

DOCUMENT TECHNIQUE

PNGMDR 2022-26**SCHÉMA INDUSTRIEL POUR LA GESTION
DES DÉCHETS TFA**

1ère partie : Définition des OPTIONS de gestion
(Article 17) de l'Arrêté du V^e PNGMDR

Identification
SFIRPASFP.23.0001

Février 2023

Page : 1/59

En collaboration avec :

**edf****framatome****orano**

SOMMAIRE

1.	Introduction	5
1.1	<i>Contexte et historique</i>	5
1.2	<i>Objet du présent rapport</i>	6
1.3	<i>Documents et textes de référence</i>	6
2.	Etat des lieux de la gestion des déchets TFA	8
2.1	<i>Quels déchets TFA ?</i>	8
2.1.1	Quelques définitions	8
2.1.2	Provenance des déchets TFA	9
2.1.3	Nature et volumes des déchets TFA produits	10
2.1.4	Caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des déchets TFA	11
2.2	<i>Les options de gestion actuelles</i>	13
2.2.1	Le stockage au Cires est l'exutoire privilégié pour les déchets TFA solides	13
2.2.2	Les options de traitement	16
2.3	<i>L'entreposage et le transit des déchets</i>	18
2.4	<i>Schéma des options de gestion actuelles</i>	19
3.	Les perspectives d'évolutions	19
3.1	<i>Les enjeux de la gestion future des déchets TFA</i>	19
3.1.1	Un approfondissement des réflexions face aux volumes de déchets à produire	19
3.1.2	Une cohérence avec les principes généraux de la réglementation	19
3.1.3	Des évolutions réglementaires en 2022 permettant la valorisation	20
3.1.4	Synthèse des enjeux	20
3.2	<i>Présentation des déchets futurs</i>	21
3.2.1	Evolution des flux / chroniques des déchets	21
3.2.2	Nature des déchets à produire	22
3.3	<i>Options de gestion envisagées pour le traitement / valorisation des déchets TFA</i>	24
		24
3.3.1	Des projets de valorisation de déchets métalliques	24
3.3.2	Autres pistes de réflexion	26
3.4	<i>Options de gestion envisagées pour le stockage</i>	27
3.4.1	Perspectives d'extension de capacité de stockage du Cires :	27
3.4.2	TFA2	27
3.4.3	Stockages décentralisés	28
3.4.4	Stockage dans des ISDD	28
3.5	<i>Perspectives d'évolutions - synthèse</i>	29
4.	Scénarios / combinaisons des options de gestion TFA	30
4.1	<i>Description des combinaisons d'options TFA possibles</i>	30
4.1.1	Déchets métalliques	30
4.1.2	Déchets minéraux	31
4.1.3	Déchets solides incinérables	32
4.1.4	Déchets liquides	32
4.2	<i>Perspectives de mise en service et capacité des installations / projets</i>	33
4.3	<i>Impact sur les capacités de stockage à prévoir</i>	33
5.	Conclusions et perspectives	36

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Option de gestion des déchets et résidus selon l'origine de leur radioactivité, leur type et activité massique	37
Annexe 2 : Fiches installations existantes et fiches projet	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition des sites de production des déchets TFA (Inventaire national à fin 2020)	9
Figure 2 : Répartition des volumes stockés au Cires à fin 2020 par producteur	11
Figure 3 : Répartition des volumes entreposés à fin 2020 par producteur	11
Figure 4 : IRAS moyen et annuels des lots de déchets stockés au Cires	12
Figure 5 : Principaux radionucléides présents dans les déchets TFA stockés au Cires (en activité totale)	13
Figure 6 : Part de la capacité radiologique stockée au Cires par rapport à la capacité admise pour les principaux radionucléides d'intérêt (>5%)	13
Figure 7 : Principe de conception du stockage au Cires	15
Figure 8 : Photographies des alvéoles (source : photothèque Andra)	16
Figure 9 : Vue de Centraco	16
Figure 10 : Fusion des métaux (source : Centraco-Cyclife)	18
Figure 11 : Schéma récapitulatif des options de gestion actuelles des déchets TFA	19
Figure 12 : Maquette du Technocentre – vue aérienne (source : EDF, Orano)	25
Figure 13 : Schéma du procédé du projet RPN2	25
Figure 14 : Schéma de principe de la vitrification in situ	27
Figure 15 : Schéma des options de gestion des déchets TFA envisagées	29
Figure 16 : Options de gestion envisageables pour les déchets métalliques TFA	30
Figure 17 : Options de gestion envisageables pour les déchets minéraux TFA	31
Figure 18 : Options de gestion envisageables pour les déchets incinérables TFA	32
Figure 19: Options de gestion envisageables pour les déchets liquides TFA	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Bilan des déchets TFA produits à fin 2020	10
Tableau 2 : Détail des déchets TFA stockés ou entreposés produits de 2003 à fin 2020 (Sources : Inventaire national 2020 et données Andra-Cires)	11
Tableau 3 : Perspectives de production des déchets TFA des installations ayant un décret d'autorisation à fin 2016 (sources : édition 2018 de l'Inventaire national donnant les prévisions 2017 à terminaison et Andra Cires 2003-2020)	22
Tableau 4 : Répartition des typologies de déchets à produire (sources : études PNGMDR 2016-2018 et Inventaire National)	23
Tableau 5 : Pistes de réflexion sur les natures de déchets TFA à considérer	23
Tableau 6 : Synthèse des perspectives indicatives de mise en service et des capacités de traitement	33
Tableau 7 : Date au plus tôt des besoins de mise en service des futurs stockages centralisés	34
Tableau 8 : Exemple indicatif des échéances de besoins d'ouverture de stockage centralisé selon les tonnages à stocker	35

1. Introduction

1.1 Contexte et historique

L'idée d'un centre de stockage dédié à des déchets de très faible activité a été initiée avec la constitution progressive d'une stratégie française de gestion des déchets radioactifs [1] ; il est en effet rapidement apparu la nécessité de disposer d'une solution de gestion proportionnée aux enjeux et à un coût raisonnable, et en capacité d'accueillir les grandes quantités prévisionnelles de ces déchets.

Les principes directeurs d'une gestion rigoureuse et responsable des déchets TFA sont définis par :

- La préservation des objectifs de sûreté nucléaire, de protection de l'environnement et de la santé humaine,
- La responsabilité des producteurs de déchets,
- La traçabilité des déchets et des opérations conduisant à leur élimination,
- L'information du public sur les dispositions prises.

C'est ainsi que l'Andra a, sur demande de l'Etat, construit et mis en service en 2003 le centre de stockage actuel pour les déchets de très faible activité TFA [2] , le Cires (Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage des déchets TFA), en complément des filières alors existantes. Cette filière est aujourd'hui, en termes de volumes, la première filière de stockage de déchets radioactifs provenant des centrales nucléaires, installations du cycle du combustible et centres de recherche. Le Cires a été dimensionné initialement pour 30 ans d'exploitation.

La mise en œuvre des exigences en termes de zonage déchets a conduit à quantifier des quantités importantes de déchets TFA à produire, parfois à un niveau d'activité extrêmement faible. Compte tenu des prévisions actualisées de production, le Cires tel qu'actuellement dimensionné n'aura pas la capacité d'accueillir tous les déchets issus du fonctionnement des installations actuelles et des démantèlements à venir.

Pour faire face aux futurs besoins, la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) du Ministère de la Transition Ecologique, l'Autorité de Sûreté Nucléaire et les différentes parties prenantes étatiques associées : l'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPESCT), le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire (HCTISN), la Commission Nationale d'Evaluation (CNE) ont rendu des avis et recommandations sur la nécessité d'ajuster et compléter le dispositif de gestion des déchets TFA.

L'Andra et les Producteurs de déchets étudient ainsi depuis plusieurs années des solutions d'optimisation et d'extension de cette filière, et des pistes de valorisation de certains déchets.

Un premier schéma de gestion des déchets TFA avait été établi en 2015 [3] au titre de l'article D542-85 du Code de l'environnement [4] .

L'article 17 de l'arrêté du 9 décembre 2022 [4] pris en application du Ve Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) [6] a fixé à l'Andra en lien avec les producteurs l'objectif suivant : « *En application des dispositions de l'article D. 542-86 du Code de l'environnement et des actions nommées TFA.4 et TFA.5 du PNGMDR, l'Andra propose, le cas échéant en lien avec les producteurs de déchets radioactifs, avant le 30 décembre 2022 des scénarios de gestion des déchets de très faible activité, qui seront discutés devant la Commission de gouvernance du plan.../...* ».

Nota : le terme « **options de gestion** » a été préféré dans le présent document au terme « scénarios de gestion », afin de lever toute ambiguïté avec d'autres utilisations du terme scénario, notamment dans le cadre de l'Inventaire national.

Des étapes ultérieures à ce premier travail d'établissement d'options de gestion sont prévues par le PNGMDR :

- Saisine ASN pour avis sur la sûreté et les enjeux de radioprotection des options de gestion ;
- Analyse multicritères et multi-acteurs des options de gestion selon la méthodologie développée par l'IRSN, cette analyse permettant d'éclairer notamment les enjeux de santé, de sûreté, environnementaux et territoriaux associés aux différentes options envisageables ;
- Actualisation du schéma industriel global de gestion des déchets TFA - horizon mi 2024.

1.2 Objet du présent rapport

L'objet de ce document est :

- De rappeler l'état des lieux de la gestion actuelle des déchets TFA ;
- De présenter les perspectives d'évolutions ;
- De proposer des combinaisons d'options de gestion.

1.3 Documents et textes de référence

- [1] CSTFA - Demande de déclaration d'utilité publique - Tome 1 - Pièce 8 - Etude d'impact - Chapitre 3 - Raisons du choix du projet : FDOATFA010410
- [2] Arrêté n°2012040-0002 du préfet de l'Aube du 9 février 2012 autorisant l'Andra à exploiter un centre de stockage de déchets TFA, de regroupement et d'entreposage de déchets radioactifs
- [3] Schéma Industriel pour la gestion des déchets TFA - Août 2013 - (Article 11 du décret PNGMDR du 27 décembre 2013) - réf. PI NT ADI 15 0006
- [4] Article D542-85 du Code de l'environnement - extrait : « *La gestion des déchets radioactifs de très faible activité fait l'objet d'un schéma industriel global mis à jour régulièrement par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs en lien avec les producteurs de déchets.* »
- [5] Arrêté du 9 décembre 2022 pris en application du décret no 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par 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
- [6] PNGMDR 2022-2026
- [7] Arrêté du 9 octobre 2008 relatif à la nature des informations que les responsables d'activités nucléaires et les entreprises mentionnées à l'article L. 1333-10 du Code de la santé publique ont obligation d'établir, de tenir à jour et de transmettre périodiquement à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs - Annexe I
- [8] Article D.542-86 du Code de l'Environnement : « *Les estimations prévisionnelles de la production de déchets radioactifs de très faible activité réalisées à compter de l'édition 2021 de l'inventaire mentionné au 1° de l'article L. 542-12 identifient les déchets liés à l'assainissement des sols. Pour les installations nucléaires de base et les installations nucléaires de base secrètes, ces estimations prennent pour hypothèse un assainissement des installations permettant leur déclassement à terme* »
- [9] L'Inventaire national des matières et déchets radioactifs est consultable sur le lien suivant : <https://inventaire.andra.fr/>
- [10] Annexe 13-8 de la première partie du code de la santé publique
- [11] Circulaire Ministérielle du 25/07/06 relative à l'acceptation de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée dans les centres de stockage de déchets
- [12] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base

- [13] Décision ASN n°2015-DC-0508 du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base
- [14] Arrêté du 26 septembre 2007 fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base secrètes
- [15] Arrêté du 23 juin 2015 relatif aux installations mettant en œuvre des substances radioactives, déchets radioactifs ou résidus solides de minerai d'uranium, de thorium ou de radium soumises à autorisation au titre de la rubrique 1716, de la rubrique 1735 et de la rubrique 2797 de la nomenclature des installations classées
- [16] Rapport de réponse aux exigences de l'article 21 de l'arrêté du 23 février 2017 d'application du PNGMDR 2016-2018 - Retour d'expérience de la mise en œuvre du zonage déchets dans les installations
- [17] Les Essentiels 2022 de l'Inventaire national - février 2022
- [18] SUR.SP.AMES.02.0007 - Andra - Spécification des critères radiologiques d'acceptation des déchets en stockage TFA - (§4 Définition de l'Indice IRAS)
- [19] Code de l'environnement - Art. R541-8 : Définitions des déchets dangereux, non dangereux, inertes
- [20] Décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base
- [21] Décret n° 2022-174 du 14 février 2022 relatif à la mise en œuvre d'opérations de valorisation de substances faiblement radioactives
- [22] Décret n° 2022-175 du 14 février 2022 relatif aux substances radioactives éligibles aux opérations de valorisation mentionnées à l'article R. 1333-6-1 du Code de la santé publique
- [23] Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus du démantèlement des installations nucléaires d'Orano, de Framatome - Etude PNGMDR 2016-2018
- [24] Guide de l'ASN n°24: Gestion des sols pollués par les activités d'une installation nucléaire de base - 29/08/2016
- [25] Traitement et valorisation des grands lots homogènes de matériaux métalliques TFA provenant de l'usine Georges Besse d'EURODIF et des générateurs de vapeur des CNPE d'EDF
- [26] Guide de l'ASN n°14 : Guide relatif à l'assainissement des structures dans les installations nucléaires de base - 29/08/2016

2. Etat des lieux de la gestion des déchets TFA

2.1 Quels déchets TFA ?

2.1.1 Quelques définitions

Les **déchets radioactifs** sont définis au Code de l'environnement (Art. L542-1) comme étant « *des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée. La gestion des déchets radioactifs comprend toutes les activités liées à la manipulation, au prétraitement, au traitement, au conditionnement, à l'entreposage et au stockage des déchets radioactifs, à l'exclusion du transport hors site.* »

Les **déchets TFA** sont définis dans l'arrêté du 9 octobre 2008 [7] ; ce sont des déchets majoritairement issus des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche, produits en période de fonctionnement (incluant la maintenance) ou en période de démantèlement et de surveillance. Le niveau d'activité de ces déchets est en général inférieur à cent becquerels par gramme. Toutefois, la gestion de ces déchets justifie un contrôle de radioprotection.

Au-delà du classement TFA des déchets radioactifs, d'autres caractéristiques sont à prendre en considération pour leur gestion : radiologiques (typologie de radionucléides), physiques (pulvérulence, liquides, masse, volume...) ou chimique (présence de déchets dangereux, substances toxiques, ...).

Certaines particularités peuvent par ailleurs être mentionnées :

- Les *terres contaminées par des substances radioactives* ne sont pas considérées comme des déchets tant qu'elles n'ont pas été excavées et sorties de leur site ; leur mode de gestion relève de la gestion de sites pollués.

Néanmoins, les opérations d'assainissement de sols contaminés par de la radioactivité sont susceptibles de générer d'importants volumes de déchets TFA, ces volumes dépendant de nombreux paramètres (connaissance de l'état des sites et du niveau de contamination tant qu'ils sont en activité, présence de bâtiments...) et dépendent de l'objectif de réhabilitation et de la nature des travaux envisagés.... Ainsi, la réglementation [5] , [7] et [8] prévoit dans les prochaines éditions de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs¹ [9] d'identifier spécifiquement ces déchets d'assainissement des sols dans les estimations prévisionnelles de la production de déchets radioactifs de très faible activité ;

- Les *matières radioactives* ne sont pas des déchets, car il s'agit de substances pour lesquelles une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement ; cette qualification peut être actualisée en fonction d'une évolution de la stratégie de réutilisation, auquel cas cela peut induire une actualisation associée des inventaires de déchets ;
- Les déchets issus de *substances radioactives d'origine naturelle (SRON²)* sont des déchets générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières contenant un ou plusieurs radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles dont la ou les concentrations d'activité massique sont supérieurs à une ou plusieurs valeurs limites d'exemption définies dans le tableau 1 de l'annexe 13-8 de la première partie du code de la santé publique [10] . À titre d'exemple, ces déchets industriels peuvent être issus d'activités diverses telles que les industries de production d'engrais phosphatés, de terres rares, les fonderies utilisant des sables de zircon, etc... Des dispositions particulières pour la gestion de ces déchets sont définies par la circulaire du 25 juillet 2006 [11] , ces déchets peuvent être admis dans une installation de stockage de déchets conventionnels lorsque leur activité radiologique le permet ;

¹ L'Inventaire national des matières et déchets radioactifs (IN) est un outil de référence qui présente annuellement un état des quantités de matières et déchets radioactifs présents sur le territoire. Il fournit également, tous les cinq ans, des estimations prospectives des quantités de matières et déchets selon plusieurs scénarios contrastés concernant le devenir des installations nucléaires et la politique énergétique de la France à long terme <https://inventaire.andra.fr/>

² Nota : différentes appellations des substances radioactives d'origine naturelle (SRON):

- NORM : Naturally Occuring Radioactive Material (terme retenu à l'international) ou TENORM : Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material, pour les déchets technologiques ;
- RNR : radioactivité naturelle renforcée (ancienne appellation, antérieure à 2018)

- Les *déchets miniers* ne sont pas considérés comme des déchets radioactifs, même lorsqu'ils contiennent des éléments radioactifs, ils disposent pour leur gestion d'une réglementation spécifique définie au Code minier ;
- Les *effluents liquides* ne sont pas considérés comme des déchets radioactifs ; leur rejet est régi par une réglementation spécifique : des documents de planification donnent un cadre général (dont les schémas d'aménagement et de gestion des eaux pour les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents liquides) ; le corpus réglementaire applicable conduit à des autorisations de rejets établies pour chaque installation INB et ICPE après étude d'impact et d'incidence. Les résidus solides des installations de traitement de ces effluents pour des installations nucléaires sont en revanche susceptibles d'être des déchets radioactifs et sont gérés en tant que tels. Les installations nucléaires sont susceptibles de produire des déchets liquides, qui ne sont pas gérés en station de traitement d'effluents.

A titre indicatif, le tableau en Annexe 1 : présente les options de gestion possibles de ces déchets et résidus, qui dépendent :

- De l'origine de production de ces déchets,
- Des radionucléides présents, ceux à prendre en compte lorsqu'ils sont d'origine naturelle, étant le potassium K40, l'uranium U238 et le Thorium- Th 232 ainsi que leurs radionucléides de filiation ;
- De l'activité massique du déchet, différents seuils de référence à 1, 10, 20 et 100 Bq/g définissant les options de stockage privilégiées de ces déchets ;
- De la disponibilité des filières et selon leurs prescriptions administratives pour l'acceptation de ce type de déchets.

2.1.2 Provenance des déchets TFA

Les déchets TFA sont des déchets provenant du fonctionnement et du démantèlement d'installations industrielles ; ils sont principalement issus d'installations nucléaires (des centrales nucléaires, des installations du cycle du combustible et des centres de recherche,) et proviennent également des industries classiques à caractère non nucléaire utilisant des matériaux contenant un ou plusieurs radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives.

Selon les déclarations de l'Inventaire national, ces déchets proviennent de plus de **70 sites**, dont les deux tiers correspondent à des sites et installations des principaux producteurs (EDF, Orano, CEA et CEA DAM), comme présenté en Figure 1.

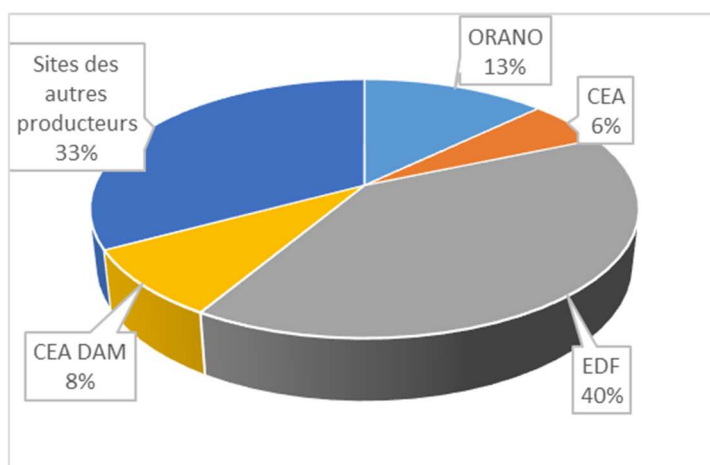


Figure 1 : Répartition des sites de production des déchets TFA (Inventaire national à fin 2020)

Plus précisément, au sein de chaque site, les déchets proviennent de zones spécifiques : la réglementation française a établi depuis 1999 pour les INB le principe du zonage déchets (arrêté du 31/12/1999 remplacé par

l'arrêté du 7 février 2012 dit arrêté INB [12] et décision ASN n°2015-DC-0508 [13]). Le plan de zonage déchets est établi dans le but de délimiter les **zones à production possible de déchets nucléaires (ZppDN)** où les déchets produits sont contaminés, activés ou susceptibles de l'être ; les déchets issus de ces ZppDN doivent alors être gérés en filière nucléaire quel que soit leur niveau d'activité, et, en particulier, même si aucune trace d'activité radioactive n'est détectable.

Ce zonage a par la suite été étendu aux INBS et ICPE ([14] et [15]).

Le principe de ce zonage a été introduit quand la plupart des installations nucléaires de base étaient déjà construites et en fonctionnement. Il n'a donc pas été intégré lors de la conception des installations dans la grande majorité des cas, et a été déployé de manière prudente et souvent pénalisante, au regard des caractéristiques des installations et des contraintes d'exploitation préexistantes, sans possibilité d'anticiper les impacts liés aux opérations de démantèlement sur la production des déchets. De ce fait, des zones avaient été classées en ZppDN en nombre important, alors que le risque de contamination ou d'activation des déchets n'était pas avéré, ce qui a conduit à générer ou à prévoir la production d'un volume très important de déchets classés dans la catégorie TFA.

Les exploitants d'installations nucléaires travaillent régulièrement à identifier les bonnes pratiques pouvant être mises en œuvre sur leurs installations afin d'optimiser le zonage déchets et la production des déchets nucléaires de démantèlement ; un rapport de retour d'expérience a été remis à ce titre en décembre 2020 par EDF, CEA, Orano et Framatome au titre du PNGMDR 2016-2018 [16] . Ces travaux sur le zonage constituent un premier axe d'optimisation et de réduction de la production de déchets TFA dès la source. Cependant, conformément à la conclusion de ce rapport, les axes d'optimisation liés au zonage sont actuellement limités.

2.1.3 Nature et volumes des déchets TFA produits

Volumes des déchets

Les données de volumes présentées ci-après dans le Tableau 1 sont issues des déclarations effectuées par les producteurs au titre de l'Inventaire national, et des bilans de déchets réceptionnés sur le Cires par l'Andra depuis 2003. Ils sont publiés annuellement pour les déchets déjà produits, sur une base de « volume équivalent conditionné », c'est-à-dire en prenant en compte les éventuels facteurs de réduction de volume lorsque des traitements sont envisagés et en incluant le volume hors-tout occupé par les emballages (encombrement des colis).

Le bilan fait état de 586 000 m³ de déchets TFA déjà produits à fin 2020 [17] (année de référence retenue pour le présent rapport).

Bilan des déchets TFA produits à fin 2020	Volumes (m ³)	
	Total	586 000
Volume stocké au Cires 2003-2020		412 000
Volume entreposé sur les sites des producteurs		174 000

Tableau 1 : Bilan des déchets TFA produits à fin 2020

Les Figure 2 et Figure 3 présentent la répartition de ces volumes stockés et entreposés pour les différents producteurs, EDF, CEA, Orano et les producteurs non électronucléaires.

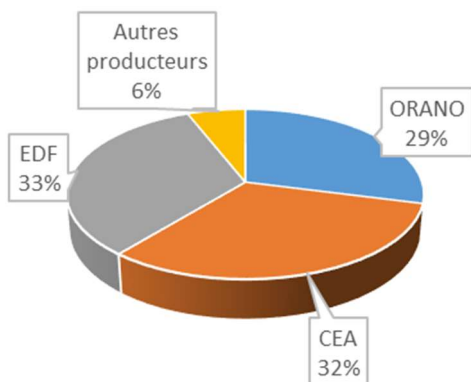


Figure 2 : Répartition des volumes stockés au Cires à fin 2020 par producteur

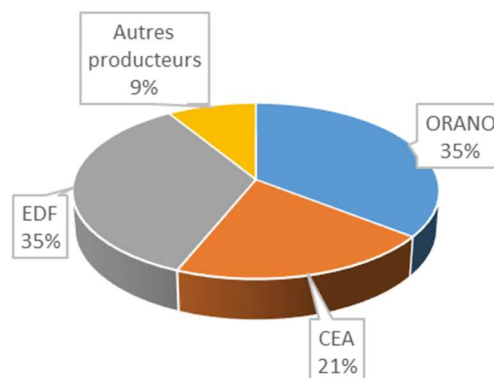


Figure 3 : Répartition des volumes entreposés à fin 2020 par producteur

Nature des déchets

La répartition par nature des déchets TFA produits accueillis au stockage du Cires ou entreposés sur les sites des producteurs à fin 2020 est présentée dans le Tableau 2.

Les déchets stockés sont à près de 80% constitués de déchets métalliques et de déchets de type terres et gravats.

Nature physique des déchets stockés au Cires à fin 2020	Volumes (m ³)	Répartition
Total	41 2000	
Déchets métalliques	182 000	44%
Déchets inertes (terres et gravats)	140 000	34%
Matières cellulosiques et plastiques (incinérables)	44 000	11%
Autres (résines, boues de décantation, bois...)	47 000	11%

Répartition des déchets TFA entreposés ou en transit à fin 2020	Volumes (m ³)	Répartition
Total	174 000	
Répartition :		
- Blocs sodés EDF, site de Creys-Malville	38 000	22%
- Déchets divers et terre Orano, Usine de Malvesi	37 000	21%
- Stériles, boues, terres et gravats CEA, site du Bouchet	22 000	13%
- Déchets TFA entreposés en volume > 1000 m ³ (de 1000 à 7 000 m ³ , sur 9 sites)	32 000	18%
- Déchets TFA entreposés sur divers sites en volumes < 1000 m ³	45 000	26%

Tableau 2 : Détail des déchets TFA stockés ou entreposés produits de 2003 à fin 2020 (Sources : Inventaire national 2020 et données Andra-Cires)

2.1.4 Caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des déchets TFA

Caractéristiques radiologiques

L'activité radiologique des déchets TFA est, selon la classification des déchets radioactifs (cf. § 2.1.1) « en général inférieure à cent becquerels par gramme ».

Les déchets stockés au Cires ont ainsi en moyenne une activité radiologique déclarée d'une dizaine de becquerels par gramme de colis. A noter que pour les déchets les moins radioactifs et, en particulier, lorsqu'il

est difficile de mesurer l'activité radiologique, une activité forfaitaire majorante est prise en compte dans le calcul d'activité moyenne des déchets stockés.

L'Andra a établi un Indice Radiologique d'Acceptation en Stockage (IRAS) qui est un critère radiologique pour l'acceptation des lots de déchets TFA dans son centre de stockage du Cires [18]. Cet indice permet, de manière intégrée et pondérée, de prendre en compte la présence de différents radionucléides présents dans le déchet et leur activité. A l'échelle d'un lot de colis de déchet, l'IRAS doit rester inférieur à 1 pour que le lot soit admissible au stockage, et, selon les cas, peut atteindre 10 au maximum à l'échelle du colis.

Le retour d'expérience de l'exploitation du Cires depuis sa création montre que l'IRAS moyen des lots de colis reçus est de l'ordre de 0,22, avec une majorité de colis pour lesquels l'IRAS est inférieur à 0,1, ce qui reste très inférieur (facteur 4 à 5) par rapport aux niveaux admissibles au stockage (cf. Figure 4).

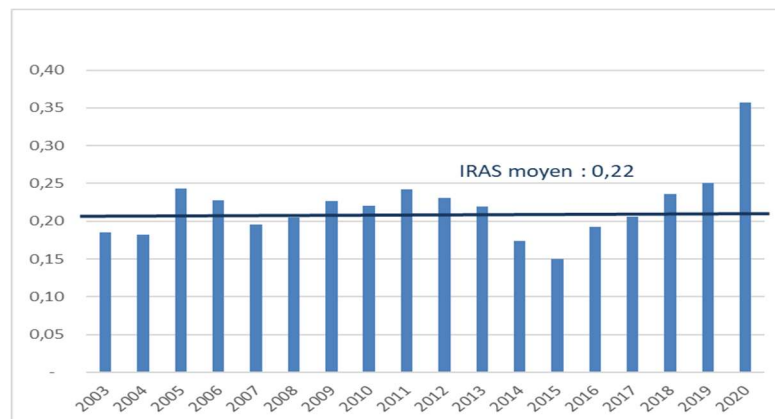


Figure 4 : IRAS moyen et annuels des lots de déchets stockés au Cires

Les activités et spectres radiologiques des colis reçus au Cires (c'est-à-dire sans tenir compte du phénomène naturel de décroissance radioactive) permettent de définir les principaux radionucléides présents dans les déchets TFA : ainsi, parmi plus de 140 radionucléides déclarés, 7 radionucléides couvrent près de 90% de l'activité radiologique de ces déchets (soit 5 200 GBq). Il s'agit, dans l'ordre décroissant d'activité, du nickel (Ni63), du tritium (H3), de l'uranium (U234 et U238), du plutonium (Pu241), du fer (Fe55), et du césium (CS137) (cf. Figure 5).

Par ailleurs, d'autres radionucléides ont été retenus en fonction de leurs caractéristiques de radiotoxicité et ou pour des exigences de sûreté dans le dimensionnement du stockage au Cires ; une liste de 26 radionucléides d'intérêt fait l'objet de définition d'une capacité maximale d'activité admise au stockage pour ce site. A fin 2020, les 5 principaux radionucléides d'intérêt, présents à plus de 5% de la capacité maximale admissible, sont le thorium (Th232), l'argent (Ag108m), le neptunium (Np237), le tritium (H3) et le carbone (C14). (cf. Figure 6).

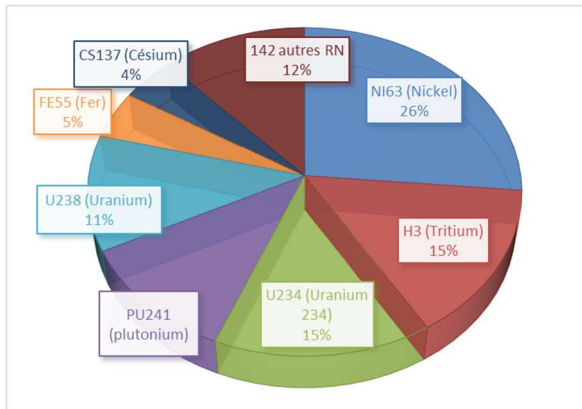


Figure 5 : Principaux radionucléides présents dans les déchets TFA stockés au Cires (en activité totale)

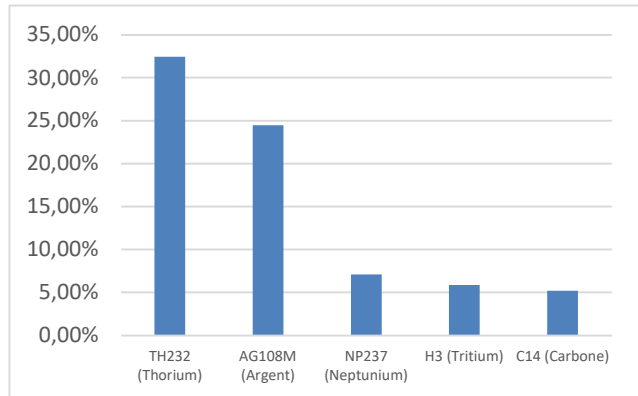


Figure 6 : Part de la capacité radiologique stockée au Cires par rapport à la capacité admise pour les principaux radionucléides d'intérêt (>5%)

Caractéristiques physico-chimiques et caractère « dangereux »

Au regard de leurs caractéristiques physico-chimiques, les déchets TFA peuvent être classés selon les définitions du Code de l'environnement (Art. R541-8³) [19] de « déchets inertes » à « déchets dangereux ».

Pour autant, les déchets TFA sont principalement des déchets inertes (terres et gravats) et métalliques, non dangereux ; à titre de référence, seuls 3% des déchets stockés au Cires sont constitués de déchets dangereux. Il s'agit pour l'essentiel de boues de traitements, de résines échangeuses d'ions, de certains déchets métalliques ou des terres contaminées.

2.2 Les options de gestion actuelles

2.2.1 Le stockage au Cires est l'exutoire privilégié pour les déchets TFA solides

Les options actuelles de gestion des déchets TFA sont essentiellement basées sur le stockage direct ; il existe un centre accueillant les déchets TFA en France, le Cires (le stockage est dit « centralisé »). Préalablement au stockage, diverses opérations de caractérisation, préparation, de conditionnement et de transport des déchets sont mises en place.

2.2.1.1 Préparation, prétraitement et conditionnement des déchets en vue de leur expédition au Cires

Des opérations de préparation, pré-traitement et conditionnement des déchets sont menées préalablement au stockage, soit pour optimiser le volume des déchets, soit pour se conformer aux spécifications d'acceptation.

Les contraintes de volumes, liées à la capacité de stockage du Cires et au coût du stockage, constituent un enjeu fort pour les producteurs. Ces derniers travaillent de manière permanente sur la densification des colis de déchets lors de leur constitution selon les modalités de conditionnement autorisées par l'Andra en fonction des types de colis utilisés. La recherche de ces optimisations a pour objectif d'augmenter le taux de remplissage

³ Art. R541-8 du Code de l'environnement : Déchet dangereux : tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive 2008/98/ CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Ils sont signalés par un astérisque dans la liste des déchets mentionnée à l'article R. 541-7.

Déchet non dangereux : tout déchet qui ne présente aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux.

Déchet inerte : tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine.

des colis et par conséquent de diminuer le nombre de colis à constituer, ainsi que le volume de déchets conditionnés à stocker. Cela permet également de réduire le nombre de transports à réaliser vers le Cires, ce qui diminue l'impact environnemental en résultant.

Pour ce faire, les producteurs organisent leur gestion de déchets en mettant en place, autant que possible, des étapes de prétraitement des déchets comme le tri, la découpe en morceaux, le compactage *in situ*. Ces étapes sont réalisées dans des ateliers de traitement ou dans des bases chaudes, dans la mesure du possible à proximité des lieux de production.

Le *tri* consiste à séparer les déchets selon leurs caractéristiques dimensionnelles et physico-chimiques de façon à séparer des déchets qui ne peuvent pas être conditionnés ensemble, à faciliter le remplissage des colis et/ou à réduire le vide interstitiel entre les déchets, et orienter les déchets vers des opérations de réduction de volume éventuelles auxquelles ils pourraient être éligibles. Le tri est réalisé par des opérations de manutention humaines ou mécaniques (exemple : table de tri) en utilisant éventuellement des matériels/équipements permettant de vérifier les critères de tri (dimensionnels, nature physique etc...).

La *découpe* en morceaux de certains déchets permet une mise au gabarit et une optimisation de l'agencement des déchets à l'intérieur du colis utilisé. Ces découpes permettent également de gérer le respect des éventuelles restrictions sur certaines natures chimiques autorisées au Cires. Ces découpes sont réalisées dans un atelier de traitement dédié à l'aide de dispositifs de découpe électromécanique et avec des dispositions de confinement adaptées.

Le *compactage* est un procédé de réduction de volume possible pour certains déchets de faible densité dont les caractéristiques le permettent. Le moyen le plus utilisé est la presse à compacter. Les déchets ou les colis de déchets (GRVS, fûts) sont introduits dans une presse mécanique qui après compactage permet d'obtenir en sortie des paquets (compactage de déchets ou fûts de déchets), des galettes (compactage d'un fût), ou des balles (compactage de GRVS de déchets technologiques) qui sont ensuite conditionnés dans un colis final à destination du stockage.

Pour mettre en place un tel procédé, il est nécessaire d'avoir un gisement important de déchets compactables sur site. Ainsi, le compactage est souvent réalisé directement au Cires ou via une installation de traitement externe gérant les besoins de plusieurs installations, avant envoi au Cires.

Les déchets ainsi préparés sont *conditionnés* en vue de leur expédition, puis de leur mise en stockage. En majorité, les déchets TFA sont conditionnés dans des caissons métalliques, des fûts, ou des GRVS (Grand Récipient pour Vrac Souple aussi connu sous le terme de "big-bag").

Par ailleurs, certains déchets nécessitent des opérations complémentaires préalablement à leur mise en stockage, afin de respecter les règles d'exploitation applicables au Cires (par exemple en lien avec les exigences de tenue mécanique des massifs de déchets, de réduction des teneurs en eau ou de stabilisation physico-chimique) ; les opérations consistent en un remplissage des vides interstitiels, par du sable ou des liants hydrauliques.

L'*injection de mortier ou de sable*, notamment dans les caissons métalliques peut être réalisée par les producteurs sur leur site de production ou par l'Andra au Cires, directement dans l'alvéole de stockage. Ce traitement est nécessaire en cas de volume de vide résiduel important dans le colis, pour assurer la tenue mécanique de l'ouvrage, ou pour protéger les travailleurs en cas de présence de contamination surfacique labile.

La *stabilisation des déchets dangereux* peut être réalisée par les producteurs sur leur site de production ou par l'Andra au Cires. La stabilisation a pour but de bloquer les substances dangereuses dans le colis.

2.2.1.2 Le stockage des déchets : présentation du Cires

Le Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (Cires), exploité par l'Andra, est implanté sur les communes de Morvilliers et de La Chaise, dans le département de l'Aube. Il est dédié, depuis 2003, au stockage des déchets de très faible activité (TFA), et depuis 2012, à des activités connexes de regroupement de déchets radioactifs issus d'activités non électronucléaires et d'entreposage de certains de ces déchets qui n'ont pas encore de solution de gestion définitive. En 2016, une nouvelle activité de tri et de traitement dédiée aux déchets radioactifs issus d'activités non électronucléaires a été mise en service. Le bâtiment de

regroupement peut être assimilé à une plateforme d'aiguillage ; les colis de déchets y sont triés et regroupés par catégorie avant d'être orientés vers des installations de traitement, de stockage ou d'entreposage.

Le Cires est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE). D'une superficie totale de 46 hectares dont 18 réservés au stockage des déchets TFA, ce centre est autorisé à accueillir 650 000 m³ de déchets (hors projet d'extension, voir § 3.4.1). À fin 2020, la capacité de stockage était utilisée à hauteur de 63 % de cette capacité totale.

La conception de ce centre de stockage est établie sur des bases comparables à celles utilisées pour la conception des centres de stockage de déchets dangereux conventionnels ; la Figure 7 présente ces principes de conception : les déchets sont stockés en surface, dans des alvéoles de stockage, creusées à quelques mètres de profondeur dans une couche d'argile de plusieurs mètres d'épaisseur qui constitue une « barrière de sécurité passive ». La surface des alvéoles est de l'ordre de 4400 m² (alvéoles allongées de 176 m par 25 m). L'argile est protégée par une structure multicouche de géomembrane imperméable et de structures drainantes permettant le recueil des eaux ayant percolé dans les alvéoles, que l'on appelle des lixiviats (issus de l'humidité atmosphérique ou de l'humidité des matériaux naturels de comblement mis en œuvre entre les colis). Pour limiter cette production de lixiviats qu'il faut ensuite traiter, la mise en stockage se fait sous abri.

Une fois remplies jusqu'à formation d'un dôme, ces alvéoles sont recouvertes d'une couche de sable, puis fermées par une couverture composée d'un complexe de matériaux techniques et naturels : une géomembrane en PEHD⁴ qui garantit l'imperméabilité du stockage et un géotextile de protection résistant aux rayonnements UV. Une couverture argileuse est ensuite placée sur les alvéoles pour assurer le confinement des déchets à long terme et le réaménagement du site.

La Figure 8 présente quelques photographies des alvéoles de stockage du Cires.

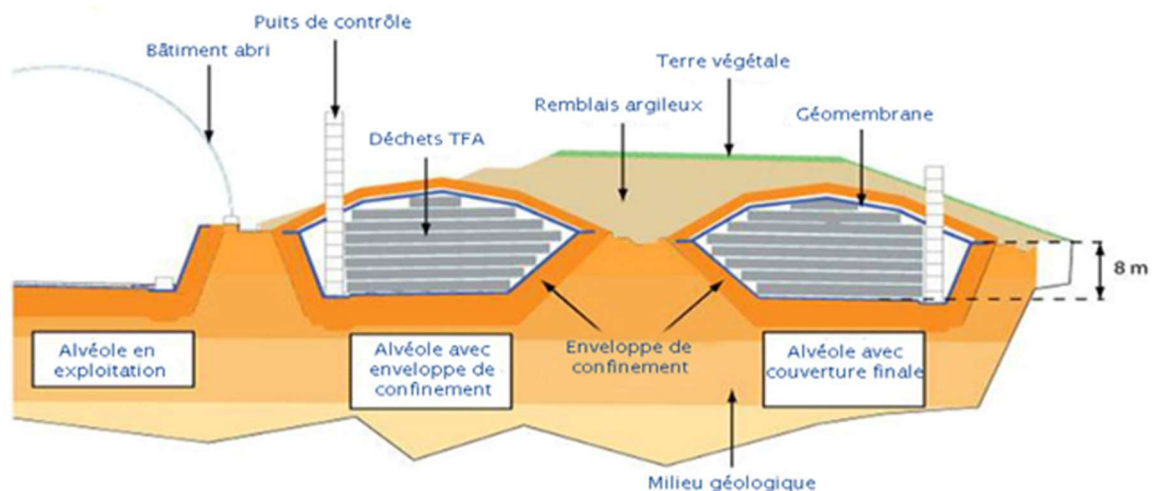


Figure 7 : Principe de conception du stockage au Cires

⁴ PEHD : polyéthylène haute densité



Figure 8 : Photographies des alvéoles (source : photothèque Andra)

2.2.2 Les options de traitement

Certains déchets TFA ne sont pas directement envoyés en stockage. Il s'agit généralement de déchets de natures spécifiques, tels les déchets liquides, ou de manière marginale certains déchets incinérables ou métalliques, lorsque ces déchets TFA sont associés avec d'autres catégories de déchets radioactifs (déchets FMA-VC de faible et moyenne activité à vie courte).

2.2.2.1 Incinération de déchets solides et liquides : Centraco-Cyclife

L'installation Centraco, exploitée par Cyclife France, filiale du Groupe EDF, est située sur le site industriel de Marcoule, au Nord-Est du département du Gard, sur la commune de Codolet.



Figure 9 : Vue de Centraco

L'unité d'incinération de Centraco traite des déchets solides et liquides combustibles de très faible activité (TFA) et de faible à moyenne activité à vie courte (FMA-VC) générés par les installations nucléaires ou bien collectés par l'ANDRA (Déchets issus de la filière non électronucléaire : les laboratoires, et les hôpitaux...).

Cyclife France est autorisée à traiter 3 000 tonnes de déchets solides et 3 000 tonnes de déchets liquides par an.

Les déchets traités dans cette unité sont de deux types :

- Déchets solides incinérables (DSI) : déchets issus des activités de production ou d'opérations de maintenance tels que, par exemple, des équipements de protection individuels (vêtements de travail, sur-chaussures), du carton, du papier, du plastique, du bois, des boues solides, des produits organiques en petite quantité (graisse...), des déchets putrescibles... ;
- Déchets liquides incinérables (DLI) : selon leur nature, ils sont divisés en sous-familles : liquides aqueux (acides, basiques, neutres) et liquides organiques (huiles, solvants organiques divers) ; pour une incinération directe, leur viscosité doit être telle qu'ils soient pompables et injectables à travers les cannes d'injection de l'incinérateur. Exemples de déchets liquides incinérables traités à Centraco : boues liquides, solutions aqueuses, solutions de décontamination, effluents de lessivage, concentrats, solvants, huiles, TBP, Résines Échangeuses d'Ions, etc.

L'unité d'incinération de Centraco est équipée d'un four statique à trois chambres de combustion permettant d'incinérer des déchets combustibles TFA et FMA-VC. Sa conception a été adaptée aux exigences des installations nucléaires, notamment en matière de confinement de la radioactivité (mise en dépression par rapport au local dans un bâtiment lui-même en dépression). Les déchets solides sont introduits dans la chambre primaire. Les effluents liquides sont injectés soit dans la chambre primaire, soit dans la chambre secondaire, selon de leur composition chimique, en co-incinération avec des déchets solides.

L'unité d'incinération permet un gain de volume des déchets d'un facteur 10 à 20 et une caractérisation physico-chimique et radiologique précise des déchets résultants. Les résidus d'incinération, principalement constitués de cendres et mâchefers, sont récupérés et bloqués dans un « ciment » par la méthode de l'inertage à froid et stockés au CSA. Les autres déchets radioactifs issus de l'exploitation sont conditionnés et transportés vers un centre de stockage de l'Andra (Cires ou CSA).

2.2.2.2 Traitement des liquides organiques et aqueux

Pour rappel les effluents liquides ne sont pas considérés comme des déchets radioactifs (cf. § 2.1.1). Les installations nucléaires sont par contre susceptibles de produire des déchets liquides, qui ne sont pas gérés en station de traitement d'effluents.

Ces déchets liquides aqueux ou organiques ne sont pas admis en stockage direct et doivent faire l'objet d'un traitement préalable. Il n'y a généralement pas de catégorisation entre les liquides de très faible et ceux de faible activité (TFA et FA), qui sont traités dans les mêmes filières.

Les liquides sont préférentiellement traités par co-incinération dans l'installation Centraco avec des déchets solides, lorsque les critères d'acceptation sont respectés, avec gestion ultérieure des résidus d'incinération (mâchefers, cendres...) pour mise en colis définitif et envoi à l'exutoire (cf. § 2.2.2.1).

Ponctuellement, des essais de prétraitement par solidification de liquides au moyen d'une matrice combustible ont déjà été menés (exemple : procédé NOCHAR appliqué à des déchets liquides de Brennilis), les déchets solidifiés ont ensuite été expédiés dans la filière des déchets solides incinérables (DSI) de Centraco. Les études sur différentes solutions de solidification se poursuivent.

De manière marginale, certains liquides issus d'actions de R&D peuvent nécessiter des études spécifiques afin d'en définir le traitement approprié.

2.2.2.3 La fusion de certains déchets métalliques : Centraco-Cyclife

L'unité de fonderie de Centraco est installée sur le site de Marcoule avec l'unité d'incinération. Les déchets métalliques TFA traités par l'unité de fusion sont traités en mélange avec les déchets métalliques FMA-VC. Il est à noter que cette filière est techniquement possible pour les déchets métalliques TFA mais actuellement peu utilisée pour ces déchets en raison de son coût.

Les déchets métalliques triés et mis au gabarit sont fondus dans le four à induction d'une capacité de 4 tonnes. Une fois la température de 1 500°C atteinte pour la fonte et 1750°C pour les aciers, le bain de fusion est versé dans une poche de coulée. Le métal fondu contenu dans la poche peut alors être coulé dans une chemise en acier pour réaliser le colis final appelé lingot. L'unité de fusion permet un gain de volume des déchets d'un facteur de 6 et une caractérisation physico-chimique et radiologique précise des colis.

Lorsque c'est possible et selon la qualité métallurgique du bain de fusion, une partie des déchets peut être recyclée en Protection Radiologique Intégrable (PRI) ; ces protections sont réalisées avec une centrifugeuse. Elles sont ensuite intégrées dans des conteneurs en béton pour le conditionnement de résines échangeuses d'ions.

Les résidus finaux de la fusion appelés laitiers, poussières, réfractaires et les lingots sont conditionnés conformément aux accords avec l'Andra pour être stockés au Cires ou au CSA.

L'unité de fusion de Centraco possède une autorisation pour fondre 3 500 tonnes de déchets métalliques par an. Depuis sa mise en service, l'unité de fusion a fondu plus de 26 000 tonnes de déchets métalliques (valeur à fin 2021).



Figure 10 : Fusion des métaux (source : Centraco-Cyclife)

2.3 L'entreposage et le transit des déchets

L'entreposage ne constitue pas une option de gestion en tant que telle mais une étape dans la chaîne de gestion. Ainsi, la durée d'entreposage doit être limitée dans le temps. A fin 2020, il était recensé 174 000 m³ de déchets TFA en entreposage ; le Tableau 2 (cf. § 2.1.3) donne la répartition des principaux déchets TFA entreposés.

Les déchets radioactifs sont principalement entreposés lorsqu'ils sont en attente d'une solution de gestion future (traitement, (re)conditionnement ...), soit car ils sont hors spécifications d'acceptation du Cires, soit parce que les producteurs souhaitent optimiser la chaîne de gestion (dans le cas de gros volumes par exemple), réguler les flux destinés au stockage ou plus rarement pour permettre une décroissance radioactive.

Sont considérés comme étant en entreposage des déchets, conditionnés ou non, mis en état sûr dans des bâtiments (hangar, silos...) ou en bassins (effluents liquides).

2.4 Schéma des options de gestion actuelles

La Figure 11 synthétise des principales options de gestion actuelles actuellement utilisées des déchets TFA.

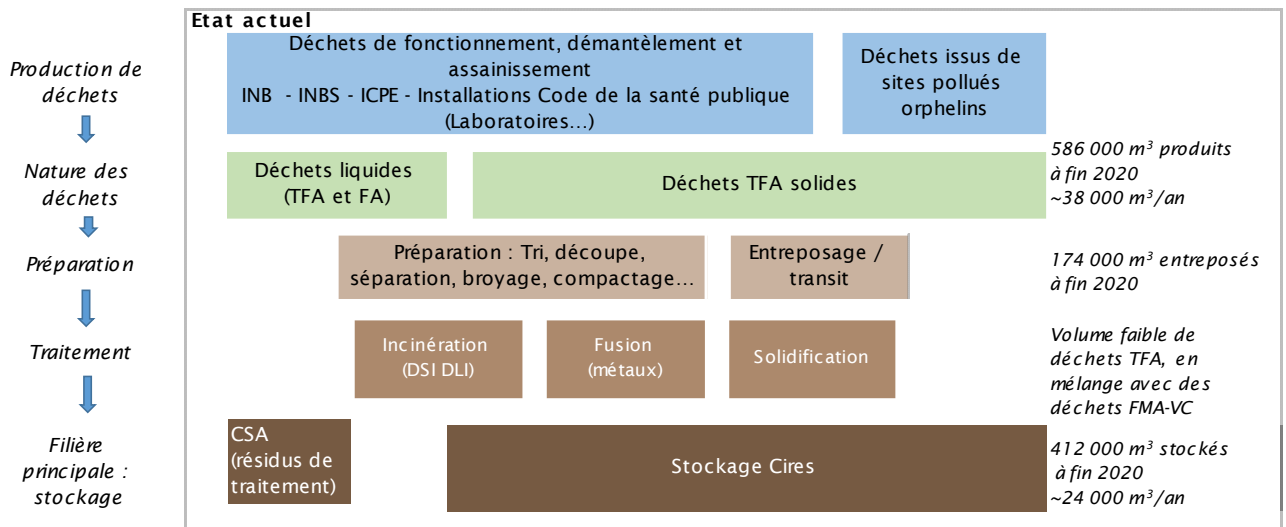


Figure 11 : Schéma récapitulatif des options de gestion actuelles des déchets TFA

3. Les perspectives d'évolutions

3.1 Les enjeux de la gestion future des déchets TFA

3.1.1 Un approfondissement des réflexions face aux volumes de déchets à produire

L'Inventaire national (IN), dans sa dernière édition intégrant des perspectives (édition 2018 des données à fin 2016), a recensé 2 100 000 à 2 300 000 m³ de déchets TFA à produire à terminaison en fonction des scénarios. Les perspectives de production des déchets TFA excèdent donc la capacité de stockage actuelle du Cires.

Par ailleurs, il a été constaté qu'une part significative de ces déchets présentent une activité radiologique faible et parfois inférieure aux seuils de détection des appareils de mesure de la radioactivité.

Les pistes de réflexions qui ont émergé sur la gestion des déchets TFA il y a une dizaine d'années consistent, face à la production massive attendue de ces déchets dans les décennies à venir, à **réinterroger la stratégie actuelle du « tout stockage dans un centre de stockage centralisé »**, sans remettre en cause les principes généraux de sûreté associés.

3.1.2 Une cohérence avec les principes généraux de la réglementation

Pour rappel, la réglementation et en particulier l'article L. 541-1 du Code de l'environnement définit des **principes généraux de gestion des déchets favorisant une économie circulaire** :

- une hiérarchie des modes de gestion des déchets, consistant à privilégier, dans l'ordre :
 - o i) la réduction « à la source » de la production et de la nocivité des déchets
 - o ii) la réutilisation des déchets / recyclage / valorisation notamment énergétique avant leur élimination
 - o iii) la limitation des transports (L. 541-1 CE) ;
- des principes de gestion des déchets sans atteinte à la santé humaine et à l'environnement (L. 541-1 CE)
- une économie des ressources épuisables et amélioration de l'efficacité de l'utilisation des ressources (L. 541-1 CE), par l'intermédiaire de l'écoconception et par la hiérarchie d'utilisation des ressources

(ressources issues du recyclage - sources renouvelables / ressources recyclables / autres ressources)
(L.110-1 du CE)

- le retrait, avant ou pendant la valorisation, des substances dangereuses lorsque cela est nécessaire, pour permettre le respect de la hiérarchie des modes de gestion sans atteinte à la santé et à l'environnement (L. 541-1 CE).

D'autres objectifs techniques inhérents peuvent être associés, tels que la disponibilité de la filière. Ainsi, il est rapidement apparu la **nécessité de préserver la ressource limitée de capacité de stockage des déchets radioactifs TFA qu'est le Cires**.

Le PNGMDR 2016 - 2018 a prescrit la réalisation de premières études portant sur des modalités de gestion complémentaires des déchets TFA, telles que la **valorisation, la densification, ou le recours à des installations de stockage décentralisées**.

3.1.3 Des évolutions réglementaires en 2022 permettant la valorisation

La doctrine nationale de gestion des déchets radioactifs avait initialement défini un mode de gestion basé sur le fait qu'un déchet produit dans une installation nucléaire est qualifié de radioactif en fonction de son lieu de production et non de sa radioactivité (principe du zonage déchets, voir §2.1.2). Ainsi, qu'il soit radioactif ou non, un déchet provenant d'une Zone à Production Possible de Déchets Nucléaires devait jusqu'à peu être géré exclusivement en filière nucléaire, et stocké dans un centre de stockage de déchets radioactifs de l'Andra.

Dans le reste de l'Europe, la qualification d'un déchet radioactif se fait sur la base de son niveau de radioactivité : en-dessous d'un certain seuil de radioactivité, dit « **seuil de libération** », un déchet n'est pas considéré comme radioactif et il peut alors être valorisé ou recyclé dans l'industrie conventionnelle, ou mis en stockage dans des installations de stockage de déchets conventionnels.

A l'issue d'un large débat public concernant des possibilités et modalités de valorisation, le gouvernement a **fait évoluer en février 2022 le cadre réglementaire français** applicable à la gestion des déchets TFA, en y introduisant une nouvelle possibilité de **dérogations ciblées au Code de la santé publique permettant une opération de valorisation au cas par cas de déchets radioactifs** [21], ce qui est actuellement applicable aux **déchets métalliques** [22].

Il est ainsi désormais possible d'envisager de procéder à des opérations de valorisation de certains déchets radioactifs métalliques faiblement actifs dans des installations spécifiques dûment autorisées. Les produits de sortie peuvent faire l'objet de dérogation aux interdictions d'utilisation de « substances provenant d'une activité nucléaire » telles que définies aux articles R.1333-2 et R1333-3 du Code de la santé publique, après un processus de contrôle rigoureux.

Lorsque la dérogation est accordée, les produits résultant de l'opération de valorisation et ayant fait la preuve d'un niveau de radioactivité inférieur au seuil de référence ne sont plus des substances radioactives. Cette évolution de la réglementation permet à la France de proposer des filières de valorisation comme elles existent déjà dans d'autres pays européens. De plus, cette évolution réglementaire récente répond à des enjeux d'économie circulaire puisqu'elle permet la mise en place en France du recyclage de substances parfois à forte valeur ajoutée.

Cette perspective constitue une évolution majeure dans les options envisageables de gestion des déchets métalliques de faible activité.

3.1.4 Synthèse des enjeux

Le principal enjeu de la gestion future des déchets TFA, tel que défini par la réglementation, est d'aboutir à un schéma industriel de gestion qui « *préserve les capacités de stockage en prenant en considération les possibilités de densification des déchets stockés et de valorisation de certains types de déchets radioactifs de très faible activité.* » (cf. Article D.542-86 du Code de l'environnement [8]).

L'objectif associé de la gestion des déchets TFA est de construire des filières diversifiées, proportionnées aux enjeux techniques et économiques, du point de vue de la sûreté nucléaire, de la dangerosité des déchets ainsi qu'au regard des impacts environnementaux. Le dimensionnement des futures capacités du ou des stockages dépendra des options de gestion (traitement, valorisation) envisagées puis mises en œuvre pour les différentes typologies de déchets TFA.

Les enjeux de la filière de gestion des déchets TFA peuvent donc être déclinés comme suit :

- ✓ Améliorer la connaissance de ces déchets en vue d'affiner les options de gestion ;
- ✓ Diminuer le volume de déchets à produire à la source puis à stocker ;
- ✓ Favoriser l'économie circulaire et le développement durable : ouvrir des filières techniquement et économiquement adaptées à certains déchets particuliers, qu'il s'agisse de filières de traitement ou de valorisation ;
- ✓ Dimensionner et anticiper les futures capacités du ou des stockages de déchets radioactifs.

3.2 Présentation des déchets futurs

3.2.1 Evolution des flux / chroniques des déchets

Les données de volumes présentées sont issues des déclarations effectuées par les producteurs au titre des inventaires prospectifs pour l'édition 2018 de l'Inventaire national (données à fin 2016).

Ces inventaires prospectifs ont été réalisés selon quatre scénarios contrastés d'évolution de la politique énergétique envisagée en 2017 : trois scénarios de renouvellement du parc électronucléaire français et un scénario de non-renouvellement, qui suppose l'arrêt du nucléaire. Les trois scénarios de renouvellement prennent par hypothèse différentes durées de fonctionnement des réacteurs du Parc EDF. Ils supposent également le déploiement de nouveaux réacteurs, avec des hypothèses différentes sur le type de réacteurs déployés (EPR™/RNR ou EPR™ seuls) et sur le périmètre relatif au retraitement des combustibles usés. Les déclarations portent sur l'ensemble des substances radioactives produites et à produire par les installations ayant un décret d'autorisation à fin 2016 (installations existantes, projets ITER et EPR de Flamanville).

Ces exercices prospectifs vont être actualisés en application des scénarios de politiques énergétiques décrits à l'action POL.2 du Vème PNGMDR. Pour rappel, les déclarations porteront sur les installations ayant un décret d'autorisation à fin 2021 (installations existantes, projets ITER et EPR de Flamanville).

Les quantités de déchets radioactifs et matières requalifiables en déchets sont ont été estimées à terminaison pour chacun des scénarios sur la base des informations fournies par leurs détenteurs.

La quantité de déchets produits par les réacteurs du parc électronucléaire actuel est directement liée à leur durée de fonctionnement : une augmentation de la durée de fonctionnement entraîne une augmentation de la quantité de déchets de fonctionnement produits.

L'estimation globale de production des déchets TFA s'établit à environ 2 200 000 m³, avec des écarts de ±100 000 m³ en fonction des scénarios prospectifs, c'est à dire **qu'il resterait à produire pour les installations existantes environ 1 700 000 m³** de déchets TFA selon des flux prévisionnels présentés dans le Tableau 3.

	Déclarés 2003- 2017	Prévision 2017-2030	Prévision 2031-2040	Prévision 2040 >2070	
Volume de TFA conditionné (m3)	482 000 <i>(586 000 fin 2020)</i>	500 000	580 000	720 000	2 100 000 à 2 300 000 m ³
Déchets à produire <i>(fin 2020)</i> : ~1 700 000 m ³					

Tableau 3 : Perspectives de production des déchets TFA des installations ayant un décret d'autorisation à fin 2016 (sources : édition 2018 de l'Inventaire national donnant les prévisions 2017 à terminaison et Andra Cires 2003-2020)

Ces chiffres donnent des grandes tendances de production, mais qui restent soumis à de **fortes incertitudes**, en particulier concernant les productions de déchets en phase de démantèlement des installations. Ainsi, indépendamment des perspectives d'évolution des modalités de gestion, une grande prudence reste à avoir quant aux estimations de volumes de déchets TFA à produire **qui sont sujet à évolution**. Différentes études réalisées ou demandées dans le cadre des IVème et Vème éditions du PNGMDR vont permettre d'affiner les estimations :

- Étude réalisée au titre du PNGMDR 2016-2018 (article 21 de l'arrêté du 23 février 2017) sur le retour d'expérience de la mise en œuvre du zonage déchets dans les installations [16] ; cette étude présente les bonnes pratiques à adopter dans le zonage déchet, en particulier pour limiter les volumes de déchets TFA ;
- Étude réalisée au titre du PNGMDR 2016-2018 (article 23 de l'arrêté du 23 février 2017) sur la méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus du démantèlement des installations nucléaires d'Orano, de Framatome, du CEA et d'EDF [23] ; cette étude présente des retours sur les estimations de volumes de déchets et des incertitudes associées ;
- Étude TFA.11 prescrite au Ve PNGMDR 2022-2026 (article 25 de l'arrêté du 9 décembre 2022) relative à la définition des scénarios d'assainissement des structures et sols contaminés retenus pour établir les prévisions, et les incertitudes sur les prévisions de production de déchets TFA ;
- Étude DECPAR.3 prescrite au Ve PNGMDR 2022-2026 (article 40 de l'arrêté du 9 décembre 2022) définissant les modalités de gestion des stockages historiques incluant des scénarios de reprise ;

3.2.2 Nature des déchets à produire

Les démantèlements d'installations à venir vont conduire à une évolution dans les natures et répartitions des déchets à produire par rapport à ceux actuellement stockés au Cires. Les parts des déchets métalliques et de démolition (gravats) vont ainsi augmenter.

Les estimations de quantités de déchets TFA à produire se divisent en :

- Des grands lots homogènes de déchets métalliques ;
- Des grands volumes de déchets métalliques plus hétérogènes ;
- Des gravats et terres issus de l'assainissement des structures et des sols ;

Les autres flux (dont celui relatif aux déchets incinérables) sont plus modestes.

La répartition des déchets par nature est présentée au Tableau 4.

Nature physique	Volumes estimés à produire	Proportion relative
Lots de déchets métalliques homogènes	~200 000 m ³	10%
Autres déchets métalliques	~ 650 000 m ³	35 à 40%
Déchets d'assainissement (terres et gravats)	~600 000 m ³	30 à 40%
Autres flux : Matières cellulosiques, plastiques (incinérables), résines, boues, divers...	~250 000 m ³	~15%

Tableau 4 : Répartition des typologies de déchets à produire (sources : études PNGMDR 2016-2018 et Inventaire National)

Si les grandes tendances de production des déchets sont globalement connues, une description plus fine des déchets par nature et une chronique associée s'avèreront dans l'avenir utiles pour préciser les gisements à associer aux différentes filières de valorisation et de traitement.

Une première liste des natures de déchets TFA a été établie par l'Andra et les producteurs (cf. Tableau 5) : Liquides : aqueux et organiques ; Solides : incinérables, métalliques, minéraux et divers.

Les estimations de production de déchets pour ces natures seront croisées et complétées par des données de gisement qui vont être produites dans le cadre d'études spécifiques soit prescrites par le PNGMDR ou soit dédiées au dimensionnement de projets à l'étude pour certaines natures de déchets.

De même, les options de gestion à l'étude nécessiteront de mieux définir les caractéristiques radiologiques des déchets ainsi que les caractéristiques physico-chimiques, correspondant notamment à la nature des déchets selon le Code de l'environnement (dangereux, non dangereux ou inertes).

Nature		Etudes et projets thématiques	Nature des déchets concernés par les études
Liquide	Liquides aqueux	Etude art. 20 de l'arrêté PNGMDR	Déchets liquides valorisables
	Liquides organiques		
Solide	Organiques et plastiques (incinérables)	Etude art. 23 de l'arrêté PNGMDR	Comprend les putrescibles organiques, le bois, les matières cellulosiques et plastiques
	Métalliques	Etude art. 19 de l'arrêté PNGMDR	Métaux ferreux : aciers
		Projet France Relance 2022 : RPN2	Plomb
		Projet Investissement d'avenir (PIA3): Orcade	Cables électriques
			Autres métaux
	Minéraux	Etude art. 21 de l'arrêté PNGMDR	Déchets inertes (gravats, terres...)
		Etude art. 25 de l'arrêté PNGMDR	Terres d'assainissement
		SRON (terres, gravats...)	
		Autres déchets minéraux divers	
Divers	Etude art. 20 de l'arrêté PNGMDR	Autres déchets valorisables	

Tableau 5 : Pistes de réflexion sur les natures de déchets TFA à considérer

3.3 Options de gestion envisagées pour le traitement / valorisation des déchets TFA

3.3.1 Des projets de valorisation de déchets métalliques

Les évolutions réglementaires précitées (voir § 3.1.3) ouvrent la possibilité de recycler des matériaux métalliques de très faible activité (TFA) en France, comme cela se fait dans de très nombreux pays en Europe. Cette évolution réglementaire va permettre de réduire les volumes de déchets à stocker et de réutiliser la matière disponible dans une logique d'économie circulaire.

Des projets de valorisation sont actuellement à l'étude dans cette optique.

3.3.1.1 Projet Technocentre : projet de valorisation des aciers

EDF et Orano ont pour projet de réaliser, en tant que maîtres d'ouvrage, une installation industrielle de valorisation de métaux très faiblement actifs issus du démantèlement d'installations nucléaires, installation dénommée le Technocentre. L'objectif est la production, après fusion, de lingots métalliques dont les caractéristiques radiologiques contrôlées réglementairement garantissent une utilisation sans impact sur la santé et l'environnement. Ces lingots pourraient être utilisés ensuite y compris dans l'industrie conventionnelle. (Voir également la fiche projet en annexe 2.1).

Cette installation pourrait traiter et valoriser une partie des substances métalliques faiblement contaminées issues principalement d'opérations de démantèlement du secteur électronucléaire. Il pourrait s'agir de gros composants tels que les générateurs de vapeur des centrales nucléaires d'EDF ou les diffuseurs de l'usine d'enrichissement de l'uranium Georges Besse d'Orano (en démantèlement), mais également d'éléments provenant d'installations nucléaires lors du remplacement ou du démantèlement d'éléments métalliques (échangeurs de chaleur, tuyauterie, vannes, pompes...). Ces déchets pourraient représenter en France environ 500 000 t.

L'installation sera dimensionnée pour accueillir 25 000 t de métal par an. Les matériaux concernés sont des aciers et éventuellement des alliages de nickel ayant les caractéristiques suivantes :

- Métaux TFA « sans activité ajoutée » classés TFA uniquement parce qu'ils sont issus d'une « zone à production possible de déchets nucléaires » ;
- Métaux contaminés en surface et dont la contamination a été retirée par des procédés chimiques ou mécaniques en amont de la fusion ;
- Métaux faiblement contaminés en surface par des radionucléides particuliers dont la contamination sera retirée par le procédé de fusion (on parle de fusion décontaminante).

Les gros composants pourront être décontaminés et découpés dans l'atelier de préparation de l'installation. Cette dernière accueillera également des métaux faiblement actifs de plus petite taille. L'ensemble de ces matériaux sera fondu dans un four électrique à arc. Le processus de fusion permettra de retirer une part de l'activité, homogénéisera les métaux et permettra d'effectuer, en phase liquide, des prélèvements pour contrôler que les lingots produits pourront être réutilisés dans tous les secteurs industriels sans impact sanitaire.

Les déchets induits seront des produits issus de la décontamination et de la découpe des gros composants ainsi que les produits issus du laitier et des fumées du processus de fusion. Les déchets produits par l'installation seront envoyés pour stockage à l'Andra, en grande partie au Cires mais également pour une part plus réduite au CSA. Les déchets produits représenteront entre 10 et 15% de la masse entrante dans l'installation.

Le projet Technocentre fera l'objet d'une saisine de la Commission Nationale du Débat Public qui décidera des modalités de concertation publique adaptées au projet. Cette concertation sera réalisée avant toute décision de réalisation de l'installation et avant la dépose d'un dossier de demande d'autorisation environnementale. La décision d'investissement devrait intervenir d'ici à 5 ans pour une mise en service de l'usine envisagée en 2031. La durée de fonctionnement prévisionnelle est de 40 ans.



Figure 12 : Maquette du Technocentre – vue aérienne (source : EDF, Orano)

3.3.1.2 Projet RPN2 : projet de traitement et de valorisation du plomb

Dans le cadre réglementaire défini par l'arrêté du 14 février 2022 et présenté au § 3.1.3, l'objectif principal du projet RPN2 porté par un consortium de trois entreprises (Fonderie Lemer, Orano et Curium) est de développer une solution efficace, reproductible, viable et sécurisée de valorisation du plomb de catégorie faiblement radioactif provenant du domaine nucléaire. (Voir également la fiche projet en annexe 2.2).

Ce projet est encadré par le dispositif France 2030⁵.

Au cours de la fusion, les radioéléments plus légers que le plomb se retrouvent dans les surnageants (Cs, Co...) et ceux plus lourds (U, Pu...) se concentrent en fond de creuset. Les surnageants et des sous-nageants sont éliminés, permettant la coulée en lingots de plomb décontaminé.

Le projet est dimensionné pour traiter 400 tonnes de déchets de plomb TFA par an.

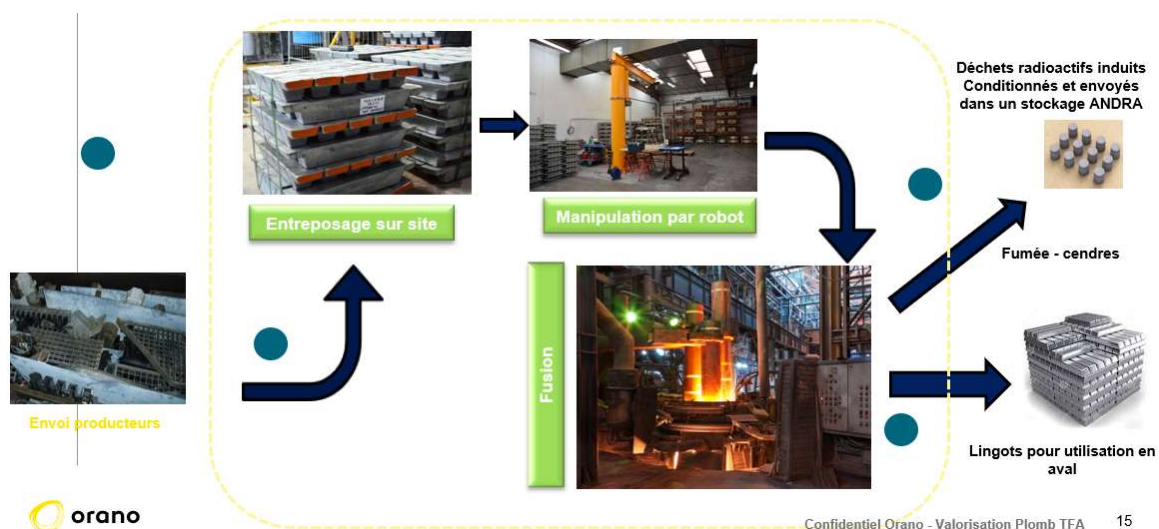


Figure 13 : Schéma du procédé du projet RPN2

⁵ Appel à Projets dans le cadre du plan France Relance 2030 - Volet « Production d'énergie décarbonée » - opéré pour le compte de l'Etat par l'ADEME, Bpifrance et ANR

3.3.2 Autres pistes de réflexion

Plusieurs autres projets sont également à l'étude sur des étapes de préparation, pré-traitement ou gestion de déchets TFA et sont présentés dans les paragraphes suivants. Les pistes de réflexion en cours sont présentées, mais d'autres axes de réflexion pourront émerger dans l'avenir.

3.3.2.1 Projet Orcade : Tri/ séparation des constituants de câbles électriques permettant le recyclage du cuivre

Le Projet Orcade porté par la société A3I (groupe Innovertis) est un projet mené dans le cadre du Plan d'Investissements d'Avenir (PIA)⁶. Il a pour objet de développer une installation permettant de séparer les constituants des câbles électriques : partie centrale métallique exempte de radioactivité et gaine polymère périphérique, présentant une potentielle contamination de surface. (Voir également la fiche projet en annexe 2.3).

Les métaux (cuivre, aluminium) pourraient alors être recyclés. Les premières estimations effectuées par les équipes du projet évaluent les câbles électriques à 10% en volume (ou 3% en masse) des déchets de démantèlement à gérer.

3.3.2.2 Projet de concassage de bétons pour réemploi

Dans le cadre des études prescrites par le Ve PNGMDR, et en particulier l'article 21 de l'arrêté d'application du PNGMDR [5], différents procédés de fragmentation et concassage des bétons sont étudiés par l'Andra en vue d'évaluer la faisabilité de substituer les matériaux de comblement actuellement utilisés au Cires par des gravats de béton provenant de la démolition de structures de génie civil d'installations nucléaires ou de démantèlement des INB (Voir également la fiche projet en annexe 2.4).

Les besoins associés au Cires sont estimés à environ 2 500 m³/an de matériau de comblement.

3.3.2.3 Projet de traitement de déchets liquides contenant de l'uranium

Orano Chimie Enrichissement étudie des procédés d'extraction de radionucléides (en particulier de l'uranium qui constitue une ressource, mais également la partie liquide du déchet), permettant d'envisager la valorisation de liquides aqueux. Ces solutions auraient le double avantage de pouvoir valoriser des liquides contenant des radionucléides naturels, et de minimiser l'utilisation de procédés thermiques. (Voir également la fiche projet en annexe 2.5).

Orano produit une quantité de quelques centaines de mètres cube de ces liquides par jour.

Une évolution réglementaire est nécessaire pour mettre en place ces projets : en effet, les projets de valorisation sont envisageables actuellement uniquement pour les déchets métalliques.

3.3.2.4 Projet SOLVERIS : traitement in situ de terres contaminées par vitrification

Compte-tenu notamment des enjeux associés aux terres contaminées en France et à l'international, un projet relatif au traitement des terres contaminées par vitrification (projet SOLVERIS) porté par SAFE TECHNOLOGIES (VEOLIA NUCLEAR SOLUTIONS) est en cours de développement dans le cadre du PIA et s'inscrit dans la thématique de l'optimisation de la gestion des déchets et d'une meilleure structuration des filières de gestion. (Voir également la fiche projet en annexe 2.6).

⁶ Les Programmes d'investissements d'avenir (PIA) ont été mis en place par l'État pour financer des investissements innovants et prometteurs sur le territoire, afin de permettre à la France d'augmenter son potentiel de croissance et d'emplois.

L'objectif recherché par le développement de cette technologie est de convertir les sols contaminés en une matière vitreuse stable et confinante, ce qui écartera tout risque de dissémination radioactive, y compris lors de la reprise ultérieure des terres vitrifiées.

Cette technologie consiste à chauffer le sol électriquement par effet Joule au moyen d'électrodes enfoncées dans la zone à traiter, provoquant la fusion et la vitrification de cette dernière. La surface de traitement est recouverte d'un dôme assurant le confinement et la collecte des gaz envoyés vers le système de traitement des gaz. La technologie a l'avantage de produire très peu de déchets induits lors de son fonctionnement. Le schéma de principe est présenté en Figure 14.

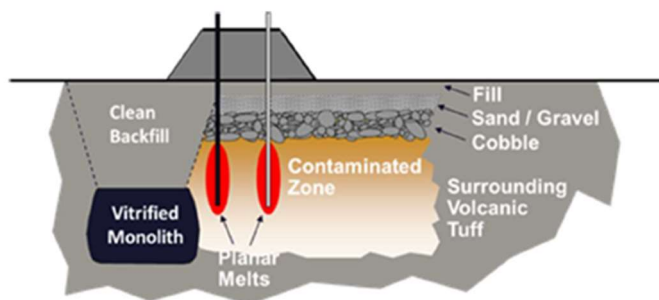


Figure 14 : Schéma de principe de la vitrification in situ

En fonction de l'objectif recherché suite à la vitrification, les terres peuvent être laissées en place avec une surveillance environnementale adaptée ou être excavées pour être envoyées en tant que déchet dans la filière de stockage appropriée (Cires ou autres centres de stockage décentralisé par exemple).

3.4 Options de gestion envisagées pour le stockage

Plusieurs projets, à divers stades d'avancement, sont actuellement à l'étude concernant l'élargissement des options de gestion pour le stockage.

3.4.1 Perspectives d'extension de capacité de stockage du Cires :

La capacité de stockage maximale autorisée du Cires est aujourd'hui de 650 000 m³, et fin 2020 celle-ci était utilisée à hauteur de 63% (cf. § 2.2.1.2). En considérant un apport de déchets stable par rapport à la situation actuelle, l'Andra estime que le centre atteindra sa limite d'ici 2030.

Un projet d'Augmentation de la Capacité de stockage autorisée du Cires (projet Acaci) est actuellement porté par l'Andra. Il a pour objectif l'augmentation de la capacité de stockage à 950 000 m³ sans faire évoluer l'emprise de la zone de stockage actuelle. En effet, plusieurs évolutions des pratiques d'exploitation du Cires (agrandissement des alvéoles, raidissement des pentes, approfondissement des alvéoles...) ont en effet permis d'optimiser les volumes de stockage disponibles à emprise de la zone de stockage constante. (Voir également la fiche projet en annexe 2.7).

Le projet permettra d'assurer une continuité de la prise en charge des déchets radioactifs de très faible activité (TFA) pendant une période de fonctionnement supplémentaire de douze à quinze ans.

Ce projet répond notamment à une demande d'action de la Ve édition du PNGMDR (action TFA.1) [6], la perspective de dépôt du dossier d'autorisation correspondant est fixée à début 2023.

3.4.2 TFA2

Le projet de créer un deuxième centre de stockage centralisé de déchets TFA est nécessaire car les capacités de stockage du Cires, incluant celles du projet Acaci, ne suffiront pas pour le stockage de l'ensemble des déchets TFA prévus dans les inventaires prospectifs, y compris en tenant compte de perspectives de valorisation.

Afin de pouvoir assurer la continuité de la prise en charge des déchets TFA, il faudrait que le futur centre de stockage de déchet TFA soit opérationnel avant la saturation du Cires, c'est-à-dire aux alentours de 2040 si le projet Acaci est mis en œuvre, dans les conditions actuelles de gestion des déchets (voir également § 4.3).

Ce projet répond à la demande d'action TFA.2 de la Vème édition du PNGMDR [6] (Article 15 de l'arrêté du 9 décembre 2022), qui demande à l'Andra de proposer un cadrage des démarches de recherche d'un site d'implantation, ainsi qu'un planning des études de faisabilité et de conception ; la recherche de site inclura la zone d'intérêt déjà étudiée sur le territoire de la communauté de communes de Vendevre-Soulaines (Aube) (Voir également la fiche projet en annexe 2.8).

3.4.3 Stockages décentralisés

Pour préserver une partie des capacités de stockage du Cires et du futur stockage TFA2, des installations de stockage adaptées à certaines typologies de déchets TFA pourraient être envisagées sur ou à proximité des sites produisant des quantités importantes de déchets TFA (notamment les installations en cours de démantèlement ou à démanteler). Cela permettrait également de limiter les transports de déchets radioactifs. (Voir également la fiche projet en annexe 2.9).

Ces stockages sont dénommés « stockages décentralisés » (par opposition au Cires qui est un stockage qui « centralise » les déchets radioactifs TFA au niveau national).

Cette option de gestion fait l'objet de la demande d'action TFA.3 de la Vème édition du PNGMDR (Article 16 de l'arrêté du 9 décembre 2022), qui demande au CEA, à EDF, à Framatome et à Orano, en lien avec l'Andra, de réaliser une étude de faisabilité de ce type d'installation. Cette étude intégrera une analyse comparée de l'impact sur l'environnement de ce type de gestion par rapport à une option d'envoi au Cires.

Deux cas sont actuellement à l'étude :

- EDF examine la possibilité de réaliser un stockage, sur le site de Creys-Malville, d'environ 38 000 blocs de déchets sodés de 1 m³ nommés « blocs sodés », issus du traitement des 5 500 t du sodium liquide des circuits primaire et secondaire de Superphenix ; ces blocs sont actuellement entreposés sur le site de Creys-Malville ;
- Orano étudie la faisabilité d'implantation d'un concept de stockage de certaines catégories de déchets sur le site de La Hague.

3.4.4 Stockage dans des ISDD

Par extension de la réflexion sur les stockages décentralisés, il pourrait être envisagé de stocker des déchets TFA dans des Installations de Stockage de Déchets Dangereux conventionnels (ISDD). (Voir également la fiche projet en annexe 2.10).

Il existe en France 4 ISDD actuellement autorisées à stocker des déchets issus de substances radioactives d'origine naturelle (SRON) peu actives (cf. annexe 1). Ces déchets contiennent principalement de l'uranium et du thorium et des radionucléides de filiation, et proviennent des industries d'hydrocarbures, d'engrais phosphatés, de produits forestiers et d'électricité thermique.

Dans le cadre de la demande de l'action TFA.3 précitée de la Vème édition du PNGMDR (Article 16 de l'arrêté du 9 décembre 2022), il est demandé une analyse de la possibilité de stocker des déchets TFA dans des installations de stockage de déchets conventionnels.

3.5 Perspectives d'évolutions - synthèse

La Figure 15 récapitule et donne une vision d'ensemble des thématiques listées dans les paragraphes précédents : pour chaque étape de la gestion des déchets (depuis la production des déchets TFA jusqu'au stockage), les options de gestion envisageables dans le futur sont rappelées. Les combinaisons des options de gestion envisageables par nature de déchets sont présentées au chapitre 4.

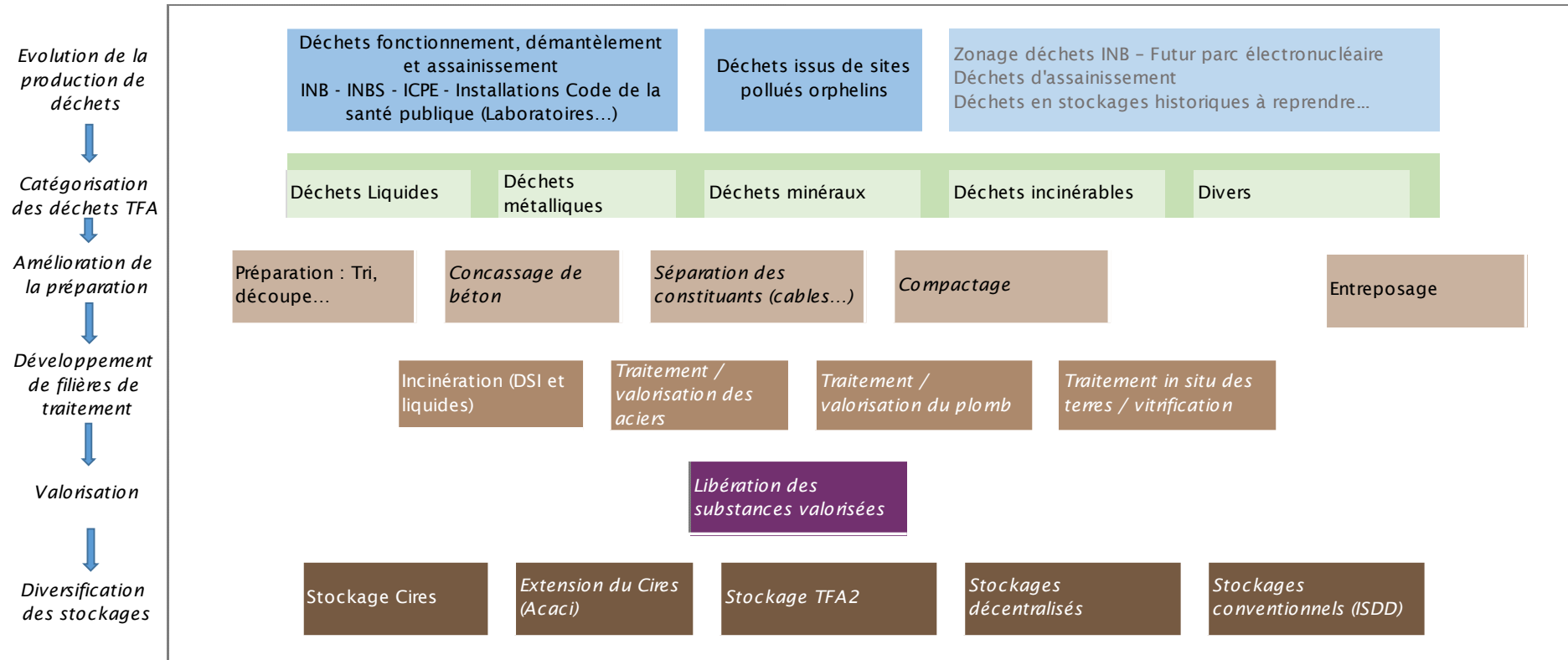


Figure 15 : Schéma des options de gestion des déchets TFA envisagées

4. Scénarios / combinaisons des options de gestion TFA

Les scénarios, ou combinaisons d'options, présentés dans les paragraphes suivants ont pour objectif de présenter l'ensemble des modes de gestion pouvant être envisagés pour différentes natures de déchets. Comme présenté en introduction, cette étape constitue une première partie dans l'élaboration du futur schéma industriel de gestion.

Ces scénarios serviront de base aux travaux d'analyse multicritères et multi-acteurs (AMCMA) instaurés par le Vème PNGMDR et qui permettront l'expression de tous les acteurs et de leurs priorités (environnementales, sanitaires, économiques, éthiques ou encore territoriales).

4.1 Description des combinaisons d'options TFA possibles

La définition d'une option dépend de deux facteurs principaux :

- La nature du déchet considéré, qui définit le type de filière possible ;
- La disponibilité de l'installation de traitement ou de stockage considéré (liée à la date de mise en service, et aux capacités de réception / traitement des installations concernées) et ses spécifications d'acceptation ; ne sont considérés ici que les installations existantes et les projets actuellement à l'étude présentés précédemment.

Les prochains chapitres sont structurés selon les grandes natures de déchets suivantes : déchets métalliques, déchets minéraux, déchets solides incinérables.

Dans chaque cas, une option « de base » (OPT 0) correspond à l'envoi de l'ensemble des déchets vers un stockage centralisé, à comparer à une combinaison d'options « maximales » (OPT Max) dans laquelle toutes les filières connues, en projet ou à l'étude seraient mises en œuvre.

4.1.1 Déchets métalliques

Les options de gestion envisageables pour les déchets métalliques TFA sont présentées en Figure 16.

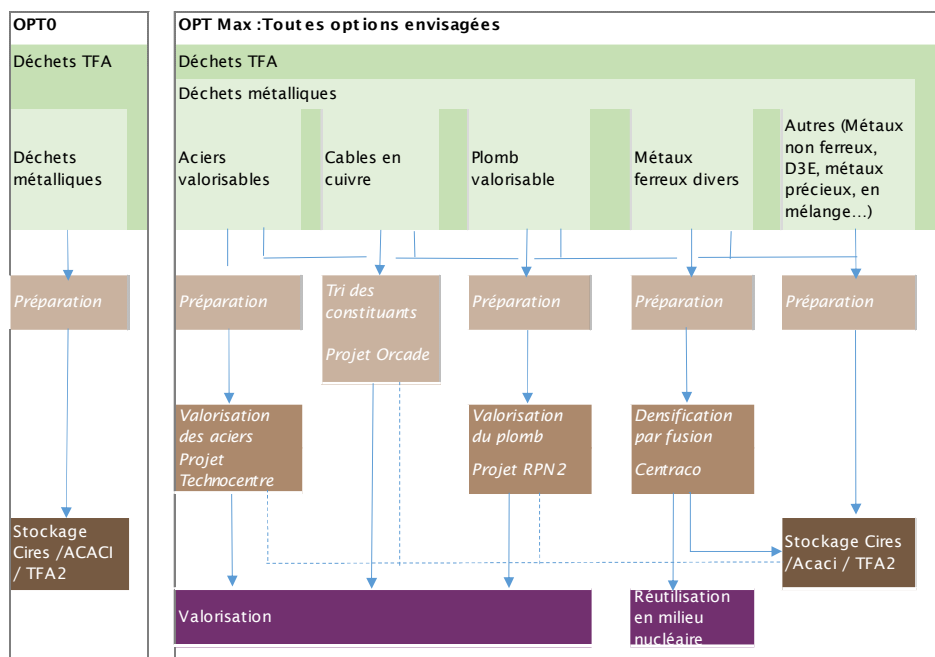


Figure 16 : Options de gestion envisageables pour les déchets métalliques TFA

L'option OPT0 d'envoi de tous les déchets métalliques au Cires vers un stockage centralisé implique la prise en compte d'autres enjeux tels que le tri, la séparation des déchets TFA actuellement traités avec des déchets FMA-VC, le reconditionnement....

La combinaison « maximale » (OPT Max) consiste à prendre en compte l'ensemble des filières actuellement à l'étude.

4.1.2 Déchets minéraux

Les options de gestion envisageables pour les déchets minéraux TFA sont présentées en Figure 17.

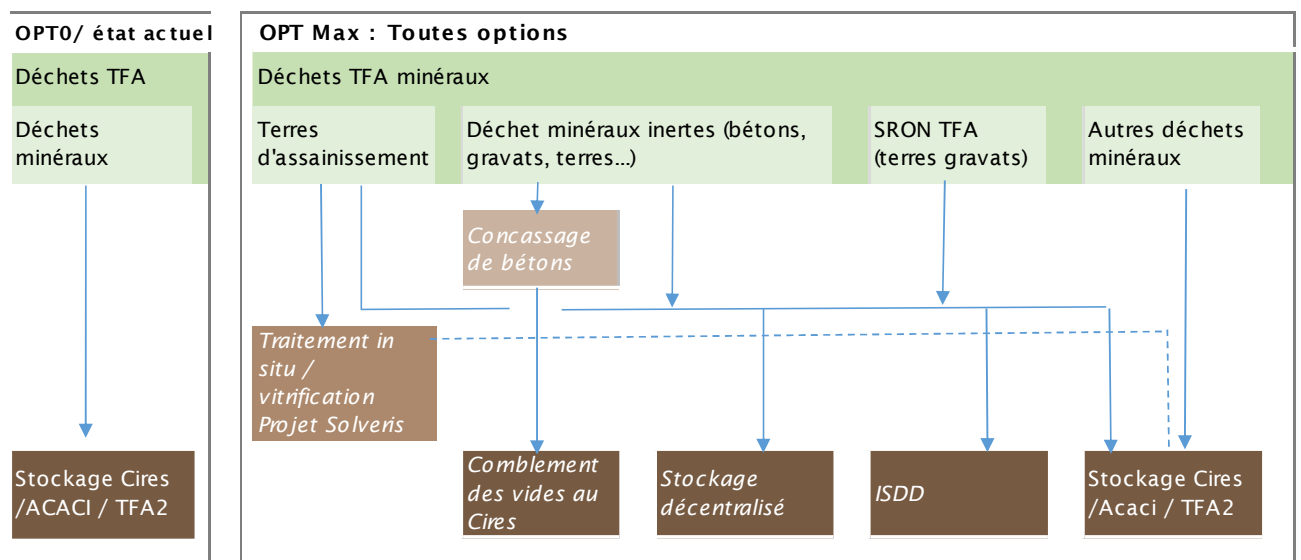


Figure 17 : Options de gestion envisageables pour les déchets minéraux TFA

Dans le cas des déchets minéraux, différentes options de gestion de stockage sont à l'étude pour les mêmes natures de déchets.

Certaines options à l'étude, si elles s'avèrent intéressantes, nécessiteront des évolutions réglementaires pour leur mise en œuvre. Ceci peut conduire à des incertitudes importantes sur les délais de déploiement de ces options.

Par ailleurs, des options de stockage à l'étude peuvent cibler, parmi les déchets minéraux, des déchets présentant des caractéristiques particulières, notamment dont le niveau de radioactivité est de l'ordre des seuils en-dessous desquels la radioactivité n'est plus considérée à l'international comme présentant un risque pour la santé et l'environnement.

Ces possibilités multiples et le contexte associé accroissent les opportunités mais nécessiteront une certaine vigilance dans la définition de la faisabilité et temporalité de chaque option, les gisements pouvant être affectés à plusieurs filières, et donc en fonction des flux, modifier d'autant l'équilibre de chaque projet.

4.1.3 Déchets solides incinérables

Les options de gestion envisageables pour les déchets solides incinérables TFA sont présentées en Figure 18.

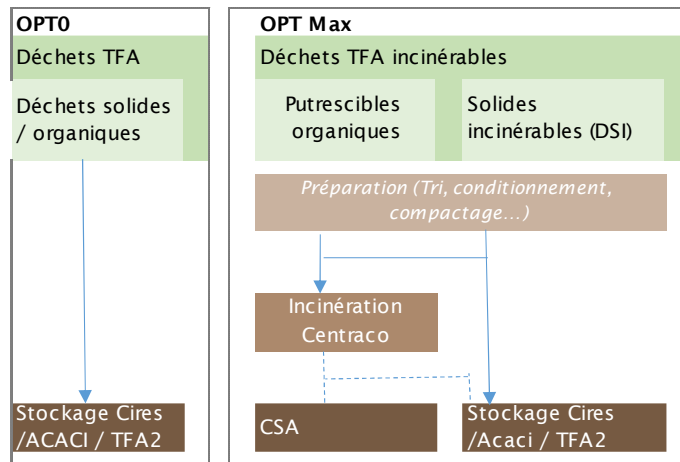


Figure 18 : Options de gestion envisageables pour les déchets incinérables TFA

Il n'existe actuellement pas de nouvelles installations en projet pour le traitement des déchets incinérables. Les hypothèses de gestion se basent sur la pérennité du four d'incinération de Centraco, les évolutions possibles seraient essentiellement basées sur des réaffectations de tonnages vers l'une ou l'autre des filières existantes.

Il est néanmoins pris en compte une hypothèse OPT0 en cas d'indisponibilité de la filière d'incinération.

4.1.4 Déchets liquides

Les options de gestion envisageables pour les déchets liquides TFA sont présentées en Figure 19.

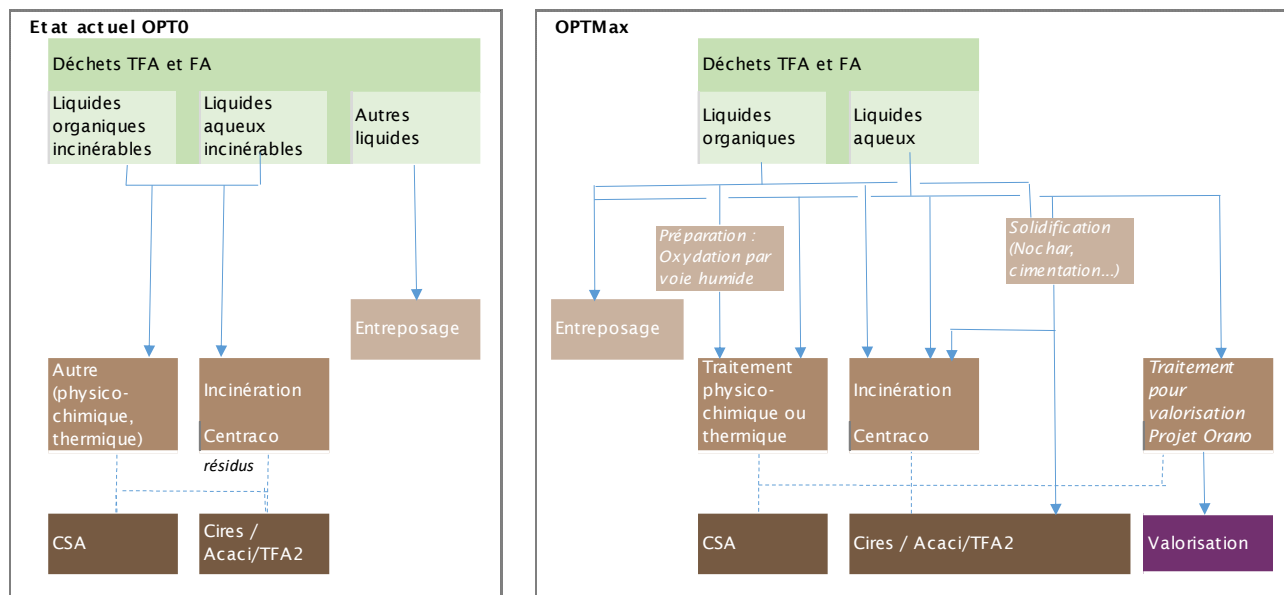


Figure 19: Options de gestion envisageables pour les déchets liquides TFA

Les options de gestion à l'étude pour les liquides organiques ou aqueux TFA concernent essentiellement le développement de techniques de préparation ou prétraitement (oxydation, solidification...) avant envoi vers

des filières existantes. Ces projets concernent des liquides qui ne sont actuellement pas directement admissibles dans les filières de gestion actuelles.

4.2 Perspectives de mise en service et capacité des installations / projets

Les options de gestion doivent être définies en lien avec un calendrier prévisionnel des études préalables et de la mise en service des installations, ou avec leur durée de fonctionnement. Le Tableau 6 récapitule les dates estimatives de mise en service au plus tôt, connues à ce jour.

Cette donnée est à mettre en perspective par rapport aux modalités de gestion des déchets qui seront prises par les producteurs de déchets dans les phases de transition vers un éventuel nouveau mode de gestion : entreposage des déchets avec éventuellement création de nouveaux entreposages ou poursuite de l'envoi au stockage dans l'attente de la mise en service de la filière.

Le niveau de maturité des procédés et projets est présenté dans les fiches en annexe sous forme d'une valeur d'échelle TRL⁷, allant de 1 à 9, ce qui permet d'approcher le niveau d'avancement et de qualification du projet avant sa mise en service.

		Date de mise en service (effective ou perspective)	Durée d'exploitation prévisionnelle	Capacité de traitement
Incinérables	Centraco	1999	39 ans (2038)	3 000 t/an DSI et 3 000 t/an DLI
Métaux	Aciers (Technocentre)	(> 2030)	40 ans	25 000 t/an (17 000 m ³ /an) (*)
	Cuivre (Orcade)	ND	ND	ND
	Plomb (RPN2)	(> 2026)	ND	400 t/an
Minéraux	Concassage (densification)	(sous 5 à 7 ans)	ND	2 500 m ³ /an
	Stockage ISDD	(sous 5 à 7 ans)	ND	ND
	Stockages décentralisés	(sous 7 à 10 ans)	ND	ND
Autres déchets / projets	Valorisation des liquides	ND	ND	ND

[*] densité apparente des déchets GB EURODIF de 1,51 et des générateurs de vapeur EDF de 1,36 selon [25], pris en moyenne à 1,4

Tableau 6 : Synthèse des perspectives indicatives de mise en service et des capacités de traitement

Dans les grandes lignes, il convient de retenir que les projets actuellement en phase d'études seraient mis en service, pour l'essentiel, au mieux dans 5 à 10 ans, et qu'ils n'impacteraient donc globalement pas le fonctionnement actuel du Cires.

4.3 Impact sur les capacités de stockage à prévoir

Quel que soit le schéma prévisionnel de gestion des déchets TFA, des capacités de stockage sont à prévoir pour les déchets qui ne sont pas acheminés vers une filière de traitement ou de valorisation, ou pour les résidus issus de ces installations de traitement / valorisation, ou encore pour maintenir les évacuations de déchets dans le cas où ces installations seraient arrêtées.

⁷ Le TRL (Technology Readiness Level ou niveau de maturité technologique) est un outil employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie ou par extension d'un projet. L'échelle comporte 9 niveaux de maturité, de 1- faible (idée et principe de base)- à 9 - fort (projet qualifié, robuste, prêt pour sa mise en industrialisation ou en construction)

Les besoins en matière de stockage sont à évaluer essentiellement en fonction des paramètres suivants :

- la date de mise en service attendue, afin d'assurer la continuité de prise en charge des déchets TFA à la fin de l'exploitation du Cires ;
- la capacité annuelle prévisionnelle d'accueil, avec les incertitudes associées et les chroniques de besoins des producteurs, qui vont dimensionner les modalités d'exploitation (par exemple taille des casiers / alvéoles de stockage, dimensionnement des équipements et du personnel...).

Il existe d'autres paramètres, qui seront à définir pour la poursuite des projets :

- la capacité totale du site, en termes de volumes, en considérant une exploitation sur une trentaine d'années, qui correspond à une durée classique d'autorisation d'exploitation d'un centre de stockage et qui est la durée d'exploitation retenue pour le Cires ;
- la collecte d'informations sur la typologie et nature des déchets, leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques ; ces paramètres servent de base pour les évaluations d'impact et études de sûreté nucléaire nécessaires à l'obtention des autorisations administratives.

A titre de référence, en supposant un flux annuel de déchets TFA à stocker au Cires équivalent à celui actuellement rencontré, le planning de référence pour la mise en service des projets d'extension et de nouveau stockage est le suivant :

- Besoin « au plus tôt » de mise en service de l'extension Acaci en 2030 ;
- Besoin « au plus tôt » d'un nouveau centre TFA2 au plus tôt vers 2040-2045 (cf. Tableau 7).

La perspective d'exploitation d'un centre TFA2 est prise ici en hypothèse sur une trentaine d'années, durée retenue par analogie avec l'autorisation préfectorale du Cires et par rapport aux durées habituelles des autorisations initiales données aux ICPE. Cette perspective ne couvre pas les besoins futurs liés au démantèlement des installations du parc existant, qui pourraient fonctionner jusqu'à l'horizon 2060/2070, mais dont les démantèlements se prolongeront au-delà de 2100. Des dispositions (extension, nouveau centre...) seront envisagées à l'horizon 2070.

Ces éléments, donnés à titre indicatif, seront affinés et détaillés dans l'étude TFA.2 demandée par le Ve PNGMDR.

		Date de mise en service ou perspective au plus tôt	Durée /Date de fin d'exploitation prévisionnelle	Volume moyen annuel à stocker (m ³ /an)
Stockages centralisés	Cires	2003	30 ans [*]	24 000 m ³ /an
	Acaci	2030	(12 à 15 ans) 2040/2045	
	TFA2	2040/45	(hyp. 30 ans) 2070	

[*] L'autorisation initiale du Cires était de 30 ans ; il reste à début 2023 une dizaine d'années d'exploitation selon cette autorisation

Tableau 7 : Date au plus tôt des besoins de mise en service des futurs stockages centralisés

Une démarche comparable sera menée pour l'estimation de la date « au plus tard » de la mise en service du stockage TFA2 en considérant les options de gestion conduisant à la valorisation des déchets conduisant à préserver au maximum la ressource du Cires et Acaci.

En tout état de cause, compte tenu des dates de mise en service possibles des installations de valorisation / traitement (cf. § 4.2), l'échéance de saturation du Cires ne serait pas significativement modifiée dans les conditions actuelles de production de déchets.

En revanche, la date de besoin de mise en service du stockage TFA2 ou/et le dimensionnement des capacités de stockage à envisager peuvent évoluer significativement, en fonction des différentes études à venir et en particulier sur le projet Technocentre, dont la mise en service est susceptible d'avoir un impact majeur sur les volumes à stocker.

A titre d'exemple (cf. Tableau 8), une baisse théorique du flux de déchets à stocker au Cires de l'ordre de 10 000 m³/an peut mathématiquement induire un gain d'une dizaine d'années d'exploitation et une optimisation du dimensionnement du futur centre de stockage.

	Date de mise en service selon hypothèses	Fin prévisionnelle d'exploitation	Volume annuel stocké (m ³ /an)	Capacité (m ³)	Durée d'exploitation (ans)	
Stockages - Référence						
Cires	2003	2030	24 000	650 000		
Acaci (extension du Cires)	2030	2040/45	24 000	300 000	15	
TFA2	2040 /45	2070 /2075	24 000	720 000	30	(*)
				~1 700 000 m ³		
Stockages avec hypothèse d'optimisation de gestion : baisse de 10 000 m ³ /an des déchets à stocker						Gain en durée d'exploitation :
Cires	2003	2030	24 000	650 000		
Acaci (extension du Cires)	2030	2055	14 000	300 000	25	+ 10 ans
TFA 2	2055	2085	14 000	420 000	30	
				~1 400 000 m ³		

Tableau 8 : Exemple indicatif des échéances de besoins d'ouverture de stockage centralisé selon les tonnages à stocker

5. Conclusions et perspectives

La gestion des déchets TFA fait aujourd'hui face au constat de la nécessité de faire évoluer les solutions de gestion pour gérer les volumes importants de déchets à produire. La filière actuelle est principalement basée sur le stockage des déchets dans un centre unique et centralisé, le Cires. Des réflexions émergent depuis quelques années sur une évolution possible de cette stratégie de gestion face aux perspectives de volumes importants de déchets à produire, et en cohérence avec les principes généraux de la réglementation sur les déchets qui prescrit la réduction des déchets ultimes.

L'objectif associé pour l'évolution de cette stratégie de gestion des déchets TFA est, après la limitation de la production à la source, de construire des filières de traitement, de valorisation et de stockage qui seraient plus diversifiées, tout en restant proportionnées aux enjeux de sûreté nucléaire, d'impacts environnementaux et aux facteurs technico-économiques. La réglementation offre depuis 2022 la possibilité de valoriser, dans certaines conditions, des métaux très faiblement actifs.

Le Vème PNGMDR 2022-2026 et son arrêté d'application ont prescrit la mise à jour du schéma de gestion, par étapes, en établissant en premier lieu, des options de gestion, puis en menant une comparaison de ces options sous forme d'une analyse multicritère et multi-acteurs en 2023, qui permettra l'expression de tous les acteurs sur leurs priorités (environnementales, sanitaires, économiques, éthiques ou encore territoriales...), avant d'aboutir à un schéma de gestion partagé à l'horizon 2024.

En présentant le panel des projets et installations actuellement portés par les producteurs de déchets ou d'autres industriels, des combinaisons « d'options de gestion possibles » ont ainsi été établies pour quatre grandes typologies de déchets TFA selon leur nature : les déchets métalliques, les déchets minéraux, les solides incinérables et les déchets liquides. Ces options ou scénarios de gestion des déchets TFA font l'objet du présent rapport.

Progressivement, en lien avec des études thématiques prescrites par le Vème PNGMDR et les actualisations de données de l'Inventaire national, les inventaires prospectifs des déchets par grandes natures seront affinés et permettront de consolider ces options.

Il convient de noter que certaines options présentées dans ce rapport ou de futures options pourront nécessiter des évolutions réglementaires concernant notamment la valorisation de matériaux autres que les métaux faiblement actifs. Ces éléments seront à identifier en tant que de besoin dans la construction du schéma de gestion global appelé au PNGMDR.

Une des perspectives associées à ces définitions d'options sera de définir les besoins en matière de stockage (capacité, flux) et d'anticiper les besoins d'ouverture d'un futur stockage centralisé de déchets TFA à l'issue de la fin d'exploitation du Cires et de son projet d'extension. L'ouverture d'un stockage centralisé sera en effet nécessaire, quels que soient les options de gestion envisagées. Dans la configuration actuelle, le besoin d'ouverture d'un nouveau centre est effectif au plus tôt à l'horizon 2040/45, cette date étant susceptible d'être reportée de plusieurs années en fonction des chroniques de production des déchets futurs, de la mise en service des projets en cours (stockages décentralisés, valorisation de déchets métalliques, de déchets liquides, concassage des bétons) et du rythme de remplissage des centres de stockage.

ANNEXES

Annexe 1 : Option de gestion des déchets et résidus selon l'origine de leur radioactivité, leur type et activité massique

Radioactivité	Type de déchet	Type de stockage	Activité massique du déchet	ISDI	ISDND	ISDD	Cires	Autre [6]	Stockage
				(2760-3)	(2760-2)	(2760-1)	(2797-2)		s miniers (1735)
NATURELLE	Résidus miniers	/							[3]
	SRON [3]	<VE Bq/g	[1]	[1]	[1]				
		>VE et <20 Bq/g		[2]	[2]				
	Déchet radioactif SRON	>20 Bq/g et < 100 Bq/g				[4]			
>100 Bq/g					[5]				
ARTIFICIELLE	Déchet radioactif	< 100 Bq/g				[5]			
		> 100 Bq/g							

VE : valeur d'exemption (Art. R515-111 du CE)
pour : K 40 ; U 238 - Th 232 et RN fils

[1] : Selon caractéristiques physico-chimiques du déchet

[2] : Selon prescriptions préfectorales et contrôle radiologique

[3] : Selon origine du déchet

[4] : Selon la nature du RN (Capacité en Thorium limitée)

[5] : Selon spécifications d'acceptation

[6] : Autre filière existante ou en projet

Option de gestion non autorisée

Option de gestion privilégiée

Sources :

- Directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants- Article 23 - Recensement des pratiques impliquant des matières radioactives naturelles
- Article L.1333-1 du Code de la santé publique définissant les régimes d'activité nucléaire
- Article L. 511-2 du Code de l'environnement : nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement
- Article L. 162-1 du Code minier et Règlement général des industries extractives pour la partie rayonnements ionisants
- Annexe 13-8 – Tableau 1 du Code de la santé publique : radioactivité naturelle dans les matières solides - introduction de valeurs d'exemption
- Article D. 515-110-1 du Code de l'environnement : installations industrielles soumises à l'obligation de caractérisation radiologique mentionnée à l'article R. 515-110
- Article R.515-111 du Code de l'environnement : valeurs d'exemption

Annexe 2 : Fiches de présentation des projets

Préparation et traitement des déchets solides et liquides

- Annexe 2.1 : Fiche de présentation du projet Technocentre
- Annexe 2.2 : Fiche de présentation du projet RPN2
- Annexe 2.3 : Fiche de présentation du projet Orcade
- Annexe 2.4 : Valorisation / recyclage de graves TFA
- Annexe 2.5 : Fiche de présentation du projet de traitement des liquides
- Annexe 2.6 : Fiche de présentation du projet SOLVERIS

Stockages des déchets

- Annexe 2.7 : Fiche de présentation du projet d'extension du Cires : Acaci
- Annexe 2.8 : Fiche de présentation du projet de stockage TFA2
- Annexe 2.9 : Fiche de présentation des stockages décentralisés
- Annexe 2.10 : Fiche de présentation des Installations de stockages de déchets dangereux ISDD

L'échelle TRL (Technology readiness level) présentée dans les fiches est un outil d'évaluation du niveau de maturité d'une technologie (ou d'un projet par transposition) jusqu'à son industrialisation. Conçue initialement par la Nasa et l'Esa pour les projets spatiaux, elle compte neuf niveaux de 1 à 9 :

- Niveaux 1 à 3 : principe de base et faisabilité d'une idée
- Niveaux 4 à 6 : recherche avancée et démonstration technologique
- Niveaux 7 à 9 : qualification opérationnelle, industrialisation

Annexe 2.1

NOM PROJET	PROJET TECHNOCENTRE
MAITRE D'OUVRAGE (PORTEUR DU PROJET)	EDF et Orano
OBJET DU PROJET / INTITULE	Mise en œuvre d'une installation valorisation des substances métalliques faiblement radioactives
LOCALISATION	-
ETAT D'AVANCEMENT	APS finalisé.
DECHETS TFA POTENTIELLEMENT CONCERNES :	Déchets métalliques
NATURE	Aciers et éventuellement alliages de nickel
GISEMENT	~ 500 000 t
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	<ul style="list-style-type: none"> - Métaux « sans activité ajoutée » classés TFA uniquement parce qu'ils sont issus d'une « zone à production possible de déchets nucléaires » - Métaux contaminés en surface et dont la contamination a été retirée par des procédés chimiques ou mécaniques en amont de la fusion - Métaux contaminés en surface par des radionucléides particuliers dont la contamination sera retirée par le procédé de fusion (on parle de fusion décontaminante)
COMMENTAIRES (EXCLUSION, ...)	Cette installation pourrait traiter les déchets métalliques issus principalement du démantèlement du parc actuellement en exploitation. Il pourrait s'agir de gros composants tels que les Générateurs de vapeur des centrales nucléaires d'EDF ou les diffuseurs de l'usine d'enrichissement de l'uranium Georges Besse d'Orano (en démantèlement), mais également d'éléments provenant d'installations nucléaires lors du remplacement ou du démantèlement d'éléments métalliques (échangeurs de chaleur, tuyauterie, vannes, pompes...). Avec les perspectives d'arrêt de réacteurs et les opérations de démantèlement consécutives, ces déchets représenteront en France environ 500 000 t dans les années qui viennent.
PROCESS INDUSTRIEL	
DESCRIPTION	L'installation sera dimensionnée pour décontaminer et découper les gros composants. Elle accueillera également d'autres métaux faiblement radioactifs sous forme diverse. L'ensemble de ces matériaux sera fondu dans un four électrique à arc. Le process de fusion permet de retirer une part de l'activité, homogénéise les métaux et permet d'effectuer, en phase liquide, des prélèvements pour contrôler que les lingots produits pourraient

	être réutilisés dans tous les secteurs industriels sans impact sanitaire.
DIMENSIONNEMENT / ACCUEIL ANNUEL (M3/AN OU T/AN)...	25000 t/an
...DONT PART DES TFA	100%
DECHETS INDUITS (NATURE, VOLUME OU %, FILIERE D'ELIMINATION)	Les déchets induits seront des produits issus de la décontamination et de la découpe des gros composants ainsi que les produits issus du laitier et des fumées du processus de fusion. Les déchets produits par l'installation seront envoyés pour stockage à l'Andra, en grande partie au Cires mais également pour une part plus réduite au CSA. Les déchets produits représentent entre 10 et 15% de la masse entrante dans l'installation.
PLANNING	
PERSPECTIVE / DATE DE MISE EN SERVICE	Mise en service en 2031
DUREE ENVISAGEE D'EXPLOITATION OU DATE DE FIN D'EXPLOITATION	40 ans
COMMENTAIRES	En application de l'article 1 du décret n°2022-175 du 14/02/2022, les substances métalliques qui avant leur usage dans une activité nucléaire ne justifiaient pas un contrôle de la radioprotection sont susceptibles de bénéficier d'une dérogation résultant de l'application des articles R. 1333-6-1 à R. 1333-6-3 du code de l'environnement.
PRATIQUE INTERNATIONALE /	<p>Au Royaume-Uni, l'usine de Workington (Cumbria) recycle environ 95% des déchets métalliques reçus. Une fois traités, les matériaux peuvent être directement recyclés au Royaume-Uni ou sur d'autre marchés de revente de métaux.</p> <p>En Suède, l'usine Studsvik de Nyköping recycle et libère environ 95% des déchets métalliques reçus en produisant des lingots métalliques qui sont ensuite retournés aux clients ou vendus.</p>

Annexe 2.2

NOM PROJET	PROJET RPN2
MAITRE D'OUVRAGE (PORTEUR DU PROJET)	Consortium de 3 Entreprises : LEMER - Orano - CURIUM Chef de file : LEMER
OBJET DU PROJET / INTITULE	Valorisation du Plomb faiblement radioactif par fusion
LOCALISATION	Site LEMER, 10 rue de l'industrie, 44 430 Le Loroux Bottereau
ETAT D'AVANCEMENT	APS EN COURS
DECHETS TFA POTENTIELLEMENT CONCERNES :	Déchets métalliques
NATURE	Plomb
GISEMENT	Principaux acteurs nucléaires (Orano, EDF, CEA...)
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	<ul style="list-style-type: none"> - plomb « sans activité ajoutée » classé TFA uniquement parce qu'il est issu d'une « zone à production possible de déchets nucléaires » - plomb contaminé en surface et dont la contamination a été retirée par des procédés chimiques ou mécaniques en amont de la fusion - Plomb contaminé en surface par des radionucléides particuliers dont la contamination sera retirée par le procédé de fusion (on parle de fusion décontaminante)
COMMENTAIRES (EXCLUSION, ...)	Exclusion : Plomb enveloppé dans une structure acier trop complexe à retirer
PROCESS INDUSTRIEL	
DESCRIPTION	<p>Mise au gabarit et mise en four de fusion.</p> <p>Au cours de la fusion, les radioéléments plus légers que le plomb se retrouveront dans les surnageants (Cs, Co, ... et ceux plus lourds (U, Pu...) se concentreront en fond de creuset. Elimination des surnageants et des sous-nageants et coulée en lingots du Plomb « propre »</p>
DIMENSIONNEMENT / ACCUEIL ANNUEL (M3/AN OU T/AN)...	Bâtiment de 400 m ² Prévision mini de 400 T/an
...DONT PART DES TFA	100%

DECHETS INDUITS (NATURE, VOLUME OU %, FILIERE D'ELIMINATION)	Surnageants et sous-nageants sous forme de déchets solides, filtres d'extraction des fumées, déchets technologiques issus du fonctionnement
PLANNING	
PERSPECTIVE / DATE DE MISE EN SERVICE	Fin 2026
DUREE ENVISAGEE D'EXPLOITATION OU DATE DE FIN D'EXPLOITATION	Business plan réalisé sur 9 ans
COMMENTAIRES	<p>Raisons du projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diminuer le volume de déchets de plomb stockés, - Réaliser une Économie circulaire et de développement durable et - Assurer un approvisionnement en matière première sur une ressource actuellement en tension (la ressource liée au marché des batteries au plomb, qui était jusqu'à présent la principale ressource pour le plomb recyclée se tarissant) <p>Financement : Dossiers de financement acceptés par France 2030 pour chacune des entités du consortium.</p>
PRATIQUE INTERNATIONALE /	Pas de Rex international

Annexe 2.3

NOM PROJET	PROJET ORCADE (Ouverture vers un Recyclage des Câbles électriques DÉchets issus des sites nucléaires)
------------	--

Maître d'ouvrage (porteur du projet)	A3I (groupe INOVERTIS)
Objet du projet / intitulé	Concevoir une installation de séparation des constituants des câbles : partie centrale métallique exempte de radioactivité et gaine polymère périphérique, présentant une potentielle contamination de surface
Localisation	Unité mobile ou fixe
ETAT D'AVANCEMENT	Etude de faisabilité technique
Déchets potentiellement concernés :	Câbles métalliques (cuivre, aluminium) TFA
Nature	
Gisement	Les câbles électriques composent environ 10% du volume et 3% de la masse de déchets TFA de démantèlement (retour d'expérience du CEA Marcoule)
Principales caractéristiques	Les métaux enfermés dans les gaines sont généralement exempts de contamination
Commentaires (Exclusion, ...)	
Process industriel	Tri - Dénudage des câbles- Découpage/Séparation
Description	Développer une solution technique permettant de récupérer l'âme métallique des câbles par dénudage en évitant tout transfert de contamination potentielle en provenance de la gaine, en vue de la récupération des métaux
Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)...	
...dont part des TFA	
Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	Les gaines séparées restent des déchets TFA

Planning	
Perspective / date de mise en service	En recherche de producteur pour lancer la phase d'industrialisation
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	
Commentaires	Programme accompagné par l'Andra dans le cadre du programme « Nucléaire de Demain » des Investissements d'avenir
Pratique internationale /	

Annexe 2.4

Nom projet	Valorisation / Recyclage de gravats TFA
Maître d'ouvrage (porteur du projet)	ANDRA : Maître d'ouvrage des études
Objet du projet / intitulé	Valorisation des gravats TFA en matériaux de comblement au Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (Cires) en substitution de la grave naturelle utilisée en comblement des vides entre les déchets.
Localisation	Cires
ETAT D'AVANCEMENT	Étude de faisabilité technico-économique Une étude a été menée dans le cadre du PNGMDR 2016-2018 [1]. Une mise à jour est prévue pour mi-2023 afin de statuer sur la mise en œuvre opérationnelle de cette installation au regard des contraintes techniques, sanitaires et économiques associées.
Déchets potentiellement concernés :	Bétons de démolition de structures contaminées de génie civil
Nature	Bétons
Gisement	Le gisement des déchets de béton n'est pas connu ; à titre indicatif, la part des déchets « inertes » TFA (incluant des bétons) représente environ 30% du gisement global des déchets, soit de l'ordre de 600 000m ³ . La chronique de production des déchets de bétons dépendra des plannings de démantèlement des Installations Nucléaire de Base
Principales caractéristiques	Hypothèses retenues dans les études de faisabilité : <ul style="list-style-type: none"> - Déchets de béton de très faible radioactivité < 1 Bq/g (α) et < 10 Bq/g ($\beta\gamma$) - Déchet mis au gabarit (obtention d'une fraction granulométrique du béton de comblement conforme aux spécifications d'exploitation) - Déchet sans élément indésirable (terres, bois, plâtre, métaux...)
Commentaires (Exclusion, ...)	
Process industriel	Tri, concassage et criblage des bétons

Description	<p>Un processus de concassage est nécessaire afin d'obtenir des matériaux valorisables, qui pourront ensuite servir au comblement des alvéoles.</p> <p>Dans les techniques envisagées, le projet industriel CYBER de l'Andra est en développement (séparation des constituants par micro-ondes).</p>
Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)...	Évaluation des besoins en matériau de comblement au Cires : 2 500m ³ /an (estimation nominale)
...dont part des TFA	100%
Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	Les déchets du process sont les fines de concassage (qui représentent 30% du volume initial de gravats) ainsi que les déchets induits (filtre de ventilation, effluents...)
Planning	
Perspective / date de mise en service	
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	
Commentaires	Document de référence : Étude de valorisation des gravats TFA en matériau de comblement au Cires – étude PNGMDR 2016-2018
Pratique internationale /	La Belgique (ONDRAF) possède un retour d'expérience sur un procédé de concassage et de valorisation des gravats destinés à être libérés (Application de seuils de libération pour que les matériaux intègrent un circuit conventionnel de recyclage).

Annexe 2.5

Nom projet	PROJET DE VALORISATION DES DECHETS LIQUIDES CONTENANT DE L'URANIUM
------------	--

Maître d'ouvrage (porteur du projet)	Orano Chimie Enrichissement (Orano CE)
Objet du projet / intitulé	<p>Les déchets liquides ne sont pas autorisés à l'Andra. Certains déchets liquides peuvent être traités thermiquement pour les solidifier puis envoyés en tant que déchets solides à l'Andra. Cependant, sachant que les procédés thermiques utilisés dans le domaine nucléaire n'ont pas de possibilités d'être valorisés grâce à la cogénération, Orano étudie des procédés d'extractions de radionucléides (en particulier de l'uranium), permettant d'envisager la valorisation du liquide.</p> <p>Ces solutions auraient le double avantage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De pouvoir valoriser des liquides qui ont une certaine valeur sur le marché. - Minimiser l'utilisation de procédé thermique. <p>Sachant que les liquides apportent de très bonnes conditions pour pouvoir garantir l'homogénéité des contrôles qui seront effectués avant valorisation, il nous apparaît intéressant d'étudier la possibilité de développer de telles filières de valorisation de liquides.</p> <p>Sur la base d'une démonstration de non-nocivité et d'une évolution de la réglementation à même de faire perdre le statut de déchet radioactif aux liquides après traitement, les caractéristiques de ces liquides permettraient d'envisager leur valorisation vers une filière de l'industrie conventionnelle.</p>
Localisation	En fonction des liquides à valoriser, le site d'implantation de l'installation sera déterminé au plus près du déchet pour limiter les transports.
ETAT D'AVANCEMENT	TRL début de projet : 3 - TRL fin de projet : 5
Déchets TFA potentiellement concernés :	<i>(Se référer à des fiches déchets)</i>
Nature	Déchets liquides
Gisement	Orano produit une quantité de liquide de quelques centaines de m ³ par jour

Principales caractéristiques	/
Commentaires (Exclusion, ...)	Les liquides contenant des Radionucléides artificiels sont à ce stade exclus du périmètre des études.
Process industriel	Procédés d'épuration (précipitation) de l'Uranium
Description	<p>La démarche de valorisation par de tels procédés nécessitera la validation de plusieurs prérequis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une évolution de la réglementation à même de faire perdre le statut de déchet radioactif aux liquides après traitement (au-delà des seuls déchets métalliques concernés par les possibilités de dérogation de la réglementation actuelle - décret 2022-174 du 14 février 2022 relatif à la mise en œuvre d'opération de valorisation de substance faiblement radioactive). • Une maîtrise des procédés afin de garantir une opérabilité adéquate. • La production d'un liquide valorisable et pour lequel un marché de reprise existe. • Une qualification et une quantification de la décontamination radiologique lors des procédés envisagés. • Une caractérisation radiologique (spectre, mesure, ...) tout au long des procédés et notamment celle des déchets et produits finis obtenus. • Une caractérisation des déchets obtenus à l'issue du traitement afin de garantir le bénéfice de l'empreinte environnementale de ce projet. • Une filière ouverte permettant la prise en charge des résidus solides issus des procédés. • Un bilan économique global qui ne soit pas beaucoup plus cher que les filières usuelles existantes (procédés thermiques + envoi à l'Andra).
Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)...	Après des essais laboratoire, un pilote industriel sera envisagé afin de valider les résultats obtenus et d'asseoir totalement la faisabilité technique et économique conforme à la réglementation.
...dont part des TFA	/
Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	Les déchets induits correspondent aux précipités solides issus des procédés. Ces déchets devront être caractérisés et conditionnés afin de répondre aux spécifications de stockage vers les filières agréées existantes.
Planning	

	<p>Ce type de projet de travaux de Recherche Industrielle (RI) couvre l'ensemble des phases nécessaires à la mise en œuvre opérationnelle d'une filière de valorisation des déchets liquides et se décompose en 6 grands lots :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lot 1 : Etudes et réalisation procédé, • Lot 2 : Etudes techniques et d'ingénierie, • Lot 3 : Contrôle et mesure, • Lot 4 : Etudes sécurité et conformité règlementaire, • Lot 5 : Etude déchet, • Lot 6 : Communication avec les partie-prenantes, <p>Le lot 6 se déroule en parallèle de tous les autres lots. En fonction de l'avancement de ce lot, et en particulier de l'évolution de la réglementation pour autoriser la valorisation de déchets liquides au-delà des métaux, le projet pourra être mis en place plus ou moins rapidement.</p>
Perspective / date de mise en service	Date de mise en service envisagée au plus tôt : 2027
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	/
Commentaires	<p>Une évolution règlementaire est nécessaire pour pouvoir mettre en place ce type de projet.</p> <p>Orano estime que les prérequis qui ont été échangés dans le cadre du projet de valorisation des aciers sont également présents dans le cadre de ce nouveau type de projet : en effet, le procédé envisagé est en phase liquide et permettra ainsi de garantir une représentativité des contrôles qui seront mis en place.</p>
Pratique internationale /	Pas d'équivalence identifiée à date

Annexe 2.6

Nom projet	SOLVERIS
Maître d'ouvrage (porteur du projet)	SAFE TECHNOLOGIES (VEOLIA NUCLEAR SOLUTIONS)
Objet du projet / intitulé	SOLVERIS est un projet France relance PIA4 (07/2022 à 12/2025) vise à développer une filière industrielle de remédiation de sites contaminés, en utilisant le procédé GeoMelt® ISVTM. Cette technologie permet la stabilisation radiologique et chimique de sols (et pour d'autres usages, de déchets présents dans des puits ou des fosses), par vitrification in situ. Les connaissances acquises grâce à ce projet (passage d'un TRL 4 à un TRL 6) permettront de proposer des solutions innovantes pour la gestion des déchets radioactifs.
Localisation	En cours de définition, probablement au CEA de Cadarache (ATUe)
Déchets concernés : TFA	<i>(Se référer à des fiches déchets)</i>
Nature	Sols contaminés et fosses contenant des déchets enfouis
Gisement	A consolider, beaucoup de sites français présentent des sols pollués et/ou contaminés
Principales caractéristiques	Unité de traitement mobile permettant la vitrification de sols par effet Joule
Commentaires (Exclusion, ...)	Limité au traitement des terres et des fosses contenant des déchets enfouis
Process industriel	
Description	<p>Vitrification du sol in situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Insertion d'électrodes de graphite dans le sol ➤ Passage de courant → chauffage par effet Joule ➤ Fusion du sol (1000 - 1500 °C) et formation d'un matériau vitreux ➤ Les gaz produits sont captés et traités ➤ Le procédé fonctionne sur une grande variété de sols et de déchets ➤ Les radionucléides sont piégés dans la matrice vitreuse ➤ Grande résistance à la lixiviation du vitrifiat

Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)....	En phase de R&D pour industrialisation du process (actuellement à TRL 5)
...dont part des TFA	Une majorité des déchets concernés
Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	Très peu ; effluents aqueux compatibles avec une STEL
Planning	En cours de développement cible = 2025 pour un démonstrateur à l'échelle une sur site nucléaire (terres contaminées TFA)
Filière existante OU Avancement du projet / échelle TRL	TRL 5 actuel - visé TRL 7 en 2025
Perspective / date de mise en service	Supérieur à 2026, installation mobile
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	Potentiellement pérenne - installation mobile
Commentaires	<p>Projet France relance 2021 (PIA4 : Investissements d'avenir)</p> <p>SOLUTIONS INNOVANTES POUR LA GESTION DES MATIERES ET DECHETS RADIOACTIFS, ET LA RECHERCHE D'ALTERNATIVES AU STOCKAGE GEOLOGIQUE PROFOND</p> <p>Partenariat VEOLIA/CEA/BRGM/ASSYSTEM/ECI Méca</p>

Annexe 2.7

Nom projet	Projet Acaci : Augmentation de la Capacité de stockage autorisée du Cires
------------	--

Maître d'ouvrage (porteur du projet)	ANDRA
Objet du projet / intitulé	Stockage actuellement en exploitation sur le Cires (Centre Industriel de Regroupement, Entreposage et Stockage) : capacité totale de stockage de 650 000 m ³ de déchets radioactifs de très faible activité. Projet : Autoriser l'augmentation de la capacité de stockage à 950 000 m ³ sans faire évoluer la zone de stockage existante du site. Le projet permettra d'assurer une continuité de la prise en charge des déchets radioactifs de très faible activité (TFA) pendant dix à quinze une dizaine à une quinzaine d'années supplémentaires
Localisation	Communes de Morvilliers et de La Chaise, département de l'Aube (10)
ETAT D'AVANCEMENT	L'Andra déposera une demande d'autorisation d'augmentation environnementale pour ces nouvelles de la capacité du Cires début 2023
Déchets TFA potentiellement concernés :	
Nature	Déchets TFA issus du démantèlement et du fonctionnement d'Installations Nucléaires de Base (INB), laboratoires et installations de recherche ou de Défense et d'industries conventionnelles non électronucléaire.
Gisement	
Principales caractéristiques	Déchets radioactifs de Très Faible Activité, solides.
Commentaires (Exclusion, ...)	Les déchets liquides ne sont pas acceptés en stockage ; Certains déchets nécessitent une stabilisation ou un prétraitement avant stockage : compactage, immobilisation, stabilisation ; Les déchets doivent respecter les spécifications d'acceptation préalables du Cires.
Process industriel	Stockage de colis de déchets en alvéoles de stockage.

Description	<p>Projet Acaci : Projet d'augmentation à 950 000 m³ dans l'emprise actuelle du Cires.</p> <p>Le stockage de colis de déchets est réalisé en alvéoles creusées à quelques mètres de profondeur dans l'argile et aménagées. Une fois remplies, ces alvéoles sont fermées par une couverture pour assurer le confinement des déchets à long terme</p>
Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)...	Le flux stocké est de l'ordre de 24 000 m3/an (moyenne des 15 dernières années)
...dont part des TFA	100%
Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	/
Planning	
Perspective / date de mise en service	Projet Acaci : Mise en service en 2030
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	L'acceptation du projet Acaci permettrait d'augmenter la durée d'exploitation du Cires d'une quinzaine d'année, soit (donc jusqu'à environ 2040/2045.)
Commentaires	
Pratique internationale /	L'Espagne (ENRESA) dispose d'un centre de stockage comparable au Cires, le centre de stockage "El Cabril" situé dans la commune d'Hornachuelos (province de Cordoue) .

Annexe 2.8

Nom projet	PROJET « TFA2 »
-------------------	------------------------

Maître d'ouvrage (porteur du projet)	Andra
Objet du projet / intitulé	Centre de stockage de déchets TFA destiné à prendre le relais du Cires.
Localisation	Non définie. La démarche de recherche de site à venir inclura la zone d'intérêt déjà étudiée sur le territoire de la Communauté de communes de Venduvre-Soulaines
ETAT D'AVANCEMENT	Une proposition de cadrage de l'ensemble des démarches de recherche de site, puis de conception et réalisation est demandée par le PNGMDR et sera établie en 2023
Déchets TFA potentiellement concernés :	L'objectif d'un deuxième centre de stockage de déchets TFA est d'assurer la continuité avec le centre de stockage actuel des déchets TFA, à savoir le Cires. Les déchets qui y seront stockés seront a priori comparables à ceux stockés aujourd'hui au Cires, donc ce centre accueillera a minima le même type de déchets.
Nature	Déchets TFA Inertes, métalliques, autres...
Gisement	
Principales caractéristiques	Déchets TFA
Commentaires (Exclusion, ...)	
Process industriel	Stockage des déchets
Description	
Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)...	
...dont part des TFA	100 %

Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	
Planning	<p>Le PNGMDR demande que l'Andra transmette au ministère chargé de l'énergie le calendrier des démarches de recherche de site, conception et réalisation prévisionnel d'ici fin 2022</p> <p>Une demande d'autorisation environnementale pour ces nouvelles capacités de stockage devra ensuite être déposée au moins 10 ans avant l'horizon de saturation estimé du Cires / Acaci.</p>
Perspective / date de mise en service	En fonction des perspectives actuelles de saturation du Cires et de son extension en projet Acaci, la mise en service devrait arriver à l'horizon 2040/2045.
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	/
Commentaires	
Pratique internationale /	L'Espagne (ENRESA) dispose d'un centre de stockage comparable au Cires, le centre de stockage "El Cabril" situé dans la commune d'Hornachuelos (province de Cordoue) .

Annexe 2.9

Nom projet	PROJETS DE STOCKAGES DECENTRALISES
------------	---

Maître d'ouvrage (porteur du projet)	A définir
Objet du projet / intitulé	Création d'installation(s) de stockage(s) dites décentralisées, proches de leur lieu de production, par opposition au stockage national (centralisé) que constitue le Cires
Localisation	Sur ou à proximité de sites électronucléaires (sites « décentralisés » par opposition au Cires qui est « centralisé ») produisant des quantités importantes de déchets radioactifs, en particulier lors des phases de démantèlement
ETAT D'AVANCEMENT	/
Déchets TFA potentiellement concernés :	Déchets de Très Faible Activité (TFA)
Nature	Non défini à ce jour -
Gisement	
Principales caractéristiques	
Commentaires (Exclusion, ...)	
Process industriel	
Description	Utilisation de savoir-faire du domaine de la gestion des déchets conventionnels pour étudier la possibilité de la création d'un centre de stockage pour déchets nucléaires se basant sur des installations de stockages pour déchets conventionnels.
Dimensionnement / accueil annuel (m3/an ou t/an)...	
...dont part des TFA	100%

Déchets induits (nature, volume ou %, filière d'élimination)	
Planning	Le Ve PNGMDR prescrit la poursuite des études de faisabilité des stockages décentralisés initiées par le PNGMDR 2016-2018
Perspective / date de mise en service	
Durée envisagée d'exploitation ou date de fin d'exploitation	
Commentaires	Document au titre du PNGMDR 2016-2018 : Etude sur la faisabilité de créer des installations de stockage décentralisées pour certaines typologies de déchets TFA - Rapport d'étape : Méthodologie de comparaison des options de stockage
Pratique internationale /	

Annexe 2.10

NOM PROJET	ISDD : Installation de Stockage de Déchets Dangereux
MAITRE D'OUVRAGE (PORTEUR DU PROJET)	Exploitants des ISDD
OBJET	Les ISDD sont des centres de stockages de « déchets dangereux », selon la définition réglementaire des déchets conventionnels. Le PNGMDR a prescrit une étude de faisabilité d'acceptation de déchets TFA dans les ISDD
LOCALISATION	
ETAT D'AVANCEMENT	Installations en exploitation Il existait 16 ISDD en France en 2020, mais dont 4 à 5 uniquement étaient autorisées à l'accueil de substance radioactive d'origine naturelle (SRON)
DECHETS TFA POTENTIELLEMENT CONCERNES :	La réglementation interdit actuellement <u>l'élimination de déchets radioactifs dans les installations de stockage de déchets dangereux, non dangereux et inertes</u> : Les ISDD sont régies par les dispositions de l'arrêté ministériel du 30 décembre 2002 modifié ⁸ . Le chapitre II- article 7 de l'arrêté ministériel précité précise les déchets interdits en ISDD : <i>« Sont interdits : .../... tout déchet présentant l'une au moins des caractéristiques suivantes : .../... Radioactif, c'est-à-dire qui contient un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection ».</i> Les <u>déchets de SRON (substance radioactive d'origine naturelle)</u> sont des déchets générés par l'utilisation ou la transformation de matières premières naturellement riches en radionucléides naturels mais qui ne sont pas utilisées pour leurs propriétés radioactives. En fonction de leurs caractéristiques radiologiques, les déchets SRON peuvent être stockés dans les Installations de stockage de déchets conventionnels (ISDD)
NATURE	Pour définir ses critères d'acceptation, chaque ISDD recevant des déchets NORM fait réaliser par un organisme extérieur une étude d'acceptabilité ⁹ , conformément à la circulaire du 25 juillet 2006.

⁸ Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000005634259/2020-12-01/>

⁹ Déchets à radioactivité naturelle renforcée – 14e Législature - Question écrite n° 06494 de Mme Évelyne Didier -Réponse du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie publiée dans le JO Sénat du 21/11/2013 - page 3369
<https://www.senat.fr/questions/base/2013/qSEQ130506494.html#:~:text=Les%20d%C3%A9chets%20%C3%A0%20radioactivit%C3%A9%20naturelle,raisons%20que%20leurs%20propri%C3%A9t%C3%A9s%20radioactives.>

	Elle se réfère pour cela au Guide méthodologique de l'IRSN pour l'acceptation de déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination (2006)
GISEMENT	L'ISDD d'Argences - Solicendre (14) dispose d'un arrêté préfectoral de 2019 l'autorisant formellement à accepter des déchets NORM, à hauteur de 8 000 t/an . D'autres sites mentionnés sont susceptibles d'accueillir des déchets NORM, sans indication de volume ou tonnage dans les arrêtés d'exploitation.
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	
COMMENTAIRES (EXCLUSION, ...)	
PROCESS INDUSTRIEL	Stockage de déchets dangereux
DESCRIPTION	
DIMENSIONNEMENT / ACCUEIL ANNUEL (M3/AN OU T/AN)...	
...DONT PART DES TFA	/
DECHETS INDUITS (NATURE, VOLUME OU %, FILIERE D'ELIMINATION)	
PLANNING	
PERSPECTIVE / DATE DE MISE EN SERVICE	Les ISDD mentionnées sont en exploitation
DUREE ENVISAGEE D'EXPLOITATION OU DATE DE FIN D'EXPLOITATION	
COMMENTAIRES	
PRATIQUE INTERNATIONALE /	



**AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS**

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

www.andra.fr