

**Direction Maîtrise d'ouvrage  
Démantèlement et Déchets**



**Situation des Matières Thorifères  
détenues par New Areva  
au 31/12/2017**

**RESUME**

Ce rapport répond à la **première partie de l'article 18 de l'Arrêté du 23 février 2017** pris en application des prescriptions du PNGMDR 2016-2018 : « *Areva et Solvay remettent au ministre chargé de l'énergie avant le 31 décembre 2017 un rapport comprenant: i. les inventaires des matières thorifères qu'ils détiennent, leur description intégrant notamment un inventaire radiologique et chimique, leur localisation et leurs conditions d'entreposage; ii. les traitements ou conditionnements envisageables avant éventuel stockage, si ces matières étaient à l'avenir requalifiées en déchets; iii. les filières de gestion envisageables, dans ce même cas....* »

**-l'inventaire des matières thorifères** détenues par Areva, leurs description, localisation et conditions d'entreposage reprennent les éléments déjà produits dans le cadre de prescriptions antérieures du PNGMDR ; les nitrates de thorium d'Areva contiennent essentiellement du  $^{230}\text{Th}$ , du  $^{232}\text{Th}$  et les autres éléments de sa chaîne de décroissance, chacun avec une activité radiologique de l'ordre de 1500 Bq par gramme de nitrate de thorium.

**-les traitements ou conditionnements** envisageables avant éventuel stockage ne peuvent être abordés que de façon prospective puisque les conditions de faisabilité de ce stockage ne seront étudiées que pour fin 2019, conformément à la prescription de la seconde partie du même article 18 ; la perspective est que la gestion des matières lors des procédés de mise en œuvre de leur valorisation pourrait, sous certaines conditions, être une opportunité pour réaliser des traitements ou conditionnements susceptibles de permettre d'adapter au plus juste besoin les conditions d'un futur stockage éventuel.

**-les seules filières de gestion envisageables** restent pour Areva celles de la valorisation et, à titre conservatoire, autant que de besoins, celles de la préservation des matières dans un entreposage de moyen à long terme.

## OBJET DU DOCUMENT

Depuis près de 10 ans, la situation des matières thorifères détenues par Areva a été abordée dans différents rapports ou études dans le cadre du Plan National de gestion des Matières et des Déchets Radioactifs, PNGMDR, et de ses décrets d'application successifs.

Une première étude a été remise par les propriétaires de matières radioactives valorisables fin 2008 [1], sur les procédés de valorisation envisagés, en application de l'article L 542-1-2 du Code de l'Environnement et du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 relatif au PNGMDR [2] (note commune EDF, CEA, Areva de « Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français »).

En décembre 2010 le rapport PNGMDR « Perspectives de valorisation du Thorium et étude conservatoire de gestion à long terme du thorium » précisait spécifiquement le cas des matières thorifères d'Areva [3]. Solvay (ex-Rhodia) produisait également un rapport similaire concernant ses propres matières [4].

Une mise à jour du rapport de 2008 a été remise fin 2012 [5] dans le cadre de l'article 9 du décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR [6] (rapport 2012, « Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français »).

En septembre 2013, la situation des matières thorifères a à nouveau été mise à jour via la note « Valorisation des matières thorifères, note d'actualisation à septembre 2013 » [7].

L'étude de 2012 a été suivie du rapport PNGMDR de janvier 2015 « Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français et analyse de l'adéquation entre les perspectives de valorisation et les quantités détenues et à détenir » [8], réalisé en application du décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 [9] (PNGMDR 2013-2015, [10]) qui demandait dans son article 9 que : « *Les propriétaires de matières radioactives, à l'exclusion des matières nucléaires affectées aux moyens nécessaires à la mise en œuvre de la politique de dissuasion mentionnée à l'article L. 1333-1 du code de la défense, informent pour le 31 décembre 2014 les ministres chargés de l'énergie et de la sûreté nucléaire des procédés de valorisation qu'ils envisagent ou, s'ils ont déjà fourni ces éléments, des changements envisagés. Ces éléments devront notamment contenir une analyse de l'adéquation entre les perspectives de valorisation et les quantités détenues et à détenir.* »

Dans le cadre de ce même décret (n° 2013-1304 du 27 décembre 2013) [9], le 7 novembre 2014, le directeur de la direction générale de l'énergie et du climat, DGEC, par délégation du ministre, a publié l'arrêté de prescription en application de son article 10 [11]. Cet arrêté prévoyait qu'Areva et Solvay transmettent à l'Andra et à l'Autorité de Sûreté Nucléaire une description détaillée des substances concernées, comprenant notamment un inventaire radiologique et chimique, pour le 28 février 2015.

Début février 2015 une note sur les « Caractéristiques des nitrates de thorium d'Areva à janvier 2015 » (description des caractéristiques physiques, chimiques et radiologiques des nitrates de thorium d'Areva) a ainsi été produite [12]. Solvay remettait également en février 2015 une note d'inventaire de ses matières thorifères [13].

Enfin l'arrêté du 23 février 2017 [14] pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 [15] pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018, prévoit en son article 18 :

*« Areva et Solvay remettent au ministre chargé de l'énergie avant le 31 décembre 2017 un rapport comprenant: i. les inventaires des matières thorifères qu'ils détiennent, leur description intégrant notamment un inventaire radiologique et chimique, leur localisation et leurs conditions d'entreposage; ii. les traitements ou conditionnements envisageables avant éventuel stockage, si ces matières étaient à l'avenir requalifiées en déchets; iii. les filières de gestion envisageables, dans ce même cas.*

*Conformément aux dispositions de l'article D. 542-81 du code de l'environnement, l'Andra remet avant le 31 décembre 2019 au ministre chargé de l'énergie une étude de la faisabilité du stockage de l'hydroxyde de thorium et du nitrate de thorium si ceux-ci étaient à l'avenir requalifiés en déchets, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par leurs propriétaires. L'étude précise le coût associé à ce stockage et l'impact potentiel de ces quantités de substances radioactives sur les filières de stockage en projet. Les propriétaires d'hydroxyde de thorium et de nitrate de thorium contribuent au pilotage et assurent le financement de cette étude.*

*L'ASN est saisie pour avis sur ces études. ».*

Le présent rapport vise à répondre à la **première partie de cet article**. Il se structure suivant quatre parties qui adressent notamment les points i, ii et iii prescrits.

La Partie A décrit la situation actuelle concernant l'inventaire des matières et leurs conditions d'entreposage en réponse au point i.

La Partie B rappelle les perspectives de valorisation des nitrates de thorium détenues par Areva.

La Partie C évoque les filières de gestion envisageables si ces matières devaient néanmoins être requalifiées en déchets, en réponse au point iii.

La Partie D conclut sur les traitements ou conditionnements envisageables avant un éventuel stockage en prenant en compte les perspectives de valorisation, en réponse au point ii.

Compte tenu des rapports déjà fournis, il s'attache principalement à en synthétiser les éléments qui relèvent de la présente prescription et à préciser les perspectives d'avenir.

## REFERENCES

- [1]. Areva, CEA, EDF, 2008, Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français, note commune Areva/CEA/EDF, 16 décembre 2008.
- [2]. Décret n° 288-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.
- [3]. Areva, 2010, Perspectives de valorisation du thorium et étude conservatoire de gestion à long terme du thorium, 14 décembre 2010, 25 pages.
- [4]. Rhodia, 2010, Devenir des Matières Thorium Rhodia si elles devaient être considérées à l'avenir comme déchets, 13 décembre 2010, 24 pages.
- [5]. Areva, CEA, EDF, Rhodia, 2012, Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français, note commune Areva/CEA/EDF, 21 décembre 2012, 24 pages.
- [6]. Décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.
- [7]. Areva, Solvay, 2013, Valorisation des matières thorifères, note d'actualisation à septembre 2013, DMDR NT 2013/0041, 30 septembre 2013, 35 pages.
- [8]. Areva, CEA, EDF, Solvay, 2015, Revue des procédés de valorisation des matières radioactives présentes sur le sol français et analyse de l'adéquation entre les perspectives de valorisation et les quantités détenues et à détenir, 6 janvier 2015, 47 pages.
- [9]. Décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.
- [10]. DGEC, ASN, 2013, Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, 229 pages.
- [11]. DGEC, 2014, Arrêté du 7 novembre 2014 pris pour application du décret no 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l'article L.542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.
- [12]. Areva, 2015, Caractéristiques des nitrates de thorium d'Areva à janvier 2015, description des caractéristiques physiques, chimiques et radiologiques des nitrates de thorium d'Areva, communication externe, DMDR CE 2015 0003, 10 février 2015, 9 pages.
- [13]. Solvay, 2015, Inventaire et description des matières thorifères Solvay, 23 février 2015, 10 pages.
- [14]. DGEC, 2017, Arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret no 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018.

- [15]. Décret no 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018.
- [16]. C. Braun, CH. Lorrain, R. Mahat, R. Mariette, J. Muller et J. Pugnard, 1958, Fabrication du nitrate de thorium pur à l'usine du Bouchet, rapport CEA N° 1017, 14 pages ([www.iaea.org/inis/...ref 38063206.pdf](http://www.iaea.org/inis/...ref 38063206.pdf)).
- [17]. Areva Med 2011, Dossier de presse, Pose de la première pierre du Laboratoire Maurice Tubiana, mai 2011, 8 pages.
- [18]. 2013, La radio-immunothérapie ciblée : une nouvelle arme contre le cancer, Les Coulisses, 20 septembre 2013, édition spéciale, 12 pages.
- [19]. DGEC, ASN, 2010, Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2010-2012, 146 pages.
- [20]. Andra 2011, Etude des filières possibles de gestion des matières thorifères si à l'avenir elles sont considérées comme déchets, 08 février 2011, rapport ZRPADES110003, 59 pages.
- [21]. Andra, 2008, Recherche d'un site de stockage pour les déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FA-VL), juin 2008, N° 325, 36 pages.
- [22]. Andra, 2014, Logique de déroulement du projet FAVL sur le territoire de la Communauté de communes de Soulaines, 24 avril 2014, FNTADPG.14.003, 14 pages.
- [23]. Andra, 2015, PNGMDR 2013-2015, Projet de stockage de déchets radioactifs de faible activité massique à vie longue (FA-VL), rapport d'étape 2015, FRPADPG150010, juillet 2015, 66 pages.
- [24]. ASN, 2016, Avis no 2016-AV-264 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, 29 mars 2016, 9 pages.
- [25]. EDF, 2017, Stratégie de gestions des déchets et des démantèlements, présentation au GT PNGMDR N° 56, 21 avril 2017.
- [26]. Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.
- [27]. Andra, 2017, PNGMDR 2016-2018, Date prévisionnelle de mise en service d'un nouveau centre de stockage dans l'Aube, DG/17-0163, 22 septembre 2017, 3 pages.
- [28]. IRSN, 2015, Avis IRSN/2015-000361, Avis relatif au projet de stockage des déchets de faible activité massique à vie longue (FA-VL) - Rapport d'étape dans le cadre du PNGMDR 2013-2015, 13 novembre 2015, 13 pages
- [29]. IRSN, 2017, Avis IRSN/2017-00097, Avis relatif à l'étude prescrite dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 sur la gestion à long terme des déchets historiques du procédé de conversion du site de Malvési, 29 mars 2017, 18 pages.
- [30]. IRSN, 2017, Avis IRSN/2017-00216, Analyse préalable à la rédaction d'un guide pour le stockage des déchets de faible activité à vie longue, 30 juin 2017, 11 pages.
- [31]. Andra, 2014, Evaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie

longue, Tome 1, Andra.398.B – 306 pages, synthèse - CG-TE-F-NTE-AMOA-EEE-0000-14-0107/A.

- [32]. ASN, 2016, Avis n° 2016-AV- 0259 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l’élaboration du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2016-2018.
- [33]. Andra, 2014, Recommandations pour la conception d’installations d’entreposage s’inscrivant dans la complémentarité avec le stockage, rapport PNGMDR 2013-2015, CG.NT.ADPG.14.0038, 20 pages.

## FIGURES

Figure 1 : Situation 2005 des fûts de nitrate de thorium à Cadarache. ....	8
Figure 2 : Chaines de décroissance des contenus radiologiques du nitrate de thorium .....	11
Figure 3 : Reconditionnement des fûts en acier noir de nitrate de thorium en conteneur en acier inoxydable. ....	17
Figure 4 : Entreposage actuel des conteneurs en acier inoxydable du nitrate de thorium Areva à Cadarache. ....	17
Figure 5 : Pastilles de thorium frittées à partir de poudres de ThO <sub>2</sub> , avec des densités entre 83 et 92%TD. ....	19
Figure 6 : Surface de détermination des débits molaires dans la modélisation de 2010 [3], [20]. ....	23

## GLOSSAIRE

Andra	Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs
ARCoLab	Laboratoire Commun à Areva Med et Roche, Razès, Haute-Vienne
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
ATEF1	Areva Thorium Extraction Facility 1 = LMT
ATEF2	Areva Thorium Extraction Facility 2
BPI	Banque Publique d’Investissement
Bq	Becquerel / désintégrations par seconde
CARAT	Projet CARAT - Consortium pour les Applications de Radio Alpha Thérapies - Financement BPI
CEA	Commissariat à l’Energie Atomique et aux énergies alternatives
CEZUS	Areva NP UGINE, ex Compagnie Européenne du Zirconium

CGI	Commissariat Général à l'Investissement
Cigéo	Centre Industriel de stockage GÉologique
CIRES	Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage
CSFMA	Centre de Stockage de déchets de Faible et Moyenne Activité vie courte de l'Aube
DDPU	Domestic Distribution & Purification Unit, installation d'Areva Med localisée à Plano, Texas (Etats-Unis)
DGEC	Direction Générale de l'Energie et du Climat
EDF	Electricité de France
FAVL	ou FA-VL, Faible Activité à Vie Longue
FMAVC	Faible et Moyenne Activité à Vie Courte
GWe	Gigawatt électrique
HA	Haute Activité
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire
LMT	Laboratoire Maurice Tubiana, Bessines/Gartempe (Haute-Vienne)
MAVL	ou MA-VL, Moyenne Activité Vie Longue
mcr	micro-cristallisé
MMB	Magasin Matières Brutes, Cadarache
MSRs	Molten Salt Reactor, RSF, réacteur à sels fondus
pH	Potentiel Hydrogène
PIGD-VD	Plan Industriel de Gestion des Déchets, Version D
PNGMDR	Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs
Ppm ( $\mu\text{g/g}$ )	Partie par million, microgramme par gramme
PSPC	Projets de recherche et développement Structurants Pour la Compétitivité (partie du programme Investissements d'Avenir opéré par BPI-France pour le CGI)
RIT	Radio-Immuno Thérapie
SCI	Sous Couverture Intacte
SCR	Sous Couverture Remaniée
SBDU	Service des Biens à Double Usage, Direction générale des Entreprises, Ministère de l'Economie et des Finances
SEPA	Service d'Etudes, de Procédés et Analyses Areva, Areva Mines, Bessines
TAO	Projet Thorium d'Areva pour l'Oncologie (TAO)
TD	Theoretical Density
tML	tonne de Métal Lourd
UNGG	Uranium Naturel Graphite Gaz
$\mu\text{Sv/h}$	microSievert par heure

## PARTIE A – SITUATION ACTUELLE

### A.1. INVENTAIRE QUANTITATIF DES MATIERES THORIFERES

L'ensemble des nitrates de thorium d'Areva représente 5500 tonnes de matière dont 2300 tonnes de thorium.

#### A.1.1. Production et conditionnement initial

Le nitrate de thorium, propriété d'Areva NC (et géré par Areva Mines), est issu de l'exploitation, pour l'uranium, des gisements d'uranothorianite de Madagascar dans les années 60. Les fûts de nitrate de thorium ont été produits par l'usine du Bouchet lors des opérations de séparation de l'uranium.

Après exploitation, ces fûts ont été entreposés sur le centre CEA du Bouchet, puis sur le centre CEA de Cadarache.



Le nitrate de thorium a été produit sous forme cristallisé, mis en double poches plastiques puis en fûts d'acier noir de 115 ou 220 litres. Les fûts ont été entreposés sur palettes de bois de 4 fûts de 220 litres ou de 5 fûts de 115 litres, gerbés sur 4 niveaux

**Figure 1 : Situation 2005 des fûts de nitrate de thorium à Cadarache.**

Sur 2005-2012, les fûts ont été sur-enfûtés dans de nouveaux fûts en inox (cf. plus bas).

#### A.1.2. Inventaire quantitatif

La production initiale a généré 22 010 fûts de nitrate de thorium dont 10 287 fûts de 115 litres et 11 723 fûts de 220 litres (volume total de 3762 m<sup>3</sup>, masse totale de 5956 tonnes).

L'ensemble représente 5500 tonnes de matière dont 2300 tonnes de thorium.

En termes d'évolution, s'agissant d'un inventaire historique, on peut souligner qu'il n'est pas prévu d'augmentation des quantités de ces matières thorifères.

## A.2. INVENTAIRE RADIOLOGIQUE ET CHIMIQUE

La production de nitrate de thorium a été réalisée avec l'objectif de préserver la matière en vue d'une future utilisation du thorium. Le procédé de production utilisé a permis d'obtenir un produit pur (à plus de 99 %) d'autant plus facilement valorisable à moyen ou long terme [16].

Les caractérisations chimiques et radiologiques disponibles ont été obtenues - soit (principalement) sur des lots de production dans les années 50/60, - soit plus récemment lors de la mise au point du procédé TAO (Thorium d'Areva pour l'Oncologie) permettant l'extraction du  $^{212}\text{Pb}$  des nitrates en vue d'une utilisation thérapeutique, - puis lors du démarrage de l'activité d'Areva Med au LMT (Laboratoire Maurice Tubiana) à partir de 2013 [17].

La composition et l'activité moyennes des nitrates s'en déduisent par l'analyse ci-après - de la décroissance des différents éléments présents à la production et - de la mesure des éléments actuellement présents - analyse déjà produite en 2015 [12].

### A.2.1. Composition chimique

Les nitrates à la fabrication titraient de 46 à 47.5% de thorium exprimé en  $\text{ThO}_2$  [16], correspondant à un mélange de

{ $\text{Th}(\text{NO}_3)_4, 4 \text{H}_2\text{O}$ } à { $\text{Th}(\text{NO}_3)_4, 6 \text{H}_2\text{O}$ } et impuretés.

A titre d'exemple la production de 1957 avait la composition moyenne en impuretés suivante [16] :

Elément	Ppm ( $\mu\text{g/g}$ )
U	20 à 150
Cl	0
$\text{SO}_3$	0
$\text{P}_2\text{O}_5$	<5
$\text{SiO}_2$	<20
Na	50 à 250
CaO	<10
MgO	<15
Fe	30 à 200
$\text{CeO}_2$	<200

Sur des lots plus récents (1965-1968), le contenu en uranium est en-dessous de 25 ppm (limite de détection).

Dans le cadre du projet TAO, des conteneurs de fûts ont été expédiés au laboratoire SEPA, Areva Mines (site de Bessines). Le SEPA a réalisé des analyses sur des aliquotes

de solutions produites lors de la dissolution des matières, d'où l'on déduit des compositions radiologique et chimique supplémentaires.

Le thorium est effectivement très pur (>99.6 %, hors NO<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>O), les impuretés étant en quantités très faibles :

Elément	ppm (µg/g)	kg au total
Al	<0.5	<2.5
Ca	<1.6	<9
Cd	<0.02	<0.1
Cr	6.5	36
Cu	3.3	18
Fe	3.6	20
Hg	<14.7	<80
K	<0.1	<0.5
Mg	0.15	0.9
Na	<3	<17
Ni	<0.15	<0.9
P	<4.1	<22.7
Pb	11.3	62
Si	20.2	111
Sn	<0.08	<0.5
Sr	<0.13	<0.7
U	25-445	<2445
Zn	0.4	2.2
Zr	<4	<22

### A.2.2. Inventaire radiologique

L'inventaire radiologique actuel résulte de l'inventaire isotopique initial, tel qu'introduit à la fabrication, puis de l'évolution des chaînes de décroissance de chacun des éléments de cet inventaire initial.

Pour un élément donné : - dans une première phase (A.2.2.1) on détermine la quantité contenue dans le nitrate initial, puis – dans une seconde phase (A.2.2.2) on apprécie la décroissance radiologique de cette quantité initiale, ainsi que l'activité additionnelle de cet élément formée à partir de la décroissance des autres éléments inclus à la fabrication.

#### A.2.2.1. Eléments attendus à la fabrication

Le concentré initial d'uranothorianite contenait du thorium et de l'uranium d'origine naturelle ainsi que leurs descendants radiologiques. Les isotopes de l'uranium contenus sont donc principalement les <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U et <sup>234</sup>U (issu de la chaîne de désintégration de <sup>238</sup>U). Ceux du thorium sont les <sup>234</sup>Th (chaîne de <sup>238</sup>U), <sup>232</sup>Th, <sup>231</sup>Th (chaîne de <sup>235</sup>U), <sup>230</sup>Th (chaîne de <sup>238</sup>U), <sup>228</sup>Th (chaîne de <sup>232</sup>Th) et <sup>227</sup>Th (chaîne de <sup>235</sup>U).



**235 U**

Le 235U est potentiellement présent dans les proportions naturelles par rapport au contenu extrait en 238U. Le contenu en 235U s'évalue donc au plus à  $445 \times 0.71\%$ , soit 3.2 µg par g de nitrate.

**234 U**

Le 234U est potentiellement présent dans les nitrates à la fabrication également en quantité à l'équilibre radiologique avec les quantités extraites de son précurseur 238U – soit à hauteur de 0.034 µg par g de nitrate de thorium (pour 238U à 445 µg par g de nitrate de thorium).

**234Th**

Le 234Th est également extrait en quantité à l'équilibre radiologique avec son précurseur 238U, ce dernier étant présent en quantité avant séparation. Les concentrés d'uranothorianites contenaient de 50 à 75% de thorium pour 5 à 20% d'uranium. Le contenu attendu en 234Th peut être évalué à partir du ratio initial U/Th, de 0.07 à 0.4 (en masse, les hautes teneurs en uranium, correspondant aux basses teneurs en thorium et inversement). En supposant l'équilibre radiologique de la chaîne 238U dans le concentré d'origine on obtient de  $1 \cdot 10^{-6}$  à  $5.7 \cdot 10^{-6}$  µg de 234Th par g de thorium, ou de  $0.42 \cdot 10^{-6}$  à  $2.4 \cdot 10^{-6}$  µg de 234Th par g de nitrate de thorium.

**232Th**

Le thorium des nitrates de thorium est très largement dominé par l'isotopie naturelle du thorium, essentiellement sous forme de 232Th qui constitue la quasi-totalité du contenu en masse en thorium.

**231Th**

Le 231Th séparé à la fabrication est aussi celui qui était à l'équilibre radiologique avec son précurseur 235U avant séparation. La quantité 235U avant séparation étant à 0.71% de la quantité 238U également avant séparation (U/Th de 0.07 à 0.4), on attend de  $20 \cdot 10^{-10}$  à  $1.1 \cdot 10^{-8}$  µg de 231Th par g de thorium, ou  $8 \cdot 10^{-10}$  à  $0.47 \cdot 10^{-8}$  µg de 231Th par g de nitrate de thorium.

**230Th**

Le contenu initial attendu en 230Th peut être évalué, comme pour 234Th, à partir du ratio initial U/Th, de 0.07 à 0.4. En supposant l'équilibre radiologique de la chaîne 238U dans le concentré d'origine on obtient de 1.1 à 6.5 µg de 230Th par g de thorium, ou 0.48 à 2.7 µg de 230Th par g de nitrate de thorium. La période de 75380 ans du 230Th conduit à une activité notable, proche de celle du thorium naturel, voir plus loin.

**A.2.2.2. Chaines de décroissance – Evaluation de la situation radiologique actuelle**

Chacun des éléments ci-dessus, présent à la fabrication, produit par décroissance les éléments de sa chaîne de décroissance, à partir de la date de fabrication des nitrates soit sur une durée d'environ 55 ans.

**238 U**

La présence résiduelle d'uranium de moins de 445 µg par g de matière, conduit à considérer une activité radiologique issue de la chaîne correspondante (4N+2) générée également depuis la mise en fûts (55 ans), à savoir :

Elément	(Bq/g)
238U	<5.5
234Th	<5.5
234Pa	<5.5
234U	<0.0006
230Th et autres 4N+2	<1 10 <sup>-6</sup> chacun

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium.

**235 U**

Le contenu initial en 235 U s'évalue au plus à 3.2 µg par g de matière, comme dit plus haut. La décroissance radioactive de cette quantité (chaîne 4N+3) conduit à des activités à 55 ans faibles de :

Elément	(Bq/g)
235U	<0.25
231Th	<0.25
231Pa	<3 10 <sup>-4</sup>
227Ac et suivants 4N+3	<2 10 <sup>-4</sup> chacun

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium.

**234 U**

Un contenu en 234U initial de 0.034 µg par g de nitrate de thorium (pour 238U à 445 µg par g de nitrate de thorium) conduit (chaîne 4N+2) également à des activités à 55 ans faibles de :

Elément	(Bq/g)
234U	<5.55
230Th	<0.003
226Ra et suivants 4N+2	<3.3 10 <sup>-5</sup> chacun

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium

**234Th**

Un contenu initial en 234Th de 0.42 10<sup>-6</sup> à 2.4 10<sup>-6</sup> µg de 234Th par g de nitrate de thorium conduit (chaîne 4N+2) à des activités à 55 ans essentiellement en 234U et très faibles :

Elément	(Bq/g)
234U	<0.0004
230Th	<2 10 <sup>-7</sup>
Autres 4N+2	<2.5 10 <sup>-9</sup> chacun

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium

**232Th**

La chaîne de décroissance radioactive du  $^{232}\text{Th}$  (chaîne 4N) ne contient que des éléments à vie courte (périodes < 6 ans). Les  $\frac{3}{4}$  de l'équilibre radioactif sont atteints en une quinzaine d'années. Compte tenu de la période de fabrication des nitrates, le thorium y est proche de l'équilibre avec ses descendants.

L'activité moyenne attendue est dans ce cas de 1700 Bq par g de nitrate de thorium pour le  $^{232}\text{Th}$  et chacun de ses descendants.

**231Th**

Un contenu initial de  $8 \cdot 10^{-10}$  à  $0.47 \cdot 10^{-8}$   $\mu\text{g}$  de  $^{231}\text{Th}$  par g de nitrate de thorium produit par décroissance sur 55 ans (chaîne 4N+3) :

Elément	(Bq/g)max	(Bq/g)min
$^{231}\text{Pa}$	$7.9 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
$^{227}\text{Ac}$ et suivants 4N+3	$6.5 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-6}$

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium

**230Th**

La décroissance radioactive à partir d'un contenu initial de 0.48 à 2.7  $\mu\text{g}$  de  $^{230}\text{Th}$  par g de nitrate de thorium (à 55 ans) produit les radio-éléments de la chaîne 4N+2 (chaîne du  $^{238}\text{U}$ ) à savoir :

Elément	(Bq/g)moyen	(Bq/g)max	(Bq/g)min
$^{230}\text{Th}$	1200	2035	362
$^{226}\text{Ra}$	29	49	9
$^{222}\text{Rn}$ et suivants 4N+2	29 chacun	49	9

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium

**Au bilan la composition radiologique moyenne attendue s'apprécie comme suit, en Bq par gramme de matière de nitrate de thorium :**

Elément	(Bq/g)
$^{238}\text{U}$	<5.5
$^{234}\text{Th}$	<5.5
$^{234}\text{Pa}$	<5.5
$^{234}\text{U}$	<5.5
$^{230}\text{Th}$	362-2035
$^{226}\text{Ra}$	9-49
$^{222}\text{Rn}$ et suivants 4N+2	9-49
$^{235}\text{U}$	<0.25
$^{231}\text{Th}$	<0.25
$^{231}\text{Pa}$	< $3 \cdot 10^{-4}$
$^{227}\text{Ac}$	< $2 \cdot 10^{-4}$
$^{227}\text{Th}$ et suivants 4N+3	< $2 \cdot 10^{-4}$
$^{232}\text{Th}$	1700
$^{228}\text{Ra}$	1700
$^{228}\text{Ac}$	1700
$^{228}\text{Th}$	1700
$^{224}\text{Ra}$	1700
Autres 4N	1700

### A.2.2.3. Analyses – Mesures actuelles

Les activités mesurées (TAO, LMT) pour la chaîne **4N** sont globalement conformes à l'attendu et de :

Elément	Moyenne (Bq/g)	Max (Bq/g)	Min (Bq/g)
232Th	1590	1670 (**)	1510 (**)
228Ac	1505	1860	1180
228Th	1720	1860	1580
224Ra	1230	1350	1120
212Pb	1610	1890	1350

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium.

(\*\*) mesure indirecte via 228Ac.

Pour la chaîne **4N+2**, les analyses menées dans le cadre du projet TAO n'ont pas permis de détecter la présence de 234Th dans les matières.

Le 230Th a été mesuré à hauteur de 4.48 µg par g de Th, soit 1.87 µg par g de nitrate de thorium. Quelques mesures faites au LMT sur les isotopes 214Pb et 214Bi tendent de plus à indiquer des niveaux en 230Th de 2 à 4 fois plus faibles, soit de 0.47 à 0.94 µg de 230Th par g de nitrate de thorium.

L'analyse, de 0.47 à 1.87 µg de 230Th correspond à une activité de 355 à 1411 Bq par g de nitrate de thorium – à comparer à la gamme attendue de 362-2035, obtenue en supposant un ratio U/Th avant fabrication de 0.07 à 0.4. La valeur maximale de ce ratio serait donc plus vraisemblablement de 0.28 et non 0.4.

Pour les éléments suivants de la chaîne du 230Th les quantités anticipées de 9-49 Bq/g pour les 226Ra et suivants s'en trouvent ainsi révisées à 9-34 Bq/g. Un rapport d'activité inférieur à 6.6 et 7.3 % a été mesuré entre 226Ra (en équilibre avec 214Pb et 214Bi) et 232Th. L'activité de ces éléments serait ainsi inférieure à 100 - 120 Bq par g de nitrate de thorium (ce qui est compatible avec les 9-34 Bq/g ci-dessus).

On notera enfin que les uranothorianites présentent généralement des rapports d'activités 230Th/232Th voisins de 1. Ce sont donc les valeurs maximales des derniers intervalles qui sont plus vraisemblablement à retenir (1411 Bq/g pour 230Th à comparer à 1590 Bq/g pour 232Th).

In fine, on retiendra les caractéristiques radiologiques moyennes suivantes :

Elément	(Bq/g)
238U	<5.5
234Th	<5.5
234Pa	<5.5
234U	<5.5
230Th	1411
226Ra	34
222Rn et suivants 4N+2	34
235U	<0.25
231Th	<0.25
231Pa	<3 10 <sup>-4</sup>
227Ac	<2 10 <sup>-4</sup>
227Th et suivants 4N+3	<2 10 <sup>-4</sup>
232Th	1590
228Ac	1505
228Th	1720
224Ra	1230
212Pb	1610
Autres 4N	1700

(\*) Bq par gramme de matière de nitrate de thorium.

### A.2.3. Débits de dose et ambiance radon

Les débits de dose au contact des fûts non sur-enfûtés ont été mesurés au LMT dans le cadre de l'activité d'Areva Med. Toutes les valeurs représentatives pour un fût se situent entre 600 et 650  $\mu\text{Sv/h}$  au contact et 25-50  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 m. (des mesures au contact plus basses peuvent être obtenues sur le dessus des fûts, de l'ordre de 250  $\mu\text{Sv/h}$ ).

Les débits de dose pour un fût sur-enfûté sont typiquement inférieurs de quelques dizaines de %.

A l'extérieur, au mur mitoyen de l'entreposage de l'ensemble des fûts sur-enfûtés, les débits sont de 95  $\mu\text{Sv/h}$  à 120  $\mu\text{Sv/h}$  au contact du mur et 75  $\mu\text{Sv/h}$  à 80  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 m. Lors de l'entreposage des fûts non sur-enfûtés, ils étaient de 110  $\mu\text{Sv/h}$  à 170  $\mu\text{Sv/h}$  au contact du mur et 85  $\mu\text{Sv/h}$  à 110  $\mu\text{Sv/h}$  à 1 mètre.

## A.3. LOCALISATION ET CONDITIONS D'ENTREPOSAGE ACTUELLES

Comme dit plus haut, le nitrate de thorium est entreposé sur le centre CEA de Cadarache. Les fûts étant entreposés depuis plus de 30 ans, l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) a demandé en 2002 de sur-enfûter les fûts d'origine, afin de garantir

durablement leur étanchéité et leur gestion sûre. Areva et le CEA ont initié le projet fin 2005.

Sur 2005-2012 ces fûts ont été sur-enfûtés dans de nouveaux fûts et entreposés avec une pérennité supérieure à 50 ans, pour un coût de l'ordre de 15 Meuros.

Le principe retenu a été de placer les fûts dans des « sur-fûts » en inox, en les calant à l'aide de rondelles plastiques positionnées sur et sous le fût d'origine, et de remplacer ensuite les 5500 palettes bois par des palettes en acier galvanisé. Du fait des débits de dose les opérations de dés-entreposage et ré-entreposage ont été réalisées au moyen de chariots électriques à guidage laser contrôlés à distance depuis une salle déportée (Figure 3).

La gestion de ces matières est assurée en termes de sûreté, sécurité et radioprotection, avec les technologies les plus adaptées.

Les fûts sur-fûtés inox sont entreposés dans les halls A, B, C et D du bâtiment MMB (Magasin Matières Brutes), ICPE 411, du CEA Cadarache, sur les palettes métalliques gerbées sur 4 niveaux (Figure 4).



**Figure 3 :**  
**Reconditionnement des fûts en acier noir de nitrate de thorium en conteneur en acier inoxydable.**



**Figure 4 :** Entreposage actuel des conteneurs en acier inoxydable du nitrate de thorium Areva à Cadarache.

L'ampleur du projet et les moyens mis en œuvre confirment l'intérêt donné à la matière et la conviction de ses applications futures. Les conditions d'entreposage actuelles sont compatibles avec une valorisation à court comme à moyen terme. Le conditionnement des fûts est adapté aux manutentions et/ou transports.

Suite au sur-enfûtage de 2005-2012, le volume du nouveau conditionnement est aujourd'hui de 6171 m<sup>3</sup> (sur-fûts de 205 à 541 litres – 6516 tonnes au total).

## PARTIE B – PERSPECTIVES D’AVENIR - VALORISATION

Comme dit plus haut, la production de nitrate de thorium a été réalisée avec l’objectif de préserver la matière en vue d’une future utilisation du thorium.

Les voies de valorisation de cette matière sont déjà documentées dans les études produites antérieurement dans le cadre du PNGMDR, en 2008, en application du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008, en 2012 dans le cadre de l’article 9 du décret n° 2012-542 du 23 avril 2012 ou début 2015 en application du décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013, [2] à [9].

Ces voies sont également détaillées dans la mise à jour du rapport de début 2015 [8], à produire fin 2017 en application l’article D. 542-80 du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l’article L. 542-1-2 du code de l’environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs [15] – « *L’information prévue à l’article L. 542-13-2 est effectuée lors de la mise à jour du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Elle comporte une analyse de l’adéquation entre les perspectives de valorisation et les quantités détenues et à détenir, ainsi qu’une présentation des matières sous formes de lots homogènes au regard des modalités de valorisation envisagées, à l’exclusion des matières nucléaires nécessaires à la défense.* »

### B.1. VALORISATION DES NITRATES DE THORIUM

Les procédés de valorisation envisagés concernent la production d’énergie et, principalement, le secteur des traitements anti-cancéreux, [2] à [9].

#### B.1.1. Valorisation des matières thorifères pour la production d’énergie

Le thorium est un élément fertile, qui, par capture neutronique, se transmute en élément fissile, l’uranium 233U. Ce potentiel énergétique peut être valorisé :

- soit via un cycle dit Th/233U au sein de réacteurs dédiés (Advance Heavy Water Reactor, MSR, High Temperature Gas Reactors),
- soit via une utilisation du thorium en complément du cycle U/Pu dans les parcs de réacteurs existants.

En pratique, les caractéristiques de l’uranium 233U en spectre neutron thermique permettent des synergies importantes entre le cycle U/Pu classique et le cycle Th/233U, ce qui permet d’envisager des options de multi-recyclage dans les réacteurs à spectre thermique.

Areva et Solvay ont investigué ces alternatives que l’on trouve déjà décrites en détail dans le rapport de début 2015 sur les procédés de valorisation des matières radioactives [8].

Ce rapport rappelle que dès 2010 un programme de R&D a été développé jusqu’à préparer et caractériser (à Erlangen, Allemagne) des pastilles frittées d’oxyde ThO<sub>2</sub> et (Th/U)O<sub>2</sub>.



**Figure 5 : Pastilles de thorium frittées à partir de poudres de ThO<sub>2</sub>, avec des densités entre 83 et 92% TD.**

Pour mémoire, l'ordre de grandeur du besoin en thorium pour faire fonctionner un réacteur à eau légère est de 30 tonnes par gigawatt électrique installé, GWe, pour le premier cœur, puis environ 8 tonnes de thorium par an. En 50 ans de fonctionnement, plus de 400 tonnes de thorium sont ainsi nécessaires pour chaque GWe installé. Le thorium des matières thorifères en France (8552 tML, Areva et Solvay) pourrait permettre de faire fonctionner au niveau mondial environ 20 réacteurs - celui d'Areva (2300 tML) 6 réacteurs, soit de l'ordre de 1 % du parc seulement - cette proportion très limitée paraît « raisonnablement atteignable » à l'horizon 2030-2050, si cette voie de valorisation était développée.

Le rapport [8] rappelle toutefois que l'utilisation du thorium demande encore « *des efforts d'industrialisation significatifs. Par exemple le traitement et le recyclage des combustibles au thorium nécessitent la création d'une nouvelle chaîne industrielle (ces opérations ne sont pas envisageables dans les usines actuelles). Par ailleurs l'accumulation d'uranium 232U et 233U conduit à des niveaux de rayonnement gamma plus importants qui devront être maîtrisés par les développements de la robotique et télémanipulation.* »

Pour les nitrates d'Areva, cette voie conforte la valeur énergétique de ces matières, à long terme. A court terme, la voie de valorisation principalement en développement reste celle des traitements anticancéreux.

### **B.1.2. Valorisation des nitrates de thorium pour les traitements anticancéreux**

*(on reprend ici les principaux extraits du rapport janvier 2015, [8])*

La valorisation des nitrates de thorium pour les traitements anticancéreux est d'ores et déjà lancée via la radio-immunothérapie (RIT) alpha [18] ou plus largement l'alphathérapie ciblée. L'alphathérapie ciblée consiste à associer un isotope radioactif tel le plomb-212 (212Pb) à un vecteur biologique (anticorps monoclonal, peptide ou autres) qui va cibler les cellules cancéreuses, grâce à leurs propres antigènes, pour les détruire.

Areva s'est engagée dans le développement de ce type de traitements via sa filiale médicale Areva Med. Cette société a été créée dans la continuité du projet TAO lancé officiellement en 2006. Areva Med conduit des activités industrielles tant en France qu'aux Etats-Unis.

L'extraction de  $^{212}\text{Pb}$  est réalisée soit dans un pilote préindustriel, soit dans le « Laboratoire Maurice Tubiana » (LMT, ATEF1) dont la mise en actif a été réalisée en novembre 2013.

Depuis 2006 les avancées industrielles et scientifiques et le nombre croissant des partenariats noués par Areva Med, démontrent que la transition vers une phase industrielle de plus grande ampleur est initiée. En février 2014, Areva Med a annoncé le développement d'une future installation, ATEF2 dont les capacités de production devront être alignées sur les besoins du marché.

La faisabilité de valorisation des matières thorifères pour le développement de traitement de nano-médecine nucléaire est une réalité tangible, impliquant notamment Roche, l'un des plus grands laboratoires pharmaceutiques du monde, et leader dans le domaine de l'oncologie, avec une alliance de long terme signée en 2012 [18]. Par ailleurs trois nouveaux partenariats ont été signés par Areva Med depuis 2015 avec des entreprises de biotechnologies et groupes pharmaceutiques aux Etats-Unis et en Europe (RadioMedix, Morphotek et Nordic Nanovector).

Différentes autorisations administratives ont été obtenues auprès des autorités françaises et des autorités américaines (Food and Drug Administration). Ces autorités ont autorisé la production, le transport, la réception et/ou l'utilisation du  $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$  dans les différents sites de développement ou d'étude, en France (LMT, laboratoire ARCoLab de Razès, Inserm Montpellier, CHU de Limoges) ou à l'étranger (San Diego-CA Charlottesville VA, DDPU à Plano près de Dallas (TX), Université de Birmingham en Alabama).

La licence d'exportation aux USA de générateur  $^{228}\text{Th}$  a été délivrée par le SBDU (Service des Biens à Double Usage) en 2014 et renouvelée en 2016. La volonté de l'Etat d'accompagner Areva Med et de développer une filière d'excellence d'alphathérapie au  $^{212}\text{Pb}$  s'est de plus concrétisée via le CGI, Commissariat Général à l'Investissement, et la BPI, Banque Publique d'Investissement, avec le financement du projet PSPC CARAT (Consortium pour les Applications en Radio Alpha Thérapie) avec Areva Med comme chef de file d'un consortium constitué de PME et de partenaires académiques en France).

La perspective actuelle est que les besoins médicaux qui pourraient être couverts par des applications d'alphathérapie permettront de soutenir un niveau significatif de demande en  $^{212}\text{Pb}$ . Face à cette demande, raisonnablement évaluée, Areva possède, comme dit plus haut, à la fois les capacités techniques et industrielles, les procédés de séparation, les autorisations administratives et les ressources en matières thorifères nécessaires.

A partir de 2020, tel que prévu dans le plan industriel d'Areva Med, il est donc attendu une accélération de l'utilisation des nitrates de thorium qui permettra de mener à bien les essais cliniques dits de Phase 3 et la commercialisation des futurs traitements au  $^{212}\text{Pb}$  d'Areva Med.

Après extraction du  $^{212}\text{Pb}$  (ou de l'un de ses précurseurs) les matières thorifères doivent être entreposées à nouveau. La décroissance radiologique, régénère les isotopes d'intérêt et donc le potentiel de valorisation. La période de retour à un niveau suffisamment proche de l'équilibre radiologique est de l'ordre de 20 à 30 ans. La quantité de matière nécessaire au fonctionnement d'Areva Med, même sur un inventaire

régénéré, serait ainsi au moins de l'ordre de 20 à 30 fois la consommation annuelle envisagée.

Le LMT est calibré pour une consommation à terme de 20 à 30 fûts / an. La future installation industrielle d'Areva Med, ATEF2, est prévue pour une consommation de plusieurs centaines de fûts par an. Le fonctionnement d'Areva Med nécessite donc la préservation d'une partie significative des quantités actuellement entreposées sur la durée d'activité d'Areva Med, à ce stade au moins jusqu'en 2050.

## **B.2. STRATEGIE-PERSPECTIVES**

La valorisation par une application en alphathérapie est parfaitement adaptée aux matières thorifères d'Areva : par leur pureté et leur ancienneté elles contiennent des quantités suffisamment importantes de radionucléides d'intérêt (228Ra à 212Pb) avec un faible niveau d'impuretés, compatible avec un usage médical.

Dans le cadre de cette valorisation la stratégie d'Areva reste la préservation, de l'ensemble de ses nitrates de thorium, sous une forme physico-chimique et sous un conditionnement compatibles avec cette valorisation.

Comme dit plus haut Areva a ainsi investi 15 Meuros pour garantir la pérennité des conditions d'entreposage de ses réserves de thorium à Cadarache sur une période d'au moins 50 ans (jusque vers 2050/60), période conforme à ce stade aux besoins d'Areva Med.

Areva n'envisage donc pas de se dessaisir de cette matière d'ici là, quand bien même elle serait requalifiée en déchet.

En outre, dans la mesure où une valorisation est effectivement prévue et envisagée, les nitrates de thorium répondent à la définition de « matières » de l'article L542-1-1 du code de l'environnement.

Les perspectives de valorisation de ces matières nous paraissent suffisamment établies pour rester hors du champ d'application de l'article L542-13-2 créé par l'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016 qui permettrait à l'autorité administrative de prononcer une requalification en déchets.

## **PARTIE C – FILIERES DE GESTION ENVISAGEABLES SI CES MATIERES ETAIENT A L'AVENIR REQUALIFIEES EN DECHETS**

Comme dit ci-dessus les filières de gestion envisageables de ces matières pour Areva sont des filières d'entreposage. Le PNGMDR requiert toutefois une analyse des filières de stockage.

## C.1. LES FILIERES DE STOCKAGE

L'arrêté du 23 février 2017 rappelé en introduction prévoit dans la seconde partie de son article 18 : « *Areva et Solvay .... Conformément aux dispositions de l'article D. 542-81 du code de l'environnement, l'Andra remet avant le 31 décembre 2019 au ministre chargé de l'énergie une étude de la faisabilité du stockage de l'hydroxyde de thorium et du nitrate de thorium si ceux-ci étaient à l'avenir requalifiés en déchets, sur la base d'un inventaire radiologique et chimique détaillé de ces substances transmis par leurs propriétaires. L'étude précise le coût associé à ce stockage et l'impact potentiel de ces quantités de substances radioactives sur les filières de stockage en projet. Les propriétaires d'hydroxyde de thorium et de nitrate de thorium contribuent au pilotage et assurent le financement de cette étude. ...* » [14].

L'analyse des filières de stockage relève de cette étude qui ne sera vraisemblablement développée que sur 2019. Il est donc trop tôt pour avoir une vision actualisée des filières de stockage envisageables.

Toutefois, l'article 13 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 demandait déjà aux propriétaires de matières radioactives valorisables de remettre au plus tard le 31 décembre 2010 des études sur les filières possibles de gestion dans le cas où les matières dont ils sont propriétaires deviendraient des déchets [2]. Le PNGMDR 2010-2012 [19] a repris cette recommandation en demandant de mener avant fin 2010 des études sur les filières possibles de gestion dans le cas où ces matières seraient à l'avenir qualifiées de déchets.

Il existe donc déjà des éléments sur ces filières de stockage envisageables. En particulier pour les matières thorifères, le PNGMDR 2010-2012 précisait qu'Areva et Solvay (ex Rhodia) devaient examiner, en lien avec l'Andra, la possibilité et les conséquences, notamment en termes d'emprise, de conception et de coût, de leur prise en charge dans les centres de stockage existants ou envisagés.

Areva a fourni à ce titre le rapport de décembre 2010 : Perspectives de valorisation du Thorium et étude conservatoire de gestion à long terme du thorium, rapport NT 0119 04 LTA 10 0072, [3].

En ce qui concerne les nitrates d'Areva on retiendra les éléments suivants.

### C.1.1. Compatibilité avec les stockages existants

La démarche d'analyse de l'acceptabilité de ces déchets potentiels dans les différents stockages a été réalisée en 2010 en collaboration avec l'Andra. Les commentaires qui suivent sont extraits de l'étude Andra correspondante [20].

## CSFMA

Les prescriptions techniques du CSFMA ne permettent pas d'y accepter des déchets avec des teneurs significatives en radionucléides émetteurs alpha de période longue, ni des déchets susceptibles d'engendrer des émanations de radon  $^{222}\text{Rn}$  ou  $^{220}\text{Rn}$  à relativement court terme. La limitation de l'activité pour le  $^{232}\text{Th}$ , le  $^{228}\text{Ra}$ , le  $^{228}\text{Th}$  et le  $^{226}\text{Ra}$  est fixée à 1 pour-cent de l'activité massique totale déclarée des colis. Les nitrates de thorium n'y sont donc pas acceptables.

## CIRES

Les spécifications d'acceptation au CIRES concernent des déchets de très faible activité. Les matières thorifères ne sont pas acceptées au CIRES notamment du fait de l'activité en  $^{232}\text{Th}$ .

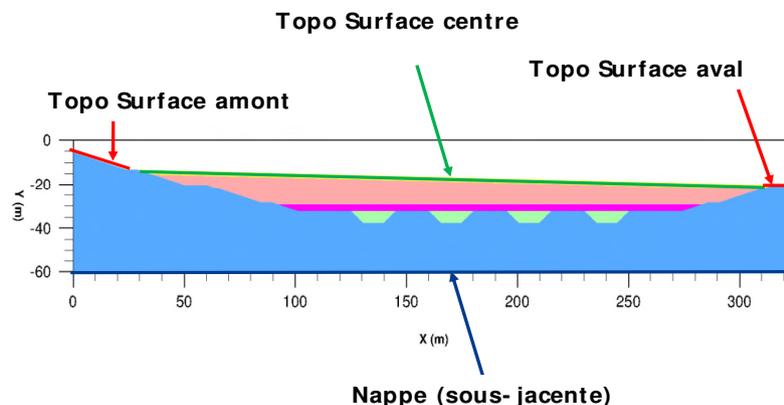
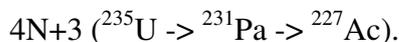
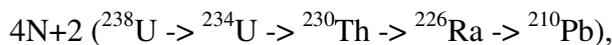
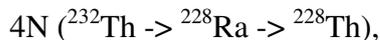
### C.1.2. Acceptabilité dans un stockage à faible profondeur

**En situation normale**, une première analyse d'un stockage de type sub-surface a bien été menée pour l'étude de 2010 [20], mais en se limitant principalement à l'analyse des transferts de la radioactivité par l'eau. Par ailleurs l'absence de site de référence laisse à cette analyse (ci-après) un caractère prospectif.

**Dans le cas d'un SCR**, stockage en couverture remaniée, les colis sont stockés dans des alvéoles implantées dans une formation argileuse de très faible perméabilité. Ces alvéoles, sont ensuite recouvertes d'une couverture d'une quinzaine de mètres.

Dans un premier temps, les performances vis-à-vis des transferts par l'eau ont été évaluées en considérant le transport des radionucléides correspondant aux 3 chaînes de filiation « naturelles » constituées des isotopes radioactifs ci-après.

Les débits molaires (transfert par l'eau) de radionucléides aux frontières du stockage ont été modélisés pour les 3 chaînes



**Figure 6 : Surface de détermination des débits molaires dans la modélisation de 2010 [3], [20].**

En situation normale, pour la chaîne du  $^{232}\text{Th}$  avec un inventaire initial à 35TBq (dont 10 pour les nitrates d'Areva et 25 pour les matières thorifères de Solvay), la faible mobilité du thorium, conduit à des débits molaires négligeables ( $<10^{-12}$  mole/an) pour l'ensemble des éléments de la chaîne. Pour la chaîne de  $^{238}\text{U}$ , tous les débits molaires des actinides sont négligeables ( $<10^{-12}$  mole/an) en conditions réductrices. En conditions oxydantes les débits molaires de  $^{238}\text{U}$  et de ses descendants de milieu et de fin de chaîne ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ ) augmentent à long terme.

**Dans le cas d'un stockage SCI**, la performance du stockage est peu ou pas sensible aux propriétés hydro-dispersives : les débits molaires sont très faibles dans tous les cas étudiés, du fait de l'épaisseur plus importante de la formation argileuse hôte (induisant des temps de transfert importants des radionucléides), et de la forte sorption des actinides en conditions réductrices.

**Dans le cas des situations dégradées** (résidence et jeux d'enfants sur le SCR érodé ou sur déblais de forage destructif en SCI) les nitrates de thorium génèrent des valeurs d'impact suffisamment basses dans le cas d'un stockage SCI, même si dans l'étude, en l'absence de connaissance des conditionnements des colis, on a fait l'hypothèse enveloppe de colis avec une activité au niveau de celui des matières brutes.

### C.1.3. Conclusions et perspectives

L'analyse de 2010 concluait que les matières thorifères pourraient être gérées comme des déchets FAVL et que les nitrates de thorium relèveraient d'un stockage à faible profondeur.

Dans les conditions de l'étude, l'activité des nitrates de thorium conduisait à privilégier un stockage sous couverture intacte, SCI.

Toutefois, l'étude précisait qu'il conviendrait d'investiguer la mise en œuvre de dispositions pour minimiser les impacts à long terme, comme le conditionnement, la répartition des matières dans le stockage, leur mélange avec d'autres matières ou déchets moins actifs en  $^{232}\text{Th}$ , le choix des caractéristiques de la formation hôte... notamment afin de minimiser la profondeur de stockage.

C'est bien ce type d'orientation que nous comptons donner à l'étude à réaliser pour fin 2019 dans le cadre de la seconde partie de l'article 18 de l'arrêté du 23 février 2017, [14].

## C.2. UN ENTREPOSAGE DE LONGUE DUREE

Sur la base de l'étude de 2010 la filière pour un éventuel stockage des nitrates de thorium serait ainsi de type « FAVL » et relèverait donc d'un projet et d'un site de stockage qui ne sont pas définis aujourd'hui (d'où le caractère seulement préliminaire de l'étude de 2010).

### C.2.1. Un entreposage nécessaire

Initialement la mise en service d'un centre de stockage FAVL (déchets graphites et déchets radifères) était envisagée pour 2013 [26]. La définition du site et du design d'un centre de stockage avait ensuite été planifiée pour permettre une mise en service du centre en 2019 [21]. En 2014, l'ouverture d'un centre était supposée intervenir en 2025 [22]. Dans le rapport PNGMDR d'étape 2015 [23], l'Andra présentait un nouveau planning du projet avec une mise en service potentielle fin 2029. Dans son avis du 29 mars 2016, avis n° 2016-AV-264 [24], l'ASN considérait de plus que cette ouverture ne se fera pas avant 2035. Cette position semble aujourd'hui confortée dans la mesure où il sera difficile pour l'Andra de mener dans la même décennie l'ouverture de Cigéo et celle d'un stockage FAVL.

L'arrêté du 23 février 2017 [14] pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 [15] (PNGMDR) prévoit en son article 37 que « Pour le 31 mars 2017 l'Andra

propose une date de mise en service objective prudente d'une installation de stockage à faible profondeur de déchets de faible activité à vie longue ».

En réponse [27] l'Andra indique une date de mise en service d'un centre de stockage dans l'Aube pour fin 2032 à début 2036.

Cette date est néanmoins assujettie à diverses conditions telles que le stockage soit réalisé dans l'Aube, telles que l'existence pour début 2021 d'un dossier de conception et d'options de sureté ainsi que la validation du projet par l'ensemble des parties intéressées, ou encore que la réalisation du projet sur 12 à 15 ans ne subisse aucun aléas. L'Andra indiquant par ailleurs que le cadre des études sur la gestion des déchets FAVL restera évolutif et que les travaux de réalisation présentent divers aléas qui risquent d'en augmenter significativement les délais. L'ensemble rend ainsi la date de 2036 relativement optimiste.

De son côté, l'IRSN indique dans son avis de 2015 [28] relatif au projet de stockage FAVL dans l'Aube, que de nombreuses études sont programmées pour compléter la caractérisation des déchets, laquelle devra être complétée dans le dossier d'esquisse. L'IRSN estime également que la sélection d'une zone réunissant des caractéristiques suffisamment favorables à l'implantation d'un stockage permettant d'accueillir l'ensemble des déchets FAVL inventoriés pourrait présenter des difficultés de fond au regard de plusieurs de plusieurs critères majeurs. Dans son avis de 2017 [29] l'IRSN rappelle les difficultés rencontrées par l'Andra pour trouver un site permettant d'accueillir l'ensemble des déchets FA-VL et de sérieuses incertitudes sur la capacité du site investigué à accueillir l'ensemble de ces déchets.

Il est vrai que la nécessité d'accueillir l'ensemble de ces déchets n'est avérée que si ceux-ci sont effectivement disponibles. En particulier, le décalage dans le temps du démantèlement des réacteurs UNGG reporte de plusieurs dizaines d'années la disponibilité de la majeure partie de l'inventaire de déchets FAVL-graphite. EDF propose en effet de mener l'essentiel de ces démantèlements entre 2060 et 2100 [25].

La période de disponibilité d'une partie de l'inventaire FAVL-radifère pourrait également être remise en question. Prochainement, en l'absence de solution de stockage, CEZUS va mettre en œuvre des extensions d'entreposage nécessairement rentabilisées sur plusieurs dizaines d'années. Son besoin, aujourd'hui important de capacités de stockage, est ainsi reporté d'une cinquantaine d'années.

A ce titre, l'Andra propose [27] une solution de stockage toujours unique mais adaptée par une approche incrémentale, distinguant plusieurs campagnes d'exploitation d'ouvrages de stockage construits au fur et à mesure des besoins. On peut cependant concevoir que les capacités d'accueil de ces zones de stockage successives seront déterminées par les caractéristiques géologiques et/ou géotechniques des sites, plus que par le type, la disponibilité ou les besoins d'évacuation des déchets.

Dans son avis de juin 2017 [30], l'IRSN s'interroge sur la pertinence de poursuivre dans la recherche d'une solution de gestion unique pour l'ensemble des catégories de déchets FAVL. L'IRSN propose un changement de doctrine, à débattre. Cela laisse entrevoir des débats encore persistants et donc que les échéances ci-dessus seront difficilement tenues, même si, in fine, la doctrine ne devait pas changer.

Si aucun site de stockage FAVL ne devait être développé, les déchets sans filière de stockage sont par la loi destinés à être stockés en stockage profond, Cigéo (loi de 2006, [26]). En terme d'échéancier il est vraisemblable que la mise en stockage de déchets FAVL s'effectuerait après celle des déchets MAVL, donc probablement dans les années 2070-80. En tout état de cause, une mise en stockage dans Cigéo ne peut pas être envisagée avant la fin de la phase industrielle pilote (2029-35), soit post 2035.

Par ailleurs il est peu vraisemblable que le projet de stockage FAVL soit définitivement abandonné dans les prochaines années, de sorte que l'alternative vers la solution Cigéo pourra également difficilement être confirmée d'ici là. Une mise en stockage Cigéo vers 2035, ou peu après, est donc d'autant peu réaliste. En outre, même une date proche de 2045 semble peu réaliste compte tenu des capacités de transport et d'accueil qui sont envisagées. Les flux vers Cigéo seront en effet saturés par les déchets MAVL jusqu'en 2075 environ (PIGD-VD, [31]).

Il faudra également qualifier des conditionnements et colis pour qu'ils soient autorisés à Cigéo.

Ainsi, comme il est très peu vraisemblable qu'une filière de stockage adaptée aux déchets de type FAVL soit disponible dans les prochaines décennies, toute filière de gestion passe aujourd'hui par une phase d'entreposage prolongé, même si les nitrates de thorium devaient être considérés comme des déchets.

### C.2.2. Un entreposage par cohérence

Cette vision encore insuffisante de la destination des déchets FAVL transparaît également par les prescriptions de l'arrêté du 23 février 2017 [14] pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 [15] pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018.

Les articles 40, 41 et 42 de cet arrêté – demandent, pour la filière FAVL, la réalisation par l'Andra d'un schéma industriel, d'un inventaire et d'une recherche de site – et demandent, via les détenteurs ou producteurs de déchets FAVL, pour fin 2017, le recensement des capacités d'entreposage, des prévisions de leur saturation et des besoins en capacité pour les 30 prochaines années.

L'absence pour une trentaine d'années d'une filière FAVL semble donc une éventualité effectivement considérée.

En ce qui concerne une éventuelle « option Cigéo », l'article 53 de ce même arrêté 2017 [14] demande également d'étudier « *les besoins en entreposages futurs pour toutes les familles de déchets HA et MA-VL, portant au minimum sur les vingt prochaines années* » et d'étudier « *la sensibilité du besoin en entreposages à des décalages dans le calendrier de développement du projet Cigéo* ». Le décalage de la date (2035) pour la mise en service industrielle de Cigéo semble donc aussi une éventualité crédible.

On notera également que dans son avis n° 2016-AV- 0259 de février 2016 [32], l'ASN recommande pour la préparation des entreposages que les producteurs considèrent « *d'une part, des décalages allant jusqu'à 15 ans par rapport à la date prévue par l'Andra de 2029 pour la mise en service du stockage (Cigéo) par une phase industrielle pilote et, d'autre part, des décalages allant jusqu'à 20 ans par rapport à la date prévue de 2035 pour la mise en service à cadence industrielle de l'installation* ».

Une éventuelle filière « Cigéo » à 2045 pour un placement de déchets FAVL au plus tôt, en substitution d'un stockage FAVL inexistant, telle qu'évoquée ci-dessus, serait déjà ainsi une éventualité illusoire.

Au global une stratégie autre que celle de la préservation, sur au moins 30 ans, des conditions d'entreposage (déjà existantes) de matières qui seraient susceptibles d'être requalifiées en déchets de ce type (FAVL) serait donc incohérente avec les considérations sous-jacentes à ces prescriptions du PNGMDR.

### **C.2.3. Un entreposage par choix stratégique**

Au-delà d'un choix de fait, du à l'insuffisance de la définition de la filière, à l'absence de solution de stockage ou au besoin global de cohérence, une phase d'entreposage de moyen à long terme est, comme dit plus haut, d'abord un choix stratégique d'Areva (partie B2).

A ce jour, ce choix s'applique, en soutien à l'activité de valorisation via Areva Med.

## **PARTIE D – TRAITEMENTS OU CONDITIONNEMENTS ENVISAGEABLES AVANT EVENTUEL STOCKAGE**

Comme dit précédemment, Areva a déjà pris des mesures (sur-enfûtage, Figure 4) de préservation des matières conformément à sa stratégie de long terme. Il n'est donc pas envisagé de traitements ou conditionnements additionnels à ce stade.

En revanche, les activités de valorisation, pourraient conduire à des traitements ou des modifications de conditionnements que l'on pourrait éventuellement considérer d'optimiser au regard d'un éventuel stockage, dès lors - que les conditions de stockage seraient connues (potentiellement fin 2019, au moins sommairement, [14] – et que ces optimisations seraient sans cout additionnel pour la valorisation).

### **D.1. TRAITEMENTS OU CONDITIONNEMENTS HORS BESOIN DE STOCKAGE**

L'activité d'Areva Med consiste, en entrée de procédé, à passer le nitrate de thorium en solution et donc, en sortie de procédé, à prévoir un reconditionnement en vue de l'entreposage évoqué ci-dessus (B.1.2).

Actuellement le nitrate thorium de sortie de procédé est entreposé en cuve, mais il est prévu de le recristalliser et de le reconditionner en fûts, dont les caractéristiques restent à définir.

En cas de développement significatif de la demande en traitements médicaux, les fûts reconditionnés pourraient être repris dans le procédé à moyen terme. Pour ses propres besoins, il n'y a pas de raison qu'Areva Med développe des modalités spécifiques qui modifient sensiblement la matière thorifère initiale ou qui en modifient le

conditionnement initial. Areva Med pourrait néanmoins adapter à la marge ses actions si les adaptations restent conformes à ses propres optimisations - par exemple, lors de la recristallisation des matières (purification poussée ou adaptation du contenu en eau, entre  $\{\text{Th}(\text{NO}_3)_4, 4\text{H}_2\text{O}\}$  et  $\{\text{Th}(\text{NO}_3)_4, 6\text{H}_2\text{O}\}$ ) ou lors du reconditionnement en fût (en fût unique et pas en fût et sur-fût, en fût d'acier non allié ou allié, galvanisé, ...).

Cette phase du procédé pourrait être l'occasion d'opérer un traitement ou un conditionnement favorables en vue d'un stockage (ci-après). Mais cela restera limité -si ce traitement/conditionnement devait rendre les matières thorifères impropres à une valorisation ultérieure (par exemple un conditionnement en matrice cimentaire serait contraire à une stratégie de valorisation) ou -si ce traitement/conditionnement devait dépendre de procédés ou d'équipements avec des contraintes d'exploitation ou de démantèlement significatives (contaminations ou déchets additionnels générés par exemple).

## **D.2. TRAITEMENTS OU CONDITIONNEMENTS POUR LES BESOINS D'UN STOCKAGE**

Certaines opérations prévues dans le cadre de l'exploitation d'Areva Med ont d'ores et déjà un effet potentiellement favorable en cas d'un éventuel stockage.

### **D.2.1. Réduction d'inventaire en volume**

Lors des opérations de sur-enfûtage des années 2005-2012 l'inventaire des fûts de matière est passé de 3762 m<sup>3</sup> / 5956 tonnes à 6171 m<sup>3</sup> / 6516 tonnes.

La remise en fûts simples devrait donc permettre de retrouver progressivement un volume réduit à 60% du volume initial (3762/6171), voire réduit à 3760 m<sup>3</sup> si les fûts devaient être utilisés dans leur ensemble par Areva Med.

Cette évolution est significative car elle réduit le volume à gérer, et potentiellement les coûts d'entreposage et de stockage.

De plus si les spécifications d'acceptation devaient permettre de mettre en stockage du nitrate coulé (tel que conditionné par Solvay, [13]), sa densité de 2.6, contre 1.6 pour le nitrate cristallisé, permettrait potentiellement de réduire encore le volume de 60% pour les fûts ainsi reconditionnés (avec cependant un accroissement des effets de radiolyse et de production de gaz, à gérer au niveau d'un entreposage ou d'un stockage éventuel et avec de fortes contraintes technico-économiques pour le développement des équipements de conditionnement nécessaires).

### **D.2.2. Réduction d'activité massique, de profondeur de stockage**

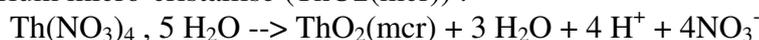
A l'inverse des réductions d'activité massique des volumes à stocker pourraient être envisagées, soit ici par accroissement des volumes, soit par réduction du remplissage des alvéoles de stockage, soit par réduction de l'activité massique des matières ou des colis eux-mêmes.

L'étude Andra de 2011 [20] indique par exemple que l'impact des nitrates de thorium de Solvay en stockage SCI serait plus faible (scénario de résidence de jeux d'enfants dans les déblais de forage), la forme des nitrates de thorium étant physiquement différente (nitrate en solution, coulés ou cristallisés) mais aussi radiologiquement différente (~10 fois moins de  $^{230}\text{Th}$ , [20]). Elle indique aussi qu'un remplissage réduit en deçà de 10% des alvéoles de stockage permettrait un stockage en SCR.

### D.2.3. Changement de forme physico-chimique, de profondeur de stockage

L'étude de stockage Andra de 2010 [20], rappelle également que le nitrate de thorium n'est pas une forme stable en stockage.

Par dissolution/précipitation, le thorium est immobilisé, sous la forme solide de l'oxyde de thorium micro-cristallisé ( $\text{ThO}_2(\text{mcr})$ ) :



Cette dissolution conduit à un milieu acide qui peut avoir un impact sur un milieu cimentaire ou argileux ; « ...de par le relâchement de protons et de nitrates, la dissolution du nitrate de thorium peut conduire à une dégradation chimique significative des milieux environnants. La solubilité du thorium peut ainsi varier de plusieurs ordres de grandeur, de l'ordre de  $10^{-14}$  mol/L à  $10^{-1}$  mol/L selon les valeurs de pH », [20].

Si l'enjeu pour un stockage devait être significatif, et si une stratégie de mise en stockage devait être adoptée, une adaptation de la forme physico-chimique et/ou du conditionnement à stocker pourraient à long terme être envisagée lors des actions de valorisation (avec les réserves technico-économiques ci-dessus, D.2.1).

### D.2.4. Changement de conditionnement pour adaptation au juste besoin du stockage

Dans le choix des futurs conditionnements d'entreposage, il pourrait également être considéré l'avantage de tel ou tel conditionnement pour un éventuel stockage.

Par exemple le choix de fûts en acier noir, s'il était retenu, peut conduire à une meilleure précision des modélisations des comportements en stockage (cinétique de corrosion, mécanismes et produits de corrosion mieux connus) et donc permettre d'évaluer au mieux les impacts du stockage – et ainsi d'en adapter la configuration au plus juste besoin.

Pour Cigéo (colis HA) l'Andra a fait le choix de sur-conteneurs en acier non-allié pour ce type de raison.

Dans la cadre du PNGMDR 2013-2015, l'Andra a également produit un rapport de recommandations pour la complémentarité de l'entreposage et du stockage des colis HA et MAVL [33].

Des recommandations de ce type pourraient être formulées dans le cadre de l'étude de stockage à venir ([14], fin 2019) et être prises en considération dans la gestion des matières thorifères d'Areva.

### D.2.5. Prise en compte des besoins d'un éventuel stockage

Le mode de valorisation par Areva Med crée ainsi des opportunités de modifications éventuelles des conditionnements des matières thorifères.

L'évaluation des modifications qui pourraient avoir un impact positif sur le stockage éventuel, reste encore à faire. Elle ne pourra être faite qu'à la suite de l'étude de stockage prescrite pour fin 2019, [14].

En fonction de la nature des traitements et conditionnements souhaitables, les moyens de les mettre en œuvre, après, ou au cours de la dernière utilisation par Areva Med, pourraient être étudiés, sous réserve qu'ils n'affectent pas les valorisations encore envisagées et que leur mise en œuvre ne soit pas significativement pénalisante en termes d'exposition radiologique, de contamination d'équipements, de production de déchets additionnelles.

L'avis d'Areva est que la proposition de traitements, de conditionnements, de forme physico-chimiques susceptibles de réduire l'impact d'un éventuel stockage et susceptibles d'en adapter les contraintes au juste besoin (SCR plutôt qu'SCI par exemple) doit faire partie de l'étude de la faisabilité de stockage par l'Andra, attendue pour fin 2019 (conformément à l'Arrêté du 23 février 2017, article 18, seconde partie, [14]).

## PARTIE E – CONCLUSIONS

Sur la base de ce qui précède et des rapports produits antérieurement dans le cadre du PNGMDR on retiendra :

Les matières thorifères d'Areva sont actuellement conditionnées en fûts, sur-fûtés inox, (22010 fûts de nitrate de thorium) entreposés dans les halls A, B, C et D du bâtiment MMB (Magasin Matières Brutes), ICPE 411, du CEA Cadarache, sur palettes métalliques gerbées sur 4 niveaux.

Le volume de ce conditionnement est aujourd'hui de 6171 m<sup>3</sup> (6516 tonnes au total) pour 5500 tonnes de nitrate de thorium contenu, dont 2300 tonnes de thorium.

Ces matières sont pures (>99.6 % de thorium hors NO<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>O), avec un contenu radiologique porté par le <sup>230</sup>Th, le <sup>232</sup>Th et les autres éléments de sa chaîne de décroissance, chacun avec une activité radiologique de l'ordre de 1500 Bq par gramme de nitrate de thorium.

Les procédés de valorisation de ces matières via la production d'énergie et, principalement, via le secteur des traitements anti-cancéreux, ont été décrits en détail dans les rapports précédents [3] à [8].

Si néanmoins ces matières étaient à l'avenir requalifiées en déchets, les traitements ou conditionnements envisageables avant éventuel stockage ne pourront être formalisés que sur la base d'une connaissance actualisée de cet éventuel stockage et des spécifications associées. L'arrêté du 23 février 2017, article 18, prescrit cette actualisation pour fin 2019.

Sur la base d'une étude antérieure réalisée en 2010 les matières thorifères pourraient être gérées comme des déchets FAVL et relèveraient d'un stockage à faible profondeur. Toutefois, l'étude précisait qu'il conviendrait d'investiguer la mise en œuvre de dispositions pour minimiser les impacts, comme le conditionnement, la répartition des matières dans le stockage, leur mélange avec d'autres matières ou déchets moins actifs en  $^{232}\text{Th}$ , le choix des caractéristiques de la formation hôte... notamment afin de minimiser la profondeur de stockage.

C'est ce type d'orientation qu'il convient de donner à l'étude à réaliser pour fin 2019.

Une fois définie, la mise en œuvre de traitements ou conditionnements pourra être discutée sur la base de la réduction d'impact potentiellement générée et sur la base de l'adaptation au plus juste besoin des conditions de stockage. Cette mise en œuvre devra être analysée au regard du développement de la filière de valorisation pour les traitements anticancéreux portée par Areva Med. L'activité d'Areva Med pourrait être un vecteur de traitements et conditionnements partiellement adaptés, notamment via les étapes de reprise et de remise en entreposage des matières. Néanmoins ces traitements et conditionnements devront rester acceptables sur le plan technico-économique, sur le niveau d'exposition radiologique additionnelle et rester compatibles avec la préservation du caractère valorisable des matières.

Pour Areva la seule filière de gestion actuellement envisageable est celle de la valorisation via une stratégie de préservation des matières dans un entreposage de moyen à long terme, quel que puisse être le classement « matières ou déchets » des nitrates de thorium.

C'est une stratégie choisie sur la base d'une bonne gestion d'une ressource valorisable via une activité industrielle en développement.

Dans la mesure où le design et le site d'un stockage FAVL ne seront pas définis avant de nombreuses années, c'est aussi, en tout état de cause, une stratégie contrainte par l'absence de possibilité de stockage à moyen, voire long terme.

## TABLE DES MATIERES

OBJET DU DOCUMENT .....	2
REFERENCES .....	4
FIGURES.....	6
GLOSSAIRE.....	6
<b>PARTIE A – SITUATION ACTUELLE .....</b>	<b>8</b>
A.1. INVENTAIRE QUANTITATIF DES MATIERES THORIFERES .....	8
A.1.1. Production et conditionnement initial.....	8
A.1.2. Inventaire quantitatif .....	8
A.2. INVENTAIRE RADIOLOGIQUE ET CHIMIQUE.....	9
A.2.1. Composition chimique .....	9
A.2.2. Inventaire radiologique.....	10
A.2.2.1. Eléments attendus à la fabrication.....	10
A.2.2.2. Chaines de décroissance – Evaluation de la situation radiologique actuelle .....	12
A.2.2.3. Analyses – Mesures actuelles .....	15
A.2.3. Débits de dose et ambiance radon.....	16
A.3. LOCALISATION ET CONDITIONS D’ENTREPOSAGE ACTUELLES .....	16
<b>PARTIE B – PERSPECTIVES D’AVENIR - VALORISATION .....</b>	<b>18</b>
B.1. VALORISATION DES NITRATES DE THORIUM.....	18
B.1.1. Valorisation des matières thorifères pour la production d’énergie.....	18
B.1.2. Valorisation des nitrates de thorium pour les traitements anticancéreux .....	19
B.2. STRATEGIE-PERSPECTIVES .....	21
<b>PARTIE C – FILIERES DE GESTION ENVISAGEABLES SI CES MATIERES ETAIENT A L’AVENIR REQUALIFIEES EN DECHETS .....</b>	<b>21</b>
C.1. LES FILIERES DE STOCKAGE.....	22
C.1.1. Compatibilité avec les stockages existants.....	22
C.1.2. Acceptabilité dans un stockage à faible profondeur .....	23
C.1.3. Conclusions et perspectives .....	24
C.2. UN ENTREPOSAGE DE LONGUE DUREE .....	24
C.2.1. Un entreposage nécessaire .....	24
C.2.2. Un entreposage par cohérence .....	26
C.2.3. Un entreposage par choix stratégique.....	27

<b>PARTIE D – TRAITEMENTS OU CONDITIONNEMENTS ENVISAGEABLES AVANT EVENTUEL STOCKAGE .....</b>	<b>27</b>
D.1. TRAITEMENTS OU CONDITIONNEMENTS HORS BESOIN DE STOCKAGE.....	27
D.2. TRAITEMENTS OU CONDITIONNEMENTS POUR LES BESOINS D'UN STOCKAGE....	28
D.2.1. Réduction d'inventaire en volume .....	28
D.2.2. Réduction d'activité massique, de profondeur de stockage.....	28
D.2.3. Changement de forme physico-chimique, de profondeur de stockage .....	29
D.2.4. Changement de conditionnement pour adaptation au juste besoin du stockage.....	29
D.2.5. Prise en compte des besoins d'un éventuel stockage.....	30
<b>PARTIE E – CONCLUSIONS.....</b>	<b>30</b>
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>32</b>