



Feuille de route du projet de recyclage et de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité

Projet Technocentre

Feuille de route adressée le 13 février 2023 par EDF et Orano au Directeur général de l'énergie et du climat, en réponse à l'article 19 de l'arrêté PNGMDR.

Table des matières

1	INTRODUCTION	4
2	CONTEXTE	5
	2.1 LES CATÉGORIES DE DÉCHETS RADIOACTIFS ET MODES DE GESTION ASSOCIÉS	5
	2.2 LA GESTION DES DÉCHETS DE TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ (TFA)	6
	2.3 LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	7
	2.3.1 Une extension des possibilités de stockage	7
	2.3.2 La possibilité de valoriser certains métaux faiblement radioactifs	7
	2.3.3 Le statut de l'installation	9
	2.4 OBJECTIFS DU PROJET	9
3	LOCALISATION DU PROJET	9
4	GISEMENT POTENTIEL DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES POUVANT ÊTRE VALORISÉ PAR L'INSTALLATION	10
5	DESCRIPTION DE LA CARACTÉRISATION RADIOLOGIQUE DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES À VALORISER	11
6	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION ET DES PROCÉDÉS MIS EN ŒUVRE POUR RÉALISER L'OPÉRATION DE VALORISATION	12
	6.1 OPÉRATIONS PRÉPARATOIRES À LA FUSION	14
	6.1.1 Gisement Georges-Besse et autres éléments α	15
	6.1.2 Générateurs de vapeur	16
	6.1.3 Autres éléments β/γ	18
	6.2 FUSION	18
	6.3 MÉTALLURGIE SECONDAIRE	19
	6.4 DÉCHETS INDUITS	20
7	MESURES ET PRINCIPES DE CONTRÔLE DES PRODUITS	21
	7.1 PRINCIPES DE CONTRÔLE DES CARACTÉRISTIQUES RADIOLOGIQUES DES PRODUITS	21
	7.2 DÉFINITION DES MÉTHODES DE MESURE RADIOLOGIQUES	22
	7.2.1 Contexte et objectifs des mesures à réaliser	23
	7.2.2 Evaluation et pré-sélection des méthodes de mesure	24
	7.2.2.1 Configuration prévisionnelle du système de mesure.....	24

7.2.2.2	Innovation et optimisation	25
7.2.3	Validation des méthodes de mesure	25
7.2.4	Vérification	25
8	MODALITÉS DE CONTRÔLES, DE TRANSPARENCE ET DE TRAÇABILITÉ ENVISAGÉES	26
8.1	PROCESSUS D'ACCEPTATION ET DE RÉCEPTION DES SUBSTANCES MÉTALLIQUES SUR LE TECHNOCENTRE	27
8.2	PROCESSUS DE VALORISATION	28
8.3	PROCESSUS DE VÉRIFICATION DES PRODUITS FINIS	28
8.4	PROCESSUS DE SURVEILLANCE DES ACTIVITÉS	29
8.4.1	Maîtrise des équipements de mesure	29
8.4.2	Maîtrise des documents	29
8.4.3	Formation/habilitation	30
8.5	PRINCIPES DE DÉTECTION ET TRAITEMENT DES ECARTS	30
8.5.1	Ecarts liés au produit	30
8.5.2	Détection des écarts	30
8.6	MODALITÉS DE « TRANSPARENCE »	31
9	ÉLÉMENTS DÉMONTRANT LE CARACTÈRE DÉCONTAMINANT DU PROCÉDÉ	31
10	INDICATEURS ADAPTÉS À LA GESTION DE PROJET	33
11	CONCLUSION	35
12	ACRONYMES	36

1 INTRODUCTION

Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2022-2026 constate l'inadéquation des capacités de stockage actuelles des déchets radioactifs de très faible activité (TFA) aux volumes de production anticipés pour ces déchets : les projections font état d'un besoin de capacités de gestion complémentaires à l'horizon 2030.

En conséquence, le PNGMDR préconise une évolution des solutions de gestion des déchets TFA, visant d'une part à accroître les capacités de stockage nationales et, d'autre part à évaluer l'opportunité de modes de gestion alternatifs, tels que le recyclage et la valorisation des matériaux métalliques TFA.

A la suite du débat public de 2019, deux décrets et un arrêté¹ publiés le 14 février 2022 fixent désormais le cadre réglementaire pour réaliser les opérations de valorisation de métaux faiblement radioactifs en France. Il s'agit d'une évolution réglementaire qui permettra, d'une part, d'éviter le stockage d'une quantité importante (de l'ordre de 500 000 tonnes) de métaux issus d'activités nucléaires, dont notamment la déconstruction d'installations nucléaires et, d'autre part, de limiter la consommation des ressources naturelles.

Dans ce contexte, EDF et Orano conduisent conjointement le projet, appelé « Technocentre », de création d'une installation de valorisation des matériaux métalliques de faible activité. Ce projet est actuellement en phase de développement.

Les produits issus de cette installation, conformes aux exigences du code de la santé publique et de la directive européenne n°2013/59/Euratom du 5 décembre 2013, pourront donc être réutilisés dans le domaine conventionnel sans impact sur la santé et l'environnement quel qu'en soit l'usage.

La garantie du respect des conditions de valorisation s'appuie sur la mise en place d'un ensemble de dispositions dans les différentes étapes du processus qui permettent la maîtrise des caractéristiques du produit tout au long du processus de valorisation.

L'article 19 de l'arrêté du 09 décembre 2022, pris en application du décret n° 2022-1547 du 09 décembre 2022, pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du PNGMDR dispose :

Art. 19 - Pour l'application des dispositions de l'article D. 542-86 du code de l'environnement et de l'action nommée TFA.7 du PNGMDR, EDF SA et Orano transmettent au ministre chargé de l'énergie, avant le 30 décembre 2022, une feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité précisant les options et les exigences proposées en matière de santé, sécurité et environnement, présentant l'opportunité éventuelle d'association du CEA, et tenant compte des enseignements issus de la concertation post- débat public relatif au PNGMDR, le cas échéant, et en tenant compte des éléments inscrits dans l'action nommée TFA.7 du PNGMDR.

Ces éléments font l'objet d'une concertation avec le public et les élus des territoires concernés menée selon les dispositions des articles L. 121-15-1 et suivants du code de l'environnement, et dont les modalités sont précisées dans la feuille de route susmentionnée.

¹Décret 2022-174 relatif à la mise en œuvre d'opérations de valorisation de substances faiblement radioactives ; Décret 2022-175 relatif aux substances radioactives éligibles aux opérations de valorisation mentionnées à l'article R. 1333-6-1 du code de la santé publique ; Arrêté fixant le contenu du dossier de dérogation (JORF du 15 février 2022).

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Le PNGMDR précise dans l'action TFA.7 les éléments devant être détaillés dans cette feuille de route :

- La localisation du projet (§3) ;
- L'ensemble du gisement potentiel de matériaux métalliques pouvant être valorisé par l'installation (§4);
- Une description de la caractérisation radiologique des matériaux métalliques à valoriser (§5) ;
- L'intégralité des étapes du procédé envisagé, en particulier celles relatives à la décontamination, avec le volume et les caractéristiques des déchets induits (§6) ;
- Le type de mesures radiologiques envisagées, les seuils de détection et les incertitudes associées. Il conviendra que ces mesures soient en adéquation avec les besoins identifiés d'une part, pour les matériaux valorisables et, d'autre part, pour les déchets. De plus, les délais d'obtention des résultats des mesures devront être compatibles avec le rythme des opérations (§7) ;
- Les modalités de contrôles, de transparence et de traçabilité envisagées ;
- Les premiers éléments démontrant le caractère décontaminant du procédé à travers l'atteinte de performances cohérentes avec les objectifs de l'installation (§9)
- Des indicateurs adaptés à la gestion de projet, qui permettraient d'apprécier la maturité du projet pour l'ensemble des étapes du procédé envisagé (§10).

Le présent document constitue la feuille de route, prescrite par l'article 19 de l'arrêté susmentionné, du projet de valorisation de matériaux métalliques faiblement radioactifs, nommé projet « Technocentre », dont les sociétés EDF et Orano sont les maîtres d'ouvrage.

Les éléments présentés dans cette feuille de route reflètent les connaissances et options retenues à date. Ils sont susceptibles d'évoluer au cours de l'avancement des études et du projet.

2 CONTEXTE

2.1 LES CATÉGORIES DE DÉCHETS RADIOACTIFS ET MODES DE GESTION ASSOCIÉS

La réglementation distingue les catégories de déchets radioactifs selon leur niveau d'activité radiologique et leur période de décroissance radioactive. L'activité massique est liée à l'intensité des rayonnements émis par unité de masse de ces déchets, et la période de décroissance radioactive correspond au temps nécessaire pour que le niveau d'activité soit divisé par deux.

Période radioactive* / Activité**	Vie très courte (VTC) (période < 100 jours)	Principalement vie courte (VC) (période ≤ 31 ans)	Principalement vie longue (VL) (période > 31 ans)
Très faible activité (TFA) < 100 Bq/g	VTC Gestion par décroissance radioactive	TFA Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	FA-VL Stockage à faible profondeur à l'étude
Faible activité (FA) entre quelques centaines de Bq/g et un million de Bq/g		FMA-VC Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	
Moyenne activité (MA) de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g	Non applicable		MA-VL Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA) de l'ordre de plusieurs milliards de Bq/g			HA

* Période radioactive des éléments radioactifs (radionucléides) contenus dans les déchets
 ** Niveau d'activité des déchets radioactifs

Catégories de déchets et modes de gestion associés (source : inventaire 2021 de l'Andra)

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

La démarche industrielle de gestion des déchets radioactifs répond à 4 principes :

- Limiter les quantités de déchets produits,
- Trier les déchets par nature et niveau d'activité radiologique,
- Traiter et conditionner les déchets en fonction de leur nature et niveau de radioactivité,
- Stocker les déchets ultimes dans des installations dédiées garantissant la sûreté sur le long terme.

Les déchets radioactifs, en fonction de leur nature et de leur activité sont adressés vers les filières de gestion adaptées.

- 90% du volume des déchets radioactifs produits sont des déchets à vie courte qui sont triés, traités, conditionnés puis pris en charge dans les centres de stockage en exploitation de l'Andra, le CSA pour les déchets de faible et moyenne activité (FMA) Vie Courte, le CIREs pour les déchets de très faible activité (TFA).
- 10% des déchets sont à vie longue. Ceux-ci sont entreposés dans l'attente du développement des filières de stockage adaptées. Pour les déchets Haute Activité et Moyenne Activité à Vie Longue, il s'agit du projet Cigéo en cours de développement par l'Andra.

2.2 LA GESTION DES DÉCHETS DE TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ (TFA)

Les déchets de très faible activité proviennent essentiellement du fonctionnement et du démantèlement des installations nucléaires. Ils se présentent sous la forme de déchets inertes (béton, gravats, terres, etc.) ou métalliques.

Ils sont gérés actuellement par stockage en surface au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) exploité par l'Andra et ouvert en 2003. Implanté sur la commune de Morvilliers dans l'Aube, le Cires est autorisé à accueillir **650 000 m³ de déchets**. Selon le rapport d'activité du Cires 2021, sa capacité de stockage à fin 2021 était utilisée à 66% (soit environ 430 000 m³).

Les évaluations prospectives réalisées par les exploitants, sur la base des programmes de démantèlement prévus et du retour d'expérience des opérations de démantèlement déjà réalisées, estiment un volume cumulé de déchets TFA compris entre 2 100 000 m³ et 2 300 000 m³ à la fin du démantèlement des installations existantes². Les estimations de chroniques d'envoi, tenant compte de l'exploitation et des opérations de démantèlement, donnent un flux annuel moyen de l'ordre de 22 500 m³.

Ces flux conduisent à la nécessité de développer des capacités complémentaires de stockage à horizon 2030.³

Le 5^{ème} PNGMDR prévoit ainsi le dépôt par l'Andra d'une demande d'extension du Cires⁴ pour atteindre une capacité de stockage de 900 000 à 950 000 m³.

Dans ce contexte, **environ 500 000 tonnes de métaux TFA** seront produits dans les années à venir par le démantèlement d'installations nucléaires d'EDF, Orano et CEA, et à défaut de valorisation, gérés comme déchets radioactifs. Une part significative de ces métaux présente une radioactivité négligeable et ne nécessite pas de mesure de radioprotection. Leur valorisation contribuerait par ailleurs à une économie de ressources naturelles dans une logique d'économie circulaire.

² Andra, Inventaire national de matières et déchets radioactifs, Rapport de synthèse 2018.

³ Compte rendu de la 74^{ème} réunion du GT PNGMDR du 15 décembre 2021.

⁴ Présentation Andra au GT PNGMDR du 15 décembre 2021

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre



Vue aérienne du Cires (Source Andra)

2.3 LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Cette situation a conduit à chercher à développer plusieurs filières complémentaires de gestion des déchets TFA en France, dans le cadre de l'élaboration du 5^{ème} PNGMDR, d'une part en étudiant les possibilités de mettre en service des capacités de stockage supplémentaires, et d'autre part en ouvrant une nouvelle alternative de gestion pour certains déchets TFA métalliques : les valoriser après traitement en démontrant leur respect des critères en dessous desquels il n'y a aucun impact sanitaire ni environnemental.

2.3.1 Une extension des possibilités de stockage

Le 5^{ème} PNGMDR prévoit le dépôt par l'Andra d'une **demande d'extension du Cires**⁵ pour atteindre une capacité de stockage de 900 000 à 950 000m³. Par ailleurs, le PNGMDR a prévu de poursuivre les études visant à mettre en œuvre :

- Un **nouveau centre de stockage centralisé de déchets TFA**
- Des **installations de stockage décentralisées** sur les sites de production ou à proximité : ces installations pourraient réduire les impacts et les coûts liés aux transports mais augmenteraient en contrepartie le nombre de sites de stockage et de points de surveillance.

2.3.2 La possibilité de valoriser certains métaux faiblement radioactifs

La possibilité de valoriser certains métaux faiblement radioactifs a été débattue dans le cadre du débat public de 2019 sur le 5^{ème} PNGMDR. Dans d'autres pays européens⁶ en effet, sont mis en place des seuils dits « de libération » : les matériaux présentant des niveaux d'activité en dessous de ces seuils peuvent être réutilisés dans le domaine conventionnel sans restriction. Ces dispositions s'appuient sur la directive européenne n° 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013 qui fixe les normes relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants. Cette directive définit les seuils (exprimés en termes de

⁵ Présentation Andra au GT PNGMDR du 15 décembre 2021

⁶ Allemagne, Espagne, Belgique, Royaume Uni, Suède, Pays Bas, Finlande selon source OCDE <https://www.oecd-nea.org/rwm/wpdd-docs/RGN%204-2009-.pdf>

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

concentration d'activité radioactive) en dessous desquels les substances considérées ne nécessitent pas de mesure particulière de radioprotection et peuvent être utilisées hors du domaine nucléaire.

A la suite du débat public, les maîtres d'ouvrage du PNGMDR ont publié en février 2020 leurs décisions d'orientation, dont la suivante concernant la gestion des métaux faiblement radioactifs :

« Le Gouvernement fera évoluer le cadre réglementaire applicable à la gestion des déchets de très faible activité, afin d'introduire une nouvelle possibilité de dérogations ciblées permettant, après fusion et décontamination, une valorisation au cas par cas de déchets radioactifs métalliques de faible activité. »

A la suite des travaux d'élaboration de ces dispositions réglementaires, deux décrets et un arrêté⁷ sont parus le 15 février 2022 au journal officiel après une consultation du public sur le site internet du Ministère de la transition écologique.

Depuis le 15 février 2022, ces textes permettent et encadrent les opérations de valorisation de métaux faiblement radioactifs en France.



Evolution du cadre réglementaire

L'article R. 1333-6-1 du code de la santé publique, créé par le décret 2022-174 du 14 février 2022 relatif à « la mise en œuvre d'opérations de valorisation de substances faiblement radioactives », précise :

- Que « l'usage de substances provenant d'une installation dans laquelle est exercée ou s'est exercée une activité nucléaire, lorsque celles-ci sont contaminées, activées ou susceptibles de l'être par des radionucléides appartenant à des catégories de substances définies par décret, peut faire l'objet d'une dérogation aux interdictions énoncées dans les articles R.1333-2 et R.1333-3, dès lors que ces substances font au préalable l'objet d'une opération de valorisation effectuée dans une installation mentionnée aux articles L. 512-1 ou L. 593-2 du code de l'environnement (installation classée pour la protection de l'environnement - ICPE ou installation nucléaire de base - INB) dont l'autorisation au titre de ce code prévoit la possibilité de réaliser une telle opération et que les produits résultants de l'opération respectent les conditions [...] autorisées » ;
- Les conditions dans lesquelles la dérogation aux interdictions énoncées dans les articles R.1333-2 et R.1333-3 du code de la santé publique peut être demandée ; ces conditions sont liées à l'activité massique de radionucléides dans les matières concernées et à la dose efficace ajoutée maximale d'exposition à respecter ;
- La demande de dérogation est à déposer auprès du ministre chargé de la radioprotection par le responsable de l'installation qui réalise l'opération de valorisation.

L'article D. 1333-6-4 du code de la santé publique, créé par le décret 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, précise que les catégories de substances susceptibles de bénéficier des dérogations sont « des substances métalliques qui avant leur usage dans une activité nucléaire ne justifiaient pas un contrôle de la radioprotection ».

Enfin, l'arrêté ministériel du 14 février 2022 décrit les attendus pour la constitution du dossier de dérogation prévu à l'article R.1333-6-1 du code de la santé publique.

⁷Décret 2022-174 relatif à la mise en œuvre d'opérations de valorisation de substances faiblement radioactives ; Décret 2022-175 relatif aux substances radioactives éligibles aux opérations de valorisation mentionnées à l'article R. 1333-6-1 du code de la santé publique ; Arrêté fixant le contenu du dossier de dérogation (JORF du 15 février 2022).

2.3.3 Le statut de l'installation

Le Technocentre en projet, au sein duquel il est prévu de réaliser l'opération de valorisation, serait une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) au sens de l'article L511-1 du code de l'environnement, notamment du fait des caractéristiques radiologiques des gisements à traiter, de la quantité de substances susceptibles d'être présentes sur l'installation et des opérations de traitement de la matière et de fonderie mises en œuvre au sein de l'installation.

En application des dispositions précédentes, la réalisation du projet Technocentre nécessite notamment deux décisions administratives :

- Un **arrêté préfectoral d'autorisation environnementale**, délivré après instruction d'un Dossier de demande d'autorisation environnementale (DDAE). Le dépôt de ce dossier, compte tenu du montant prévisionnel de l'investissement de cet équipement industriel, sera précédé par une phase de participation du public, **objet d'un dossier de saisine de la Commission National des Débats Publics (CNDP)**, et son instruction fera l'objet d'une enquête publique. La publication de cet arrêté est un prérequis pour l'exécution du permis de construire ;
- Un **arrêté ministériel accordant la dérogation aux interdictions énoncées aux articles R. 1333-2 et R. 1333-3 du code de la santé publique** et fixant les conditions de valorisation des métaux faiblement radioactifs dans l'installation actuellement en projet, après instruction du dossier de demande de dérogation qui fera l'objet d'une consultation du public.

2.4 OBJECTIFS DU PROJET

Dans un contexte de préservation des capacités d'entreposage, le PNGMDR précise que « *la valorisation d'une partie des matériaux métalliques TFA constituerait une manière d'optimiser les capacités de stockage des déchets TFA, réduisant les quantités de déchets à stocker et l'artificialisation des sols associée. Elle permettrait également d'économiser des matières premières auxquelles les déchets se substitueraient* ». Le projet Technocentre, installation qui vise à valoriser des métaux faiblement radioactifs issus d'opérations de maintenance et de démantèlement d'installations nucléaires, répond directement à ces objectifs.

3 LOCALISATION DU PROJET

La localisation de l'installation actuellement privilégiée se situe sur la commune de Fessenheim (Haut-Rhin), en région Grand Est. Ce site se situe à la frontière allemande, à proximité de la Suisse. Il s'étend le long des berges du Grand canal d'Alsace, qui s'écoule parallèlement au Rhin sur une cinquantaine de kilomètres, côté français, à quelques centaines de mètres du Rhin. Ce terrain, appartenant à EDF, est situé à proximité immédiate de l'installation nucléaire de base n°75 (centre nucléaire de production d'électricité de Fessenheim, mis à l'arrêt définitif en 2020), mais en dehors de son périmètre.

Le site de Tricastin à proximité de l'usine Georges Besse a aussi été étudié et pourrait constituer une alternative.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

4 GISEMENT POTENTIEL DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES POUVANT ÊTRE VALORISÉ PAR L'INSTALLATION

Les gisements identifiés pour le Technocentre sont constitués de substances métalliques contaminées superficiellement par des radionucléides ou susceptibles de l'être, issues des opérations de maintenance et de démantèlement d'installations nucléaires situées sur le territoire national et à l'étranger.

Le **gisement national**, provenant des installations exploitées par EDF, Orano et le CEA, est estimé à **492 kt**.

Le travail d'identification du gisement potentiel a été mené par chacun des 3 contributeurs (EDF, Orano et CEA) puis mis en commun pour servir de base au cahier des charges de l'installation.

Deux catégories de gisements sont considérées :

- D'une part, :
 - o Les aciers issus du démantèlement de l'usine d'enrichissement de l'uranium **Georges-Besse (GB)** d'Eurodif (Pierrelatte, Drôme),
 - o Les **générateurs de vapeur (GV)** issus des centrales nucléaires de production d'électricité.
- D'autre part, des composants métalliques issus des locaux nucléaires (tuyaux, pompes, échangeurs, support de grands composants, etc.).

Le Technocentre pourrait également accueillir des gisements provenant de l'étranger.

Le Tableau 1 présente une synthèse des gisements français identifiés.

Tableau 1 : Gisements français identifiés pour le Technocentre

Producteur	Tonnage (kt)	Nature du gisement
EDF	214	130 kt GV 84 kt d'autres éléments métalliques
Orano	195	136 kt GB 59 kt d'autres éléments métalliques
CEA	83	Autres éléments métalliques

L'opération envisagée au Technocentre vise à **valoriser les aciers** présents dans ces gisements. Sur la base des études menées à date, la **part valorisable** pour les gisements identifiés est estimée à **75% pour les GV** et à **95% pour les autres gisements** ; soit **441 kt valorisables pour les gisements français**.

Ainsi la valorisation des gisements nationaux permettrait de préserver un volume de stockage d'environ 450 000 m³, soit 70% de la capacité de stockage actuellement autorisée au CIREs.

5 DESCRIPTION DE LA CARACTÉRISATION RADIOLOGIQUE DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES À VALORISER

Les gisements qui pourront être traités au Technocentre sont des matériaux métalliques, soit constitués d'un assemblage d'éléments classés TFA et FMA (cas des générateurs de vapeur), soit classés TFA (cas du gisement Georges-Besse et de la majorité des autres composants métalliques). La contamination de ces matériaux est principalement surfacique, les métaux activés dans leur masse du fait de leur exposition au flux de neutrons d'un réacteur étant exclus de ces gisements.

Dans le cas des GV, un premier traitement consiste à séparer (découpe) la partie FMA de la partie TFA. L'opération de valorisation ne concernera que la partie TFA du GV.

De manière plus générale, les opérations de valorisation par fusion ne concerneront que des métaux permettant de produire des lingots réutilisables dans l'industrie conventionnelle, après séparation et décontamination éventuelle puis contrôle de leurs caractéristiques. Les autres éléments des gisements ne seront pas valorisés : ils seront écartés en amont de l'opération de fusion et gérés en tant que déchets radioactifs.

La nature des caractéristiques radiologiques des aciers à valoriser est fonction de leur origine :

- Les aciers provenant d'**installations du cycle du combustible** (aciers issus du démantèlement de GB et certains autres lots de matières métalliques) sont potentiellement contaminés par des radionucléides qui sont principalement des **émetteurs alpha (α)**. Les principaux contaminants des aciers de l'usine Georges Besse (GB), qui produisait de l'uranium enrichi à moins de 5% en Uranium²³⁵, sont ainsi les isotopes naturels de l'uranium (isotopes 234, 235 et 238), leurs éléments de filiation (Thorium, Proactinium, etc.) et des isotopes artificiels décrits dans la norme.
- Les gisements provenant d'**installations de type réacteur nucléaire** (aciers issus des GV et les autres lots de matières métalliques) sont susceptibles d'être contaminés par des radionucléides qui sont principalement des **émetteurs β et γ** . Les GV issus des CNPE sont ainsi principalement contaminés par des produits d'activation (⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ^{110m}Ag) et de fission (¹³⁷Cs) transportés dans le circuit primaire avant d'être déposés sur les parties du GV raccordées à ce circuit.

Les caractéristiques radiologiques des gisements identifiés et de leur fraction valorisable sont synthétisées dans le Tableau 2.

Les **spécifications d'acceptation** dans le Technocentre des aciers valorisables seront précisées sur la base de la performance des opérations de décontamination envisagées et des conditions de valorisation à atteindre. Elles seront définies de façon à permettre **d'assurer la conformité aux exigences définies des produits en sortie du procédé de valorisation** (cf. section 7.1).

Tableau 2 : Caractéristiques radiologiques des gisements identifiés et des aciers à valoriser.

Gisements	Nature des émissions radiologiques
GB	α
GV	β/γ
Autres TFA α	α

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Gisements	Nature des émissions radiologiques
Autres TFA β/γ	β/γ

6 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION ET DES PROCÉDÉS MIS EN ŒUVRE POUR RÉALISER L'OPÉRATION DE VALORISATION

Le Technocentre vise à réaliser une opération de valorisation des aciers au moyen d'un procédé de fusion⁸, dans le respect des dispositions de l'article R. 1333-6-1 du code de la santé publique, relatif à la valorisation de substances métalliques faiblement radioactives.

Les principales étapes du processus mis en œuvre dans l'installation sont présentées dans les Figure 1 et 2.

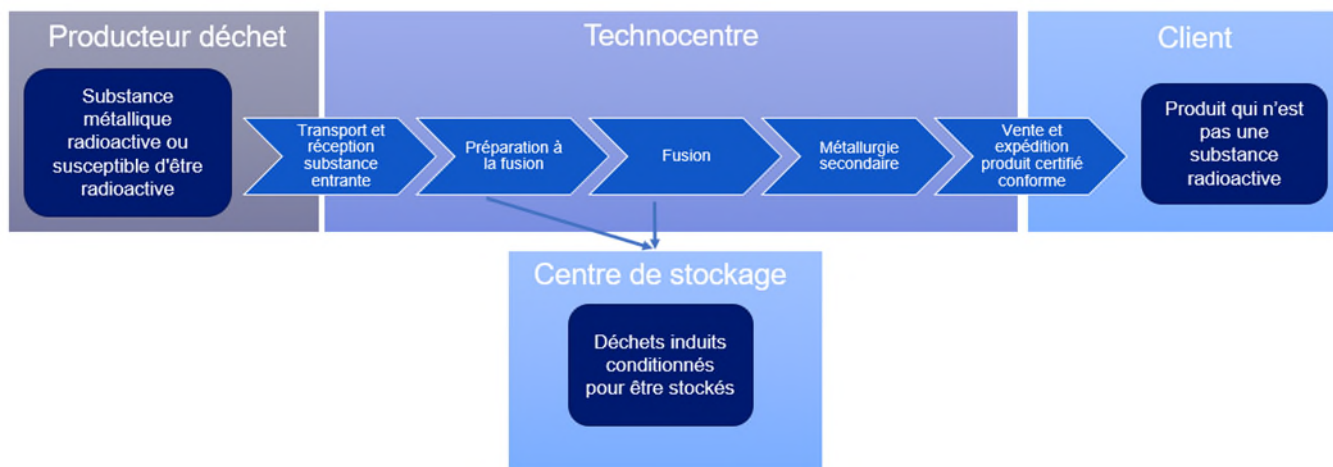


Figure 1 : Synoptique du processus de traitement de la matière par le Technocentre

⁸ Décontamination par migration de certains radionucléides vers les fumées, poussières et laitier combinée à l'homogénéisation de l'acier

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

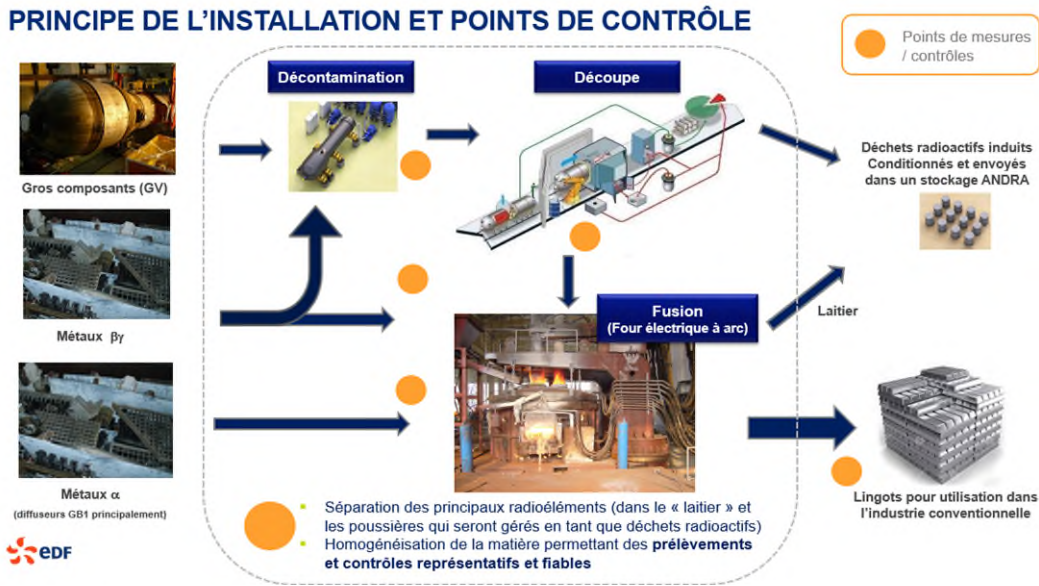


Figure 2 : Principe de l'installation et points de contrôle

Les **matières entrantes** au Technocentre seront des substances métalliques radioactives ou susceptibles de l'être.

Le **processus de gestion** repose notamment sur des **opérations de séparation, et de valorisation des métaux** :

- Les **opérations en amont de la fusion** permettent la sélection et la préparation des métaux valorisables à la fusion,
- L'opération **de fusion des métaux valorisables** constitue le cœur de l'opération de valorisation,
- Les **opérations de métallurgie secondaire** permettent d'ajuster les caractéristiques du produit fini aux spécifications définies.

Le **produit fini** résultant de ces opérations présentera des **caractéristiques radiologiques maîtrisées et contrôlées**, qui garantiront qu'il respecte les seuils définis dans le décret 2022-174 du 14/02/2022. Ce décret, en cohérence avec la directive européenne n° 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013, définit les seuils en dessous desquels les matières considérées peuvent être dispensées de tout contrôle et ne nécessitent pas de mesure particulière de radioprotection.

Le respect de ces seuils permet ainsi de garantir **l'absence d'impact sur la santé et l'environnement lors de l'utilisation du métal produit**.

Le produit fini ne sera pas une substance radioactive telle que le définit la loi (article L. 542-1-1 du code de l'environnement) et ce produit ne justifiera plus de contrôles de radioprotection quel qu'en soit l'usage dans les filières industrielles en aval ainsi que pour les produits finis issus de ces filières. Il répondra par ailleurs aux **exigences techniques et de qualité métallurgique définies pour la filière identifiée** (composition chimique, spécifications dimensionnelles, etc.).

La conformité des produits et des opérations sera contrôlée tout au long du processus de fabrication (cf. section 7). Les écarts seront traités selon les dispositions définies dans le système de gestion de la qualité (cf. section 8).

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Le produit fini pourra être de la **fonte ou de l'acier destinés à l'industrie métallurgique**. Une présentation sous forme de lingots de 10 kg est actuellement envisagée. Le mode de présentation du produit de sortie pourra être ajusté en amont de la mise en service de l'installation en fonction des besoins plus précis exprimés par les industriels. Une présentation du produit fini sous forme de grenaille métallique est également à l'étude.

L'opération de fusion sera effectuée dans un **four électrique à arc d'une capacité d'environ 25 tonnes par coulée**, qui permettra une **production annuelle de matière valorisée d'environ 20 kt**.

Les opérations de séparation et de fusion mises en œuvre au Technocentre engendreront la formation de **déchets induits** en volume réduit, qui seront pris en charge dans les filières adaptées puis stockés par l'ANDRA au CIREC et au CSA.

Les étapes du procédé sont détaillées dans les sections 6.1 à 6.3. Les déchets induits par les opérations du Technocentre et leurs filières de traitement respectives sont décrits dans la section 6.4.

6.1 OPÉRATIONS PRÉPARATOIRES À LA FUSION

Les opérations effectuées en amont de la fusion visent à sélectionner et préparer les éléments métalliques valorisables issus des gisements acceptés dans le Technocentre : **le produit de sortie de ces opérations sera constitué de métaux faiblement radioactifs dont la conformité des caractéristiques radiologiques aux spécifications d'acceptation de l'opération de valorisation sera contrôlée, avant leur admission dans le procédé de fusion**.

Ces opérations seront **adaptées aux spécificités des différents gisements**, notamment à leurs caractéristiques radiologiques, physiques et dimensionnelles.

Les gisements sont ainsi répartis selon **trois filières**, qui concerneront respectivement :

- Les aciers issus du démantèlement de l'usine d'enrichissement d'uranium Georges-Besse (GB) et les autres matières métalliques ayant une contamination α prédominante ;
- Les générateurs de vapeur ;
- Les autres matières métalliques ayant une contamination β/γ prédominante.

Les processus appliqués à chaque filière sont synthétisés sur la Figure 3 et détaillés ci-après.

Des opérations de décontamination mécanique ou éventuellement chimique pourront être effectuées sur certains éléments des gisements potentiellement contaminés par des radionucléides émetteurs beta (β) et gamma (γ), afin de réduire leur activité radiologique en amont de la fusion. De telles opérations de décontamination en amont de la fusion ne seront pas effectuées sur les gisements potentiellement contaminés par des radionucléides alpha (α), la décontamination alpha s'effectuant exclusivement via la fusion (cf. section 6.2).

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

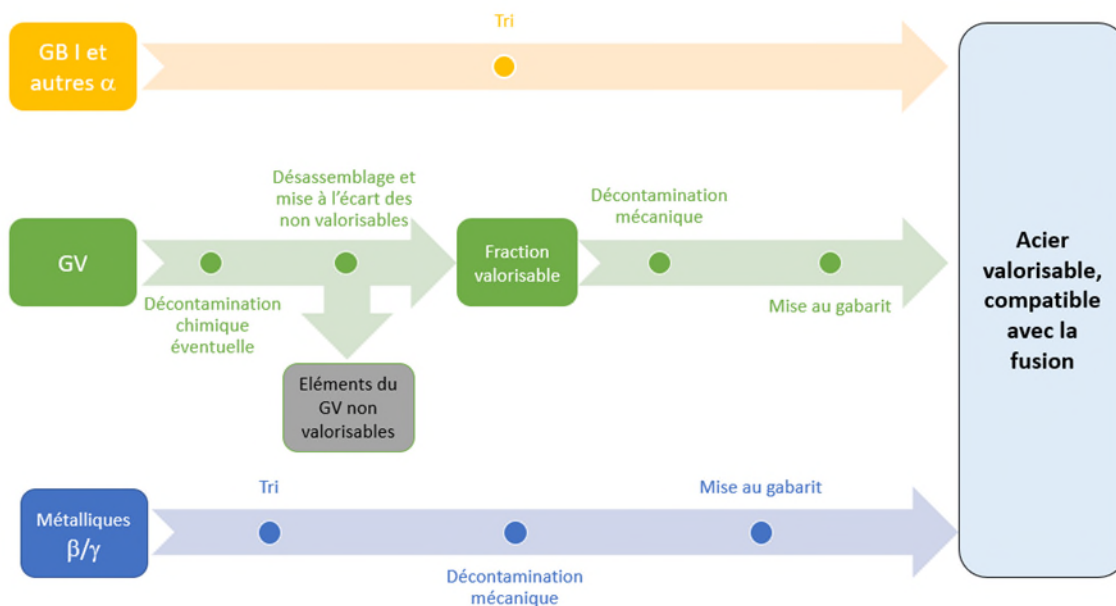


Figure 3 : Opérations préalables à la fusion mises en œuvre au Technocentre, par catégories de gisements).

6.1.1 Gisement Georges-Besse et autres éléments α

L'usine Georges-Besse mise en service en 1979, produisait de l'uranium naturel enrichi par diffusion gazeuse. Ce procédé consiste à faire passer l'uranium, sous forme gazeuse (hexafluorure d'uranium), à travers une cascade de barrières de diffusion poreuses pour séparer les atomes d'uranium 235 des atomes d'uranium 238 plus lourds. Le produit s'enrichit ainsi en uranium 235 au cours de la cascade (Figure 4). Le processus était répété 1400 fois pour produire de l'uranium enrichi utilisable dans les réacteurs nucléaires. Ces étapes de diffusion ont été mises en œuvre à travers 70 groupes de 20 diffuseurs (Figure 5).

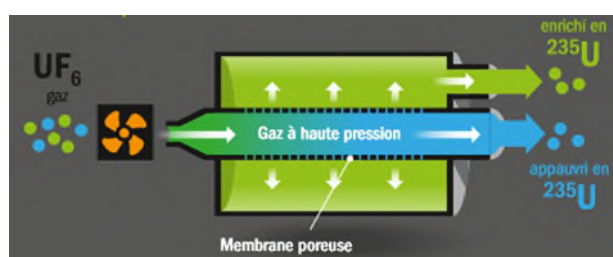


Figure 4 : Principe de fonctionnement de l'enrichissement de l'uranium naturel par diffusion gazeuse (source : CEA)

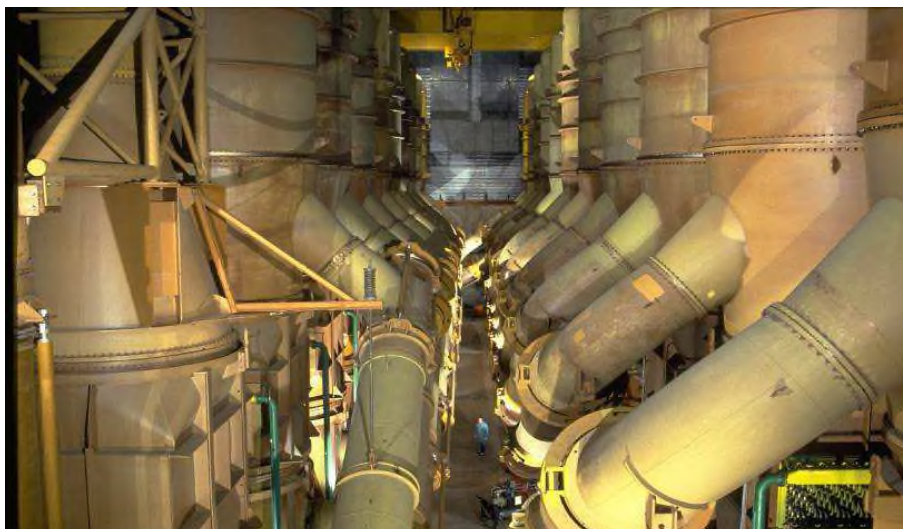


Figure 5 : Vue d'ensemble de diffuseurs de l'usine Georges-Besse

Après la mise à l'arrêt définitif de l'installation en 2012, des opérations de rinçage ont été effectuées dans le cadre du programme PRISME⁹ pour réduire la quantité d'uranium résiduel dans les équipements. Le programme de démantèlement des diffuseurs prévoit la mise en œuvre, sur le site de l'usine Georges-Besse, des opérations suivantes : dépose des diffuseurs, déconstruction, concassage des barrières de diffusion, mise au gabarit des matériaux métalliques, traitement et conditionnement des matériaux. Le gisement métallique valorisable issu de ces opérations, qui représente environ 65% de la masse initiale des équipements, pourra être expédié au Technocentre.

La mise au gabarit des pièces étant effectuée avant leur expédition et les principaux radionucléides du gisement de GB étant décontaminés au cours de la fusion (cf. section 6.2), les pièces seront introduites dans le four après une opération de tri et vérification de la conformité des pièces aux spécifications radiologiques définies en amont de l'opération de fusion.

Pour des raisons identiques, le même processus sera appliqué aux autres matières métalliques α .

6.1.2 Générateurs de vapeur

Un générateur de vapeur (GV) est un échangeur de chaleur qui permet le transfert de la chaleur d'un circuit fermé chauffé par le cœur du réacteur (circuit primaire) vers un deuxième circuit fermé dont l'eau est transformée en vapeur pour alimenter les turbines produisant l'électricité (circuit secondaire).

L'eau du circuit primaire en provenance du cœur du réacteur pénètre dans le GV par la boîte à eau, circule dans le faisceau tubulaire (constitué d'un grand nombre de tubes d'échanges cintrés en U) où elle transfère une partie de sa chaleur à l'eau du circuit secondaire, puis retourne vers le cœur du réacteur. L'eau du circuit secondaire est introduite sous forme liquide par l'arrivée d'eau d'alimentation dans la partie haute du GV, est portée à ébullition sous l'effet de la chaleur reçue du circuit primaire au niveau des tubes d'échange, et s'échappe par le haut du GV vers la turbine (Figure 6).

⁹ PRISME : Programme de Rinçage Intensif Suivi de la Mise sous air d'Eurodif

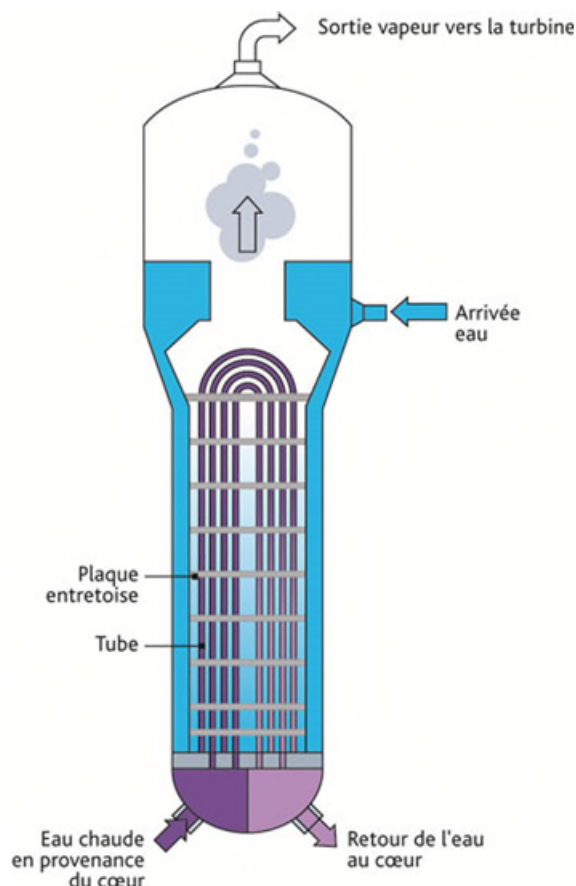


Figure 6 : Schéma d'un générateur de vapeur (source : IRSN)

Le générateur de vapeur est donc constitué de deux enceintes distinctes, l'une en contact avec le circuit primaire (enceinte primaire), l'autre avec le circuit secondaire (enceinte secondaire).

L'enceinte primaire est constituée des éléments suivants :

- Un fond hémisphérique par lequel l'eau du primaire entre et sort dans le générateur de vapeur,
- Une plaque tubulaire, à laquelle les tubes d'échange sont fixés,
- Le faisceau tubulaire, constitué des tubes d'échange, cintrés en U.

L'ensemble fond inférieur et plaque tubulaire constitue la boîte à eau du générateur de vapeur, qui est partagée en deux compartiments par une cloison (plaque de partition).

Les autres éléments (enveloppe du GV hors fond hémisphérique, éléments de séparation et de séchage de la vapeur situés dans la partie supérieure, etc.) constituent l'enceinte secondaire.

La contamination radiologique des GV provient du circuit primaire, qui est en contact direct avec le cœur du réacteur. Les aciers de l'enceinte secondaire n'étant pas en contact avec ce circuit, ils sont fonctionnellement non-contaminés et peuvent être valorisés sans décontamination préalable. A l'inverse, les éléments de l'enceinte primaire sont globalement non valorisables, à l'exception du fond hémisphérique de la boîte à eau qui peut être valorisé après avoir retiré par traitement mécanique (par exemple, par usinage) la couche superficielle portant la contamination. La contamination des GV peut par ailleurs varier en fonction de leur historique d'exploitation.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Du fait de ces spécificités, le processus de préparation à la fusion des aciers valorisables issus des GV serait le suivant :

1. Une éventuelle **décontamination chimique** du circuit primaire, permettant de réduire la dose radiologique à laquelle les opérateurs du Technocentre seront exposés lors du traitement des GV (objectif de radioprotection). Cette opération pourra être effectuée, soit au Technocentre pour les GV issus des opérations de remplacement des GV dans les CNPE en exploitation, soit sur le site producteur avant envoi au Technocentre pour les GV issus des opérations de démantèlement.
2. **Désassemblage** du GV et mise à l'écart des éléments du circuit primaire non valorisables pour leur gestion via les filières adaptées (cf. section 6.4).
3. **Décontamination mécanique** du fond hémisphérique de la boîte à eau : enlèvement par usinage de la couche superficielle où se concentre la contamination.
4. **Mise au gabarit** des métaux valorisables permettant leur introduction dans le four de fusion.

6.1.3 Autres éléments β/γ

Les autres éléments β/γ sont constitués d'éléments de géométrie et de dimensions variées. Ces éléments, qui n'étaient pas au contact de l'eau du circuit primaire, peuvent être contaminés en surface.

Les opérations de préparation de ces éléments β/γ seront les suivantes :

1. **Tri** des pièces selon des critères : de nature des matériaux (mise à l'écart des matériaux autres que les aciers), d'activité radiologique (décontamination mécanique ou mise à l'écart des pièces dont l'activité radiologique est supérieure aux seuils définis), dimensionnels (nécessité d'une mise au gabarit avant introduction dans le four de fusion) et de sécurité vis-à-vis des contraintes d'exploitation du four (en particulier mise à l'écart des corps creux pouvant contenir du liquide).
2. **Décontamination mécanique** par grenailage des pièces dont l'activité radiologique doit être réduite pour être conforme aux spécifications définies en amont de l'opération de fusion.
3. **Mise au gabarit** des pièces valorisables pour permettre leur introduction dans le four de fusion.

6.2 FUSION

Les matières métalliques issues des opérations préparatoires répondront aux spécifications définies, de manière que les lingots produits en sortie de fusion soient valorisables. Elles seront introduites dans un **four électrique à arc**, particulièrement adapté au traitement de pièces de dimensions variées, et chauffées au-delà de leur température de fusion, à environ **1650°C**.

Plusieurs phases se forment au cours de l'opération de fusion des aciers valorisables (Figure 7) :

- L'acier **fondue** forme une phase métallique liquide ;
- Le **laitier** remonte en surface du métal liquide du fait de sa densité plus faible. La formation du laitier est favorisée par l'ajout d'additifs tels que la chaux. In fine, le laitier contient typiquement de la chaux, des silicates, des aluminates, des oxydes et agrège une partie des accompagnants non métalliques introduits avec les métaux à valoriser, tels que la peinture ou la rouille présentes sur ces métaux (la composition du laitier varie en fonction des additifs utilisés et des accompagnants introduits par les matières métalliques) ;

- Les **fumées** aspirées en dehors du four de fusion puis filtrées. Ces fumées sont constituées d'**effluents gazeux** (composés vaporisés) et de **poussières** ;
- Une fraction du bain de fusion s'adsorbe au matériau **réfractaire** qui constitue la paroi interne du four.

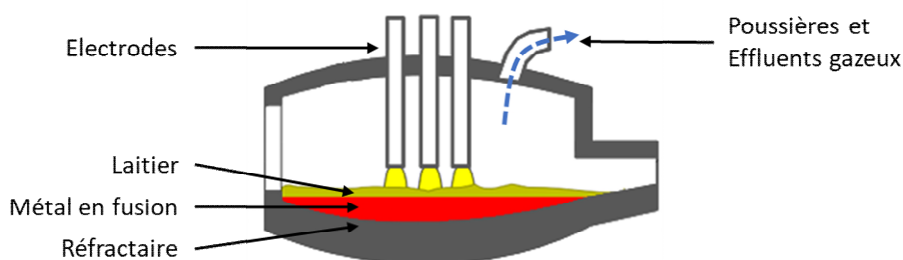


Figure 7 : Schéma du four électrique à arc au cours de la fusion

Les **éléments chimiques (radioactifs ou non) contenus dans les métaux introduits dans le procédé de fusion se répartissent entre ces phases** au cours de la fusion¹⁰ :

- Les éléments dont les propriétés physico-chimiques sont similaires à celles du fer (ex : cobalt, nickel) restent majoritairement dans le métal en fusion ;
- Les éléments plus volatils, tels que le césium, l'iode ou le tritium, sont transférés dans les poussières, les effluents gazeux, ou le laitier ;
- L'uranium et les principaux éléments constituant les contaminants potentiels des « gisements α » sont oxydés et migrent dans le laitier.

Le laitier formé au cours de la fusion sera séparé du métal liquide au cours de l'opération de **décrassage**, et le métal en fusion sera transféré dans une poche métallurgique (récipient métallique revêtu de matériau réfractaire) où seront effectuées les opérations de métallurgie secondaire.

L'affinité préférentielle des éléments chimiques pour certaines phases **confère à la fusion un caractère décontaminant** puisque certains contaminants radioactifs potentiellement présents dans les gisements (ex : ^{137}Cs , ^{235}U) sont en très grande partie éliminés de l'acier liquide.

La fusion engendre par ailleurs la formation de courants de convection, dus à l'échauffement du métal liquide, qui permettent une **homogénéisation du bain métallique**.

La fusion, du fait de ces propriétés de décontamination et d'homogénéisation du métal valorisable, constitue le cœur de l'opération de valorisation.

6.3 MÉTALLURGIE SECONDAIRE

Les opérations de métallurgie secondaire visent à **ajuster la composition physico-chimique du bain métallique** aux spécifications définies par les filières métallurgiques en aval pour le produit fini.

Les opérations suivantes seront effectuées sur le métal issu de l'opération de fusion et transféré dans une poche métallurgique :

¹⁰ Le caractère séparatif de la fusion est indépendant des caractéristiques radioactives des atomes : les isotopes stables et radioactifs d'un même élément chimique se répartissent à l'identique entre les différentes phases.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

- Mise en place d'une voûte sur la poche (configuration « **four poche** ») permettant de réchauffer le métal liquide ;
- Ajustement de la **composition chimique** du bain métallique par ajout d'additifs afin de répondre aux **exigences physico-chimiques (non radiologiques) définies pour la filière ciblée**, en particulier ajout de carbone en cas de production de fonte.

Au cours de ces opérations, l'homogénéisation de la composition du bain liquide continuera à être assurée par des courants de convection thermique.

Le métal en fusion sera finalement transféré, par basculement du four poche, dans les **lingotières** (moules pour former les lingots) ou (autre option) via un dispositif de production de grenaille.

Après refroidissement, dans le cas de lingots ils seront extraits des lingotières, dans le cas de grenaille ils seront collectés, puis entreposés avant contrôle final.

6.4 DÉCHETS INDUITS

Les opérations de séparation (amont fusion et fusion) conduites au Technocentre induiront la formation de déchets qui seront gérés en filière nucléaire.

Des **déchets** seront notamment induits par les **opérations de traitement des éléments des GV en contact avec le circuit primaire** (cf. section 6.1) :

- Résines échangeuses d'ions utilisées pour fixer les radionucléides décrochés du faisceau tubulaire des GV au cours de l'opération de décontamination chimique si elle est mise en œuvre,
- Éléments non valorisables du primaire des GV et résidus de découpe de ces éléments, mis à l'écart du processus de valorisation en amont de l'opération de fusion,
- Copeaux produits par l'usinage du fond hémisphérique des GV.

Les **autres opérations de traitement** induiront la formation de **déchets et effluents radioactifs** :

- Déchets induits par les **opérations préparatoires** à la fusion :
 - o Effluents liquides issus de la décontamination chimique des GV si elle est mise en œuvre,
 - o Poussières liées au déchargement des caisses contenant les éléments divers (poussières de fond de caisse),
 - o Résidus de traitement liés au traitement des éléments valorisables des GV et des autres éléments β/γ (découpe, grenailage, etc.),
 - o Déchets non valorisables écartés pendant les phases de tri des autres éléments α et β/γ .
- Déchets induits par les **opérations de fusion et de métallurgie secondaire** :
 - o Laitiers récupérés lors des opérations de décrassage effectuées dans le four de fusion et dans le four poche,
 - o Poussières issues du traitement des fumées,
 - o Déchets liés à la réfection des réfractaires du four de fusion et du four poche.
- Déchets et effluents liés à l'**exploitation du site** :

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

- Déchets technologiques : tissus, vinyles, papiers, manches de filtres, équipements de protection individuels, etc.,
- Effluents liquides : résidus de lavage des sols des zones contrôlées, etc.,
- Déchets de maintenance.

Les estimations des proportions en masse de matières et déchets associés aux différentes opérations sont les suivantes :

- Opérations préparatoires à la fusion :
 - GV : 75% de métal valorisable, 20% de déchets FMA, 5% de déchets TFA ;
 - Gisement GB et autres métalliques α et β/γ : 95% de métal valorisable, 5% de déchets TFA.
- Opérations de fusion et de métallurgie secondaire : environ 10% de déchets TFA.

Le **traitement de l'ensemble du gisement national identifié** (cf. section 4) induirait ainsi la production de **75 kt de déchets TFA** et **25 kt de déchets FMA environ**.

Les déchets radioactifs produits par le Technocentre seront conditionnés et pris en charge au sein des **filières de gestion opérationnelles, adaptées et disponibles**. Des modes de conditionnement adaptés et correspondant aux exigences des filières de traitement ont été identifiés pour l'ensemble des déchets. Les déchets induits par la valorisation de **gisements nationaux** seront stockés au **CIRES** (déchets TFA), au **CSA** (déchets FMA), éventuellement après une étape de réduction de volume par **Centraco** (en particulier pour l'incinération des effluents liquides).

Dans le cas de la valorisation de **gisements étrangers**, les déchets radioactifs induits par les opérations de séparation de la matière seront **retournés au client conformément aux dispositions de l'article L 542-2 du code de l'environnement**.

Les opérations du Technocentre induisent également la production de **déchets conventionnels** : filtres de ventilation des zones conventionnelles, matières plastiques de type vinyle utilisées dans les zones conventionnelles, outillages et consommables pour la maintenance conventionnelle de l'installation, ampoules, huiles, eaux issues des circuits auxiliaires des fours, eaux de lavage des zones conventionnelles, etc. Ces déchets seront éliminés vers les **filières conventionnelles**.

7 MESURES ET PRINCIPES DE CONTRÔLE DES PRODUITS

7.1 PRINCIPES DE CONTRÔLE DES CARACTÉRISTIQUES RADIOLOGIQUES DES PRODUITS

La maîtrise du processus de séparation de la matière mis en œuvre au Technocentre repose sur des principes **de contrôle** qui permettent de garantir la **production de lots de produits finis conformes** aux exigences définies (cf. section 6) et d'assurer la **détection** et la **mise à l'écart**, tout au long de la chaîne de production, des **produits ne répondant pas aux spécifications**.

Cette stratégie de contrôle est basée sur :

- La **maîtrise des procédés**, opérés dans des domaines de fonctionnement qualifiés (cf. section 9) ;
- La **maîtrise des caractéristiques radiologiques des produits tout au long du processus** (de l'acceptation du lot jusqu'au produit de sortie)

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

- Une **caractérisation de la radioactivité massique** pour chaque radionucléide avec la prise d'échantillons post-fusion
- Des **contrôles sur le lingot en sortie** de l'installation.

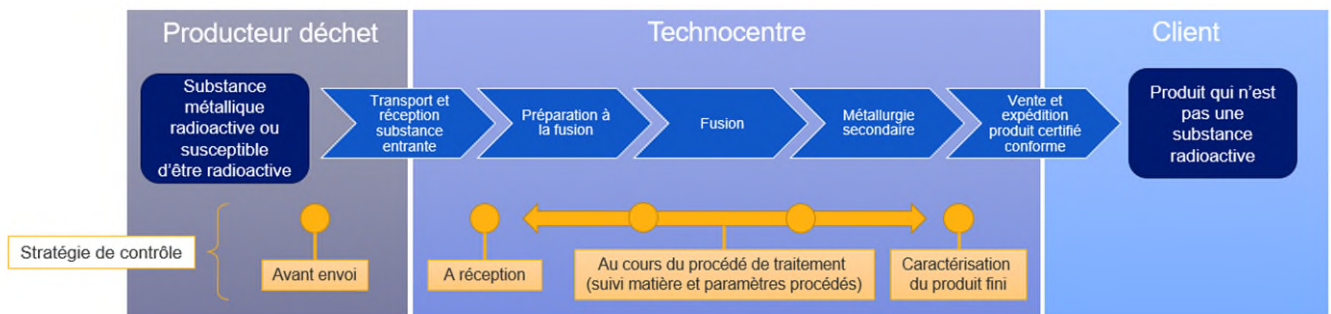


Figure 8 : Synoptique des contrôles envisagés

Des mesures sont effectuées à différentes étapes du procédé, de manière à maîtriser les caractéristiques des produits à chacune de ces étapes. Ces **contrôles radiologiques à plusieurs étapes du processus** (cf. Figure 8) contribuent au principe de défense en profondeur (cf paragraphe 7.2.2.2).

La mise en œuvre de ces contrôles radiologiques successifs garantit la **robustesse du processus de contrôle**.

Ces contrôles serviront à vérifier la conformité des produits aux **spécifications définies pour chacun des points de contrôle**, par la mise en œuvre de **méthodes de mesure radiologique adaptées**.

Les spécifications radiologiques pour les produits acceptés au Technocentre sont définies à partir des caractéristiques radiologiques à obtenir pour leur valorisation. Le produit fini devra respecter les exigences issues du code de la santé publique en tenant compte de la performance de l'opération de valorisation par fusion (facteurs de décontamination pour chaque radionucléide).

Les méthodes de mesure mises en œuvre pour réaliser ces contrôles radiologiques avec les exigences attendues sont adaptées aux contraintes industrielles liées aux opérations du Technocentre, notamment à la cadence de production. Les méthodes permettant de vérifier la conformité des produits finis aux spécifications établies sont identifiées et explicitées dans la section 7.2.

En complément de ces contrôles radiologiques liés à la valorisation des métaux, d'autres contrôles sont prévus pour les **déchets induits** par les opérations de séparation de la matière conformément aux exigences des filières de gestion de ces déchets ainsi que pour les effluents liquides (qui seront aussi collectés et orientés vers les filières de gestion de déchets adaptées). De même, des contrôles des effluents gazeux seront réalisés avant qu'ils soient rejetés dans l'environnement.

7.2 DÉFINITION DES MÉTHODES DE MESURE RADIOLOGIQUES

La **définition des méthodes de mesure** a été construite à partir de l'expression du besoin. Elle s'articule autour de quatre étapes, synthétisées sur la Figure 9 et détaillées dans les sections 7.2.1 à 7.2.4. Elle s'applique à la

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

définition des mesures radiologiques appliquées à la maîtrise des produits¹¹ (substances métalliques susceptibles d'être traitées au Technocentre, produits en cours de transformation, produits finis).

De manière complémentaire, des mesures seront réalisées sur les déchets induits en cohérence avec les exigences des filières de gestion retenues.

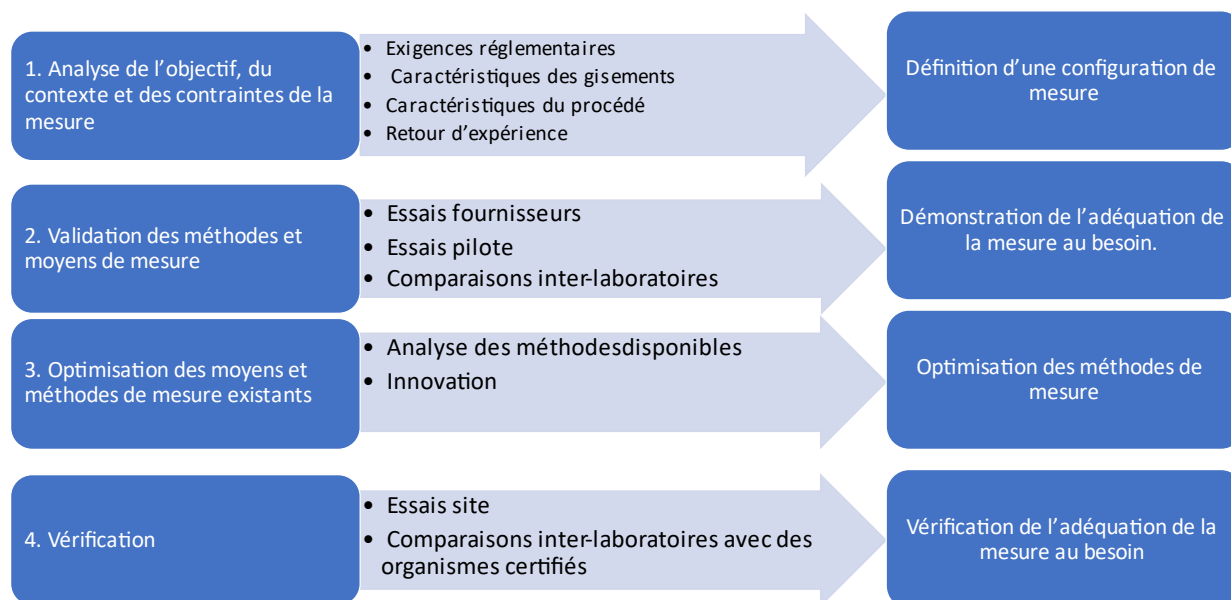


Figure 9 : Méthodologie de définition des méthodes de mesures radiologiques

7.2.1 Contexte et objectifs des mesures à réaliser

Les **objectifs et modalités de mesure ont été définis sur la base des éléments suivants** :

- Les caractéristiques radiologiques des gisements ;
- Les exigences réglementaires, notamment les limites radiologiques définies pour la valorisation des substances métalliques faiblement radioactives ;
- Les spécifications de qualité métallurgique du produit ;
- Les propriétés physico-chimiques des procédés, telles que la répartition des radionucléides au cours de la fusion ;
- Des contraintes industrielles, telles que l'environnement de la mesure et la cadence de production.

L'analyse de ces éléments a permis de définir **les exigences applicables à la mesure**. Ces exigences formalisent notamment les seuils de sensibilité (limite de détection), de fiabilité et de précision (prise en compte des incertitudes de mesure) et de délai d'obtention des résultats auxquelles la méthode doit répondre.

¹¹ Les mesures radiologiques liées à la protection des travailleurs sont l'objet d'un programme de développement distinct.

7.2.2 Evaluation et pré-sélection des méthodes de mesure

La seconde étape a consisté à **identifier et évaluer les méthodes de mesure potentiellement pertinentes**. L'inventaire de ces méthodes de mesure a été réalisé via un **examen de l'état de l'art** des solutions actuellement disponibles et une **analyse du retour d'expérience** (REX) acquis sur des installations d'intérêt pour les activités du Technocentre.

La pertinence des méthodes de mesure a été évaluée en établissant une **matrice de conformité**, qui quantifie, pour chaque méthode, le niveau de conformité aux exigences préalablement définies. Cette analyse a permis de **présélectionner les plus pertinentes**. Cet état des lieux s'appuie sur le retour d'expérience disponible des exploitants d'installations nucléaires EDF et Orano ainsi que de retours d'expérience spécifiques liés à des installations de fusion de métaux radioactifs tels que :

- L'usine **Centraco** de Cyclife France, filiale du groupe EDF, qui traite des déchets métalliques TFA et FMA par fusion afin de réduire leur volume avant stockage ultime ;
- L'usine **Cyclife Sweden AB** du groupe Cyclife en **Suède** (filiale du groupe EDF). Bien que les réglementations nationales présentent des particularités, le fait que la France et la Suède s'inscrivent dans le cadre de la transposition de la 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 garantit une base commune pour les exigences de ces trois pays.

L'**organisation de coopération et de développement économiques** (OCDE), l'**agence pour l'énergie nucléaire** de l'OCDE (AEN) et l'**agence internationale de l'énergie atomique** (AIEA) ont publié, par ailleurs, plusieurs travaux documentant les pratiques des **acteurs internationaux** du domaine nucléaire pratiquant le recyclage de substances faiblement radioactives.

7.2.2.1 Configuration prévisionnelle du système de mesure

Au regard du retour d'expérience et des exigences associées aux différents points de contrôle, une première configuration du système de mesure a été définie. Cette configuration pourra être précisée et complétée, voire optimisée en fonction des données complémentaires en cours d'acquisition (essais de qualification, innovations concernant les moyens de mesures...) :

- Caractérisation radiologique des substances métalliques effectuée par le producteur en amont de leur envoi au regard des spécifications d'acceptation au Technocentre : mesures d'activité représentatives et caractérisation des radionucléides présents. Les résultats de ces contrôles devront être communiqués au Technocentre et la prise en charge du lot de métal devra être validée avant leur envoi (cf. section 8)
- Contrôles réalisés par l'exploitant du Technocentre à l'arrivée des lots au regard des spécifications d'acceptation (mesure de débit de dose au radiamètre et mesures surfaciques au contaminamètre)
- Contrôles réalisés par l'exploitant du Technocentre pendant les phases de tri et préparation à la fusion (mesure de débit de dose au radiamètre et mesures surfaciques au contaminamètre)
- Prise des échantillons post-fusion au cours de la coulée puis analyse radiologique (par exemple, spectrométrie alpha et/ou bêta et/ou gamma, par scintillation liquide ou/et spectrométrie de masse (ICP-MS)) des radioéléments d'intérêt qui permettront de caractériser la radioactivité massique pour chaque radionucléide sur la base des spectres de référence en sortie de fusion. Contrôles réalisés par l'exploitant du Technocentre sur les lingots produits (mesure de débit de dose au radiamètre et mesures surfaciques au contaminamètre)

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

- Contrôle systématique des lingots en sortie de site via un portique de mesure de débit de dose

La caractérisation des performances et la garantie du respect des exigences passe notamment par la démarche engagée de qualification de l'ensemble procédés/mesures associée à la définition de spécifications d'entrée. Plus la performance de la configuration de procédés/mesures validée par le processus de qualification sera élevée, plus les incertitudes seront réduites et plus on pourra réduire les conservatismes concernant les spécifications d'acceptation au Technocentre.

La recherche d'innovations menée en parallèle pourra permettre d'améliorer la performance de cette configuration (augmentation de la précision de la caractérisation des matériaux, par exemple) et ainsi éventuellement d'en adapter certaines parties. Les évolutions retenues seront intégrées dans le processus de qualification et de validation dès leur sélection.

7.2.2.2 Innovation et optimisation

La mesure des faibles doses et la détection des traces de radioactivité font l'objet de projets de recherche et développement actifs. Ces projets reposent notamment sur le développement d'outils analytiques, d'instrumentation et de mesure performants.

Des travaux de coopération scientifique sont envisagées avec des **acteurs nationaux reconnus dans le domaine de la physique nucléaire et de la métallurgie**.

7.2.3 Validation des méthodes de mesure

L'étape de **validation** permet de valider **expérimentalement les performances attendues des méthodes de mesure** dans des conditions représentatives, de valider et **optimiser les méthodes**, d'**identifier les principaux paramètres impactant la performance** et de **confirmer l'adéquation de la mesure sélectionnée au besoin**.

Elle repose sur la définition d'un **protocole d'essai**, qui formalise notamment l'ensemble des essais à effectuer, le mode opératoire à appliquer pour prélever, stocker, préparer et mesurer les échantillons, et les critères de conformité retenus pour les paramètres évalués. Le protocole d'essai s'appuie sur les prescriptions des normes internationales ISO définies pour la mesure nucléaire. Il permet d'évaluer la performance des méthodes, en particulier la sensibilité et les incertitudes associées à la mesure.

La phase de validation intègre deux séries d'essais :

- Les **essais fournisseurs**, constitués d'une série de tests unitaires, réalisés chez le fournisseur, qui ont pour objectif de contrôler l'aspect et les performances du matériel de mesure ;
- Les **essais pilotes**, effectués dans des conditions représentatives des conditions définies pour la phase d'exploitation du Technocentre (nature et préparation des échantillons, environnement de mesure, paramètres de la mesure, etc.).

Ces résultats pourront être enrichis par des **essais de comparaison inter-laboratoires**, qui comparent les résultats de mesure obtenus, pour des échantillons identiques, par différents sites. Ces études permettront de conforter la robustesse des résultats.

7.2.4 Vérification

L'étape de **vérification** a pour objectif de **vérifier expérimentalement les performances des méthodes de mesure en conditions réelles**. Elle permet de **confirmer l'adéquation de la mesure au besoin**.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Elle repose, comme la validation, sur la définition de protocoles d'essais. Ces essais sont réalisés au sein du Technocentre (**essais site**), après installation de l'ensemble des équipements nécessaires, dans des conditions identiques à celles de la phase d'exploitation. Les résultats de ces essais permettent de justifier la **mise en service opérationnelle** des équipements et des méthodes de mesure.

Des essais de **comparaison inter-laboratoires menés avec des organismes accrédités** permettent par ailleurs de justifier l'obtention de résultats de mesure en adéquation avec les exigences définies.

8 MODALITÉS DE CONTRÔLES, DE TRANSPARENCE ET DE TRAÇABILITÉ ENVISAGÉES

La **stratégie de contrôle** mise en œuvre au Technocentre (cf. section 7) s'appuiera sur un **système de gestion de la qualité** qui permettra notamment **l'enregistrement et la traçabilité des contrôles effectués**.

Le système de gestion de la qualité sera décrit dans un **référentiel documentaire** organisé selon quatre niveaux hiérarchiques, schématisés sur la Figure 10.

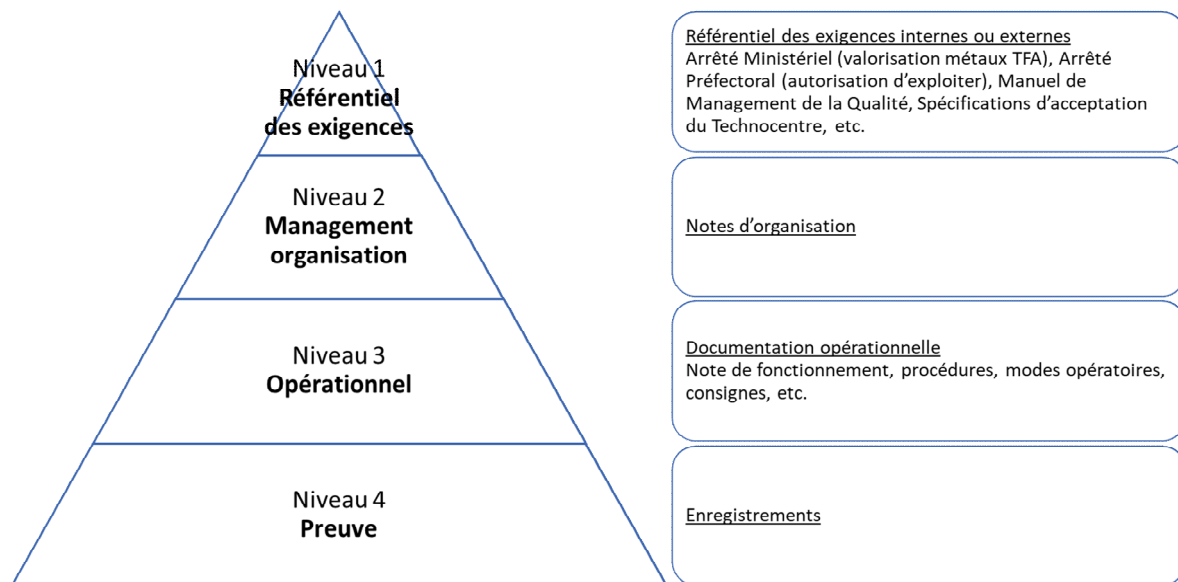


Figure 10 : Organisation du référentiel documentaire du système de gestion de la qualité.

Il sera **organisé autour des processus** mis en œuvre par l'installation, en particulier (cf. Figure 11) :

- L'acceptation et la réception des substances entrantes ;
- Les procédés de transformation de la matière (préparation, fusion, métallurgie secondaire) ;
- La vérification de la conformité des produits finis aux spécifications de sortie ;
- La surveillance des activités, réalisées par des intervenants internes (personnel du Technocentre) ou externes (producteurs de déchets, sous-traitants, etc.), incluant le suivi de la conformité des procédures, des modes opératoires, du matériel utilisé, des protocoles d'analyse, de la qualification et de la formation des différents acteurs.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

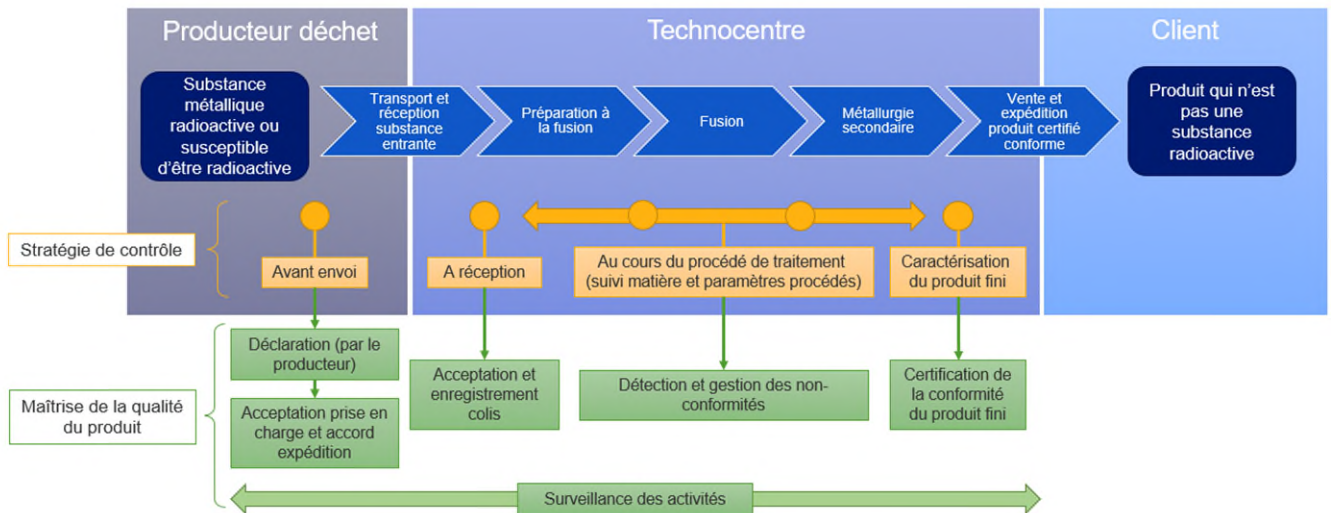


Figure 11 : Eléments de maîtrise de la qualité envisagés

Les résultats des **contrôles nécessaires à statuer sur la conformité du produit final** (masse, nature métallurgique, radioactivité, paramètre de procédé, etc.) seront **enregistrés et tracés dans chacun des processus**.

Les **principales exigences** envisagées pour ces processus, applicables aux acteurs internes et externes au Technocentre, seront décrites dans les sections 8.1 à 8.4.

Le système de gestion de la qualité prévoira également la **gestion des écarts**, selon les principes décrits dans la section 8.5.

8.1 PROCESSUS D'ACCEPTATION ET DE RÉCEPTION DES SUBSTANCES MÉTALLIQUES SUR LE TECHNOCENTRE

Le processus d'acceptation s'appuiera sur la définition préalable des spécifications d'acceptation directement issues des performances des procédés de séparation, valorisation et mesures tels que validés lors du processus de qualification.

Ensuite, le processus d'acceptation des substances métalliques sera mis en œuvre sur la base de ces spécifications à respecter qui varient selon la nature des substances métalliques et le type de traitement de ces substances.

Producteurs :

- Les producteurs intégreront et déclineront la spécification d'acceptation dans leur organisation qualité, pour la maîtrise du respect des critères des substances métalliques destinées au Technocentre.
- Les producteurs intégreront, dans leur dossier préalable à l'envoi, toutes les informations (caractéristiques physiques, chimiques et radiologiques) relatives aux substances métalliques et répondant aux exigences de la spécification d'acceptation.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Technocentre :

- Le Technocentre instruira et validera les dossiers d'acceptation des substances et assurera la cohérence des plans de charge de production avec les prévisions de réception.
- Le Technocentre réceptionnera les lots de substances métalliques qui auront été acceptées préalablement et vérifiera que leurs caractéristiques sont conformes aux éléments contenus dans le dossier d'acceptation.

8.2 PROCESSUS DE VALORISATION

- Pour assurer un produit conforme aux spécifications de sortie du Technocentre, l'acceptation des substances sur le Technocentre, la préparation des métaux en amont de la fusion, leur traitement par fusion et les opérations de métallurgie secondaire feront l'objet de contrôles, de vérifications et d'enregistrements, afin de s'assurer que les critères prescrits sont respectés.
- Les campagnes de fusion seront réalisées en fonction des caractéristiques des substances et de leur assemblage afin de garantir la conformité des produits finis.
- Afin de garantir la qualité des produits finis, des contrôles seront effectués par les agents de fabrication à certaines étapes de la fabrication, directement sur le produit ou sur des échantillons (contrôles dimensionnels, analyses...), ces contrôles seront intégrés dans la documentation opérationnelle.
- Le processus de fabrication des produits finis, depuis la préparation des charges métalliques pour le four de fusion jusqu'au produit fini, permettra d'identifier et tracer l'origine des charges, la coulée et le lot de produit fini issu de la coulée.
- Les résultats des contrôles associés seront enregistrés (masse, nature métallurgique, radioactivité, paramètre de procédé, etc.).
- Les opérations de production et les contrôles seront réalisés par du personnel compétent, formé et habilité.
- Le matériel et les protocoles de mesures associés présenteront toutes les caractéristiques nécessaires afin de répondre aux exigences réglementaires attendues.
- Tous les équipements de mesure, concourants à la caractérisation du produit fini, seront répertoriés et identifiés. Ils sont soumis à des conditions prescrites d'étalonnage, de vérification métrologique et de maintenance définies dans les procédures, modes opératoires et instructions constructeur associées.
- Les méthodes et protocoles de mesure seront validés sur la base de documents internes et/ou par un organisme agréé.
- Chaque méthode ou protocole fera l'objet d'un dossier de validation. La validation inclura l'estimation de l'incertitude associée au résultat de mesure. Selon la méthode, l'estimation des incertitudes sera décrite dans les modes opératoires ou les dossiers de validation.

8.3 PROCESSUS DE VÉRIFICATION DES PRODUITS FINIS

- Le processus de vérification de la conformité des produits finis aux spécifications de sortie s'inscrira dans le processus de surveillance interne.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

- Chaque lot de produit fini sera identifié et associé à la coulée.
- La concordance des enregistrements et la complétude des contrôles seront vérifiées.
- La conformité du produit sera prononcée à l'issue des étapes de vérification finale. Un numéro de lot unique et un **certificat de conformité** seront associés à chaque lot. Le certificat garantira notamment le respect des **spécifications métallurgiques, physico-chimiques et radiologiques**.

8.4 PROCESSUS DE SURVEILLANCE DES ACTIVITÉS

- L'organisation qualité du producteur de substances sera auditable par le Technocentre, pour s'assurer de la prise en compte de la spécification d'acceptation dans son organisation. Les producteurs de substances feront l'objet d'un audit préalable aux premières livraisons et d'audit de suivi périodique par la suite.
- Des contrôles systématiques seront effectués sur les déclarations informatiques des substances en préalable aux réceptions sur le Technocentre, pour statuer sur l'acceptation et autoriser l'expédition du producteur.
- Des contrôles physiques et radiologiques à l'arrivée des produits à valoriser permettront de vérifier la conformité de ces produits aux exigences du technocentre et aux dossiers associés.
- La surveillance des contrôles et les enregistrements associés feront l'objet d'actions réalisées par du personnel indépendant de la chaîne de production.
- L'exploitant du Technocentre réalisera la surveillance de ses activités.
- De manière complémentaire, des contrôles de second niveau seront réalisés par des organismes externes compétents.

8.4.1 Maîtrise des équipements de mesure

- Les contrôles et essais périodiques à effectuer pour garantir le bon fonctionnement des matériels et appareils de contrôle participant à la conformité des produits seront définis.
- Les contrôles et essais périodiques à effectuer pour garantir le bon fonctionnement des équipements de surveillance radiologique du personnel et de l'environnement seront définis
- Pour chaque type d'appareil concerné, le type d'opération, la périodicité, les critères et les responsables du contrôle seront précisés.
- Ces opérations seront déclinées en programmes de contrôles et d'essais périodiques avec des gammes d'essais associées.
- Le respect des exigences de contrôle et de conformité des appareils utilisés pourra être vérifié grâce à la traçabilité des opérations.

8.4.2 Maîtrise des documents

- Les documents seront gérés par un système de gestion électronique d'informations et de documents.
- Des principes de gestion et archivage seront définis pour les documents émis par le Technocentre.
- Des modalités et listes de diffusion seront établies.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

- Les différents types de documents seront enregistrés et diffusés aux interlocuteurs concernés. Les responsabilités des interlocuteurs ainsi que les délégations de pouvoir et signature seront établies.

8.4.3 Formation/habilitation

- La formation et l'habilitation reposeront sur un plan de gestion du personnel défini en fonction du niveau technique, de la compétence et de la responsabilité attendues pour le poste ou la fonction.
- Le Technocentre s'assurera que le personnel, interne ou externe, intervenant au Technocentre bénéficie de la formation nécessaire aux activités qui lui sont confiées.
- Le Technocentre définit, à travers un système d'habilitation, le cadre des conditions d'exercice des activités techniques que devront respecter le personnel intervenant sur le Technocentre.
- En particulier, les activités de fusion, les actions de contrôle, vérification et d'évaluation seront réalisées par des personnes ayant les compétences et qualifications nécessaires.

8.5 PRINCIPES DE DÉTECTION ET TRAITEMENT DES ECARTS

8.5.1 Ecartés liés au produit

Les différents types d'écarts rencontrés **pour un produit** sont :

- Les **écarts sur les spécifications d'acceptation** des substances en entrée d'installation et avant le procédé, etc. ;
- Les **écarts sur les conditions de fabrication** (domaine de fonctionnement des procédés non respectés, défaut sur les résultats des contrôles pendant le fonctionnement, etc.) ;
- Les **écarts sur les exigences définies pour le produit fini** (non-respect des caractéristiques attendues, radiologiques, nuances métallurgiques, masse, dimensions, etc.).

8.5.2 Détection des écarts

La **surveillance** et le **contrôle** permettent de détecter un écart aux différentes étapes des activités, en particulier :

- La surveillance des producteurs de déchets et des produits livrés aux différentes étapes :
 - o Acceptation/réception,
 - o Préparation des charges et traitement,
 - o Vérification de conformité du produit fini.
- La surveillance des acteurs internes et externes (production, laboratoire de contrôle, intervenants, etc.), notamment avec le suivi :
 - o De la conformité des protocoles, modes opératoires applicables, consignes, etc. ;
 - o De la qualification du matériel utilisé (étalonnage, vérification de bon fonctionnement, etc.) ;
 - o De la qualification et de la formation des différents acteurs intervenants.

Les écarts seront **tracés** via un fichier de suivi ou application dédiée permettant leur enregistrement.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

Les écarts conduisant à une non-conformité du produit fini aux spécifications de sortie amèneront à ne pas considérer comme « valorisé » le produit fini. Celui-ci serait alors réintroduit plus en amont du process de valorisation ou traité comme déchet.

L'analyse des causes profondes d'éventuels écarts de ce type a pour objectif d'engager les actions préventives permettant d'éviter leur renouvellement.

Les écarts ne conduisant pas à une non-conformité du produit fini sont analysés dans l'objectif d'améliorer et d'optimiser le process global et sa robustesse.

8.6 MODALITÉS DE « TRANSPARENCE »

Le respect de l'ensemble des méthodes et processus décrits ci-dessus pour le Technocentre (acceptation des substances entrantes, transformation de la matière, vérification des produits finis et des déchets induits, surveillance des activités, détection et traitement des écarts) pourront faire l'objet d'une vérification à la demande de la Mission de la Sureté Nucléaire et de la Radioprotection. En tant qu'ICPE le Technocentre fera l'objet de contrôles de la part des services de la DREAL. A ce titre, le futur exploitant mettra à disposition l'ensemble des données nécessaires à ces contrôles.

9 ÉLÉMENTS DÉMONTRANT LE CARACTÈRE DÉCONTAMINANT DU PROCÉDÉ

Le cœur de l'opération de valorisation qui sera mise en œuvre au Technocentre est l'étape de fusion, qui permet d'assurer une action de décontamination des métaux valorisables et d'homogénéiser la composition du produit fini.

Au cours de la fusion, les éléments chimiques, radioactifs ou non, se répartissent dans les différentes phases (acier liquide, laitier, poussières, etc.) (cf. section 6.2). Pour chaque élément chimique, des coefficients de partage entre ces phases peuvent ainsi être définis (cf. Figure 12). Ces coefficients dépendent notamment de la nature du métal en fusion, des propriétés thermodynamiques de l'élément chimique considéré et des paramètres d'exploitation du four de fusion (température, caractéristiques du laitier, etc.). L'affinité préférentielle de certains éléments pour les phases autres que l'acier fondu conduit à la diminution de leur concentration (et notamment de leurs isotopes radioactifs) dans l'acier fondu, et donc dans le produit fini : elle confère ainsi à la fusion son caractère décontaminant. S'agissant plus spécifiquement des radionucléides présents dans les métaux entrant dans le procédé de fusion, leur comportement n'est pas influencé par leur caractère radioactif mais uniquement par les propriétés physico-chimiques de l'élément auquel ils appartiennent ; par exemple, le cobalt 60 radioactif a le même comportement que le cobalt stable présent dans le métal.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

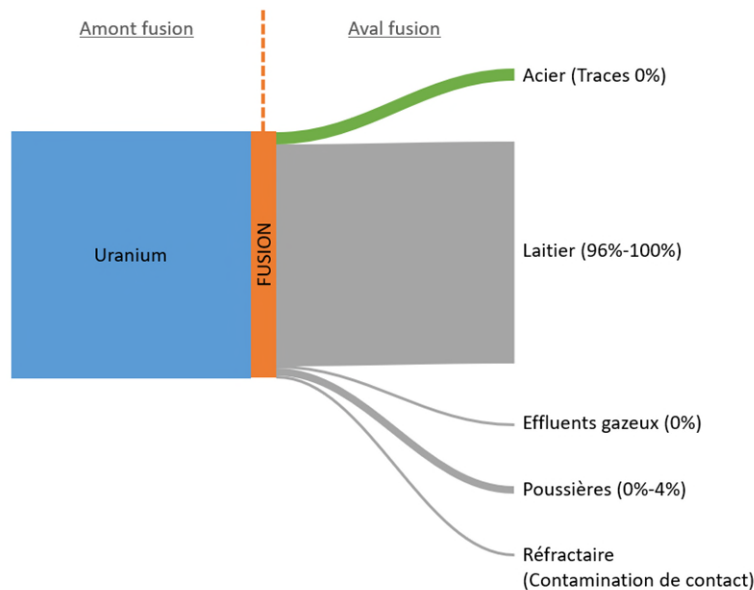


Figure 12 : Illustration de la répartition d'un élément chimique (l'Uranium) entre les phases produites au cours de la fusion (*)

(*) les pourcentages de répartition sont donnés à titre d'illustration et peuvent varier d'un élément chimique à l'autre ; plus ce pourcentage est faible dans la phase « acier », meilleur est le pouvoir décontaminant de l'opération de fusion

La sélection du procédé de fusion, son optimisation et la qualification de ses performances font l'objet d'un programme d'études spécifique. Ces études ont notamment pour objectifs :

- De définir, pour chacun des radionucléides d'intérêts, les **coefficients de répartition applicables dans les conditions d'exploitation du four de fusion du Technocentre** ;
- D'identifier les **principaux paramètres impactant la performance du procédé** ;
- De définir le **domaine de fonctionnement du procédé** et les **spécifications radiologiques d'acceptation des intrants (métaux valorisables)** adaptés au respect des exigences définies pour le produit fini et pour l'installation.

Ce programme de qualification a débuté en 2019, il est conduit en quatre étapes :

- Une phase de **définition des objectifs** et d'**études bibliographiques**, permettant de présélectionner les procédés les plus appropriés (2019-2021) ;
- Des **essais laboratoires**, effectués sur des échantillons, permettant de vérifier certaines hypothèses et résultats décrits dans la littérature, et de préparer la phase d'essais pilotes (2021-2023) ;
- Des **essais pilotes, effectués sur un four électrique à arc à échelle réduite**, permettant d'acquérir des données dans des **conditions opérationnelles représentatives** de celles du Technocentre (2024-2025) ;
- Des essais au sein du Technocentre (**essais site**) dans des **conditions identiques à celles de la phase d'exploitation**, afin d'ajuster la conduite du procédé sur les points de fonctionnement définis au cours des phases précédentes pour **atteindre les performances visées (2030-2031)**.

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

10 INDICATEURS ADAPTÉS À LA GESTION DE PROJET

Le projet est actuellement en phase de cadrage stratégique. Les différentes phases et le calendrier du projet sont schématisés sur la Figure 13.

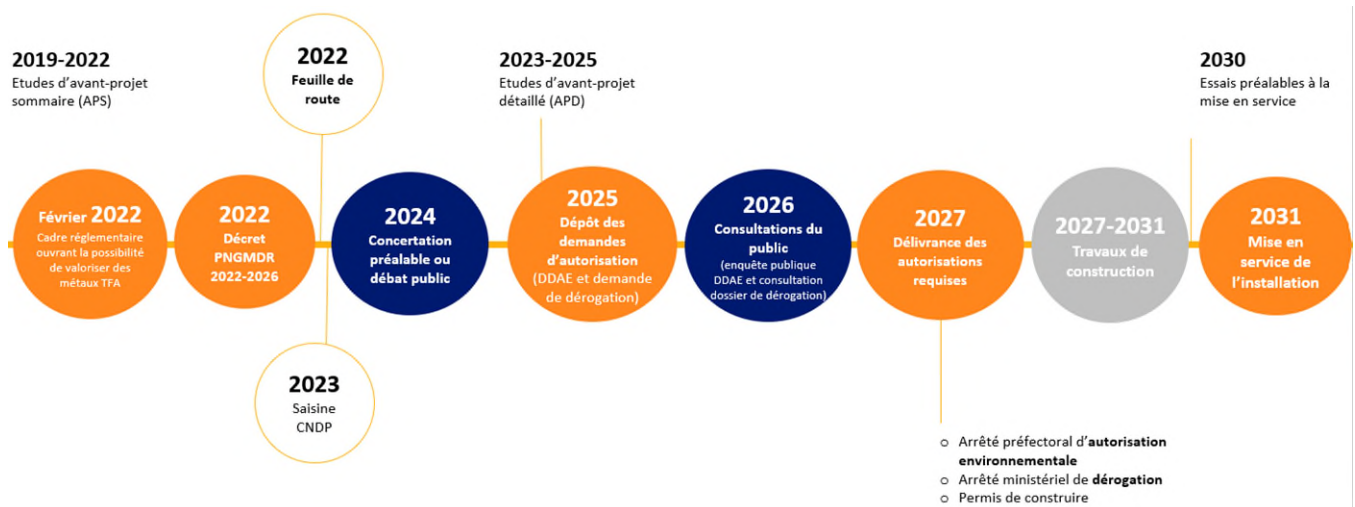


Figure 13 : Principales phases du projet

Le projet a été jalonné en différentes phases conformément à la politique de management de projet des groupes EDF et Orano. Chaque phase fait l'objet d'une revue où sont examinés les indicateurs de pilotage du projet et sont actés les orientations stratégiques retenues pour l'étape suivante. Le passage à l'étape suivante n'est autorisé que par un avis positif suite à la revue.

Depuis 2019 se déroulent des études d'Avant-Projet Sommaire (APS) qui ont pour objectifs de statuer sur les choix des différents procédés et technologies à mettre en œuvre, d'estimer les coûts, de bâtir le planning associé et de préciser le cadre réglementaire de l'installation visée.

Le calcul des facteurs d'activité radiologique (facteur Q) définis dans la réglementation ont permis de montrer que l'installation relevait du statut d'ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement).

Au terme de cette première phase d'études, courant 2023, **la description d'une installation capable de réaliser l'ensemble des fonctions attendues, avec des coûts et planning associés et un cadre réglementaire défini sera disponible. Une configuration technique de référence de l'installation sera donc définie à ce stade d'avant-projet sommaire.**

Courant 2023, le projet Technocentre fera l'objet d'une saisine de la Commission Nationale du Débat Public qui décidera des modalités de concertation adaptées au projet. La CNDP, autorité administrative indépendante, est chargée de veiller au respect de la participation du public au processus d'élaboration des projets d'aménagement ou d'équipements d'intérêt national de l'Etat, des collectivités territoriales, des établissements publics et des personnes privées, relevant de catégories de projets mentionnés à l'article L. 121-8 dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat. La CNDP peut décider d'organiser un débat public ou une concertation préalable permettant de débattre de l'opportunité, des objectifs et des caractéristiques principales du projet, des enjeux socio-économiques qui s'y attachent ainsi que des impacts significatifs sur l'environnement et l'aménagement du territoire.

En parallèle, **une phase d'avant-projet détaillé (APD) sera lancée** afin d'actualiser et compléter le dossier d'études et de fournir les données d'entrée nécessaires pour constituer les différents dossiers réglementaires. Elle devrait s'étendre de 2023 à 2025. La mise en œuvre des stratégies industrielles et contractuelles sera

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

conduite également dans cette phase. **Une configuration technique, finalisée, sera alors produite à la fin de cette phase APD.**

Les dossiers réglementaires sont alimentés par les études APD et les programmes de qualification de la performance des procédés et de développement des méthodes de mesure nucléaire (détaillés dans les sections 9 et 7, respectivement). Les échanges de données entre ces différents lots d'études (APD/Etudes réglementaires et Etudes de qualification) sont prévus tout au long du processus afin d'assurer une adéquation et une optimisation entre elles. Les éventuelles évolutions de configuration seront traitées tout au long des études et les livrables impactés seront mis en cohérence.

La phase d'instruction des dossiers réglementaires (demande d'autorisation environnementale, demande de permis de construire, demande de dérogation au code de la santé publique) et de poursuite des échanges avec les parties prenantes est aujourd'hui envisagée de 2025 à début 2027.

A la suite de cette phase, des travaux préparatoires à la construction sur le site retenu pourraient être enclenchés.

La phase de **construction de l'installation** démarrerait après obtention des autorisations réglementaires (autorisation environnementale, permis de construire et dérogation au code de la santé publique). Elle est envisagée à partir de 2027. Il est prévu de mener des **essais préalables à la mise en service**.

La mise en service industrielle du Technocentre est prévue en 2031.

Ces éléments de planning sont synthétisés sur la Figure 14.

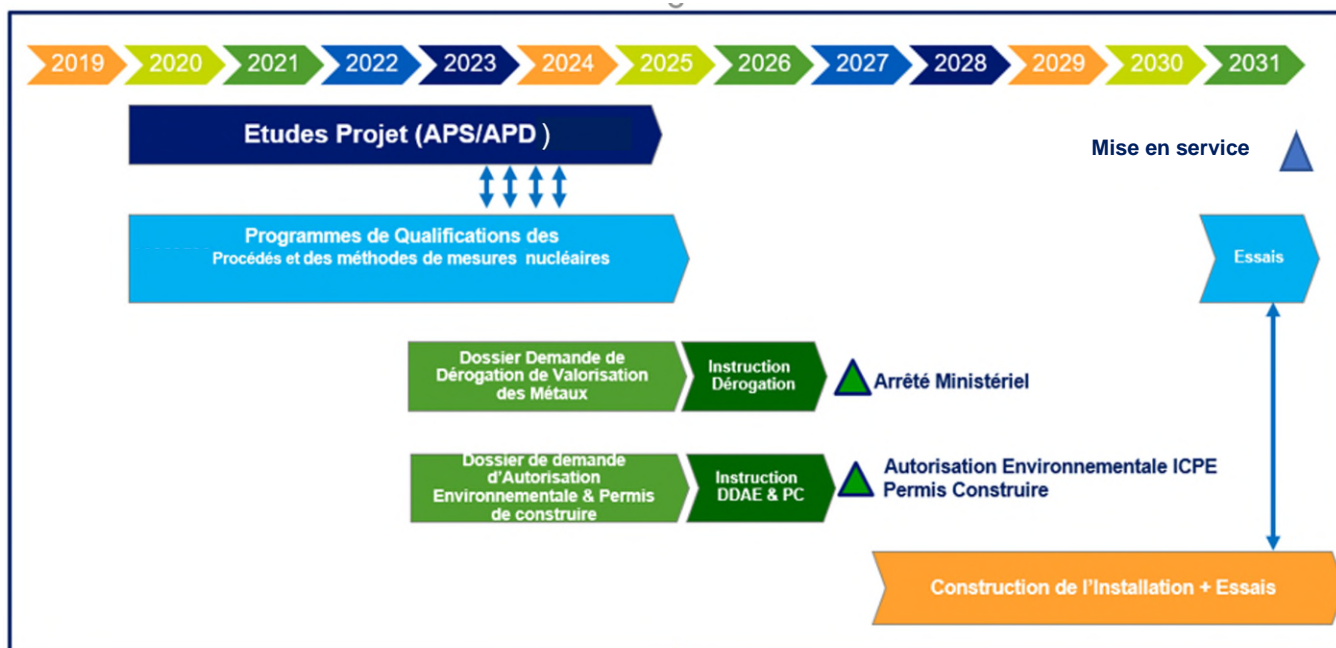


Figure14 : Calendrier prévisionnel du projet Technocentre

APD : Avant-projet détaillé ; APS : Avant-projet sommaire ; DDAE : Dossier de demande d'autorisation environnementale ; PC : Permis de construire

11 CONCLUSION

Conformément à la demande du PNGMDR 2022-26, ce document présente la feuille de route du projet de valorisation avec les options retenues à date. Elle pourra être ajustée ultérieurement au regard de l'avancement des études et du projet.

La valorisation des matériaux métalliques fait partie des modes de gestion alternatifs préconisés par le PNGMDR à l'horizon 2030 qui s'ajoute à l'augmentation des capacités de stockage nationales actuelles.

A la suite du débat public de 2019, deux décrets et un arrêté¹² publiés le 14 février 2022 fixent désormais le cadre réglementaire pour réaliser les opérations de valorisation de métaux faiblement radioactifs en France. Il s'agit d'une évolution réglementaire qui permettra, d'une part, d'éviter le stockage d'une quantité importante (de l'ordre de 500 000 tonnes) de métaux issus d'activités nucléaires, dont notamment la déconstruction d'installations nucléaires et, d'autre part, de limiter la consommation des ressources naturelles.

Dans ce contexte, EDF et Orano conduisent conjointement le projet, appelé « Technocentre », de création d'une installation de valorisation des matériaux métalliques de faible activité. Ce projet est actuellement en phase de développement. L'implantation de l'installation est envisagée de manière privilégiée sur le site de Fessenheim, avec une alternative possible sur le site de Tricastin ; sa mise en service industrielle étant prévue pour 2031.

Les produits issus de cette installation répondront aux exigences du code de la santé publique et de la Directive n° 2013/59/Euratom et pourront donc être réutilisés dans le domaine conventionnel sans impact sur la santé et l'environnement quel qu'en soit l'usage.

La garantie du respect des conditions de valorisation s'appuie sur la mise en place d'un ensemble de dispositions dans les différentes étapes du processus qui permettent la maîtrise des caractéristiques du produit tout au long du processus de valorisation.

Ces dispositions comprennent notamment la qualification des procédés, la définition de spécifications d'acceptation, les étapes de caractérisation chez le producteur de déchets, des contrôles à l'arrivée des métaux, des contrôles en amont de la fusion, des mesures et une caractérisation en post-fusion, le contrôle des lingots en sortie d'installation.

Par ailleurs, en tant qu'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement, le Technocentre fera l'objet de contrôles réguliers de la part des inspecteurs de la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

Une concertation avec le public sera menée en amont du dépôt des principaux dossiers de demande d'autorisations. Les modalités de cette concertation résulteront des décisions de la Commission nationale du débat public, qui sera saisie sur ce projet dans les conditions fixées par le code de l'environnement.

¹²Décret 2022-174 relatif à la mise en œuvre d'opérations de valorisation de substances faiblement radioactives ; Décret 2022-175 relatif aux substances radioactives éligibles aux opérations de valorisation mentionnées à l'article R. 1333-6-1 du code de la santé publique ; Arrêté fixant le contenu du dossier de dérogation (JORF du 15 février 2022).

- Feuille de route du projet de valorisation des matériaux métalliques de très faible activité
- Projet Technocentre

12 ACRONYMES

ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
APD	Avant-projet détaillé
APS	Avant-projet sommaire
ASTM	<i>American Standards of Technical Material</i>
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CIRES	Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage
CNDP	Commission Nationale du Débat Public
CNPE	Centre nucléaire de production d'électricité
CSA	Centre de stockage de l'Aube
CSP	Code de la santé publique
DDAE	Dossier de demande d'autorisation environnementale
EDF	Electricité de France
FA	Faiblement actifs
FEA	Four électrique à arc
FMA	Faible et moyenne activité
GB	Georges-Besse
GV	Générateur de vapeur
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
ISO	Organisation internationale de normalisation (<i>International Organization for Standardization</i>)
PC	Permis de construire
PNGMDR	Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs
R&D	Recherche et développement
REX	Retour d'expérience
TFA	Très faiblement actifs