique aussi de considérer le risque potentiel associé à la présence de ces substances.

La conception du stockage à faible profondeur est fondée sur les orientations générales de sûreté de l'ASN [2] qui stipulent que : *« l'installation de stockage de déchets FA-VL doit être conçue principalement pour confiner les déchets efficacement pendant quelques dizaines de milliers d'années. Au terme de cette durée, l'activité contenue dans les déchets devra avoir atteint un niveau résiduel tel que les expositions de l'homme et de l'environnement ne soient pas inacceptables même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation. »*

Sur les premières dizaines de milliers d'années, l'objectif fondamental ci-dessus se décline en fonctions de sûreté vis-à-vis des différentes voies de transfert possibles de la radioactivité des déchets (et des toxiques chimie) jusqu'à l'homme. Les dispositifs mis en œuvre pour assurer ces fonctions doivent rester disponibles de manière passive, c'est-à-dire sans nécessiter d'action humaine au-delà d'une période définie.

La première fonction consiste à isoler les déchets des phénomènes naturels ainsi que des activités humaines banales. Elle protège l'homme de l'irradiation par les déchets et de la contamination radioactive ou chimique par contact ou par poussières.

Vis-à-vis des transferts par l'eau, la sûreté du stockage repose sur les fonctions suivantes :

- limiter la circulation de l'eau ;
- limiter le relâchement des radionucléides et des toxiques chimiques au plus près des déchets (empêcher leur mise en solution, favoriser leur précipitation et/ou favoriser des formes chimiques peu mobiles des solutés) ;
- retarder et atténuer la migration des substances radioactives et toxiques relâchés hors des alvéoles de stockage<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> « Retarder » signifie augmenter la durée du transfert vers la biosphère, ce qui permet de réduire l'impact du fait de la décroissance radioactive. « Atténuer » la migration doit se comprendre dans une double acception, à la fois dans le temps et dans l'espace. Pour un

Vis-à-vis des transferts des gaz, il s'agit de limiter l'exhalaison à la surface de gaz radioactif.

Les études de conception du stockage en cours permettront de caractériser et d'évaluer ces fonctions ainsi que d'identifier les dispositions à mettre en œuvre pour respecter les objectifs de sûreté assignés dans les orientations de sûreté de l'ASN en tenant compte des spécificités des différents déchets FA-VL et des caractéristiques du site.

#### 4.2.3 Etudes techniques en cours

La conception du stockage s'inscrit dans un processus itératif dont les données d'entrée sont les caractéristiques du site d'accueil et la connaissance des déchets candidats à ce stockage (Figure 9).

La première itération de ce processus d'études, fondée sur les caractéristiques de site réel, est conduite sur la période 2013-2015, en s'appuyant sur les acquis des études génériques qui ont été menées antérieurement. Jusqu'en 2012, l'Andra avait travaillé sur des données de site génériques.

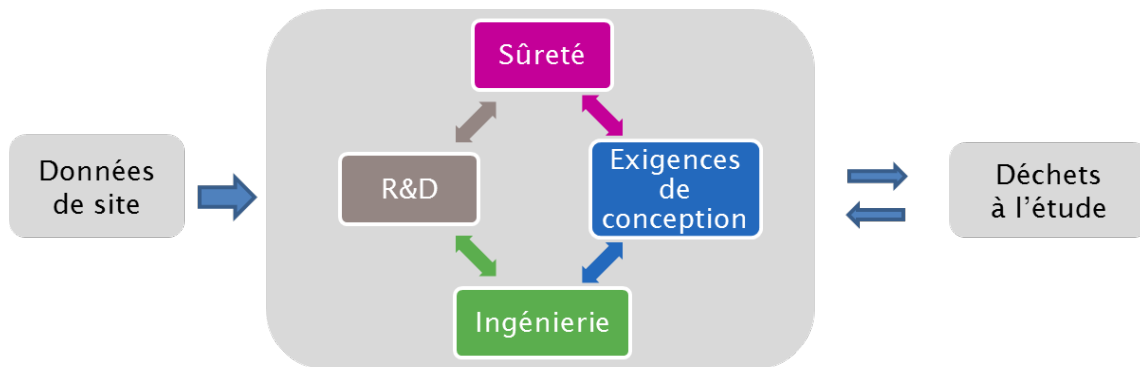


Figure 9 Processus itératif de conception du stockage

Les investigations géologiques menées par l'Andra depuis juillet 2013 sur la communauté de communes de Soulaines ont permis de disposer d'un premier bilan de connaissance de site.

Les producteurs ont établi une liste de déchets à étudier pour le stockage. Les déchets concernés sont les déchets radifères (Solvay, CEA, Areva, Andra), les déchets de graphite d'EDF et du CEA, les déchets UNGG de la Hague (Areva), les colis de déchets bitumés FA-VL de Marcoule (CEA), les colis de déchets CBF-C'2 décrits plus haut et des déchets à radioactivité naturelle renforcée.

L'Andra mène des travaux de R&D pour évaluer le comportement des déchets en situation de stockage dans des milieux cimentaires et argileux. Ces travaux contribuent aux choix de conception notamment en termes de recommandations de matériaux à introduire dans le stockage, définition des composants ouvragés, exigences sur les architectures des alvéoles de stockage... Les études d'ingénierie en cours permettront de disposer d'éléments sur les architectures et le dimensionnement des alvéoles et des zones de stockage ainsi que sur les techniques de réalisation pertinentes en fonction des caractéristiques géotechniques du site et de la profondeur d'implantation des alvéoles de stockage.

Sur la base des données de site, des options de conception étudiées et des caractéristiques des déchets, des études de sûreté sont menées en vue d'évaluer les performances du stockage de chaque typologie de déchets. Ces performances sont mises au regard des objectifs de sûreté fixés par l'ASN.

Les résultats de cette première itération seront intégrés au rapport d'étape de 2015 qui permettra (i) de mettre à la disposition de l'État des éléments techniques et scientifiques sur un stockage à faible profondeur sur le site investigué, (ii) de mettre à jour le bilan de scénarios de gestion des déchets de graphite et bitumés et (iii) de progresser vers des critères d'acceptation des colis dans un stockage à faible profondeur sur le site investigué.

temps de parcours moyen donné et à quantité constante, un flux de radionucléides sera d'autant moins nocif que son panache est plus étendu et que son arrivée dans la biosphère est répartie sur une période de temps plus longue.

## 4.3 Etat d'avancement des études de traitement des déchets de graphite, des colis d'enrobés bitumineux et des RSB

### 4.3.1 Déchets de graphite

EDF étudie depuis plusieurs années des solutions de traitement du graphite, notamment par décontamination thermique suivie ou non de destruction par gazéification.

Le traitement étudié consiste à porter le graphite, préalablement broyé, à une température supérieure à 1 000 °C dans un four balayé par un mélange gazeux adapté, avec pour objectif un départ des radionucléides volatils et partiellement volatils. Les radionucléides entraînés par le flux gazeux sont captés et stabilisés pour conditionnement et stockage ultérieur dans une installation adaptée.

Au cours du traitement, les conditions opératoires sont contrôlées pour limiter la destruction de la matrice graphite, et favoriser une décontamination sélective du carbone 14 vis-à-vis du carbone 12 stable, constituant très largement majoritaire du graphite nucléaire. Le traitement des gaz issus de la décontamination génère une quantité de déchets induits dont une partie est proportionnelle à la quantité de carbone stable gazéifié. Il est donc indispensable, pour éviter leur foisonnement, de maximiser la sélectivité de l'extraction du carbone 14.

A l'issue de cette première étape de traitement thermochimique, une seconde étape a été considérée consistant en la gazéification totale du graphite. Une mise en œuvre industrielle de cette seconde étape suppose que les rejets atmosphériques de graphite gazéifié soient acceptables, impliquant de bonnes performances de l'étape de décontamination.

Dans ce contexte, des travaux de R&D ont été engagés autour de trois principaux axes.

- La recherche des conditions opératoires optimales, au travers d'un contrat entre EDF et Studsvik, de travaux réalisés dans le cadre de l'Institut (EDF / CEA), et des thèses financées ou co-financées par EDF.
- La démonstration de la faisabilité industrielle du traitement, *via* la réalisation par Studsvik d'études de niveau APS d'un prototype semi-industriel.
- L'acceptabilité en stockage des déchets induits par le traitement. Ce dernier point fait l'objet d'un contrat entre EDF et l'Andra.

Des travaux sur des simulants de graphite irradié ont montré qu'une décontamination poussée en chlore 36 est envisageable. Sur des déchets réels, la faisabilité d'une décontamination partielle en carbone 14 est démontrée en laboratoire, accompagnée d'un départ quasi-total du tritium. En l'état actuel des connaissances, le traitement n'apparaît cependant pas suffisamment performant et sélectif pour retenir le scénario de gazéification totale du graphite, du fait des rejets atmosphériques en carbone 14 qui seraient générés.

Ainsi le traitement ne peut plus être vu actuellement que comme un moyen de favoriser l'acceptabilité du graphite partiellement décontaminé dans un stockage à faible profondeur dont les caractéristiques ne seraient pas suffisantes pour stocker les déchets de graphite en l'état.

Au vu de ces éléments, le scénario alternatif « décontamination et destruction du graphite et stockage des résidus dans Cigéo » est écarté. Le scénario alternatif « décontamination partielle et stockage du graphite décontaminé à une quinzaine de mètres et des résidus dans Cigéo » continue d'être envisagé, avec les réserves mentionnées ci-avant.

### 4.3.2 Enrobés bitumineux

Concernant le scénario prospectif du traitement des enrobés de boues bitumées, le CEA en a analysé l'opportunité sous l'angle technique, économique et de sûreté de l'installation comparativement au stockage. D'après le CEA, les points clés de l'étude prospective, due au titre du PNGMDR 2013-2015, d'un traitement par incinération/vitrification et qui fera l'objet d'un rapport spécifique détaillé début 2015 sont les suivants :

- Des études exploratoires ont été menées en 2003-2005 par le CEA, en réalisant des expériences d'incinération-vitrification d'enrobés simulants inactifs sur un pilote de traitement. Ces expériences avaient conclu à des verrous majeurs en termes de faisabilité technologique.
- Les verrous technologiques et de procédé identifiés sont de plusieurs types. Les conditions de maîtrise des réactions physico-chimiques entre l'enrobé bitumineux et les adjuvants de vitrification sont très étroites. Les gaz et poussières de combustion sont particulièrement complexes à traiter, des rejets radiologiques et de composés gazeux chimiques dans l'environnement ne pourront pas être évités, etc.) Ces éléments, revisités sous l'angle des analyses de connaissances actuelle et des réglementations en vigueur sur les installations de traitement de déchets, conduisent le CEA à réaffirmer le caractère défavorable du traitement thermique de colis de déchets déjà conditionnés, en regard de l'option de stockage des colis d'enrobés bitumineux.

Le rapport spécifique PNGMDR du CEA présentera les éléments de l'analyse technique conduite, une étude économique, une analyse de type MTD (Meilleure Technique Disponible) et une analyse de risques.

### 4.3.3 RSB

Compte-tenu du niveau d'investissement de plusieurs dizaines de millions d'euros estimé lors d'une étude d'ingénierie préliminaire, Solvay a étendu l'étude de retraitement hydro-métallurgique en vue d'optimiser technico-économiquement la gestion globale des déchets et matières stockées sur son site de La Rochelle : matières thorifères (HBTh, nitrate de thorium), RSB et MES.

Le travail mené par Solvay a permis notamment de valider la conception d'une installation polyvalente adaptée au retraitement séquentiel des trois produits sur une quinzaine d'années.

Pour l'option traitement thermique, il apparaît nécessaire d'évaluer l'impact du caractère dispersable de tels résidus dans le cadre des études de sûreté en exploitation du futur centre de stockage.

Concernant, l'option retraitement hydrométallurgique, la solution envisagée à ce jour est techniquement valide. La justification d'un tel choix devra intégrer, outre les filières disponibles à la date du retraitement et leurs coûts respectifs, l'étendue d'une éventuelle requalification en déchets des matières thorifères. Solvay s'appuiera alors sur l'étude Andra/AREVA/Solvay des solutions de gestion des matières thorifères si celles-ci étaient requalifiées de déchets et dont la remise est prévue pour le 30 juin 2016.

## 5. Autres axes de réflexions du groupe

### 5.1 Déchets de démantèlement

Le terme de démantèlement, de façon générale, couvre l'ensemble des opérations réalisées après l'arrêt définitif d'une installation, afin d'atteindre un état final prédéfini, fonction de l'usage futur des locaux à assainir. Les déchets radioactifs majoritairement produits par les opérations de démantèlement sont des déchets de catégorie « TFA » et en moindres quantités des déchets de faible et moyenne activité à vie courte : démontage des équipements, assainissement des locaux, assainissement ou réhabilitation des sols, démolition éventuelle du génie civil... Ces opérations génèrent des volumes de déchets qu'il faut conditionner et évacuer vers les centres de stockage de l'Andra. L'ensemble de ces opérations est réalisé dans des conditions garantissant la protection des personnes, des biens et de l'environnement.



Les déchets TFA produits peuvent présenter des volumes très importants et des niveaux d'activités très faibles voire non mesurables. Ces déchets sont actuellement stockés dans le centre de stockage du Cires. Les résultats des prévisions de production déclarées par les exploitants dans l'Inventaire national 2012 montrent des volumes de 1 300 000 m<sup>3</sup> de déchets TFA à fin 2030 et 2 000 000 m<sup>3</sup> à terminaison. La capacité réglementaire du Cires est de 650 000 m<sup>3</sup>.

Pour permettre d'économiser la ressource rare des stockages de déchets radioactifs, plusieurs axes d'amélioration sont envisagés depuis la production du déchet radioactif jusqu'à sa filière d'élimination :

### 1) Réduction du volume à la production

Les volumes produits dépendent tout d'abord des méthodologies adoptées pour l'assainissement-démantèlement d'une installation, notamment issues du guide de l'ASN relatif aux méthodologies d'assainissement des structures des bâtiments et pour la gestion des sols des périmètres INB. Le démantèlement et l'assainissement reposent sur la notion de zonage des déchets qui permet de définir une limite physique entre les déchets conventionnels et les déchets susceptibles d'être radioactifs. Le zonage des déchets est principalement fondé sur la connaissance de l'historique de fonctionnement de l'installation. Les incertitudes concernant cet historique et l'organisation et l'exploitation des locaux conduisent à surestimer les déchets TFA. Ainsi, un volume très important de déchets TFA est déclaré avec une activité radiologique majorée, en particulier par le biais d'une déclaration forfaitaire. C'est donc sur les méthodologies qu'il faut progresser, notamment en réalisant un tri par la mesure radiologique pour séparer les éléments « conventionnels » des éléments radioactifs. Ainsi, les producteurs estiment que via la mise en œuvre de méthodologies basées sur la mesure pour n'assainir que les points contaminés d'une zone, il serait ensuite possible de réduire la quantité de déchets radioactifs au travers du « déclassé » de cette zone dès lors qu'une cartographie de mesures confirmerait l'absence d'activité radiologique ayant un impact pour l'environnement et la santé.

### 2) Recyclage et valorisation des matériaux de démantèlement

Du fait de leur niveau d'activité ou de l'absence d'activité, 10 000 tonnes par an au moins de déchets métalliques TFA permettraient de produire après tri et fusion une matière première secondaire susceptible d'être réutilisée sans contrainte de radioprotection. La doctrine de sûreté française ne permet cependant pas de réutiliser des matériaux classés déchets TFA dans le secteur conventionnel. A ce jour, il n'a toutefois pas été identifié d'installations nucléaires susceptibles de réutiliser massivement ces matériaux dans des conditions économiques viables.

Le démantèlement d'usines comme l'usine Georges Besse I à Pierrelatte produira des quantités très importantes de déchets métalliques : 180 000 m<sup>3</sup> de ferrailles sont attendues à l'issue du démantèlement de GBI. Ces ferrailles sont très faiblement ou non contaminées et sans impact pour l'environnement et la santé. Cependant, l'absence de seuil de libération en France ne permet pas actuellement de réutiliser ce type de matériaux de démantèlement. La fusion pourrait permettre de décontaminer ces métaux issus de GBI et de produire un matériau dont la teneur en uranium est inférieure au seuil défini dans la directive européenne 2013-59 de 2013. Ainsi ces lingots de fusion pourraient, sous certaines conditions, être réutilisés.

La valorisation des gravats issus de la démolition de certaines installations est étudiée pour combler les vides des alvéoles de stockage du Cires. En 2012, une étude commune a permis de conclure qu'il permettrait l'économie de 7 % des volumes des alvéoles restantes à construire (si le béton était considéré comme une matière et non un déchet). Une étude technico-économique de mise en œuvre est en cours sur ce sujet.

### 3) Stockage

Le stockage sur site de certains déchets « nucléaires » de démolition des installations pourrait être envisagé. Il s'adresserait à des déchets aux niveaux d'activité les plus bas, par exemple des gravats qui font l'objet d'une déclaration forfaitaire en vue de leur stockage au Cires.

Le CEA estime que le stockage sur site conduirait à perdre la mutualisation apportée par le Cires. Il estime également que les flux de déchets TFA issus des programmes de démantèlement et assainissement du CEA sont insuffisants pour promouvoir cette solution sur ses centres avec des activités nucléaires pérennes : la viabilité économique d'une installation de stockage n'étant pas atteignable lorsque les flux prévisionnels présentent des périodes d'étiages à environ 350 m<sup>3</sup> par an, soit un camion tous les 15 jours ou 1 % des livraisons annuelles actuelles au Cires.

En ce qui concerne EDF, la valorisation sur site de gravats significativement en deçà des critères TFA doit être étudiée au cas par cas (notamment pour le comblement d'éventuelles cavités). Elle nécessite un niveau de contraintes réglementaires acceptable et ne doit pas remettre en cause le potentiel des actifs fonciers concernés.

Areva maintient la possibilité d'étudier l'intérêt de stockage sur site, associé à des programmes spécifiques (démantèlement, déclassement...).

Le planning prévisionnel de remplissage du Cires permettra l'établissement d'un schéma directeur de gestion des déchets TFA<sup>2</sup> tirant partie des différentes solutions de traitement envisageables en amont du stockage. Les optimisations réalisées sur le stockage TFA du Cires permettent d'ores et déjà de disposer dans la même emprise d'une capacité technique de stockage supérieure de 40% à sa capacité réglementaire. Une telle extension de capacité nécessitera néanmoins la modification du décret d'autorisation d'exploitation du centre. Même dans ce cas, la saturation du Cires sera atteinte à l'horizon de 2030 nécessitant ultérieurement la mise en service de nouvelles capacités de stockage TFA.

En ce qui concerne les déchets de faible et moyenne activité à vie courte, les perspectives de production déclarées dans le cadre de l'édition 2012 de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs ne font pas apparaître de saturation anticipée du Centre de stockage de l'Aube, mis en service en 1992. Le CSA devrait en effet être capable d'absorber tous les déchets produits par l'exploitation et le démantèlement des installations nucléaires aujourd'hui en fonctionnement ou dont la construction est décidée.

## 5.2 Démarche technico-économique

Le groupe a initié une réflexion sur l'impact qualitatif de chaque étape de gestion sur le coût global de la filière. Le Tableau 5 présente un récapitulatif de cette réflexion.

---

<sup>2</sup> Le décret du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR 2013-2015 demande l'établissement d'un planning prévisionnel de remplissage du Cires pour fin 2014. Il demande de réaliser un schéma de gestion des déchets TFA

Tableau 5 Impact des différentes opérations sur l'analyse technico-économique de scénarios de gestion

Type de déchet / volume	Scénario de gestion	Tri	Traitement	Entreposage	Conditionnement	Transport	Stockage
Déchets de graphite CEA	Stockage à faible profondeur sur le site investigué	Sans objet	Sans objet	Sans objet dans la mesure où la stratégie du CEA correspond à un stockage direct (quel que soit le type de stockage)			
	Traitement + stockage des résidus dans Cigéo	Sans objet					
	Stockage à une centaine de mètres de profondeur sur un nouveau site à rechercher (pas d'étude menée par l'Andra à ce stade)	Sans objet	Sans objet				
	Stockage dans Cigéo	Sans objet	Sans objet				
	Stockage à faible profondeur sur le site investigué et dans Cigéo : répartition selon l'inventaire radiologique	Ne nécessite a priori pas d'opération physique de tri	Sans objet				
Déchets de graphite EDF	Stockage à faible profondeur sur le site investigué	A ce stade non discriminant ; a priori le retrait des fils de selle sera privilégié quel que soit le mode de gestion	Sans objet	Sans objet dans la mesure où la stratégie d'EDF correspond à un stockage direct (quel que soit le type de stockage)	Non discriminant entre filières (colis de 10 m³) Pas de réduction de volume attendue du traitement	Non discriminant	
	Traitement + stockage des résidus dans Cigéo		En cours d'étude				
	Stockage à une centaine de mètres de profondeur sur un nouveau site à rechercher (pas d'étude menée par l'Andra à ce stade)		Sans objet				
	Stockage dans Cigéo		Sans objet				
	Stockage à faible profondeur sur le site investigué et dans Cigéo : répartition selon l'inventaire radiologique	Ne nécessite a priori pas d'opération physique de tri	Sans objet		Conditionnement en colis de 10 m3. La compatibilité de ces colis avec les installations Cigéo sera à instruire par l'Andra.	Non discriminant	
Résines anioniques EDF issues du démantèlement sous eau	Stockage à faible profondeur sur le site investigué	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Non discriminant entre scénarios de stockage à Cigéo ou à faible profondeur	Non discriminant entre scénarios de stockage à Cigéo ou à faible profondeur	
	Stockage dans Cigéo	Sans objet	Sans objet	Sans objet			
Résines cationiques EDF issues du démantèlement sous eau	Stockage au CSA	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Non discriminant entre scénarios de stockage à faible profondeur ou au CSA	Non discriminant entre scénarios de stockage à faible profondeur ou au CSA	
	Stockage à faible profondeur sur le site investigué	Sans objet	Sans objet	Sans objet			

Type de déchet / volume	Scénario de gestion	Tri	Traitement	Entreposage	Conditionnement	Transport	Stockage
Bitumes FAVL de Marcoule	Stockage à faible profondeur sur le site investigué	Non discriminant (caractérisation imposée par la RCD)	Sans objet	Si ouverture du site en 2025 : pas d'impact sur l'entreposage Si décalage de 10 ans : nécessité d'augmenter la capacité de l'IAE	Référence actuelle : mise en colis de stockage sur site de Marcoule	Référence actuelle : transports IP2	
	Traitement + stockage des résidus dans Cigéo	Sans objet	Traitement de l'ensemble des bitumes Marcoule <sup>3</sup> . Cout discriminant. Prise en compte du gain de volume total à stocker dans Cigéo. .	Deux paires d'alvéoles EIP supplémentaires (mais pas de construction de l'IAE)	Non construction de l'atelier de conditionnement en colis de stockage	Transports supplémentaires entre l'entrepôt et l'atelier de traitement Transport des résidus supposé en type B, impliquant une augmentation des transports correspondants du CEA <sup>4</sup> de type B vers Cigéo de 30 % (pour une réduction de volume des déchets d'un facteur 2)	
	Stockage dans Cigéo	Sans objet	Sans objet	Deux paires d'alvéoles EIP supplémentaires (mais pas de construction de l'IAE). Entreposage à Marcoule jusqu'à l'horizon 2050.	Non construction de l'atelier de conditionnement en colis de stockage	Suppression des transports en IP2 vers le centre à faible profondeur ; nombre de transports IP2 correspondants du CEA vers Cigéo multiplié par 4 environ.	
	Stockage à une centaine de mètres de profondeur sur un nouveau site à rechercher (pas d'étude menée par l'Andra à ce stade)	Sans objet	Sans objet	Si ouverture du centre de stockage en 2030, légère augmentation de la capacité de l'IAE Si au-delà de 2030, plus forte augmentation de la capacité de l'IAE	Pas d'impact	Pas d'impact	
CBF-C'2 d'Areva	Stockage à faible profondeur sur le site investigué	Sans objet (colis déjà produits et caractérisés. Pas de tri déchets ni colis. Poste non discriminant)	Sans objet (déchets déjà produits)	Non discriminant (les horizons de transfert vers Cigéo ou FAVL sont supposés les mêmes).	Déchets déjà conditionnés. Non discriminant	Non discriminant (utilisation des mêmes emballages pour le transport vers Cigéo et vers le stockage à faible profondeur)	Un gain significatif est attendu dans le stockage à faible profondeur au lieu de Cigéo par défaut. Cependant, ce gain est à préciser en fonction des coûts potentiels de gestion dans les installations de stockage à faible profondeur de colis à débit de dose plus élevés que les aux autres colis destinés à ce stockage
	Stockage dans Cigéo						Prévu par défaut dans l'inventaire de Cigéo
RSB de Solvay	Stockage à faible profondeur sur le site investigué						
	Traitement + stockage en surface (Cires ou futur TFA2)						

<sup>3</sup> Le traitement ne constitue pas une option de référence.

<sup>4</sup> Une partie des bitumes MAVL (scénarios sans traitement) est transportée en IP2, l'autre en type B.

## 6. Perspectives vis-à-vis des scénarios de gestion envisagés et des voies d'optimisation et travaux à venir

### 6.1 Déchets de graphite, enrobés bitumineux FAVL, CBF C'2 et RSB

Déchets	N°	Scénarios à l'étude	Volume TFA (m <sup>3</sup> )	Volume stockage sur le site investigué par l'Andra (m <sup>3</sup> )	Volume stockage sur un autre site à définir (m <sup>3</sup> )	Volume stockage dans Cigéo (m <sup>3</sup> )	Résultats à fin 2014	Eléments d'appréciation attendus	Intérêt du scénario
Graphite	1	Caractérisation + stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	79 600	0	0	Résultats de caractérisation : réduction d'un facteur 50 de l'estimation de l'activité en Chlore 36 des empilements EDF	- Orientations en 2015 sur la possibilité de stocker ces déchets sur le site investigué - Résultats complémentaires de caractérisation des chemises EDF attendus d'ici 2018-2019 - Résultats complémentaires de caractérisation des empilements CEA : G1 en 2015-2016, G2 et G3 à l'horizon 2018 - Résultats des travaux de R&D sur la spéciation du C14 en 2016	Intérêt économique de ce scénario, sous réserve de l'acceptation de ces déchets
	2	Caractérisation, tri, stockage à faible profondeur étudié par l'Andra + stockage dans Cigéo	0	69 600	0	10 000	Résultats de caractérisation : réduction d'un facteur 50 de l'estimation de l'activité en Chlore 36 des empilements EDF	- Orientations en 2015 sur la possibilité de stocker ces déchets sur le site investigué - résultats complémentaires de caractérisation des chemises EDF attendus d'ici 2018-2019 - Résultats complémentaires de caractérisation des empilements CEA : G1 en 2015-2016, G2 et G3 à l'horizon 2018 - Résultats des travaux de R&D sur la spéciation du C14 en 2016 - Etude spécifique sur la compatibilité de Cigéo avec le stockage éventuel d'une partie des déchets graphites en 2015-2016	Intérêt technique et économique de ce scénario, sous réserve de l'acceptation de ces déchets
	3	Décontamination + destruction totale du graphite, stockage des résidus dans Cigéo	0	0	0	Reste à déterminer	EDF indique que les performances de décontamination ne sont pas suffisantes pour avoir des rejets acceptables		Scénario écarté pour le moment au vu des rejets en C14 qui seraient générés lors de la destruction du graphite
	4	Décontamination partielle, stockage du graphite traité à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra + résidus dans Cigéo	0	79 600	0	Reste à déterminer	Essais réalisés à l'échelle du laboratoire ayant démontré une capacité de décontamination	- faisabilité du traitement à l'échelle industrielle à démontrer - Mise à jour en 2015 des orientations du programme	EDF estime que ce scénario est moins intéressant comparativement aux scénarios 1 et 2
	5	Stockage sur un autre site à définir	0	0	79 600		Pas de site identifié à ce jour		- Pertinence industrielle à étudier - Pas de site identifié aujourd'hui pour investigation
Bitumes FAVL	1	Caractérisation + stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	42 000	0	0	Amélioration des seuils de détection pour le Cl36 et pour l'I129 ayant permis de mieux cadrer l'inventaire	- résultats complémentaires de caractérisation attendus en 2015 - orientation en 2015 sur la possibilité de stocker ces déchets sur le site investigué	Intérêt économique de ce scénario, sous réserve de l'acceptation de ces déchets
	2	Traitement + stockage des résidus dans Cigéo	0	0	0	Réduction facteur 2	Le CEA exprime un avis défavorable sur le traitement des bitumes (verrous technologiques identifiés par le CEA)	Rapport 2015 du CEA	Scénario écarté par le CEA
	3	Stockage sur un autre site à définir	0	0	42 000	0	Pas de site identifié à ce jour		- Pertinence industrielle à étudier - Pas de site identifié aujourd'hui pour investigation

Déchets	N°	Scénarios à l'étude	Volume TFA (m <sup>3</sup> )	Volume stockage sur le site investigué par l'Andra (m <sup>3</sup> )	Volume stockage sur un autre site à définir (m <sup>3</sup> )	Volume stockage dans Cigéo (m <sup>3</sup> )	Résultats à fin 2014	Eléments d'appréciation attendus	Intérêt du scénario
	4	Stockage dans Cigéo	0	0	0	42 000	Etudes et essais sur la faisabilité du stockage des bitumes dans Cigéo		Coût plus élevé
RSB	1	stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	9 700	0	0			A priori pas d'éléments rédhibitoires au stockage
	2	Stockage avec des résidus miniers						Cohérence d'un scénario de stockage avec des résidus d'exploitation de concentrés d'uranium devra être évaluée sous les angles radiologique et chimique, notamment leur impact vis-à-vis des transferts par l'eau et en cas de situations altérées d'intrusion humaine involontaire.	
	3	Traitement métallurgique + valorisation, stockage d'une partie au Cires ou ISDD, stockage d'une autre partie à faible profondeur	7 000	500	0	0	Faisabilité technique	Faisabilité économique à évaluer	Réduction de volume à stocker Intérêt économique à évaluer
	4	Traitement de réduction de volume, stockage à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	4 000	0	0	Faisabilité technique	Faisabilité économique à évaluer une fois les coûts de chaque opération seront disponibles.	Réduction de volume à stocker Intérêt économique à évaluer
	5	Stockage en filière TFA	9 700	0	0	0		Demande de la part de Solvay auprès de l'Andra, instruction Andra	Intérêt économique, sous réserve de l'instruction de l'Andra
CBF-C'2	1	Identification de colis pouvant être stockés à faible profondeur sur le site étudié par l'Andra	0	1 614	0	0	Etude en cours par l'Andra	Orientation en 2015 sur la possibilité de stocker ces déchets sur le site investigué et critères qualitatifs d'acceptation. Ces critères permettront d'identifier l'inventaire potentiellement acceptable au sein de toute la population de colis CBF-C'2 produits et à produire. Evaluation des adaptations à apporter aux installations	Intérêt économique de ce scénario, sous réserve des orientations données par l'Andra
	2	Stockage dans Cigéo	0	0	0	1 614	Déchets dans l'inventaire de référence de Cigéo		Coût a priori plus élevé

## 6.2 Déchets de démantèlement

Scénarios à l'étude	Résultats à fin 2014	Eléments d'appréciation attendus	Intérêt du scénario
Stockage dans un centre TFA (Cires ou autre centre similaire à créer)	Saturation du Cires à l'horizon 2025-2030	Schéma de gestion des TFA attendu en 2015	Filière mature sur le plan industriel
Stockage in situ	- Réserves du CEA sur l'intérêt économique - EDF : solution à étudier au cas par cas - Maintien de l'intérêt d'Areva pour cette solution sur un périmètre bien défini - Réflexions de l'Andra sur le stockage in situ de déchets TTFA	Schéma de gestion des TFA attendu en 2015	
Recyclage des ferrailles	Faisabilité technique acquise	- Schéma de gestion des TFA attendu en 2015 - Rapport PNGMDR sur le recyclage des métaux (prévu fin 2014)	Réduction des volumes de déchets à stocker Implication de l'ensemble des acteurs et modèle technico-économique à construire, en lien avec la valorisation et le contexte réglementaire français et européen
Recyclage des gravats		Schéma de gestion des TFA attendu en 2015	Réduction des volumes de déchets à stocker
Réduction à la source lors des chantiers de démantèlement	- REX des chantiers de démantèlements : quantités produites plus importantes que prévu.	Réflexion des exploitants sur l'adaptation du zonage déchets en phase démantèlement	Optimisation à mettre en place

## 7. Conclusions et perspectives

Les études et recherches dont l'avancement est présenté dans ce document relèvent d'actions diverses planifiées par le PNGMDR. Le GT constitue une plateforme d'échange et de mise en perspective des résultats de ces actions, assurant la cohérence d'ensemble de l'optimisation de la répartition des déchets entre filières.

A ce stade, le GT a focalisé son analyse essentiellement sur une liste de déchets étudiés pour un stockage à faible profondeur : déchets de graphite EDF et CEA, une partie des fûts d'enrobés bitumineux de Marcoule, une partie des déchets technologiques des usines de la Hague en CBF-C'2 et les résidus solides banalisés de Solvay (RSB).

Pour optimiser les filières de gestion de ces déchets, les axes de travail identifiés par le GT en 2010 ont été poursuivis. Ils sont articulés autour :

- de l'amélioration de l'évaluation de l'inventaire radiologique des déchets et/ou la faisabilité technique et la pertinence d'un tri et d'opérations de traitement ;
- des capacités d'accueil du stockage à faible profondeur à l'étude (inventaire des déchets acceptable).

### 7.1 Déchets de graphite

Des révisions à la baisse des inventaires radiologiques des déchets de graphite des trois réacteurs UNGG du CEA, ainsi que des chemises de EDF ont été présentées par EDF et CEA dans leur rapport sur la caractérisation de ces déchets dû au titre du PNGMDR 2013-2015. Ces réductions d'activités radiologiques sont fondées sur la même démarche que celle déployée ces dernières années par EDF pour ses empilements. Ces nouvelles estimations conduisent en particulier à un inventaire en chlore 36 de 1,71 TBq (au lieu de 32 TBq estimé en 2007) pour les déchets de graphite EDF et CEA. Elles seront consolidées dans les phases suivantes d'études.

Les travaux de R&D sur le traitement des déchets de graphite conduisent EDF à écarter le scénario alternatif « décontamination et destruction du graphite et stockage des résidus dans Cigéo » et à conserver à ce stade le scénario alternatif « décontamination partielle et stockage du graphite décontaminé à faible profondeur sur le site investigué et des résidus concentrés dans Cigéo ».

La révision des inventaires radiologiques ouvre la possibilité de leur stockage à faible profondeur sur le site actuellement investigué par l'Andra.

### 7.2 Enrobés bitumineux de Marcoule

Les inventaires radiologiques en radionucléides à vie longue des colis d'enrobés bitumés les moins actifs de Marcoule, pour une population révisée de 32 901 fûts primaires, ont été également revus à la baisse. Cette évolution résulte notamment des améliorations des techniques analytiques et de l'identification précise des traitements chimiques opérés historiquement lors des périodes anciennes de production démarrées en 1966. Ainsi, les inventaires enveloppes en chlore 36 et iode 129, d'ailleurs toujours fondés sur des limites de détection analytiques, ont été significativement réduits de plus d'un ordre de grandeur.

L'analyse conduite par le CEA sous l'angle technique, économique et de sûreté de l'option prospective d'une reprise par traitement thermique des colis d'enrobés de boues bitumées n'est pas favorable à cette option. Il est à noter qu'au contraire des déchets de graphite et RSB, les enrobés bitumineux ne sont pas des déchets primaires mais des colis de déchets résultant déjà de lourdes opérations technologiques de traitement/conditionnement de déchets primaires (boues de coprécipitation de radionucléides).

L'étude future des voies de gestion des enrobés bitumineux FA-VL est conditionnée à la poursuite de la caractérisation de leur inventaire radiologique et à celle des études d'acceptabilité dans un stockage à faible profondeur sur le site investigué.

### 7.3 RSB

L'optimisation de la gestion des RSB repose sur des évaluations technico-économiques comparées de différents scénarios de gestion allant d'un stockage de surface à un stockage à faible profondeur, avec ou sans traitement de réduction de volume ou de valorisation. Ces évaluations nécessitent de disposer des coûts de chaque opération.

### 7.4 Déchets technologiques en CBF-C'2

L'optimisation de la gestion des déchets technologiques en CBF-C'2 les moins actifs implique de poursuivre l'analyse technique et économique comparée d'un stockage à faible profondeur et d'un stockage à Cigéo. Après avoir défini l'inventaire potentiellement acceptable au stockage FA-VL, l'analyse devra notamment prendre en compte les dispositifs de radioprotection qui devraient être ajoutés dans un centre de stockage à faible profondeur pour y accueillir spécifiquement des CBF-C'2 compte tenu de leur caractère plus irradiant que les autres colis de déchets FA-VL. En fonction de cette étude de conception pour la gestion des débits de dose, AREVA ajustera la liste de ses colis CBF-C'2 en vue de la meilleure optimisation technico-économique.

### 7.5 Perspectives

Au regard des éléments de conclusion des études conduites à ce jour sur les différentes filières de gestion, une articulation entre les différents axes de travail menés par l'Andra et les producteurs sera poursuivie.

Le GT souligne les efforts de caractérisation, notamment pour les déchets de graphite qui ont permis de diminuer significativement les inventaires pour certains radionucléides à vie longue et considère que ces travaux seront amenés à se poursuivre, des résultats étant attendus dans les années à venir.

Les efforts de caractérisation menés à ce jour sur les inventaires radiologiques et chimiques des colis de boues bitumées conduisent également à des réductions notables des inventaires radiologiques en radionucléides à vie longue tels que l'iode 129 et le chlore 36. Ces actions sont poursuivies dans le cadre des opérations de reprise et conditionnements de ces colis sur le site de Marcoule.

Les résultats actuels des études menées par EDF sur le traitement des graphites conduisent EDF à écarter le scénario "destruction totale". Les travaux de R&D sur la décontamination partielle du graphite pourront se poursuivre si nécessaire pour conforter la gestion des déchets de graphite à faible profondeur sur le site investigué par l'Andra.

Les résultats de l'étude technico-économique menée par le CEA sur le traitement par incinération vitrification des colis de boues bitumées conduisent le CEA à écarter ce scénario prospectif.

Le GT considère que la création d'un stockage à faible profondeur, avec des capacités d'accueil en lien avec les besoins industriels fondés sur un inventaire de déchets existants, apporterait un bénéfice important dans l'optimisation des filières.

Le GT propose d'élargir sa réflexion à d'autres déchets tels que les déchets tritiés, les déchets de la dépositante d'Itteville du CEA, les déchets UNGG de La Hague d'Areva en tenant compte le cas échéant des études menées sur certains de ces déchets dans d'autres cadres.

Un travail sur l'évaluation économique des filières de gestion a été initié et sera poursuivi en lien avec l'avancement des travaux de conception des filières en projet.

Les travaux sur l'optimisation de la gestion des déchets de démantèlement seront poursuivis. Les enjeux sont très importants pour la filière industrielle TFA. Avec le Cires, le mode de gestion des déchets TFA tel que déployé en France fonctionne. Les inventaires prévisionnels des futurs déchets TFA qui seront générés en France dans les décennies à venir obligent à ouvrir de nouvelles pistes de réflexion, en vue d'optimiser le mode de gestion en stockage actuel. Ce nouveau sujet est proposé pour faire l'objet d'un travail approfondi dans le cadre du prochain PNGMDR.



## 8. Références

- [1] Rapport du groupe de travail « Optimisation des filières » (Andra, Areva, CEA, EDF, Rhodia, 2012)
- [2] Orientations générales de sûreté de l'ASN en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue – Mai 2008.
- [3] Evaluation technico-économique des modes de gestion des Résidus Solides Banalisés – Solvay, décembre 2013.
- [4] Etat de connaissances sur le contenu radiologique des déchets de graphite du CEA et de EDF relevant du stockage en sub-surface FAVL – Focus particulier sur le chlore 36. Rapport PNGMDR, janvier 2015.



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION  
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet  
92298 Châtenay-Malabry cedex

[www.andra.fr](http://www.andra.fr)