



Projet Technocentre

Présentation du processus industriel de l'installation de valorisation de métaux très faiblement radioactifs à Fessenheim



> L'essentiel du projet

- **Une logique d'économie circulaire** : une installation industrielle de recyclage de métaux de très faible activité
- **Une installation** classée pour la protection de l'environnement (ICPE)
- **Une production**, après fusion, de lingots métalliques relevant du domaine conventionnel, utilisés comme matière première d'aciéries
- **Une première unité en France** mais une **expertise reconnue de Cyclife**, filiale du groupe EDF, en Suède
- Une implantation à proximité de la centrale de **Fessenheim**
- **Une mise en service industrielle en 2031**

CHIFFRES CLÉS

85 %

C'est l'objectif de valorisation des métaux dont la quantité qui sera produite en France est estimée à

500 000 tonnes

40 %

C'est l'économie d'énergie réalisée en produisant de l'acier issu du recyclage au lieu d'acier par extraction minière

450 M€

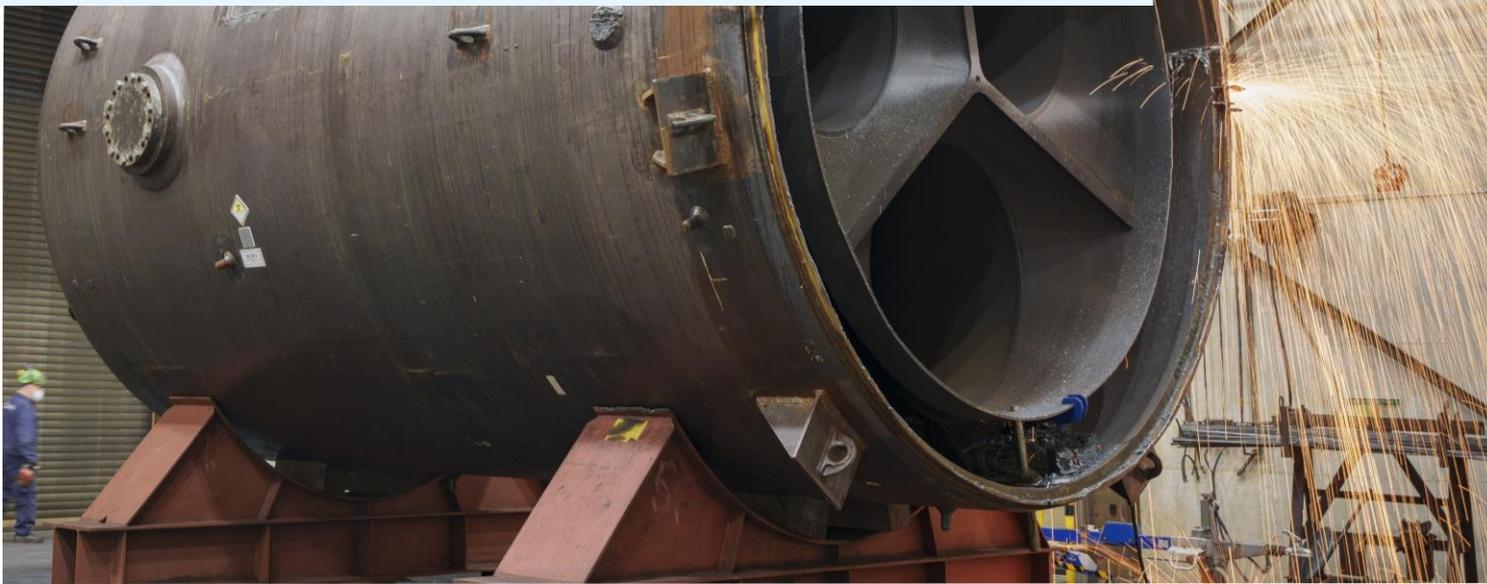
d'investissement

200

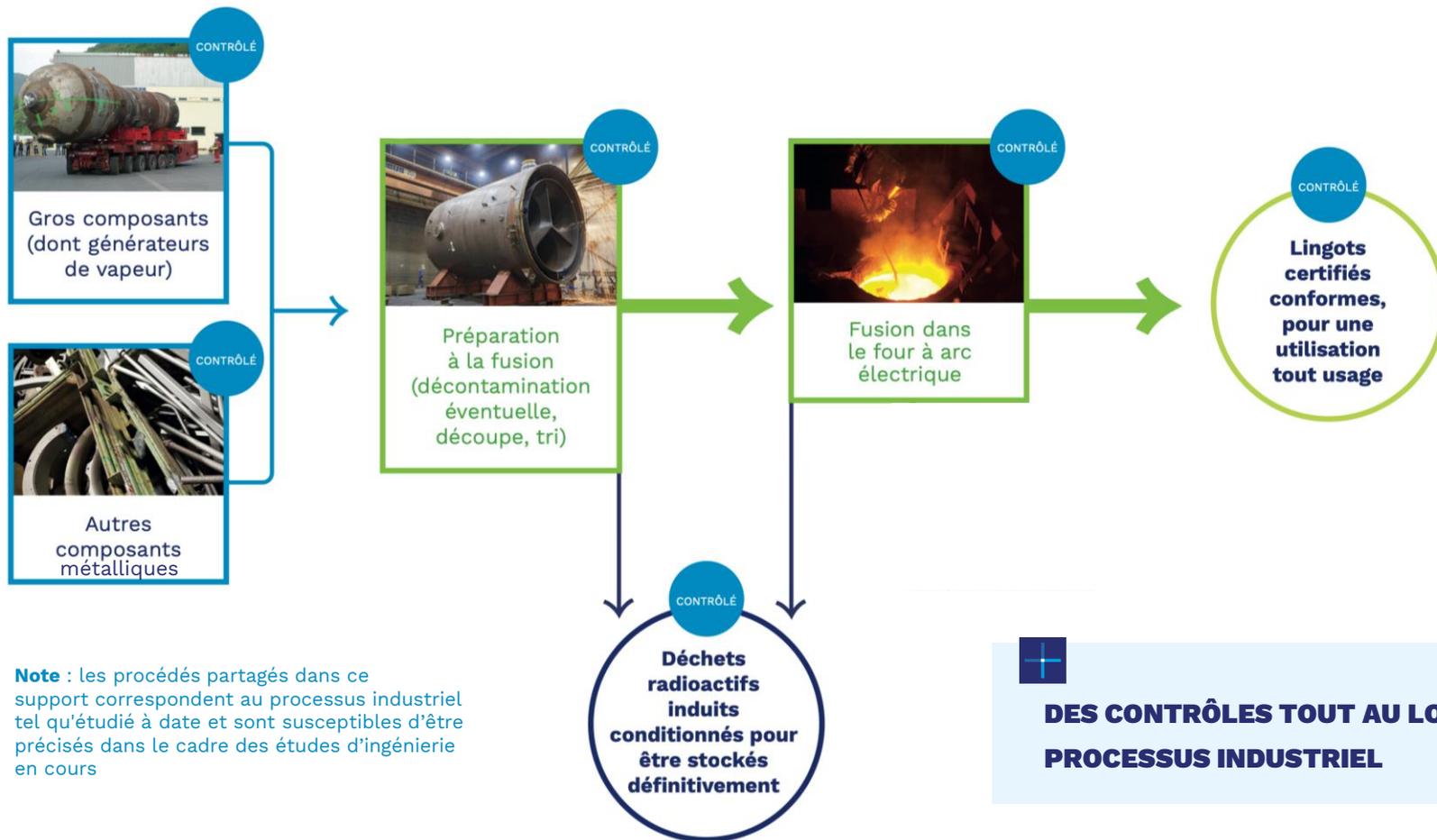
emplois en phase d'exploitation

1

Le processus industriel



> Les étapes du processus industriel : vision d'ensemble



Note : les procédés partagés dans ce support correspondent au processus industriel tel qu'étudié à date et sont susceptibles d'être précisés dans le cadre des études d'ingénierie en cours

➤ La réception et l'entreposage des métaux

Gros composants (générateurs de vapeur)

- Transport des générateurs de vapeur par voie multimodale (routière, maritime et fluviale)
- Transport des générateurs de vapeur depuis un port fluvial jusqu'au Technocentre par convoi exceptionnel
- Entreposage à l'arrivée dans un bâtiment d'entreposage dédié

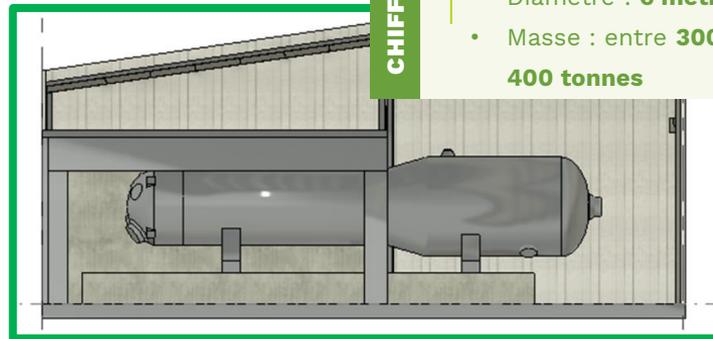
Autres composants métalliques

- Transport des composants métalliques jusqu'au Technocentre en caisses de 2, 4 ou 5 m³
- Les caisses sont elles-mêmes transportées en conteneur 20 pieds d'environ 33 m³

CHIFFRES CLÉS

Dimensions et masse d'un générateur de vapeur :

- Longueur : **20 mètres**
- Diamètre : **6 mètres**
- Masse : entre **300 et 400 tonnes**



Vue en coupe d'un bâtiment d'entreposage de générateur de vapeur avec un générateur entreposé sur des berceaux

CHIFFRES CLÉS

Capacité d'entreposage :

- 5** générateurs de vapeur
- 300** conteneurs pleins



Conteneur

> Le tri des composants métalliques (hors gros composants)

- A l'arrivée dans la zone de tri, le conteneur est déchargé
- Contrôle des caisses : mesure d'absence de contamination surfacique et mesure de l'activité radiologique
- Bascule sur tapis roulant et tri du contenu des caisses à l'aide de bras robotisés en vue de la fusion
- Décontamination mécanique si nécessaire

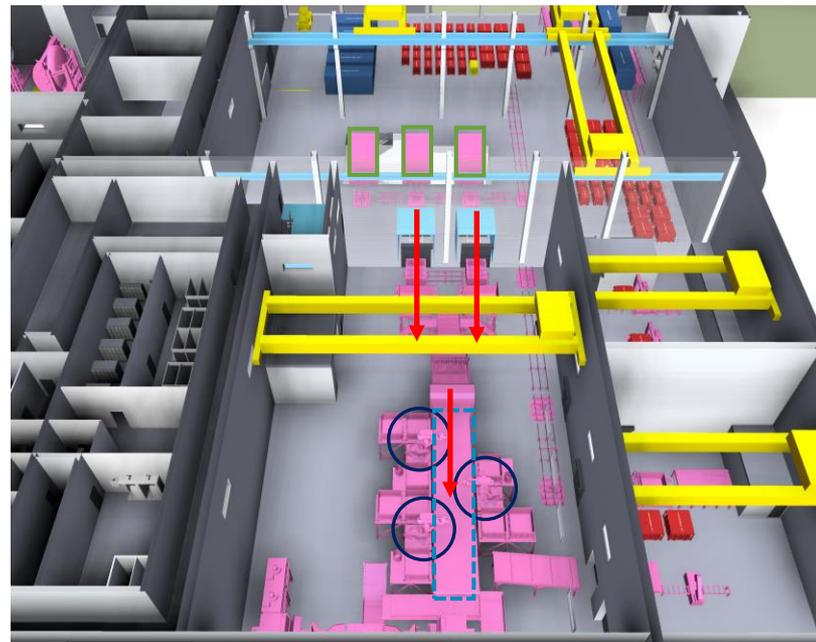
CHIFFRES CLÉS

Cadence de traitement :

100 tonnes par jour

Dimensions maximales des composants

- Longueur : inférieure ou égale à **1,5 mètres**
- Masse : inférieure ou égale à **500 kg**



Tri du contenu des caisses effectué par bras robotisés

- ↓ Flux des composants
- Bras robotisés
- Tapis roulant
- Contrôle des caisses

➤ La découpe des générateurs de vapeur

- Arrivée des générateurs de vapeur encore assemblés au Technocentre
- Découpe par moyen mécanique ou thermique
- Entre 120 et 160 morceaux de gabarit 1,5 x 1,5m (environ 2 tonnes) et 10 morceaux de gabarit 2,5 x 2,5m (environ 8 tonnes)

- Retrait des parties de faible et moyenne activité car non-valorisables

Exemple : extraction et découpe des tubes

- Décontamination mécanique de certaines parties

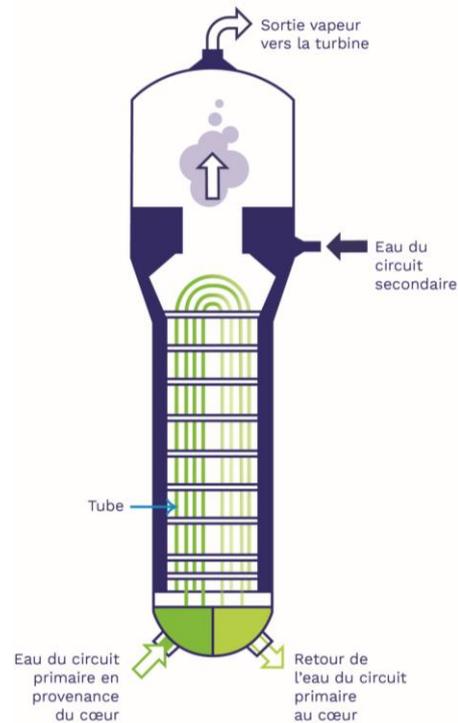
Exemple : usinage de la boîte à eau

- Conditionnement et envoi dans les centres de stockage de l'Andra des parties non-valorisables



Décontamination chimique éventuelle du faisceau tubulaire à des fins de radioprotection des opérateurs intervenant à proximité lors des opérations de découpe.

C'est le nombre de générateurs de vapeur issus des centrales EDF envisagés d'être traités



> La constitution des paniers

- A l'issue des opérations de préparation à la fusion, les composants métalliques préalablement triés et les parties valorisables des gros composants découpées sont déposés dans des paniers
- Le contenu des paniers est déversé dans le four
- Le chargement du contenu des paniers est réalisé en positionnant les pièces légères en premier, puis les pièces plus lourdes et de nouveau des pièces plus légères



Panier

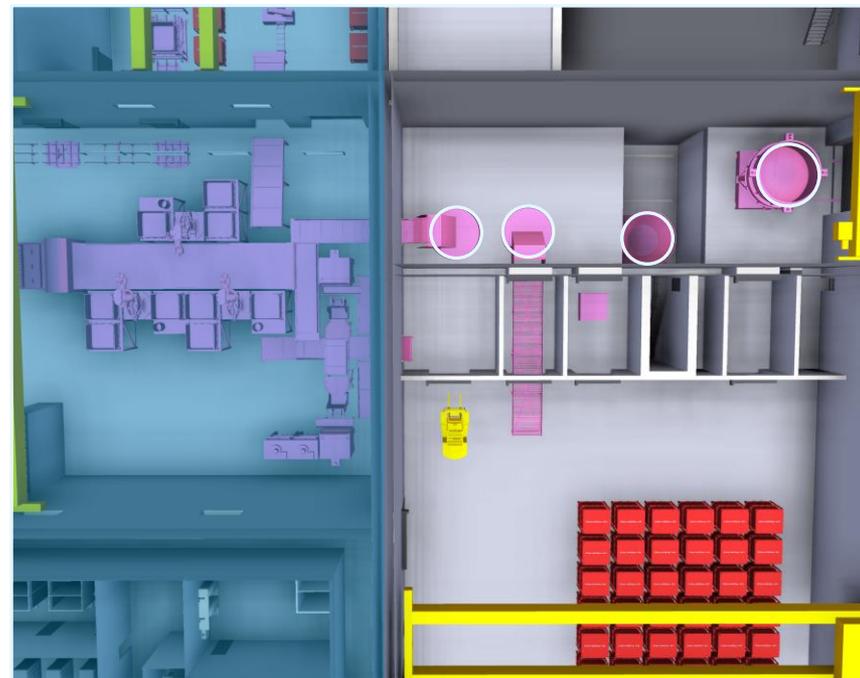
CHIFFRES CLÉS

Dimension d'un panier

- Diamètre : **3 mètres**
- Hauteur : **5 mètres**

Tonnage par coulée

25 tonnes environ

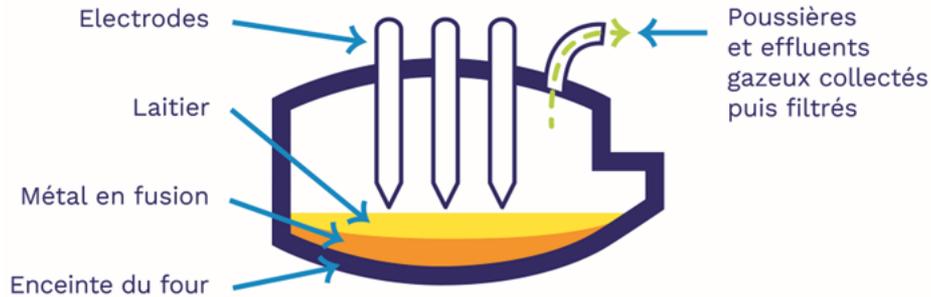


Constitution des paniers

 Zone de chargement des paniers

 Stock tampon

> Le procédé de fusion



- Introduction des métaux valorisables dans le **four à arc électrique**
- Métaux chauffés au-delà de leur température de fusion, à **1650 °C**



PRINCIPES DE LA FUSION DÉCONTAMINANTE

- **Séparer les éventuelles impuretés** résiduelles contenues dans les éléments métalliques introduits dans le four
- Obtenir un **métal aux propriétés homogènes**

Note : le procédé de fusion sera à nouveau abordé et détaillé dans la seconde partie de la réunion

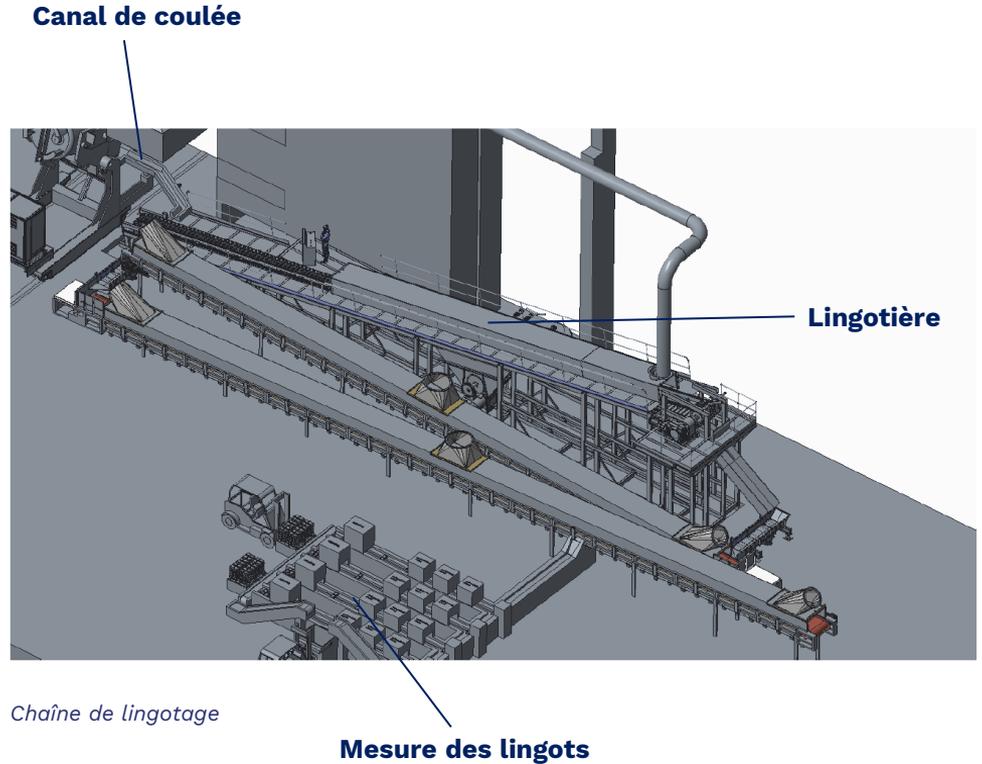
> Le lingotage

- Métal coulé dans une lingotière pour la fabrication **des lingots**
- **Refroidissement** des lingots
- **Mesure de contrôle de la radioactivité** des lingots

CHIFFRE CLÉ

20 kg

C'est environ le poids des lingots qu'il est envisagé de produire



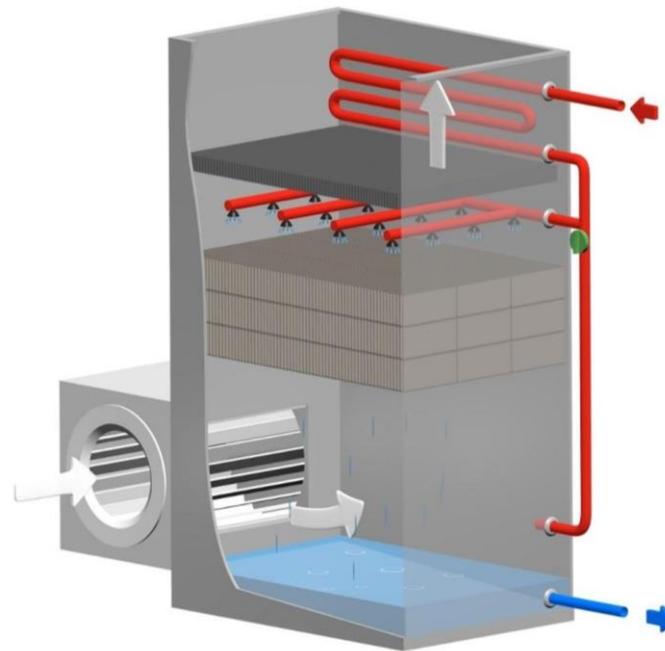
> Le rôle de l'eau dans les procédés

- Production d'eau déminéralisée pour les différents procédés (refroidissement four, chauffage bâtiment...)
- Utilisation d'aéroréfrigérants hybrides pour le refroidissement de l'eau
- Récupération de la chaleur issue des procédés pour la production d'eau chaude destinée au chauffage des bâtiments

CHIFFRES CLÉS

Emprise au sol des aéroréfrigérants

- Longueur : **8,7 mètres**
- Largeur : **8 mètres**
- Hauteur : **9 mètres**



Aéroréfrigérant hybride ouvert

> Le traitement des fumées

- **Chambre de post-combustion** : combustion à haute température permettant l'oxydation des éléments présents dans les gaz à la sortie du four
- **Tour d'extinction** :
 - Refroidissement rapide des gaz à 350°C (conduit refroidi à l'eau)
 - Elimination des particules en suspension dans les gaz
- **Filtre à manches et filtres Très Haute Efficacité (THE)** :
 - Adhésion des particules fines à la surface des filtres à manches
 - Passage des gaz à travers une étape de filtration très haute efficacité puis rejets en cheminée
- **Ventilateurs de tirage et rejet en cheminée** : ventilateurs à vitesse variable et registres motorisés afin de réguler les pertes de pression dans le circuit et les débits d'extraction des fumées



Conduit refroidi à l'eau

2

Le retour d'expérience à l'étranger



> Les pratiques de libération des matières radioactives en Europe

La valorisation des métaux TFA en Europe



ZOOM : LA VALORISATION DES MÉTAUX TFA EN ALLEMAGNE

- Libération de la majorité des métaux sans fusion selon un processus de contrôle réalisé directement sur le site où ils sont produits
- Libération des métaux dans certains cas par un processus de fusion
- Recours à la fusion de métaux radioactifs depuis les années 1990 dans l'usine Carla
- Fusion de 25 000 tonnes de métaux au cours des 20 premières années d'exploitation de cette usine

La libération peut être :

- **indirecte** ou **directe** selon que le matériau a subi ou non une opération préalable à sa libération
- **inconditionnelle** ou **conditionnelle** (par exemple en cas de restrictions d'usage)



Cyclife Sweden

Débat Public Technocentre

2024/11/19

Delphine Servot

Directrice Générale de Cyclife Sweden

CYCLIFE SWEDEN

QUELQUES CHIFFRES CLÉS

Cyclife Sweden AB a été créée en 2016 lors du rachat par EDF des usines de Studsvik,



Localisation

... est situé **100kms** au sud de Stockholm,



Vue du site

... et compte aujourd'hui plus de 190 salariés (100 en 2022).

Depuis sa mise en service en 1986, Cyclife Sweden a traité 50 000t de métaux avec un taux de recyclage moyen de 95%.

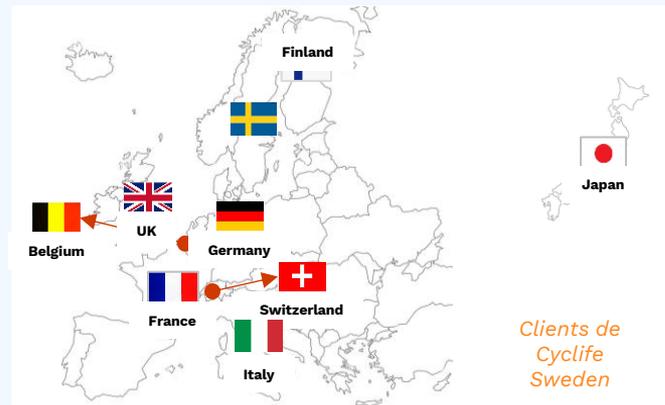


Fusion des métaux

Usine de traitement des métaux en service depuis 1986 permettant de recycler - avec ou sans fusion - des métaux ferreux.

License d'exploitation de 5 000t/an.

Opérant actuellement pour 14 pays Européens



Clients de Cyclife Sweden

PROCESSUS INDUSTRIEL DE FUSION DES MÉTAUX

PROCESS SIMPLIFIÉ POUR DES GROS COMPOSANTS
9 ÉTAPES CLÉS

① Site de production (Client de Cyclife Sweden)

⑨ Transport retour vers le site de production (client) ou vers le centre de stockage final des déchets induits (pays du client)
Vente et expédition des lingots vers les clients



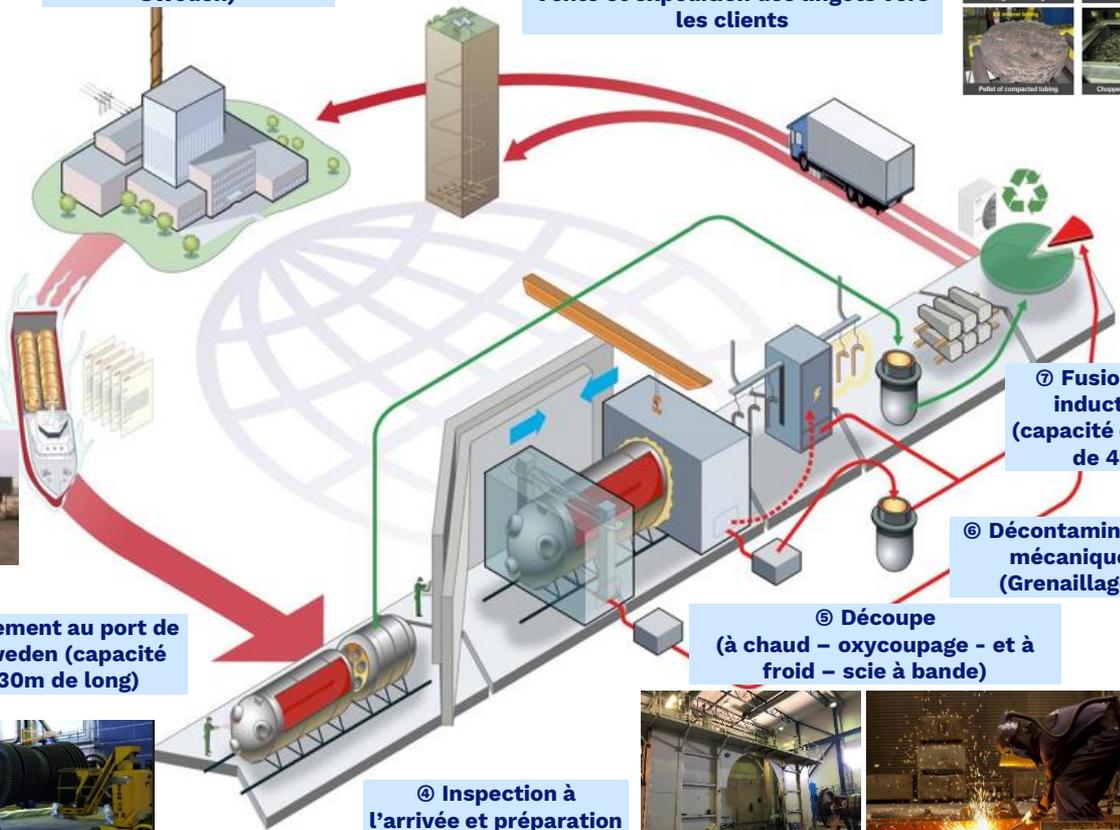
⑧ Caractérisation des déchets induits. Production, caractérisation puis processus de libération des lingots métalliques (650kg)



② Transport depuis le site de production des matériaux



③ Déchargement au port de Cyclife Sweden (capacité 400t – 30m de long)



⑦ Fusion par induction (capacité du four de 4t)



⑧ Décontamination mécanique (Grenailage)



⑤ Découpe (à chaud – oxycoupage - et à froid – scie à bande)

④ Inspection à l'arrivée et préparation au traitement



CONTRÔLES EN PLACE POUR GARANTIR LE RESPECT DES SEUILS DE LIBÉRATION

4 LIGNES DE CONTRÔLE



Le producteur des déchets (Client de Cyclife Sweden)

- réalise une caractérisation précise des déchets à envoyer (empreinte radiologique, contamination surfacique, débit de dose...).
- soumet les analyses aux équipes de Cyclife Sweden, qui évaluent spécifiquement l'acceptabilité dans l'unité de traitement par fusion.

1^{ère} ligne de contrôle

2^{ème} ligne de contrôle

Si acceptation accordée par les équipes dédiées de Cyclife Sweden



Cyclife Sweden (Exploitant de l'installation de traitement des métaux par fusion)

contrôle la conformité des lots à la réception sur son site (débit de dose, contamination surfacique, contrôles visuels...).

3^{ème} ligne de contrôle

LAITIERS / POUSSIÈRES / RESIDUS DE DECOUPE (par Cyclife Sweden)

- Optimisation du volume des déchets secondaires.
- Caractérisation fine réalisée directement au laboratoire de Cyclife Sweden avant renvoi des déchets induits.



Retournés au client producteur ou vers le centre de stockage final des déchets induits du pays du client



LINGOTS METALLIQUES (par Cyclife Sweden)

- Contrôles libérateurs des lingots sur échantillons représentatifs du bain de fusion après homogénéisation (critère d'activité spécifique par radionucléide) et en surface (critères de contamination surfacique).
- Processus régulièrement audité par les clients et par l'autorité de contrôle suédoise.

4^{ème} ligne de contrôle



EFFICACITE DU PROCESS UTILISE

EXEMPLES « BERKELEY BOILERS » ET « GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DE RINGHALS »

Pays concerné

UK (Centrale Nucléaire
de Berkeley)

Type de matériaux

15 boilers (échangeurs) soit **4 650 tonnes de matériel**
(310t par boiler / 600m3 par boiler). 21,3m en longueur
et 5 m de large.



RESULTATS ATTEINTS

- 296 tonnes d'acier recyclées par boiler (soit 96%)

**Pour la totalité des matériaux reçus, après
désassemblage et traitement, le taux de recyclage total
est de 96 %.**



Pays concerné

Sweden (Centrale
Nucléaire de Ringhals)

Type de matériaux

9 Générateurs de Vapeur soit **2 700 tonnes de matériel**
(300t par composant).



RESULTATS ATTEINTS

- Désassemblage, découpage, compactage, et colisage du faisceau tubulaire contenant 98% de la radioactivité
- Facteurs de décontamination supérieur à 90% pour le reste des composants (ensemble du processus – grenailage et fusion).

**Pour la totalité des matériaux reçus, après
désassemblage et traitement, le taux de recyclage total
supérieur à 70 %.**

EFFICACITE DU PROCESS UTILISE

EXEMPLE DÉTAILLÉ « CHAPELCROSS »

ETAPE 1 - TRANSPORT

Transport par mer et route



Coudes



Conduits



ETAPE 2 – TRAITEMENT SUR LE SITE DE CYCLIFE SWEDEN

Découpe



Grenailage



Coulée des lingots après retrait du laitier et prise des échantillons



RESULTATS ATTEINTS

- Les armatures des conduits répondaient aux critères de libération sans aucun besoin de décontamination. **Après désassemblage et contrôles radiologiques, ces armatures ont été libérées directement sans fusion.**
- Pour les autres matériaux hors armatures des conduits, **127 coulées de fusion ont été effectuées.** 98,4 % des lingots produits répondaient aux critères de libération
- Facteurs de décontamination de 66% (ensemble du processus – grenailage et fusion)..
- **Pour la totalité des matériaux reçus, après désassemblage et traitement, le taux de recyclage total est par à 90 %.**



Pays concerné

UK (Centrale Nucléaire de Chapelcross)

Type de matériaux

Conduits de gaz supérieurs transférant les gaz chauds du noyau de graphite aux boilers
4 réacteurs avec 4 chaudières par réacteur soit **820 tonnes de matériel (TFA)**



3

Le procédé de fusion



> Le four de fusion et le four poche

- Les métaux contenus dans le panier sont déversés dans le **four de fusion**
- Les métaux sont chauffés au-delà de leur température de fusion, à **1650°C** dans le **four de fusion**
- Le métal liquide est transféré depuis le four de fusion vers le **four poche** pour y ajuster les caractéristiques métallurgiques
- Le contenu du four poche est versé dans la lingotière
- Le four de fusion et le four poche sont de technologie à **arc électrique**

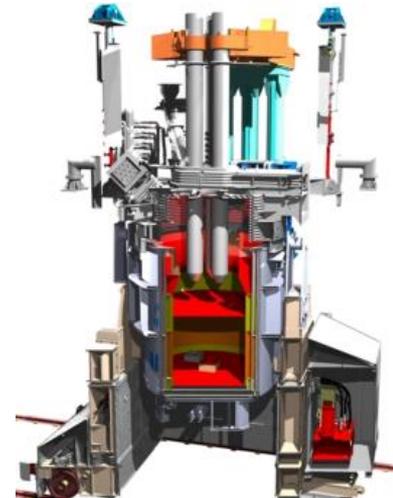
CHIFFRES CLÉS

Dimensions du four de fusion

- Hauteur : **6 mètres**
- Diamètre : **6 mètres**
- Tonnage : **25 tonnes**

Dimensions du four poche

- Hauteur : **3 mètres**
- Diamètre : **2,20 mètres**
- Tonnage : **25 tonnes**



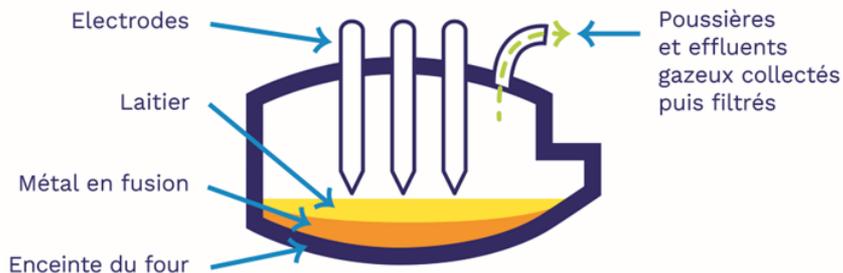
Vue en coupe du four poche

> Les principes physico-chimiques du procédé de fusion



INTERET DE LA FUSION

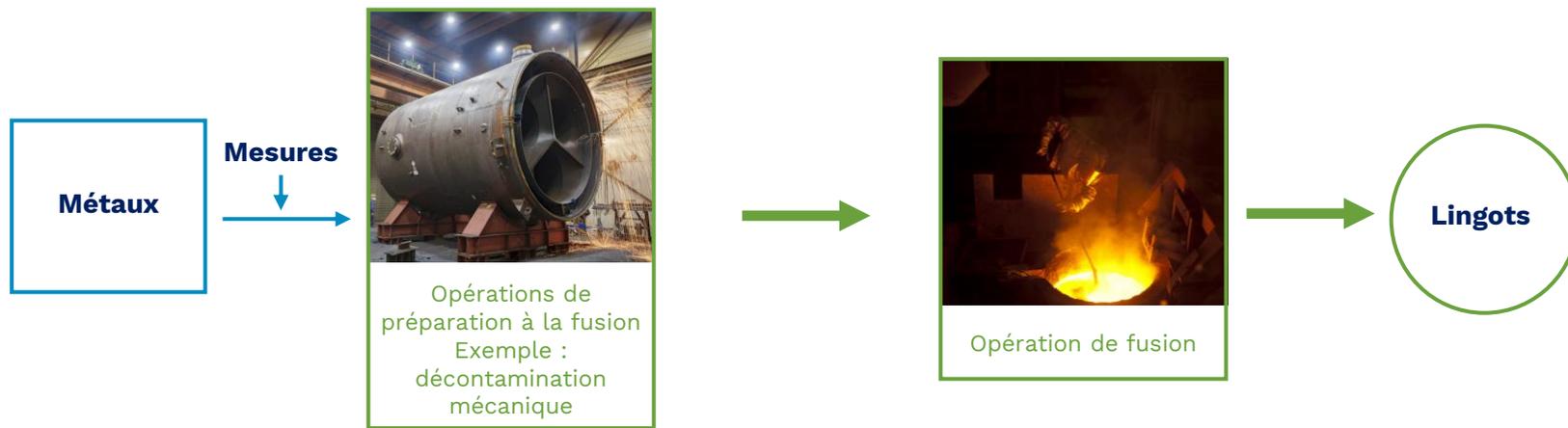
- **Séparer les éventuelles impuretés** contenues dans les éléments métalliques introduits dans le four **ainsi que certains éléments radioactifs** présents dans le métal avant fusion.



FUSION DES MÉTAUX EN CONDITIONS OXYDANTES

- Oxydation des composés provoquée par :
 - Oxygène de l'air
 - Oxygène injecté par le four de fusion
 - Oxydo-réduction avec les constituants du laitier
- Elimination des éléments oxydés stables du métal liquide par transfert vers le laitier
- Vaporisation des éléments dont la température d'ébullition est inférieure à la température du four
- Les autres éléments restent dans la phase métallique

> Evolution des radioéléments au cours des procédés



> Evolution des radioéléments au cours des procédés

U

Pas de décontamination mécanique sur les métaux contenant de l'uranium

Niveau d'uranium en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four

Métaux

Mesures



Opérations de préparation à la fusion
Exemple :
décontamination mécanique

Mesures



Opération de fusion

Lingots

> Evolution des radioéléments au cours des procédés

U

Pas de décontamination mécanique sur les métaux contenant de l'uranium

Facteur de décontamination par fusion de 99% pour l'uranium

Niveau d'uranium en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four

Métaux

Mesures



Opérations de préparation à la fusion
Exemple :
décontamination mécanique

Mesures



Opération de fusion

Lingots

> Evolution des radioéléments au cours des procédés

U

Pas de décontamination mécanique sur les métaux contenant de l'uranium

Facteur de décontamination par fusion de 99% pour l'uranium

Niveau d'uranium en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four



Lingots

Mesures
↓
→
↑
Mesures

Mesures
↓
→
↑
Mesures

Niveau de cobalt 60 en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four

Décontamination mécanique différenciée selon les pièces.
Exemple :
décontamination par usinage de boîtes à eau de générateurs de vapeur

Co 60

> Evolution des radioéléments au cours des procédés

U

Pas de décontamination mécanique sur les métaux contenant de l'uranium

Facteur de décontamination par fusion de 99% pour l'uranium

Niveau d'uranium en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four



Lingots

Mesures
↓
← Mesures
↑

Mesures
↓
→ Mesures
↑

Métaux

Niveau de cobalt 60 en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four

Facteur de décontamination par fusion de l'ordre de 10% pour le cobalt 60

Décontamination mécanique différenciée selon les pièces.
Exemple :
décontamination par usinage de boîtes à eau de générateurs de vapeur

Co 60

> Evolution des radioéléments au cours des procédés

U

Pas de décontamination mécanique sur les métaux contenant de l'uranium

Niveau d'uranium en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four

Facteur de décontamination par fusion de 99% pour l'uranium

Vérification du respect du code de la santé publique

Métaux

Mesures
↓
↑
Mesures



Opérations de préparation à la fusion
Exemple :
décontamination mécanique

Mesures
↓
→
↑
Mesures

Niveau de cobalt 60 en entrée de four suffisamment faible pour respecter le code de la santé publique en sortie de four



Opération de fusion

Mesures
↓
→
↑
Mesures

Lingots

Co 60

Décontamination mécanique différenciée selon les pièces.
Exemple :
décontamination par usinage de boîtes à eau de générateurs de vapeur

Facteur de décontamination par fusion de l'ordre de 10% pour le cobalt 60

+

Exposition liée à l'usage de ces lingots au moins **300 fois inférieure** à l'exposition moyenne liée à la **radioactivité naturelle en France.**

> Les principes physico-chimiques du procédé de fusion

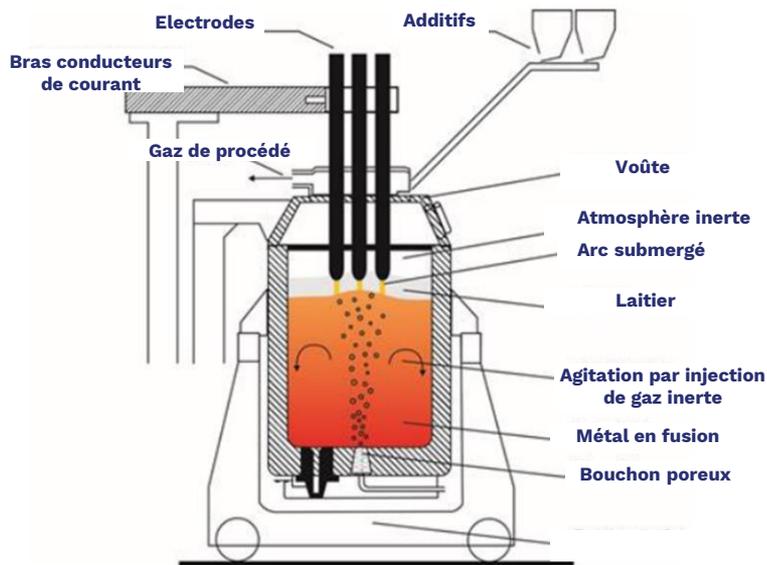


INTERET DE LA FUSION

- Obtenir un métal aux **propriétés homogènes**.

ÉTAPES DU PROCÉDÉ CONCOURANT A L'HOMOGENÉITÉ DES LINGOTS

- Forces électromagnétiques induites par les arcs électriques générant le mélange du métal fondu
- Ecoulement turbulent provoqué lors du transfert du métal liquide du four de fusion vers le four poche conduisant à un mélange important de métal en fusion
- Brassage du contenu du four poche par injection de gaz inerte permettant d'assurer l'homogénéité du métal en fusion avant coulée des lingots



Brassage dans le four poche

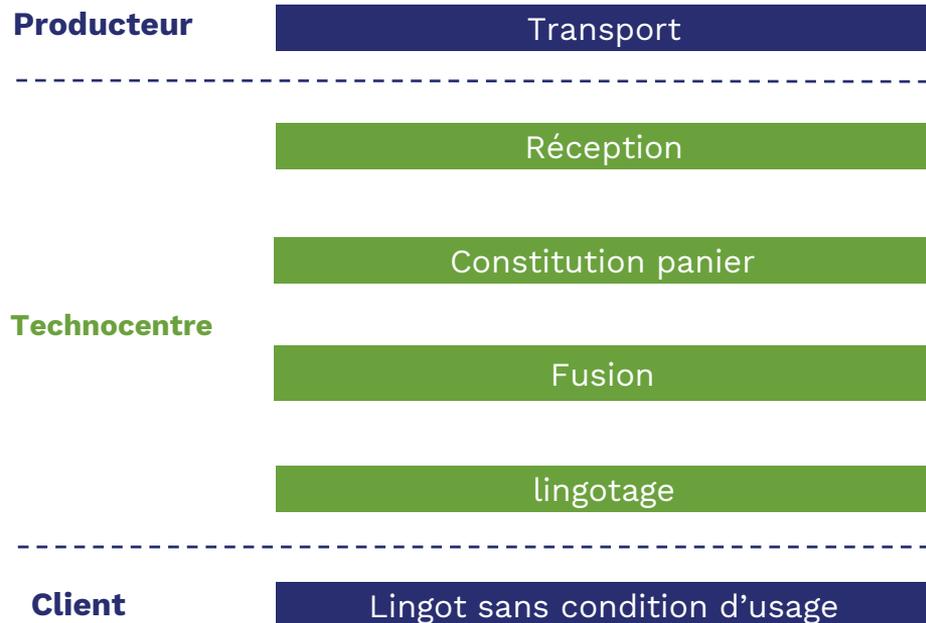
4

Les contrôles au long du processus industriel



> Les modalités de contrôle radiologique du Technocentre

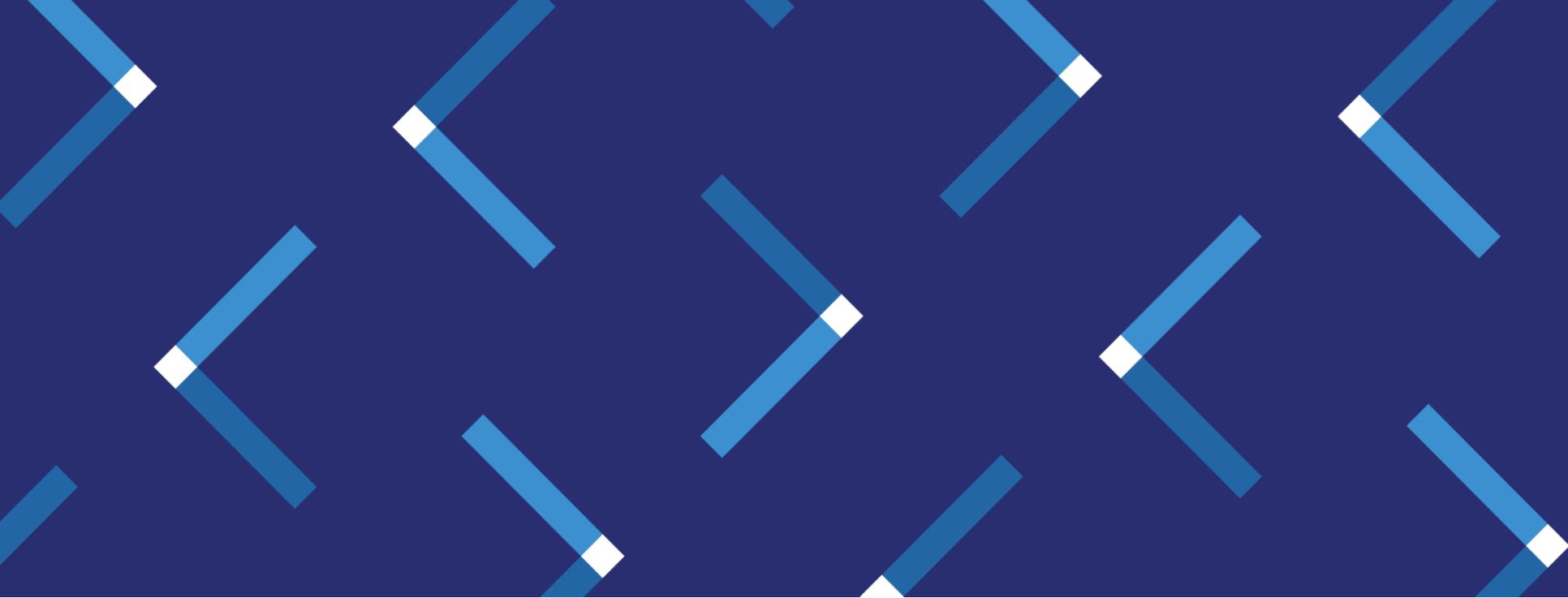
Des contrôles à chaque étape :



- Contrôle chez le producteur
- Transport
Règlementation Transport
- A l'entrée du Technocentre
(Installation Classée pour la Protection de l'Environnement)
Code de l'environnement
- En entrée du procédé de fusion
- Au cours du procédé de fusion
Code de la santé publique
- Lingot



Ces modalités garantissent le respect des exigences réglementaires et intègrent en complément tout au long du processus des contrôles d'exploitation et des contrôles qualité.



Merci