

## **VALORISATION DES METAUX TFA PROVENANT D'INSTALLATIONS NUCLEAIRES : COMMENT GARANTIR L'ABSENCE DE RISQUE POUR LA SANTE HUMAINE ET L'ENVIRONNEMENT ?**

**EDF - Direction des Projets Déconstruction et Déchets**

**ORANO - Direction Maitrise d'Ouvrage Démantèlement et Déchets**

Le démantèlement des installations nucléaires françaises, déjà à l'arrêt ou qui seront arrêtées dans les décennies à venir, va générer d'importantes quantités de déchets métalliques. Si le recyclage de ces métaux ne pose pas de difficulté particulière pour ceux provenant de la partie conventionnelle (non nucléaire) de ces installations, comme par exemple la salle des machines d'une centrale nucléaire, il en va différemment des métaux issus de la partie nucléaire de l'installation, dont une part importante est classée dans la catégorie des déchets Très Faiblement Actifs (TFA). Dans le cadre réglementaire actuel français, ces métaux TFA, quelle que soit leur radioactivité réelle, ne peuvent pas être recyclés, y compris après traitement, pour un nouvel usage. Ils deviennent de ce fait des déchets ultimes destinés au stockage TFA du CIREN, exploité par l'Andra. Des quantités importantes de métaux, ne justifiant pas de mesure de radioprotection et présentant un potentiel de valorisation important, sont ainsi orientées par défaut vers un stockage de déchets radioactifs, contribuant inutilement à son remplissage.

La présente contribution a pour objet d'exposer le projet porté conjointement par EDF et Orano, visant à permettre la valorisation d'une partie de ces métaux, dans des conditions garantissant l'absence de risque pour la santé humaine et l'environnement, quel que soit l'usage de ces métaux après recyclage.

### **Pourquoi ce projet ?**

Le Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR), prescrit par le Code de l'Environnement, demande aux producteurs de déchets radioactifs de mener les études nécessaires notamment pour réduire les quantités de déchets, dans un objectif d'optimisation de l'utilisation des installations de stockage.

Ainsi, l'article D. 542-85 du Code de l'Environnement demande l'établissement, par l'Andra, d'un schéma industriel global pour la gestion des déchets TFA visant à préserver les capacités de stockage, notamment par valorisation de certains types de déchets radioactifs de très faible activité.

Dans ce cadre, EDF et Orano ont engagé une étude d'avant-projet visant à concevoir une installation dédiée au traitement par fusion de certains déchets métalliques TFA en vue de permettre la valorisation du métal traité par cette installation dans les filières de recyclage. Dans cette étude d'avant-projet, sont identifiées les conditions permettant de s'assurer, tout au long du processus de traitement de ces déchets métalliques, de l'absence de risque pour la santé et l'environnement, que ce soit dans l'installation de traitement ou son voisinage, ou lors de l'utilisation du métal recyclé.

Les hypothèses prises en compte dans cette étude se basent sur un gisement potentiel de métal pouvant être valorisé par cette installation de l'ordre de 500 000 tonnes en France, réparti ainsi :

- 140 000 t provenant du démantèlement de l'usine Georges Besse 1 (Orano) sur le site du Tricastin ;
- 100 000 t pour l'ensemble des générateurs de vapeur du parc actuel de centrales nucléaires exploité par EDF ;
- 260 000 t de composants métalliques en vrac provenant du démantèlement des installations nucléaires.

**Diffuseurs de l'usine Orano  
Georges Besse 1**  
~ 140 000 t



**Générateurs de vapeur des  
centrales nucléaires**  
~ 100 000 t



**Autres métaux**  
~ 260 000 t



En l'absence de filière de valorisation de ces éléments métalliques, ceux-ci sont destinés à être stockés, comme déchets ultimes, au stockage TFA de l'Andra. Ils représentent un volume de l'ordre de 500 000 m<sup>3</sup>, soit 77% de la capacité totale autorisée du stockage TFA du Cires, étant entendu que celui-ci est déjà rempli à plus de la moitié depuis sa mise en service en 2003.

Outre le respect des principes de hiérarchisation des modes de gestion des déchets fixés par la loi (Code de l'Environnement), visant à privilégier la réutilisation et le recyclage, le projet d'installation de traitement par fusion de ces déchets métalliques apporterait une contribution significative à la réduction des flux de déchets stockés au Cires, ainsi qu'une démonstration de l'effort de réduction des déchets ultimes à stocker dans ce type d'installation de stockage.

## **Caractéristiques générales des déchets métalliques à traiter**

Les déchets métalliques mentionnés ci-dessus ont comme caractéristique commune de provenir d'une « zone à production possible de déchets nucléaire » (ZPPDN) d'installation nucléaire, instaurée dans le cadre du zonage déchets prescrit depuis fin 1999 par la réglementation française applicable à ces installations. Cette ZPPDN délimite, pour chaque installation, les parties de celles-ci où peuvent être produits des déchets contaminés ou activés, ou susceptibles de l'être. Il s'agit d'une définition qualitative, non fondée sur un seuil de radioactivité : tout déchet provenant de cette zone est présumé radioactif et doit ainsi être obligatoirement dirigé vers les filières dédiées à cette catégorie de déchets.

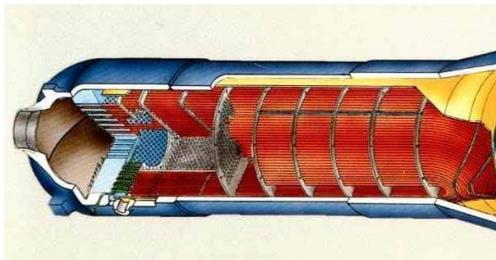
Le zonage déchets est établi par l'exploitant de l'installation sur la base d'une étude justificative prenant en compte les caractéristiques de l'installation (barrières physiques, systèmes de ventilation), les matières utilisées, les procédés mis en œuvre, les phénomènes physicochimiques associés ainsi que les éventuels événements de contamination survenus au cours de l'exploitation de l'installation.

Il est actualisé en tant que de besoin et validé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

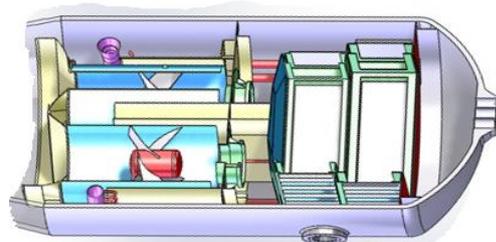
Le retour d'expérience de 20 ans d'exploitation en appliquant cette approche conduit à constater qu'une part importante des déchets qualifiés de TFA produits dans les ZPPDN ne présente aucune radioactivité réelle significative. Selon l'Andra, ce type de déchets représenterait 30 à 50% du volume total déjà stocké au Cires (centre de stockage des déchets radioactifs TFA) depuis sa mise en service. Ceci explique également pourquoi seulement 5% de la capacité radiologique autorisée pour ce stockage a été « consommée », alors que celui-ci est déjà rempli à plus de la moitié de sa capacité en volume.

Ainsi, le projet d'installation de traitement par fusion de métaux TFA vise à prendre en charge des déchets métalliques TFA « sans activité significative ajoutée » ou ceux dont la contamination surfacique peut être facilement retirée par des procédés chimiques ou mécaniques qui seraient mis en œuvre en amont du procédé de traitement par fusion. Ces deux catégories de déchets métalliques sont illustrées ci-dessous par l'exemple d'un générateur de vapeur de centrale nucléaire.

### Générateur de vapeur (GV) complet



Partie inférieure du GV : « boîte à eau » et « faisceau tubulaire » (tubes échangeurs de chaleur) reliés au circuit primaire (côté réacteur) ➔ *Présence d'une contamination surfacique sur la face interne des tubes*

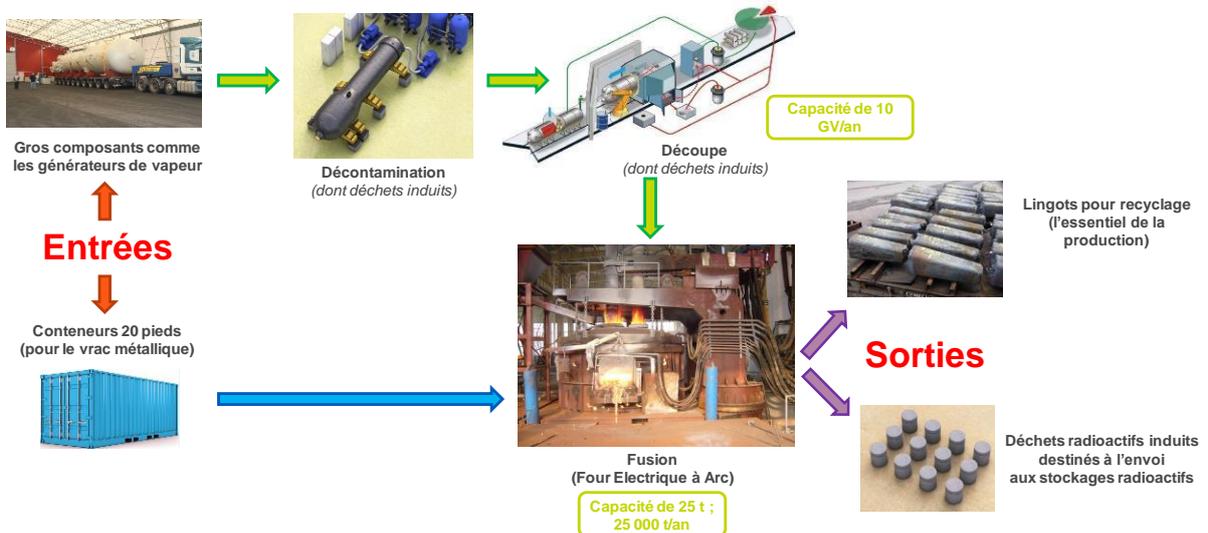


Partie supérieure du GV reliée au circuit secondaire (côté turbine) ➔ *Absence de contamination*

## Principales caractéristiques de l'installation projetée

Le schéma qui suit présente les principales fonctions de l'installation, à savoir :

- réception, entreposage et expédition ;
- préparation à la fusion : décontamination (divers moyens possibles) et découpe (notamment des gros composants dont les générateurs de vapeur) ;
- fusion des métaux dans un four électrique à arc.



La fonction d'entreposage a pour but de répondre uniquement aux contraintes du cycle d'exploitation. Ainsi, tous les déchets produits par les procédés mis en œuvre sont évacués en continu dans des délais aussi courts que possible en fonction des filières de prise en charge.

Les actions de décontamination s'appliquent aux gros composants lorsque cela est justifié (présence d'une contamination surfacique) et répondent à deux objectifs :

- réduire à un niveau aussi bas que raisonnablement possible les doses reçues par les travailleurs de l'atelier de découpe (principe ALARA) ;
- atteindre les critères radiologiques d'acceptation dans le procédé de fusion et ainsi augmenter la fraction valorisable.

Les opérations de découpe s'appliquent également aux grands composants métalliques et répondent à deux objectifs :

- mettre les éléments métalliques au gabarit permettant de les introduire dans le four de fusion ;
- isoler les éléments qui, après contrôle, ne respectent pas les critères radiologiques d'acceptation dans le four. Ils seront alors considérés comme des déchets radioactifs, mis en colis, et transportés vers les stockages de l'Andra.

Les éléments métalliques en vrac (car de plus petite taille) sont livrés en conteneur rempli par le producteur (exploitant de l'installation nucléaire). Chaque lot provenant d'une même installation constitue ainsi un lot homogène bien caractérisé et tracé (voir ci-dessous). Les éléments métalliques de chaque lot peuvent être introduits directement, après contrôle, dans le four de fusion, sans avoir à subir d'opérations de décontamination.

La technologie du four électrique à arc est particulièrement indiquée pour le recyclage des métaux (couramment employée et ayant fait ses preuves dans la métallurgie conventionnelle). Elle a l'avantage d'accepter un grand panel possible de métaux. Le procédé de fusion a pour effet :

- de traiter de manière exhaustive et complète l'ensemble des éléments métalliques dans une installation dédiée ;
- de séparer les éventuelles impuretés résiduelles (radioactives ou non) contenues dans les éléments métalliques introduits dans le four, de manière à assurer le respect des critères de qualité applicables aux lingots, permettant de les envoyer dans les filières métallurgiques en aval. Les impuretés se retrouvent, pour l'essentiel, dans le laitier qui se forme au dessus du bain de fusion. Ce laitier étant susceptible de contenir des radionucléides, compte tenu de l'origine des métaux traités, doit être considéré comme un déchet radioactif. Une part des impuretés, la plus volatile, peut également se retrouver dans les fumées émises par le four et, après traitement, se retrouver dans les résidus d'épuration des fumées. Enfin une dernière part de ces impuretés peut se retrouver dans les matériaux réfractaires du four, remplacés périodiquement. Tous ces déchets induits par le procédé de fusion sont éliminés dans les filières dédiées aux déchets radioactifs ;
- d'obtenir un métal aux propriétés homogènes, coulé en lingots destinés aux filières métallurgiques conventionnelles (après avoir réalisé les contrôles nécessaires) en vue du recyclage.

L'installation projetée relève d'un classement en installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) en raison de la faible quantité de matières radioactives mises en œuvre (inférieure au seuil de classement en INB). Sa mise en exploitation est conditionnée par l'obtention d'une autorisation préalable délivrée par le préfet après enquête publique, sur la base d'un dossier comprenant notamment une étude d'impact et une étude de dangers. L'arrêté d'autorisation fixe des prescriptions réglementaires à respecter, notamment en matière de limites de rejets et de contrôles à mettre en œuvre.

## Conditions garantissant l'absence de risques pour la santé et l'environnement

Les lingots produits dans l'installation de traitement dédiée étant élaborés à partir de métaux TFA provenant d'installations nucléaires, il importe qu'un ensemble de conditions soit réuni pour garantir l'absence de risque pour la santé et l'environnement, quel que soit l'usage du métal recyclé.

Pour cela, le projet porté par EDF et Orano repose sur deux principes fondamentaux :

- assurer la sûreté du procédé en établissant plusieurs lignes de contrôle (principe de la défense en profondeur), permettant de détecter et corriger toute erreur ou anomalie en amont de la libération des lingots métalliques ;
- établir des critères de qualité radiologique appliqués aux lingots, en contrôlant leur respect avant expédition dans les filières métallurgiques.

**Concernant les critères de qualité radiologique**, EDF propose de se référer aux valeurs de concentration massique fournies à l'annexe VII de la directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013 fixant les normes de base en matière de radioprotection, comme cela se fait dans les autres pays de l'Union Européenne, notamment en Suède où EDF possède une installation de fusion de métaux TFA exploitée par sa filiale Cyclife. Ces valeurs servent à la fois à exempter les pratiques et activités qui les respectent de l'application des procédures et du cadre réglementaire en matière de radioprotection, et à libérer de tout contrôle de radioprotection toute matière conforme à ces valeurs, venant d'activités nucléaires. **Ces valeurs d'exemption/libération ont été établies sur la base d'un consensus international, suivant les trois principes suivants :**

- **elles garantissent une exposition très faible aux rayonnements ionisants, entraînant une dose ne dépassant pas 10  $\mu$ Sv/an, jugée sans risque et négligeable du point de vue de la radioprotection ;**
- **elles s'appliquent à des pratiques ou des matières dont la mise en œuvre ou l'usage est justifié ;**
- **l'exercice de la pratique ou l'usage des substances respectant ces valeurs est intrinsèquement sûr, ce qui signifie qu'il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre des dispositifs de protection actifs ou passifs, ni d'exercer un contrôle particulier, ni de restreindre l'application.**

Par exemple, la directive fixe la valeur d'exemption/libération du cobalt 60 ou du césium 137 (tous deux émetteurs  $\beta/\gamma$ ) à 100 Bq/kg ; il s'agit d'une valeur très faible. Pour d'autres radionucléides dont les caractéristiques physicochimiques et radiologiques font qu'ils contribuent plus faiblement à l'exposition aux rayonnements ionisants, la valeur d'exemption/libération est plus élevée, comme par exemple pour le nickel 63 (100 kBq/kg).

**La réglementation française applique d'ores et déjà les valeurs fournies par la directive Euratom pour exempter les activités qui les respectent et qui de ce fait ne sont pas soumises aux dispositions réglementaires en matière de radioprotection.** Par contre, contrairement aux autres pays européens, ces valeurs ne sont pas appliquées pour libérer des substances provenant d'activités nucléaires de tout contrôle de radioprotection ultérieur.

**Pour ce qui concerne les lignes de contrôle** appliquées au processus de traitement des métaux TFA, **elles sont a minima au nombre de 4 :**

- la première, portée par le producteur des déchets métalliques TFA, consiste à caractériser, notamment sur le plan radiologique, les lots de déchets ou les composants métalliques qu'il envisage d'expédier vers l'installation de traitement. Ces éléments de caractérisation servent à établir un dossier d'acceptation préalable communiqué à l'exploitant de l'installation de traitement par fusion ;
- la seconde ligne de contrôle consiste à vérifier, par l'exploitant de l'installation de fusion, que les éléments figurant dans le dossier sont conformes aux critères d'acceptation des métaux dans le procédé de traitement. Ces critères d'acceptation sont préétablis de manière à s'assurer que les lingots qui seront produits à partir des métaux TFA, le cas échéant après une étape de décontamination, seront conformes aux critères de qualité radiologique et à

d'éventuels autres critères techniques prescrits par la filière aval utilisant ces lingots. Les critères d'acceptation doivent également permettre d'assurer l'absence d'impact significatif dans l'environnement de l'installation (conformité à l'étude d'impact et respect des limites de rejet prescrites dans l'arrêté d'autorisation). Une fois cette vérification effectuée, l'exploitant donne son accord pour recevoir les lots de déchets métalliques ;

- la troisième ligne de contrôle est assurée par les contrôles des lots à leur arrivée sur l'installation. Il s'agit de s'assurer que les caractéristiques de ces lots sont conformes à ce qui figure dans le dossier d'acceptation et plus généralement aux spécifications fixées par l'exploitant. Dans le cas où les métaux ont subi des opérations préparatoires sur site (décontamination, découpe), ces contrôles sont appliqués de la même manière aux lots métalliques issus de ces opérations ;
- la quatrième ligne de contrôle est réalisée par des prélèvements et analyses permettant une caractérisation représentative de chaque coulée de lingots. Ce sont ces contrôles finaux qui permettent d'attester la conformité du lot aux critères de qualité attendus, en particulier les valeurs d'exemption/libération.

Chacune de ces lignes de contrôle donne lieu aux enregistrements nécessaires afin de tracer le processus. En particulier, chaque lot de lingots issus d'une même coulée fait l'objet d'une attestation de conformité dont un exemplaire est fourni à l'acheteur du lot. Il est ainsi possible de connaître chaque destinataire des produits de l'installation. Par contre, les lingots une fois libérés n'ont plus besoin d'être tracés au titre de la radioprotection dans la filière métallurgique aval, compte tenu du principe « intrinsèquement sûr » appliqué aux valeurs d'exemption/libération.

## Perspectives

A ce jour, le projet d'installation de traitement par fusion de métaux TFA en est au stade des études d'avant-projet et la décision de réaliser cette installation n'a pas encore été prise par EDF et Orano. Cette décision dépendra notamment des deux conditions suivantes :

- **la démonstration de la viabilité économique du projet** : l'objectif est de réunir les conditions (notamment de flux et de volume) assurant *a minima* un bilan économique neutre par rapport à l'option d'envoyer ces déchets métalliques TFA au CIRE. Pour cela, une condition impérative est de pouvoir écouler les lingots produits vers les filières métallurgiques conventionnelles. En effet, l'option, préconisée par le PNGMDR (article 24 de l'arrêté du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR 2016-2018), visant à restreindre l'utilisation de ces lingots dans la filière nucléaire, n'est économiquement pas viable, pour des raisons de volumes trop faibles et de flux irréguliers. En l'occurrence, il est exclu que l'installation de fusion entrepose durablement les lingots qu'elle produit, à cause d'une impossibilité de les écouler en aval à court terme ;
- **l'évolution de la réglementation française en matière de radioprotection** : compte tenu de la nature des matières mises en œuvre, l'installation de traitement par fusion des métaux TFA est une activité nucléaire au sens défini à l'article L. 1333-1 du Code de la Santé Publique. Il en découle donc qu'en application de l'article R. 1333-2 du même code, il est interdit d'utiliser toute substance provenant de cette installation, dont les lingots, pour la fabrication de biens de consommation, même si les valeurs d'exemption/libération sont respectées. EDF et Orano estiment que les amendements réglementaires à apporter sont mineurs dans la mesure où il n'y a aucune nécessité d'établir une application généralisée des seuils de libération à l'ensemble des activités nucléaires. En particulier, tel qu'est conçu le projet, ces seuils ne s'appliqueraient pas directement aux métaux TFA (ni à d'autres matériaux) produits par les installations nucléaires, mais uniquement aux lingots produits par l'installation dédiée, et sous conditions d'application des lignes de contrôle et de la traçabilité associée, tel que décrit ci-dessus.