



Accompagner la filière auto dans la mise en œuvre de ses objectifs en matière d'économie circulaire

Rapport Final - Acier | Paris, le 12 juin 2025

STRAT ANTICIPATION | *Be One Step Ahead*

Nous avons synthétisé les messages clés provenant des études et de nos recherches

Résumé Exécutif (1/2)

TECHNOLOGIE

- ▶ **Deux filières principales** : L'acier peut être produit **par filière intégrée (hauts-fourneaux, HF)** ou **électrique (four à arc électrique, EAF)**, la filière EAF pouvant théoriquement atteindre 100% d'incorporation de ferrailles, là où les hauts fourneaux sont limités thermodynamiquement à 25% maximum.
- ▶ **Transition progressive vers les EAF** : Les grands acteurs en France comme ArcelorMittal planifient la conversion de leurs capacités HF vers des EAF, sur des sites comme Dunkerque ou Fos-sur-Mer, pour décarboner leur production et pouvoir incorporer davantage de ferrailles.
- ▶ **Flexibilité des EAF** : La filière EAF permet l'incorporation de ferrailles plus variées, incluant des ferrailles à taux élevé de résiduels, augmentant ainsi la quantité totale de matière recyclée intégrable dans les procédés
- ▶ **EAF & aciers automobiles** : La filière EAF ne produit pas à l'heure actuelle des aciers de qualité automobile en France, mais pourrait y parvenir avec des ferrailles bien triées. 2 sites y parviennent en Europe à l'heure actuelle.

CHIFFRES-CLÉS FRANCE

- ▶ **Usage effectif de la collecte en France** : 54 % de la ferraille collectée en France n'est pas réincorporée en France, notamment car elle est exportée vers des pays à bas coût, qui sont capables de la (re)trier de manière rentable
- ▶ **Production & incorporation de MPR par filière** : En 2022, la filière intégrée (HF) a produit 6,3 Mt d'acier, avec environ 15% de ferrailles incorporées; la filière électrique (EAF) a produit 3,7 Mt d'acier, avec environ 95% de MPR; la filière fonderie a produit 0,9 Mt d'acier en 2019, avec environ 100% de MPR.
- ▶ **Capacité de recyclage & collecte en France** : En France, 9 % de la ferraille collectée ne pourrait pas être recyclée par manque de capacité, même avec une utilisation maximale des capacités installées et des taux d'incorporation de ferraille atteignant leur limite technique (25% en filière intégrée)
- ▶ **Typologie de déchets**: Les déchets post-consommation représentaient 82% de la collecte apparente en France en 2019.

CHIFFRES-CLÉS UNION EUROPEENNE

- ▶ **Répartition EAF et HF des capacités totales** : En 2022, la capacité de production d'acier installée dans l'UE était de 115 Mt/an pour les hauts-fourneaux (56% du total) et de 90 Mt pour les EAF (44% du total)
- ▶ **Dominances technologiques chez certains pays majeurs** : La production de l'Italie et de l'Espagne est à plus de 60% réalisée par des EAF, alors que ce sont les hauts-fourneaux qui représentent plus de 60% de la production en Allemagne et en France
- ▶ **Pays excédentaires en capacité de recyclage** : L'Italie et l'Espagne sont des pays largement excédentaires en capacité théorique de recyclage, grâce à la dominance des EAF dans leurs capacités de production, ce qui en fait des destinations majeures pour les flux de déchets intra-européens

Nous avons synthétisé les messages clés provenant des études et de nos recherches

Résumé Exécutif (2/2)

FLUX COMMERCIAUX

- **Destinations majeures des exports français** : Hors UE, les ferrailles françaises sont principalement exportées vers la Turquie et l'Inde, directement ou indirectement via la Belgique et le Luxembourg. Ces destinations à bas coût ont plus de facilité à trier des ferrailles de mauvaise qualité et à les utiliser dans des EAF. A l'intérieur de l'UE, les pays de destinations finales sont principalement l'Espagne et l'Italie
- **Principales destinations des ferrailles européennes** : En Europe, les flux de ferraille sont principalement internes (à 57%), et dans une moindre mesure orientée vers la Turquie et l'Asie (38%)
- **Balance commerciale mondiale** : L'Union européenne et les États-Unis sont les principaux exportateurs de ferraille dans le monde, alors que la Turquie reste le plus gros importateur, notamment grâce à sa capacité à traiter de manière profitable des ferrailles de mauvaise qualité

BESOIN EN MPR DE L'AUTOMOBILE ET DES AUTRES SECTEURS

- **Secteurs consommateurs d'acier recyclé** : Le secteur du BTP utilise deux tiers de l'acier recyclé en France, tandis que le secteur des transports (incluant l'automobile) consomme très majoritairement de l'acier primaire
- **Incorporation de matière recyclée dans l'automobile** : En 2022, l'automobile ne représentait que 4% de la consommation française de MPR, alors qu'elle représentait 22% du total de la ferraille générée tous secteurs confondus
- **Prévisions pour le gisement VHU** : Environ 59 % du gisement VHU en France est valorisé par la filière agréée, avec 28,3 % captés par la filière illégale, et 12,7% d'exports de VO ou de carcasses
- **Aciers plats et capacités limitées de réincorporation** : Les aciers plats représentent environ 50% du poids d'un véhicule et ne sont presque produits qu'en hauts-fourneaux, donc la capacité d'incorporation de ferraille est limitée. Il est possible de les produire en EAF, mais seuls deux sites en Europe parviennent à le faire avec une qualité automobile

POLLUTION AU CUIVRE DE L'ACIER

- **Pollution de l'acier par le cuivre en tri post-broyage** : Le contenu moyen en cuivre dans un véhicule devrait être multiplié par 3 entre un VHU qui entre actuellement en centre et un véhicule qui sortira d'usine en 2035, notamment avec l'électrification. Or, le cuivre est un polluant métallurgique de l'acier, qui empêche toute possibilité de réutiliser la ferraille pour des applications automobiles s'il est encore très présent à l'issue du tri post-broyage
- **Solutions à y apporter** : Plusieurs solutions sont envisageables pour traiter cette problématique et sont parfois complémentaires: substituer certains câblages au cuivre par de l'aluminium, notamment pour la haute tension, réaliser un retrait plus systématique des faisceaux électriques en centre VHU ou encore investir dans des équipements de tri post-broyage avancé qui seraient capables de limiter la pollution au cuivre de l'acier. Pour inciter les acteurs à les mettre en place, la création d'un standard d'E40+ qui serait davantage rémunérateur est une piste à creuser

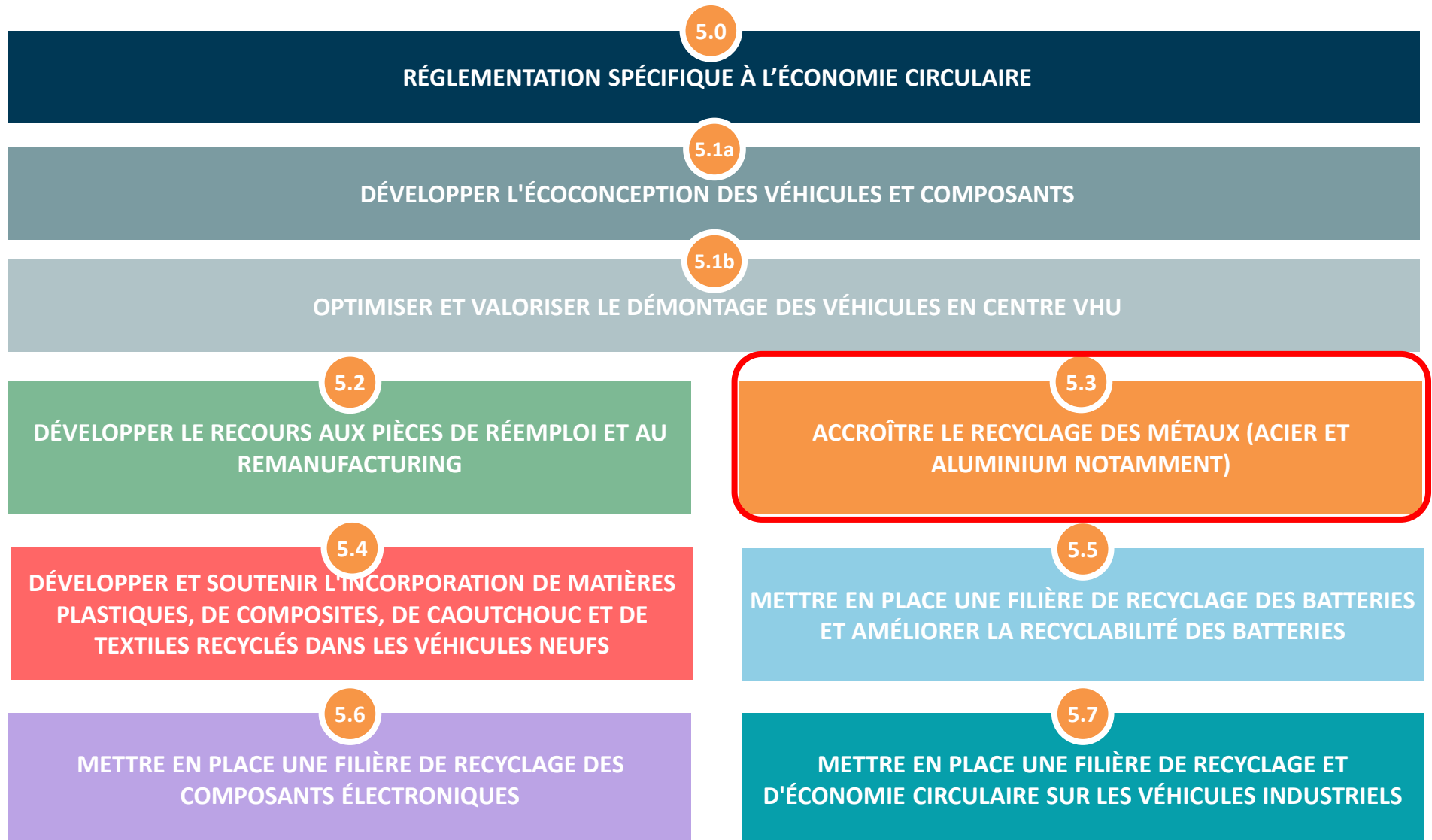
AGENDA

▶ INTRODUCTION

- ▶ ÉTAT DES LIEUX
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Dans le CSFA 2024-2027, la filière automobile a défini 7 chantiers pour développer l'économie circulaire en France, nous en avons ajouté 2 : régulation & démontage

Chantiers – Description



L'étude a fait l'état des lieux avec les acteurs & les flux, détaillé les feuilles de route, définit les conditions de succès de la mise en œuvre & proposé des actions concrètes

Objectifs



PFA | FILIÈRE
AUTOMOBILE
& MOBILITÉS

**FEUILLES DE ROUTE
DÉTAILLÉES &
VALIDÉES**

**PLAN D'ACTIONS
CONCRETS**

**GOUVERNANCE &
PILOTAGE DE LA
MISE EN ŒUVRE**

**RECOMMANDATION
AUX POUVOIRS
PUBLICS**

Le projet Économie Circulaire a été mené en plusieurs étapes : les feuilles de route par chantier viennent d'être faites. Il reste à mettre en œuvre les plans d'actions...

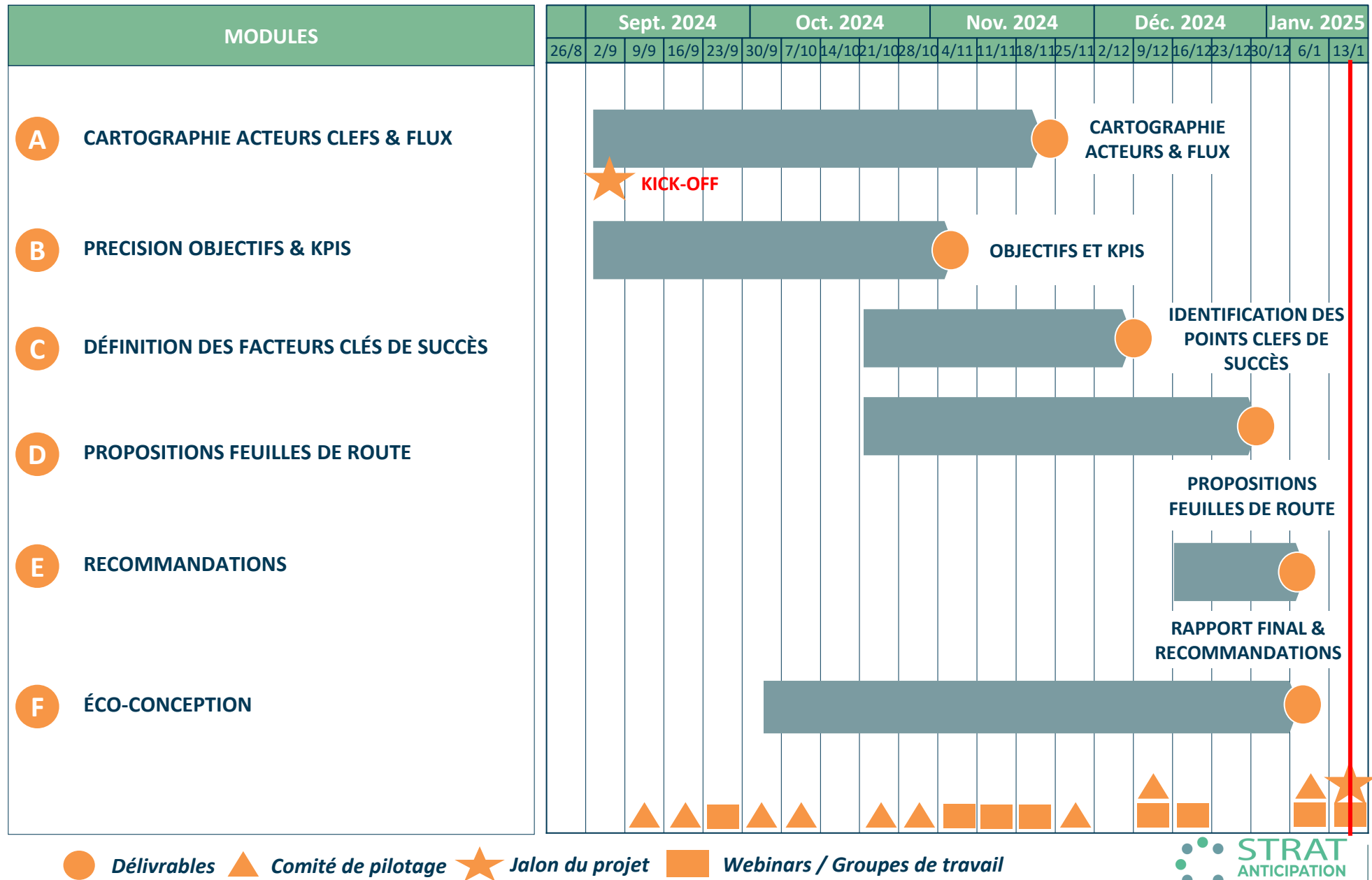
Projet Économie Circulaire – Description Méthodologie

ETAPES



Un calendrier de 4 mois avec des comités de pilotage toutes les 2 semaines et des webinars et des Groupes de Travail au fur-et-à-mesure de l'avancement du projet

Calendrier



Nous avons réalisé 110 entretiens et 5 restitutions intermédiaires sur différents chantiers depuis le début de l'étude

Point d'avancement - Entretiens & Webinars



Plus de 130 études de 100 sources distinctes ont été analysées dans le cadre des neuf chantiers du projet

Récapitulatif – Études analysées

- ▶ **137 études analysées issues de 100 sources variées** : cabinets de conseil, travaux académiques, rapports ministériels, UE, etc.

▶ 5.1b - DÉMONTAGE

- **1 étude principale** : ADEME (2022-2023)
- **9 autres études** : ADEME, WDA, Groupe Surplus Recyclage, IDDRI, FEDEREC, INDRA, Derichebourg, Galloo

▶ 5.3 - RECYCLAGE DE L'ALUMINIUM

- **3 études principales** : ADEME & Deloitte (2023), ADEME (2023), Ducker (2022)
- **8 autres études** : XERFI (2023), BRGM (2016), Mine urbaine (2022), CNI (2020), XERFI (2024), European Aluminium (2024), IRT M2P (2021), Alumobility (2024)

▶ 5.3 - RECYCLAGE DE L'ACIER

- **2 études principales** : ADEME & Deloitte (2023), ADEME (2024)
- **8 autres études** : XERFI (2023), BRGM (2016), CNI (2020), Mine urbaine (2022), IFRI (2023), (2019), Sénat (2019), CELSA (2014), IDDRI (2024)

▶ 5.4 - RECYCLAGE DES PLASTIQUES

- **6 études principales** : SystemIQ, 2 de Plastic Europe, 2 de JRC, ADEME (2022)

▶ 5.4 - RECYCLAGE DU CAOUTCHOUC

- **3 études principales** : ADEME, Elanova Lab, SNCP-LRCCP
- **3 autres études** : Michelin et Bridgestone, ICTP-CSIC (ES), Université de Mons

▶ 5.5 - RECYCLAGE DES BATTERIES

- **2 études principales** : SystemIQ, AVERE, Commission européenne

▶ 5.6 - COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

- **3 études principales** : EPoSS (2023), Christian Thomas (2020), Fondation Carmignac (2024)
- **4 autres études** : FIEEC, EECONE, ADEME, New Horizon College of Engineering

▶ 5.7 - VÉHICULES INDUSTRIELS

- **3 études principales** : CIDER (2017), ADEME, INDRA et Renault Trucks (2021), ACEA (2020)

Nous avons échangé avec 160 personnes environ, conduit 5 webinars et animé 7 Groupes de Travail

Point d'avancement - Entretiens et webinars

► 111 entretiens réalisés avec 158 personnes sur les différents chantiers

► 5 WEBINARS RÉALISÉS :

- Webinar - Recyclage des métaux - 05/11
- Webinar - Recyclage des plastiques et des composites - 13/11
- Webinar - Recyclage des batteries - 19/11
- Webinar - Recyclage du caoutchouc - 11/12
- Webinar - Recyclage des composants électroniques - 18/12

► 7 GROUPES DE TRAVAIL RÉALISÉS :

- Groupe de travail Composants électroniques - 03/12
- Groupe de travail Plastiques - 13/12
- Groupe de travail Transport et stockage des batteries - 17/12
- Groupe de travail Démontage - 18/12
- Groupe de travail Recyclage des batteries - 19/12
- Groupe de travail Acier - 20/12
- Groupe de travail Aluminium - 09/01

Nous avons travaillé avec l'ensemble des parties prenantes sur la chaîne de valeur de l'économie circulaire : près de 100 organisations au total...

Organisations ayant participé au projet : interviews, groupes de travail, autres contributions

ENTREPRISES PRIVÉES



INSTITUTIONS PUBLIQUES



ASSOCIATIONS PROFESSIONNELLES



Pour chacun des chantiers, une feuille de route a été définie pour chaque sujet priorisé

Introduction et méthodologie des feuilles de route

5.X

STRUCTURE DE LA FEUILLE DE ROUTE POUR CHAQUE CHANTIER :

Acteurs présents et invités au premier groupe de travail

1

Présentation des sujets priorisés à la suite du premier groupe de travail

2

Pour chacun des sujets priorisés, présentation d'une feuille de route pour de potentielles nouvelles réunions du groupe de travail. La feuille de route contient :

- **Objectif du groupe de travail**
- **Résultats attendus**
- **KPIs**
- **Facteurs clés de succès**
- **Prochaines étapes**
- **Propositions de recommandations aux pouvoirs publics**

3

NOUS PROPOSONS À LA FIN DES FEUILLES DE ROUTE UNE PRÉSELECTION DE SUJETS À PRIORISER EN 2025 POUR LA PFA

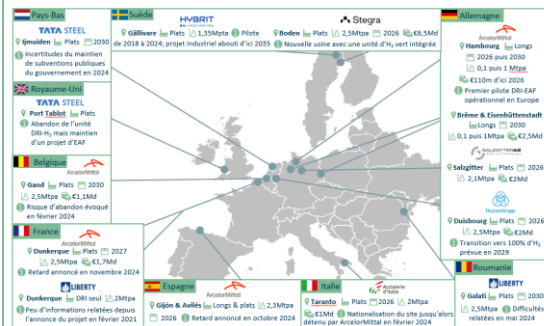
Le projet a délivré un certain nombre de livrables qui seront partagés par la PFA avec tous les participants

Livrables du projet

1

ÉTAT DES LIEUX : CARTOGRAPHIE DES ACTEURS, FLUX & DES TECHNOLOGIES, IDENTIFICATION DES POINTS CLEFS DE SUCCÈS

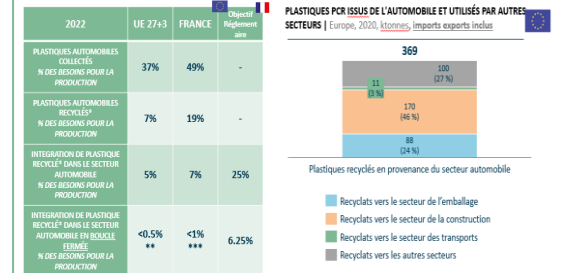
ACTEURS ET TECHNOLOGIES



2

SYNTHÈSE PAR CHANTIER

SYNTHÈSES



3

PROPOSITION DE FEUILLES DE ROUTE PAR CHANTIER

FEUILLE DE ROUTE



4

SYNTHÈSE GLOBALE DU PROJET

PRÉSENTATION FINALE



AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

▪ INTRODUCTION DE LA FILIÈRE

- CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE
- FLUX COMMERCIAUX
- UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE
- VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE

▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU

▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER

▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF

▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

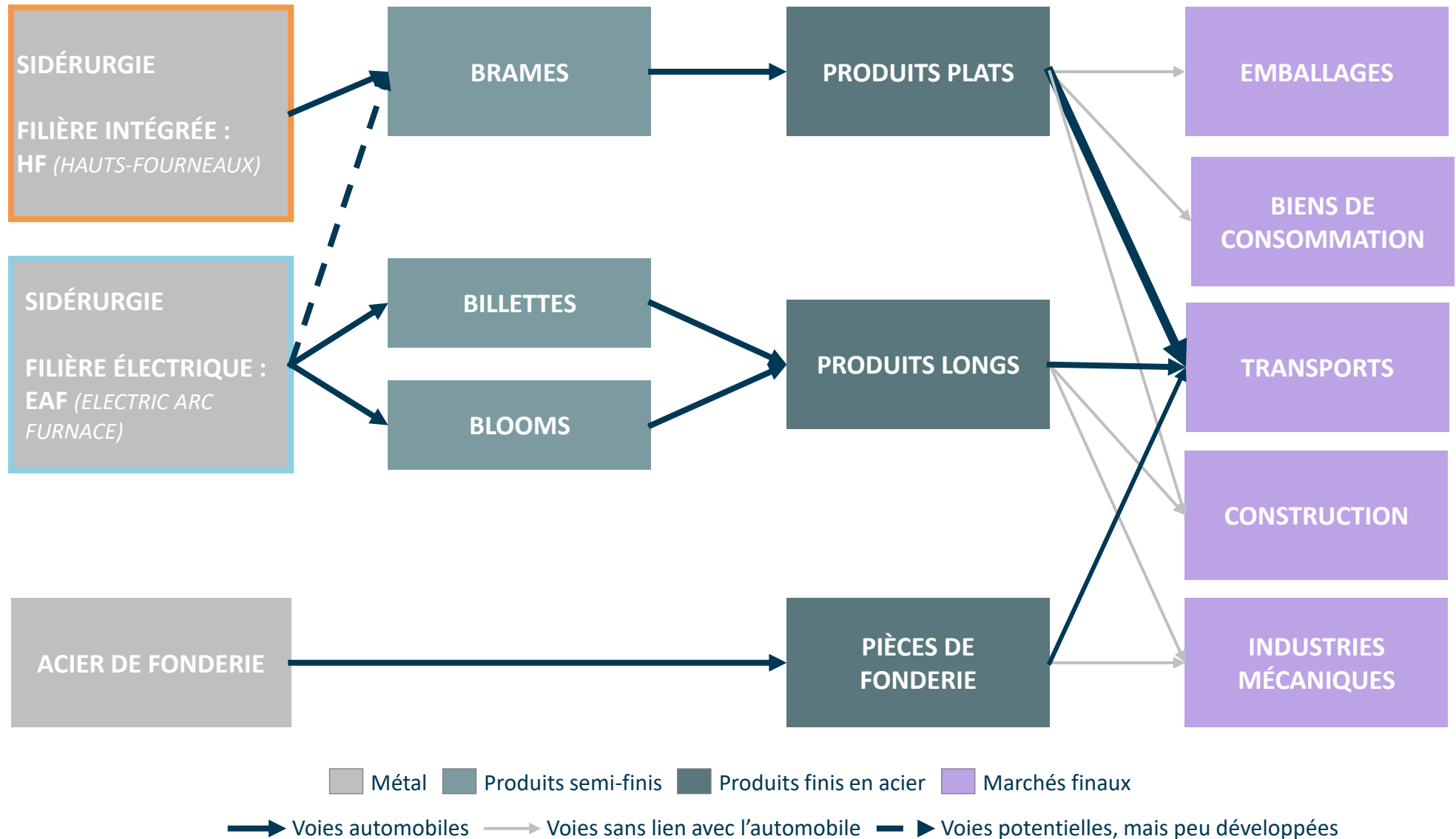
La ferraille d'acier peut être incorporée via la filière intégrée (HF) ou électrique (EAF). La filière intégrée est plus limitée que l'électrique pour l'incorporation de MPR

Avantages & inconvénients de la filière intégrée et de la filière électrique

	FILIÈRE INTÉGRÉE	FILIÈRE ÉLECTRIQUE
INSTALLATION	Hauts-Fourneaux	Fours à arc électrique
PRODUITS FINIS EN ACIER	Produits plats (feuilles, plaques, feuillards, ...)	Produits longs (rails, poutrelles, ...)
COÛTS	Coût de production plus faible	Coût de production plus élevée, avec les prix de l'électricité très élevés en Europe
EMPREINTE CARBONE	Empreinte carbone élevée (1,8 tCO ₂ / t en scope 1+2)	Empreinte carbone faible (450 kg CO ₂ /t en scope 1+2)
TAUX D'INCORPORATION MAXIMAL DE FERRAILLES	▶ Actuellement entre 10 et 15% ▶ Seuil théorique thermodynamique à 25%	▶ Actuellement à 90% ▶ Seuil théorique à 100%
SECTEURS DESTINATAIRES	Automobile, Emballage, Construction	Automobile, Aéronautique, Nucléaire, Construction, Industrie mécanique, etc.
CONTRAINTES TECHNIQUES	Plus faible teneur en cuivre tolérée (cela reste dépendant des applications)	Tendanciellement, la ferraille avec une teneur en cuivre élevée est davantage tolérée, mais cela dépendant des spécifications des applications finales

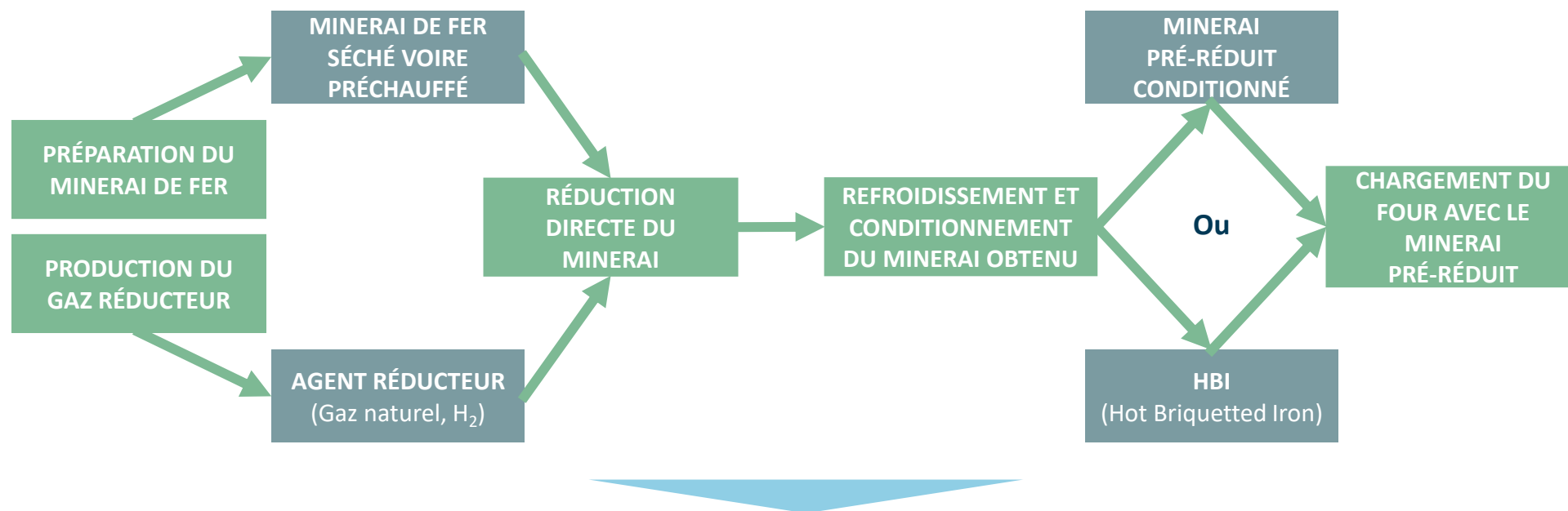
Les produits plats sont les plus utilisés dans l'automobile, et sont quasi-exclusivement produits en filière intégrée, mais parfois aussi en EAF sur quelques sites en Europe

Schéma des procédés & produits de la filière acier



Les unités de DRI permettent d'obtenir un minerai faible en impuretés, qui peut répondre à des exigences élevées, tout en étant chargé avec de la ferraille dans le four

Fonctionnement et intérêts des unités de DRI

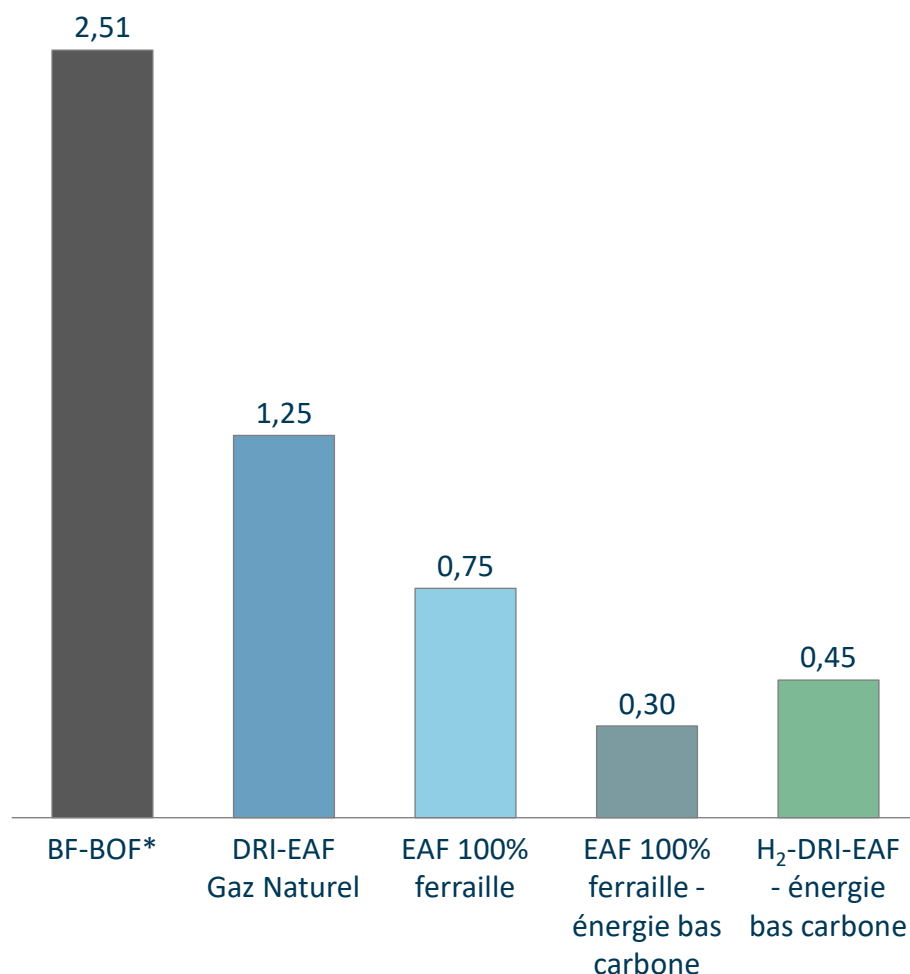


- ▶ L'usage de minerai de fer pré-réduit présente plusieurs avantages majeurs :
 - **Réduction des impuretés et meilleure qualité d'acier** : Contrairement à la ferraille, le minerai de fer pré-réduit contient peu de contaminants (Cu, Zn, Sn), permettant de produire un acier plus pur, idéal pour des applications exigeantes
 - **Indépendance vis-à-vis des fluctuations du marché de la ferraille** : Le minerai de fer pré-réduit offre une alternative stable à la ferraille, dont l'approvisionnement est incertain et les prix volatils, réduisant ainsi les risques économiques
 - **Optimisation de la consommation d'énergie** : L'utilisation de minerai de fer pré-réduit chaud (HDRI) dans un EAF diminue la consommation électrique en réduisant l'énergie nécessaire à la fusion du métal
 - **Réduction des émissions de CO₂ et sidérurgie verte** : Lorsqu'il est produit avec de l'hydrogène vert, le minerai de fer pré-réduit permet une production d'acier à très faible empreinte carbone, favorisant la décarbonation de l'industrie sidérurgique
 - **Meilleure maîtrise des procédés métallurgiques** : Le minerai de fer pré-réduit permet un meilleur contrôle de la composition chimique du bain d'acier, évitant les variations de qualité liées aux impuretés de la ferraille

L'utilisation de ferraille bas carbone dans un EAF est le modèle de production d'acier le moins émetteur de CO₂ en France, devant celui à base de DRI

Émissions de CO₂ dans la production d'acier en fonction de la filière et de la matière utilisée

ÉMISSIONS DE CO₂ PAR SOURCE DE PRODUCTION D'ACIER EN FRANCE | En tCO₂ / t acier, Scope 1 & 2, Bilan carbone ADEME



La basse intensité carbone du réseau électrique français permet **aux EAF de réduire très nettement leur empreinte comparée aux hauts fourneaux (BF-BOF)**

Les **unités de DRI** peuvent également apporter une **réduction sensible des émissions**, surtout si elles fonctionnent avec de l'hydrogène vert, **mais la meilleure option** au niveau des émissions reste celle d'un **EAF fonctionnant avec de l'énergie bas carbone et uniquement de la ferraille**

* BF-BOF : minerai de fer et charbon utilisés au sein d'un haut fourneau (« BF » pour « Blast Furnace ») et d'un convertisseur à oxygène (BOF pour « Basic Oxygen Furnace »)

Source : GravitHy – Les émissions de gaz à effet de serre du secteur sidérurgique et le bilan carbone de GravitHy

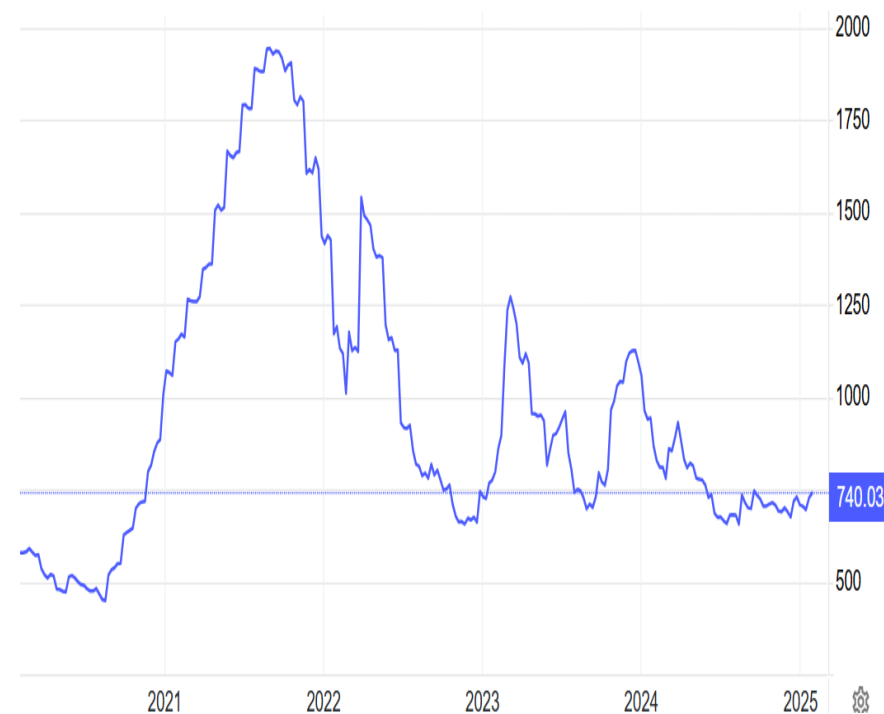
Le prix des bobines laminées à chaud, un produit fini, a nettement baissé ces dernières années, alors que c'est moins net pour la ferraille sur le référentiel turc

Variation des prix de la ferraille et des bobines d'acier

ÉVOLUTION DU PRIX DE LA FERRAILLE (CFR TURKEY PLATTS) AU LME | En USD/t, LME, du 31 janvier 2023 au 31 janvier 2025



ÉVOLUTION DU PRIX DES BOBINES LAMINÉES À CHAUD (HRC) AU LME | En USD/t, LME, 2020-2025



AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

▪ INTRODUCTION DE LA FILIÈRE

▪ CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION

- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE
- FLUX COMMERCIAUX
- UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE
- VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE

▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU

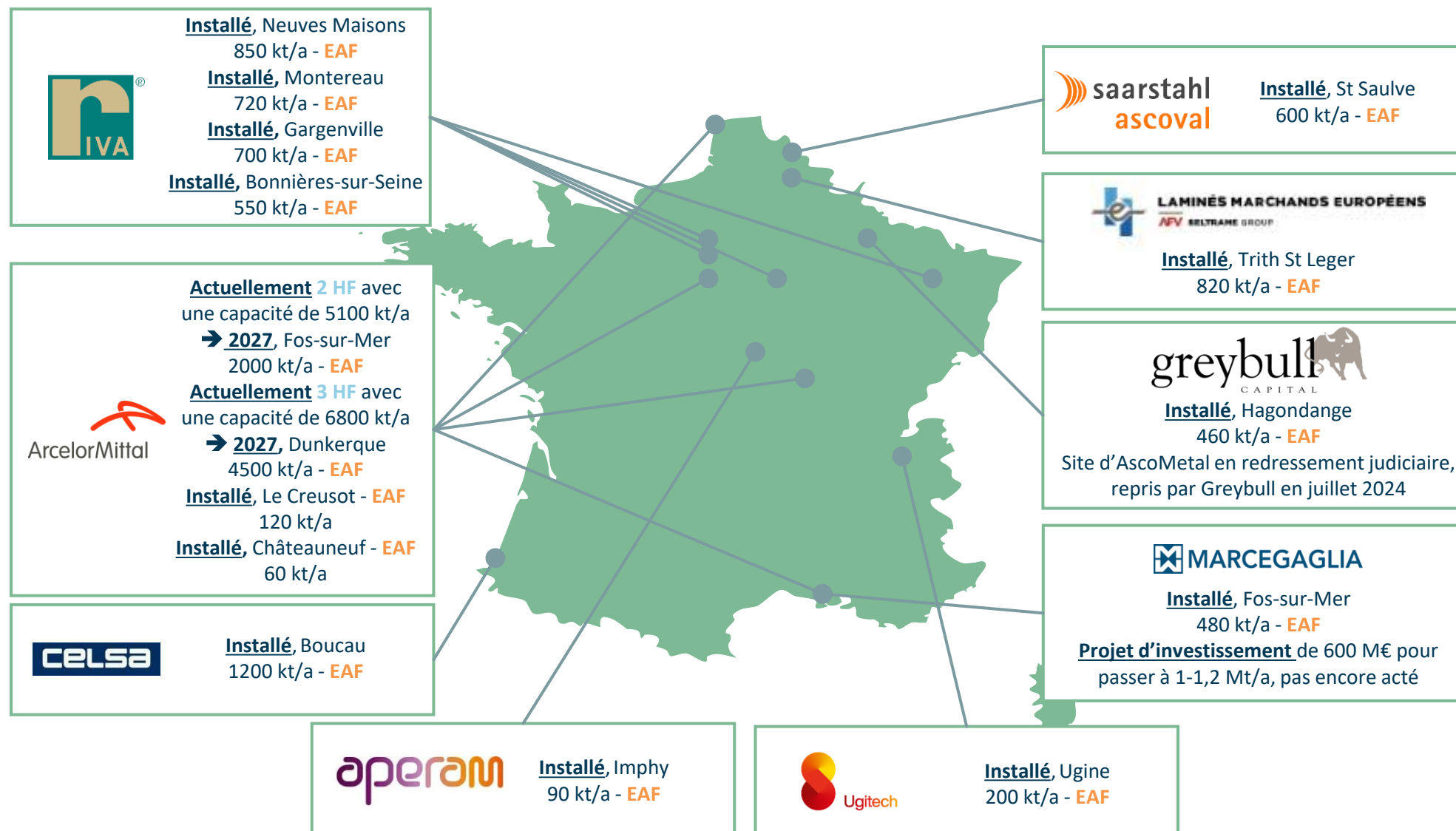
▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER

▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF

▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

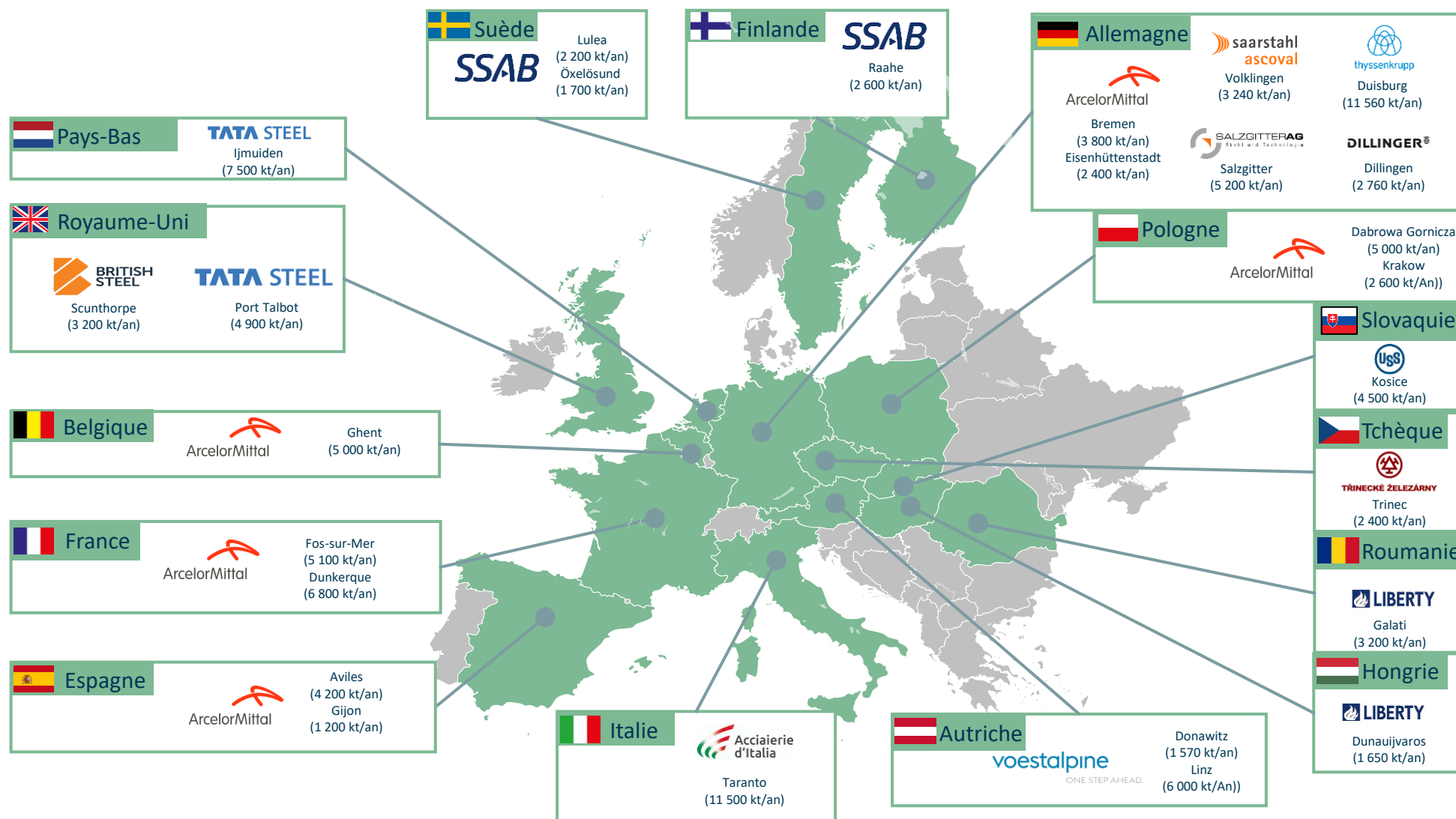
La France a plus de capacité en hauts-fourneaux, même si les EAF sont plus nombreux; ArcelorMittal prévoit de convertir 3 de ses 5 HF en EAF à horizon 2027

Cartographie des capacités de production d'acier en France (HF & EAF)



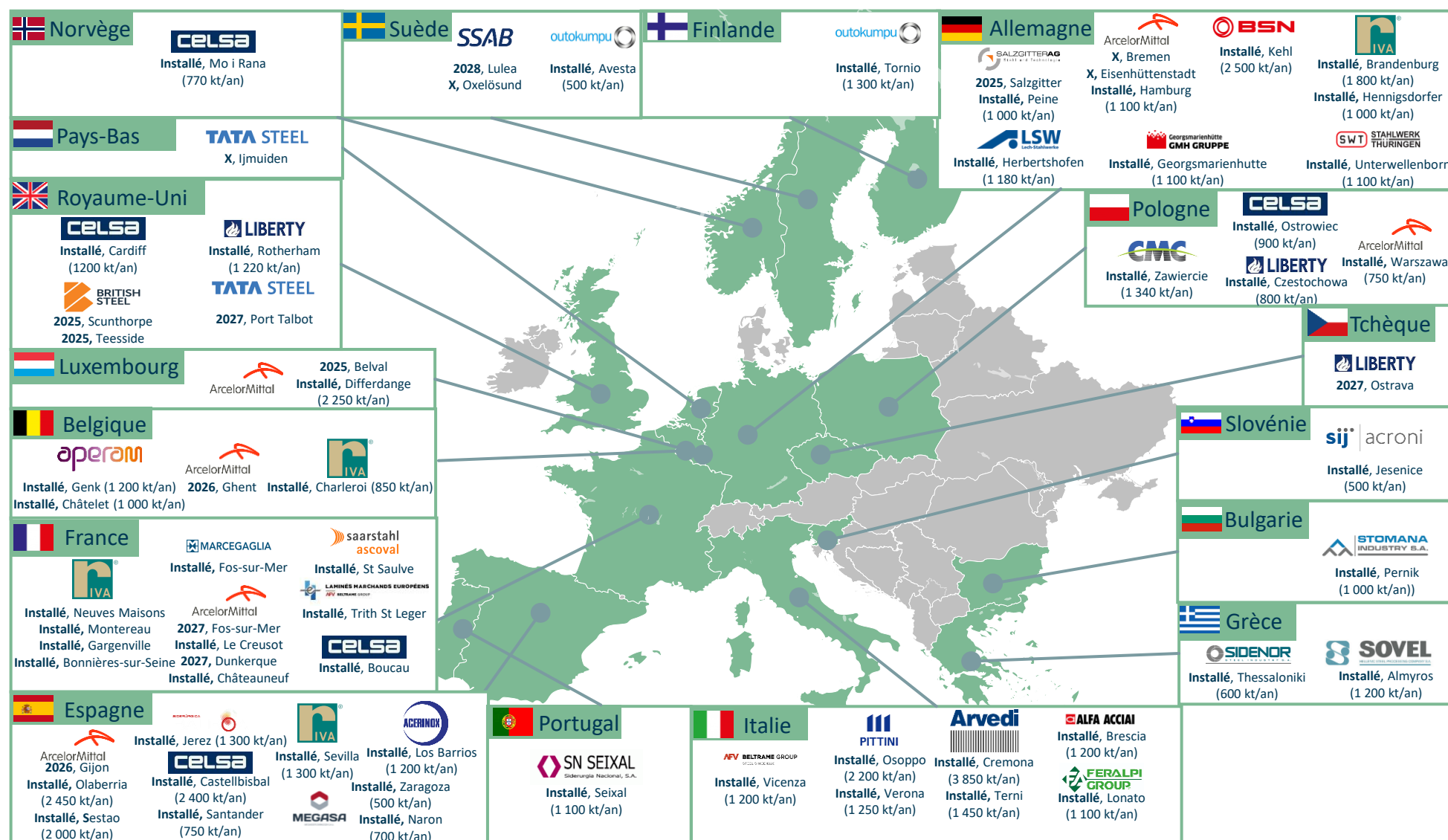
L'Allemagne, la France & l'Italie sont premiers en capacités de production en hauts-fourneaux, mais ArcelorMittal prévoit de passer ses sites progressivement en EAF

Cartographie des capacités de production d'acier en Europe - HF



La France, l'Italie, l'Allemagne & l'Espagne sont les pays avec le plus d'EAF installés, même si la production française dépend largement des hauts-fourneaux

Cartographie des capacités de production d'acier en Europe - EAF



Source: Eurofer, recherche et analyse Strat Anticipation

AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

- INTRODUCTION DE LA FILIÈRE
- CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION

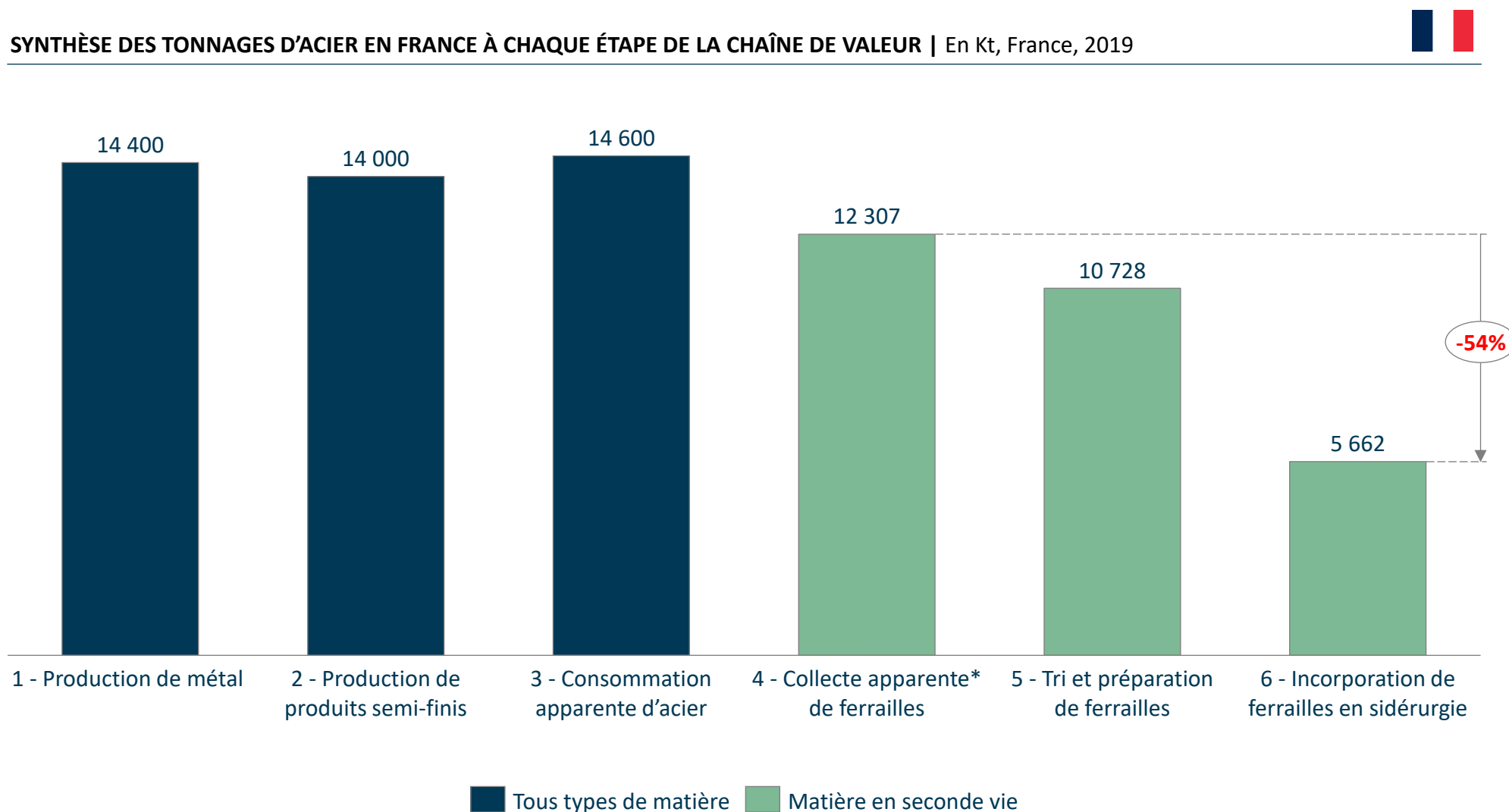
▪ CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE

- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE
- FLUX COMMERCIAUX
- UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE
- VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

En France, 54% de la collecte apparente* de ferrailles n'est finalement pas réincorporée, notamment à cause d'export vers des pays à bas coût

Tonnages d'acier en France par étape de la chaîne de valeur

SYNTHÈSE DES TONNAGES D'ACIER EN FRANCE À CHAQUE ÉTAPE DE LA CHAÎNE DE VALEUR | En Kt, France, 2019

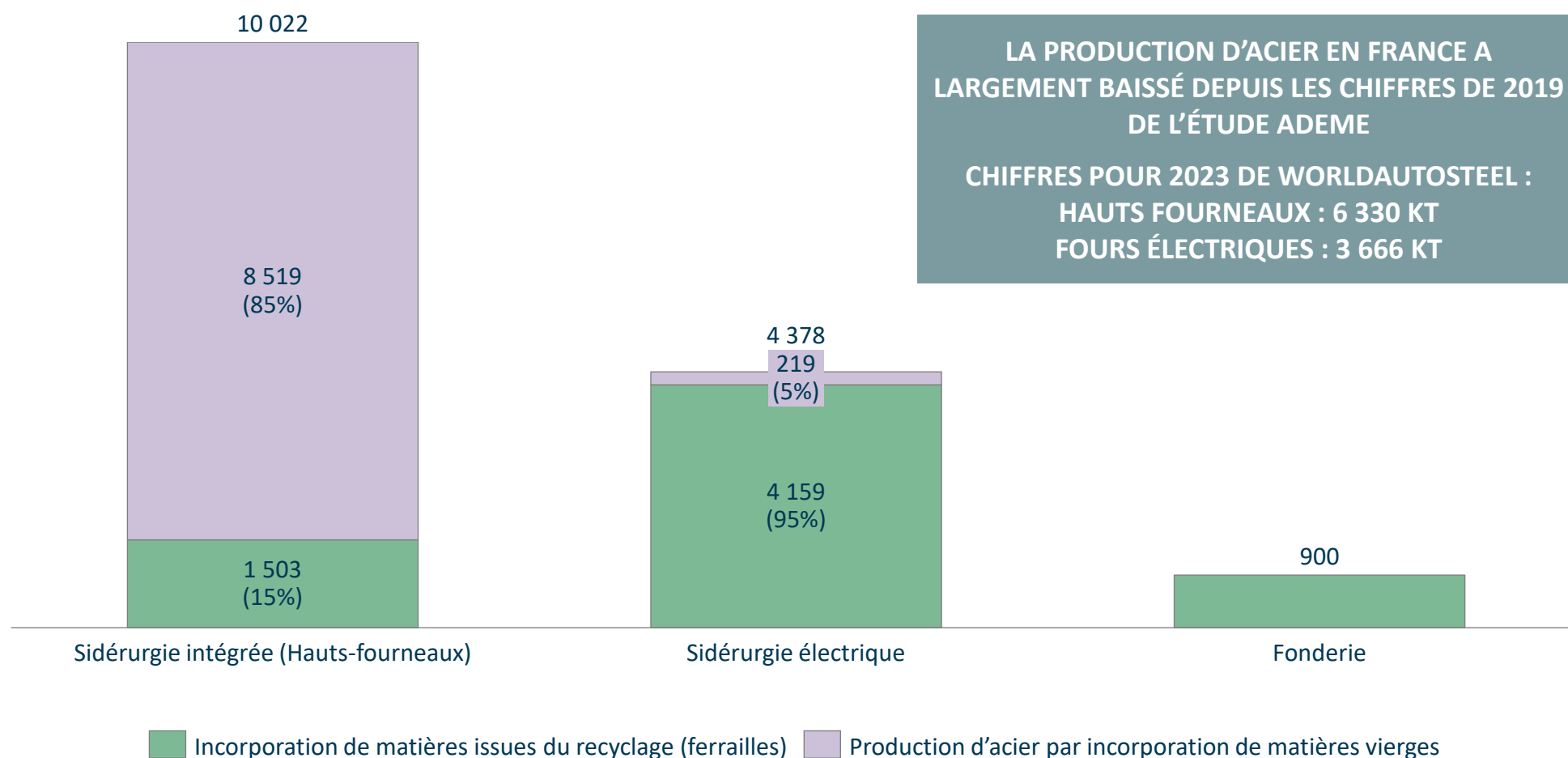


Collecte apparente = Incorporation de ferrailles en sidérurgie + Exportations de ferrailles - Importations de ferrailles
 Source : ADEME - Étude d'amélioration du potentiel de recyclage des métaux en France, recherche & analyse Strat Anticipation

La filière HF produit la majorité de l'acier automobile, mais elle intègre moins de ferraille du fait d'une limite thermodynamique, dont elle pourrait encore à la marge se rapprocher

Consommation de ferrailles et de matières premières vierges par filière

SYNTHÈSE DE LA CONSOMMATION DE FERRAILLES ET DE MATIÈRES PREMIÈRES VIERGES PAR LES TROIS FILIÈRES | En Kt, France, 2019

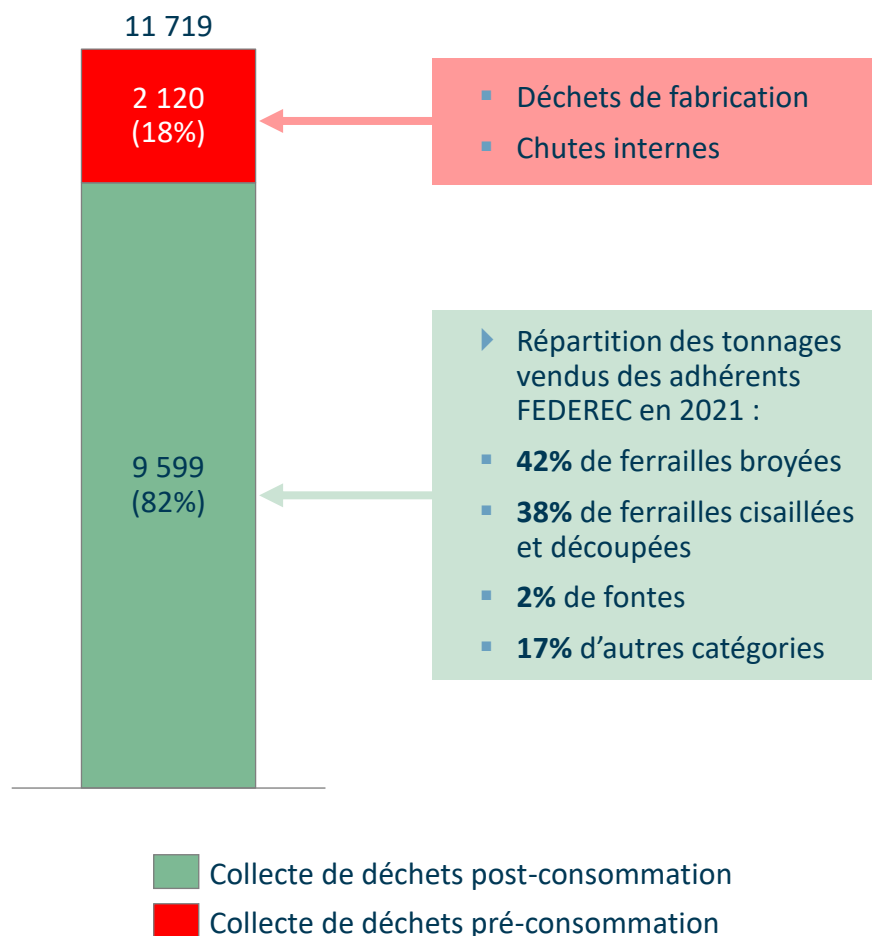


Avec un taux maximal d'incorporation et une utilisation optimale de la capacité installée, 9% de la ferraille collectée ne pourrait pas être recyclée en France

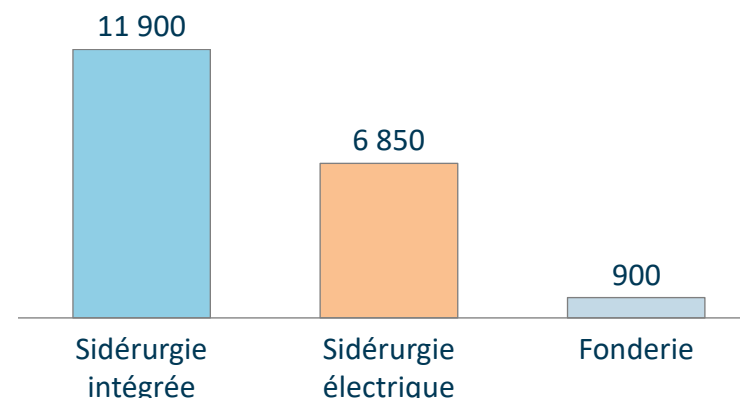
Comparaison entre la collecte et le potentiel théorique de recyclage

COLLECTE ANNUELLE DE FERRAILLE EN FRANCE¹ |

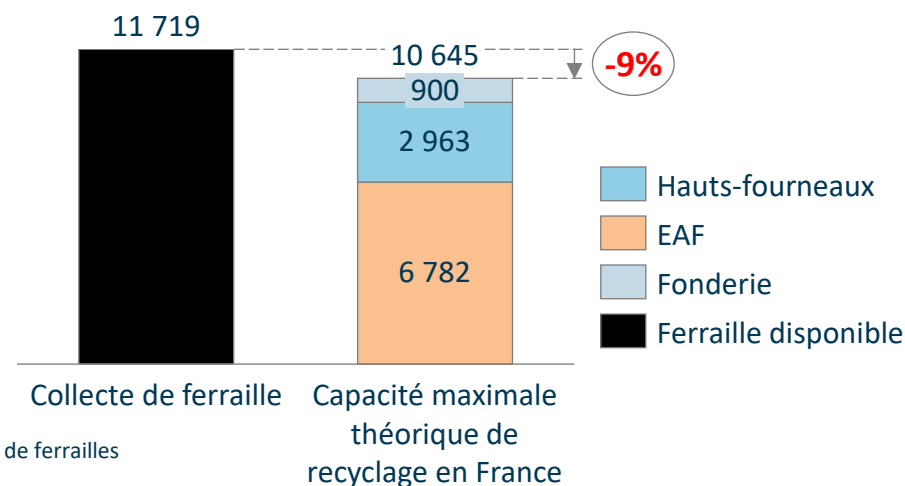
En Kt, Collecte apparente¹, France, 2019



CAPACITÉ DE PRODUCTION D'ACIER INSTALLÉE PAR FILIÈRE² | En Kt, France, 2026



POTENTIEL DE RECYCLAGE COMPTE TENU DE CES CAPACITÉS³ | En Kt, Scénario maximaliste, France, 2026



1 : Collecte apparente = Incorporation de ferrailles en sidérurgie + Exportations de ferrailles - Importations de ferrailles

2 : Chiffres de capacités issus de la cartographie réalisée par Strat Anticipation

3 : Hypothèses de limites techniques d'incorporation : 25% en haut-fourneau, 99% en EAF et 100% en fonderie

Source : ADEME - Étude d'amélioration du potentiel de recyclage des métaux en France, Eurofer, recherche & analyse Strat Anticipation

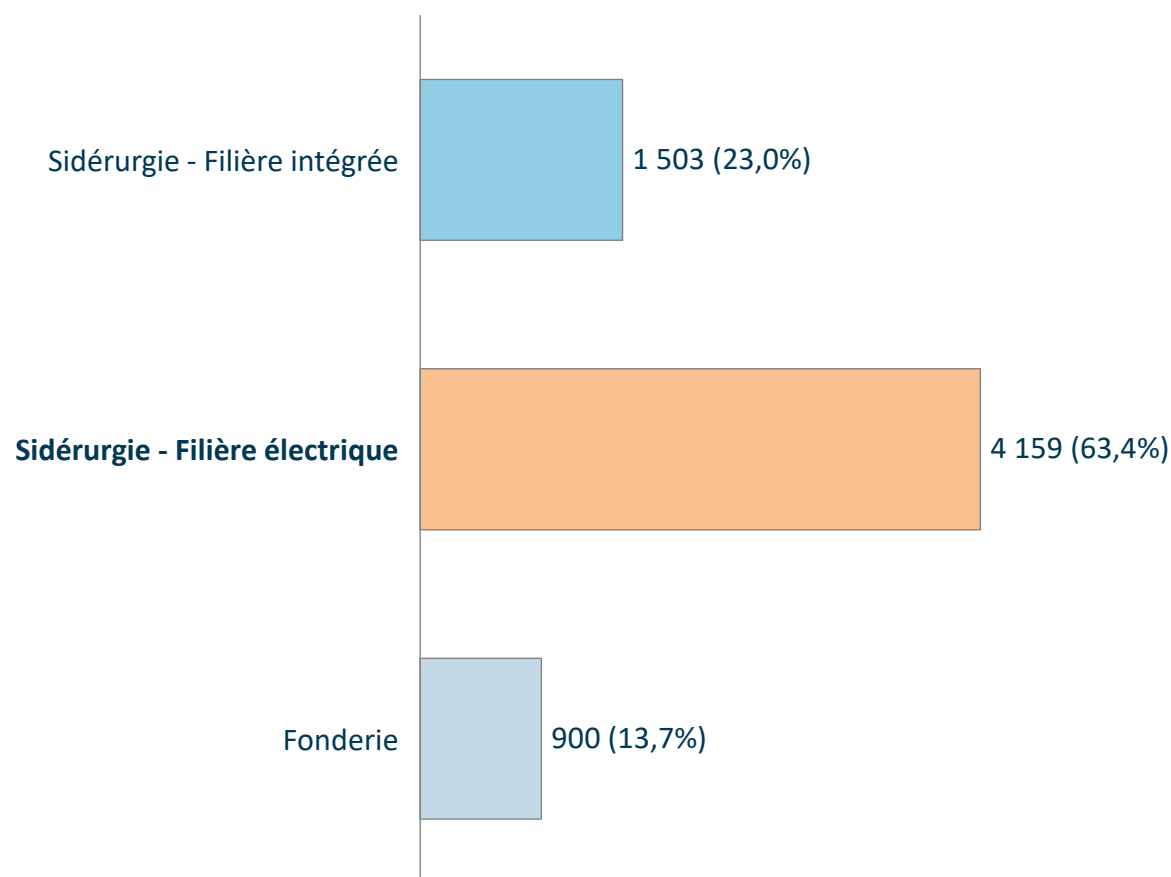
La filière électrique, qui incorpore près des deux tiers de la ferraille en France, est aussi celle qui offre le plus de flexibilité en termes de type de ferraille

Quantité et typologie de ferrailles incorporées par filière

QUANTITÉ DE FERRAILLES INCORPORÉES PAR FILIÈRE ET TYPOLOGIE | En Kt & %, France, 2019



MATIÈRES INCORPORÉES



- Chutes internes
- Déchets de pré-consommation à faible teneur en résiduels (ex. E2, E6, E8)
- Déchets de post-consommation ayant des teneurs en résiduels modérées (ex. E3)

- ▶ Ferrailles contenant plus d'éléments résiduels: E40, ferrailles de démolition, etc...
- Chutes internes (38%)
- Importations (35%)
- Achats en France (27%)

- ▶ Incorporées en cubilot :
- Production de pièces très réglementées: E1C, fontes à faible teneur en résiduels, déchets de sidérurgie souillés, etc...
- Production de pièces peu réglementées : E3, E8C, E40, etc...

Les typologies de ferraille sont définies par plusieurs critères : origine (1^{ère} ou 2^{nde} fusion & application d'origine le cas échéant), dimensions, densité et pureté

Classification des différents types de ferraille d'acier (1/2)

CATÉGORIE	SPÉCIFICATION	DESCRIPTION ET CAS D'USAGES	DIMENSIONS	DENSITÉ	RÉSIDUS
Vieille ferraille	E1	Fine, inclut des roues de véhicules légers	Épaisseur <6mm <1,5x0,5x0,5m	>0,5	<1,5%
	E3	Épaisse, inclut différents types de tubes	Épaisseur >6mm <1,5x0,5x0,5m	>0,6	<1%
Nouvelle ferraille Faible niveau de résidu non-revêtus	E2	Épaisse, de production neuve	Épaisseur >3mm <1,5x0,5x0,5m	>0,6	<0,3%
	E6	Fine, de production neuve	-	>1	<0,3%
	E8	Fine, de production neuve	Épaisseur <3mm <1,5x0,5x0,5m	>0,4	<0,3%
Décheté	E40	Vieille ferraille fragmentée	<200mm pour 95% de la charge <1000m pour 5%	>0,9	<0,4%

Elles sont ensuite sélectionnées par les aciéristes en fonction des spécifications du produit fini visé, et sont chargées dans le four entre autres avec le minerai de fer

— Classification des différents types de ferraille d'acier (2/2)

CATÉGORIE	SPÉCIFICATION	DESCRIPTION ET CAS D'USAGES	DIMENSIONS	DENSITÉ	RÉSIDUS
Tournage d'acier	E5H	Pièces homogènes d'acier carbone	-	-	*
	E5M	Pièces mélangées d'acier carbone	-	-	*
Ferraille avec un haut niveau de résidus	EHRB	Barres d'armature et marchandes	Maximum <1,5x0,5x0,5m	>0,5	<1,5%
	EHRM	Pièces de fonte et composants mécaniques	Maximum <1,5x0,5x0,5m	>0,6	<0,7%
Ferraille fragmentée par incinération	E46	Pièces fragmentées et incinérées	-	>0,8	>92%

AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

- INTRODUCTION DE LA FILIÈRE
- CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE

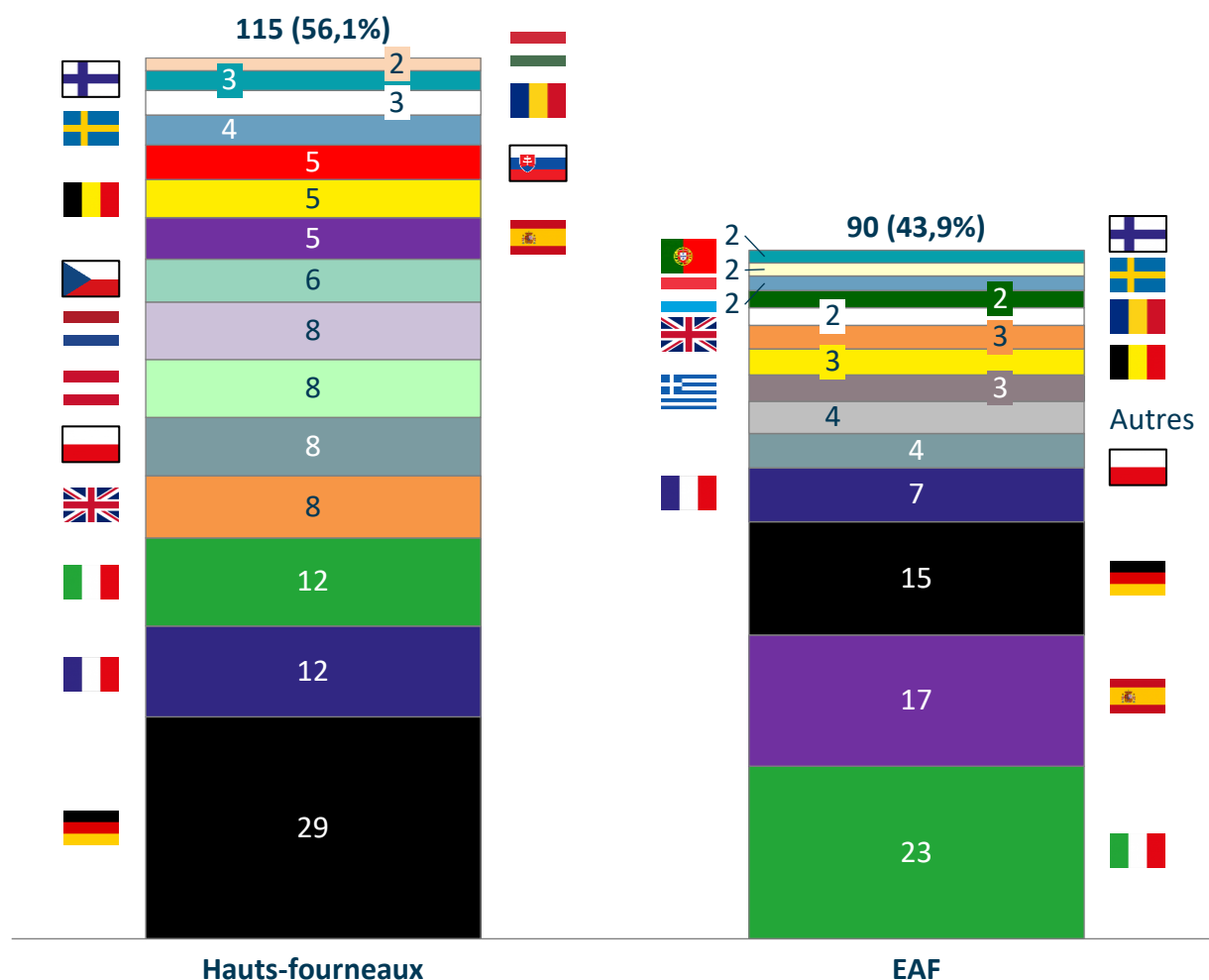
▪ CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE

- FLUX COMMERCIAUX
- UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE
- VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

L'Allemagne et l'Italie sont les deux pays européens avec des capacités importantes dans les deux filières, suivis dans une moindre mesure par la France et l'Espagne

Capacités de production par filière dans l'UE

CAPACITÉ INSTALLÉE DE PRODUCTION D'ACIER EN EUROPE PAR FILIÈRE | En Mt, UE + Royaume-Uni, 2022

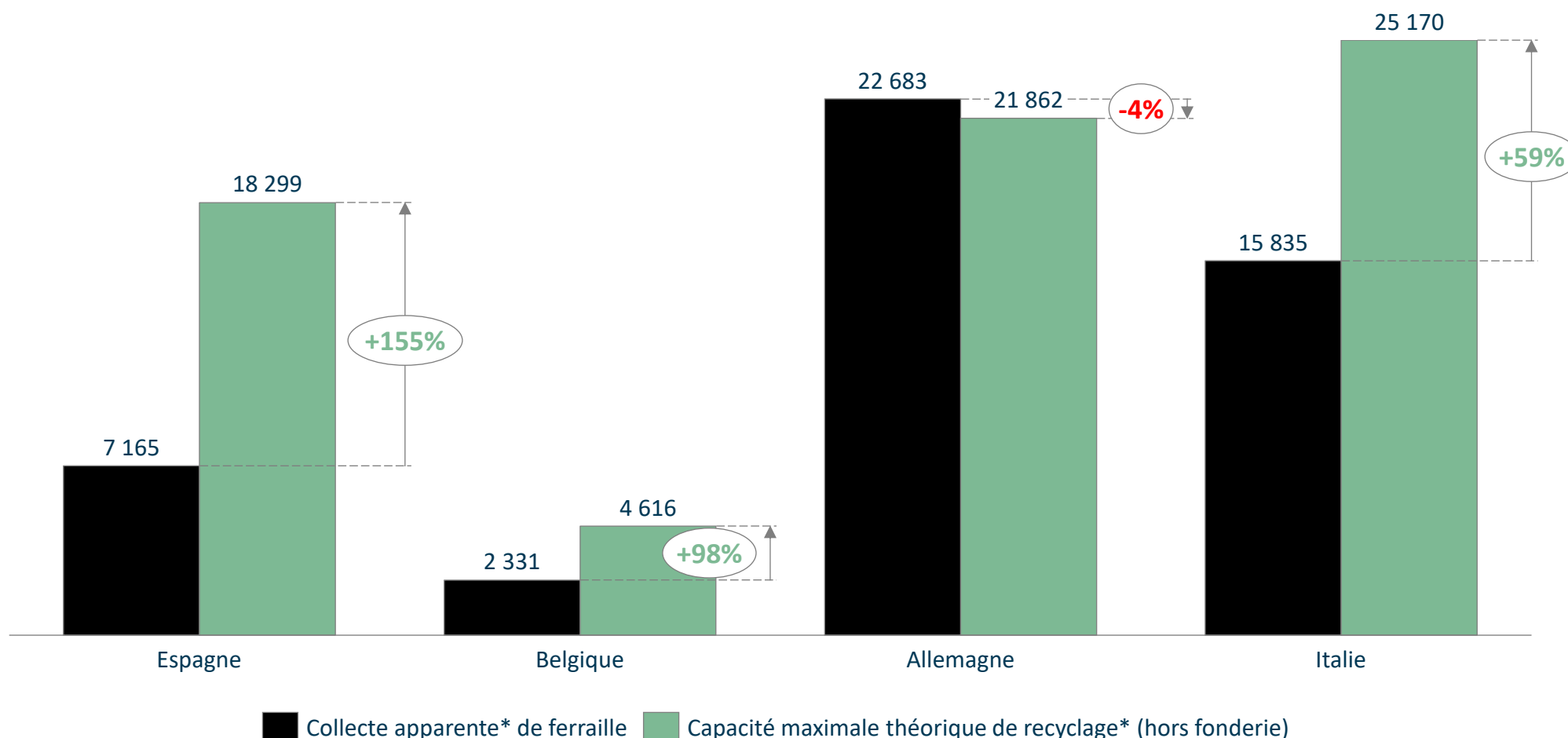


	HF	EAF	TOTAL
Allemagne	29	15	44
Italie	12	23	35
Espagne	5	17	22
France	12	7	19
TOTAL	58	62	120

L'Espagne, l'Italie et la Belgique disposent théoriquement de capacités excédentaires de traitement de ferraille, grâce à leur forte proportion d'EAF

Potentiel de recyclage rapporté à la collecte pour 4 pays européens majeurs

COMPARAISON ENTRE LA COLLECTE APPARENTE* DE FERRAILLE & LA CAPACITÉ MAXIMALE THÉORIQUE DE RECYCLAGE POUR 4 PAYS EUROPÉENS MAJEURS | En Kt, UE, 2016 pour la collecte & 2022 pour la production



Collecte apparente = Incorporation de ferrailles en sidérurgie + Exportations de ferrailles - Importations de ferrailles

Hypothèses de limites techniques d'incorporation : 25% en haut-fourneau, 99% en EAF

Source : ADEME - Étude d'amélioration du potentiel de recyclage des métaux en France, Eurofer, recherche & analyse Strat Anticipation

AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

- INTRODUCTION DE LA FILIÈRE
- CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE

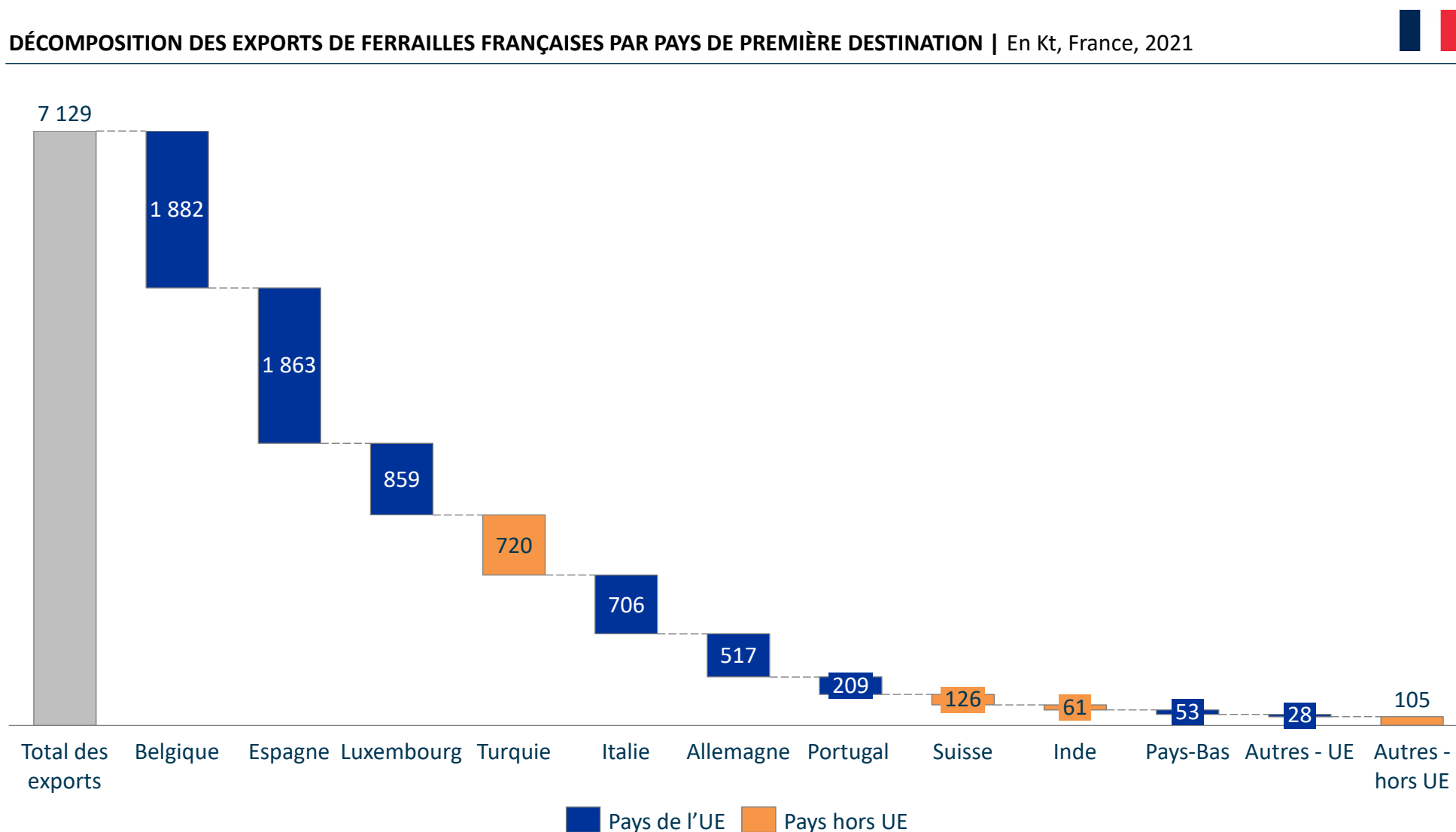
▪ FLUX COMMERCIAUX

- UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE
- VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Hors du continent européen, la France exporte principalement en Turquie & en Inde, des pays à bas coût qui parviennent à (re)trier la ferraille de manière rentable

Principales destinations des ferrailles françaises

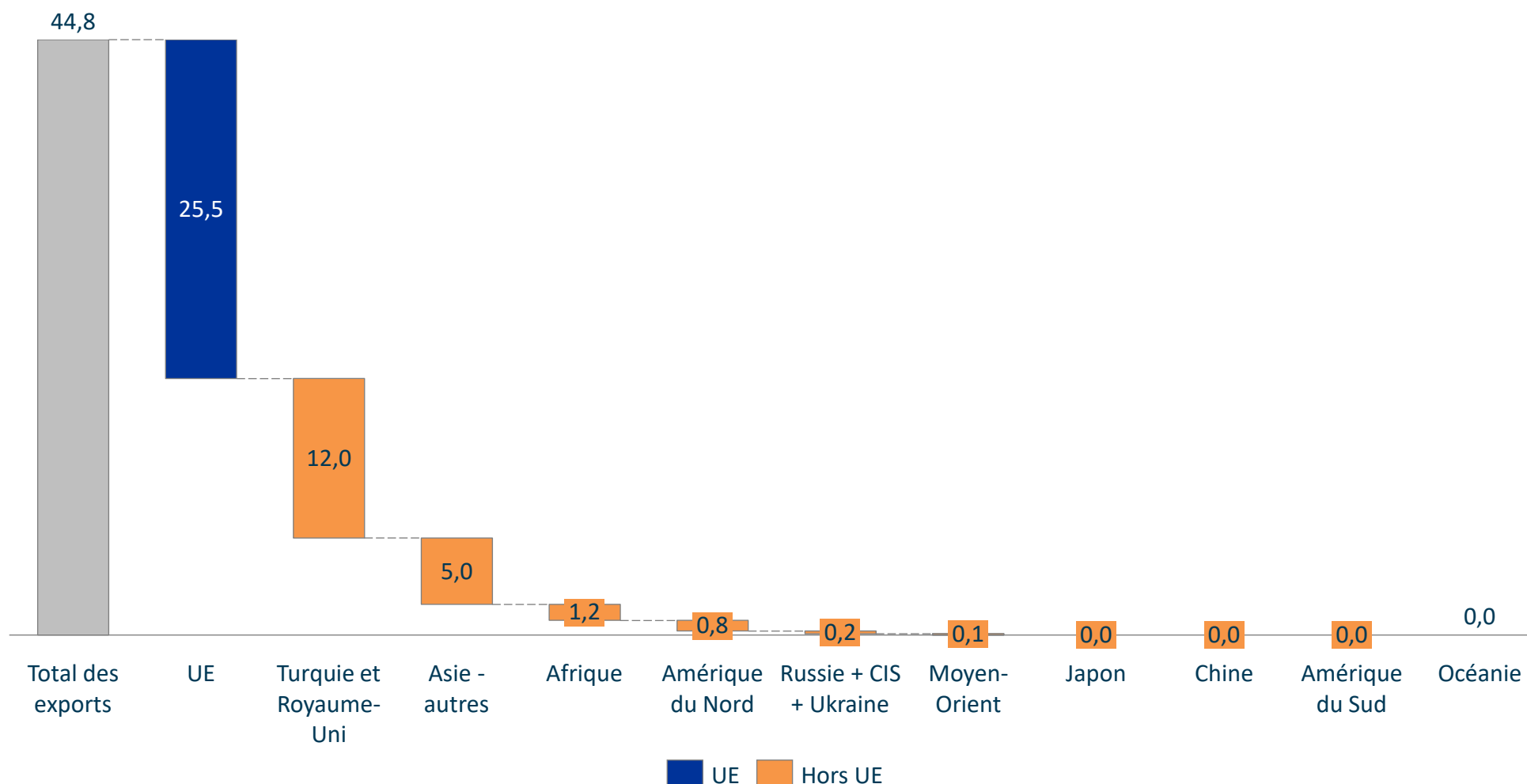
DÉCOMPOSITION DES EXPORTS DE FERRAILLES FRANÇAISES PAR PAYS DE PREMIÈRE DESTINATION | En Kt, France, 2021



Les exports de ferrailles pour l'essentiel de trois types: à 56,9% internes, à 26,8% vers la Turquie et à 11% vers les pays d'Asie (hors Chine & Japon)

Principales destinations des ferrailles européennes

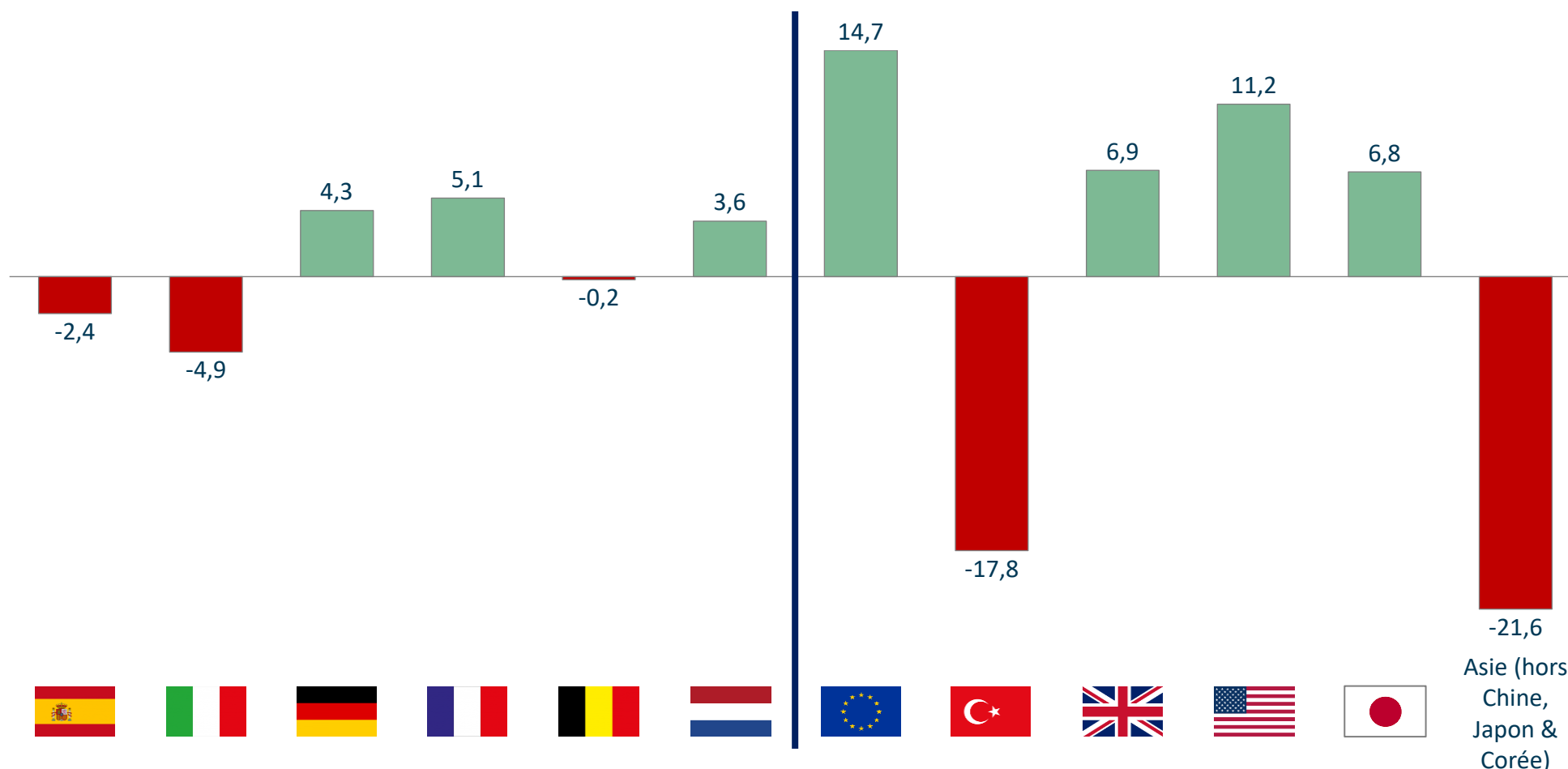
DÉCOMPOSITION DES EXPORTS DE FERRAILLES EUROPÉENNES PAR PAYS/ ZONE DE PREMIÈRE DESTINATION | En Mt, UE, 2023



L'UE et les USA sont les principaux exportateurs de ferrailles, la Turquie et l'Asie (hors Chine, Japon & Corée) en sont les principaux importateurs

Balance commerciale d'une sélection de pays et régions du monde en termes de ferrailles

BALANCE COMMERCIALE DES IMPORTS/EXPORTS DE FERRAILLES | En Mt, Monde, 2023

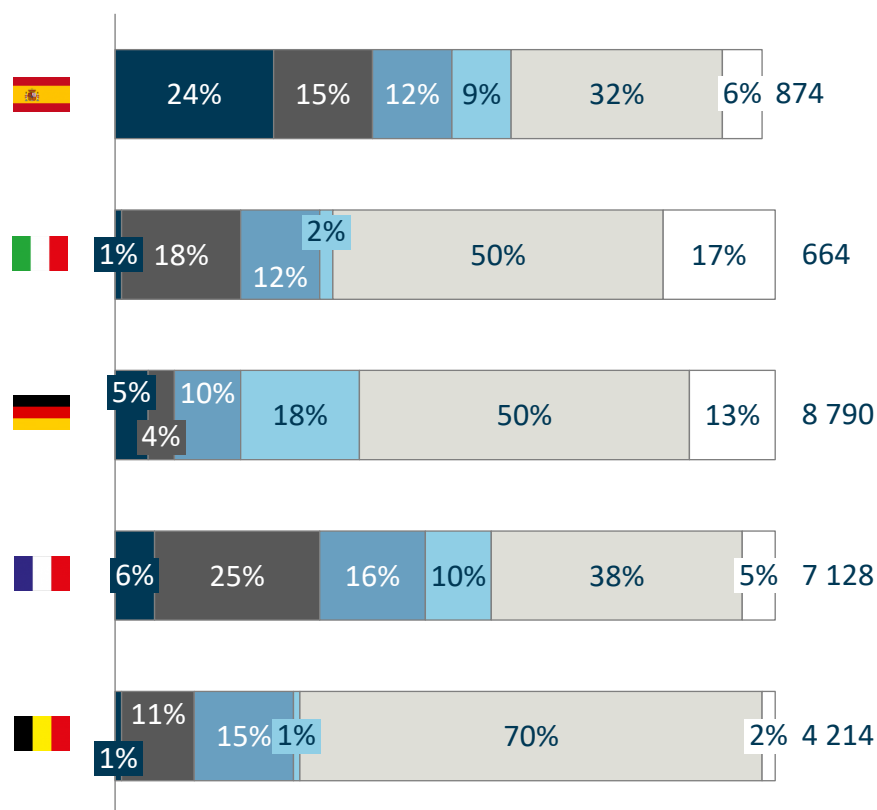


L'import-export de ferrailles des cinq pays s'explique principalement par les volumes d'acier produits et la répartition entre les filières intégrée et électrique

Typologie des ferrailles importées et exportées

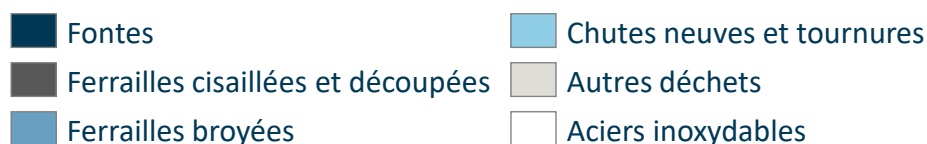
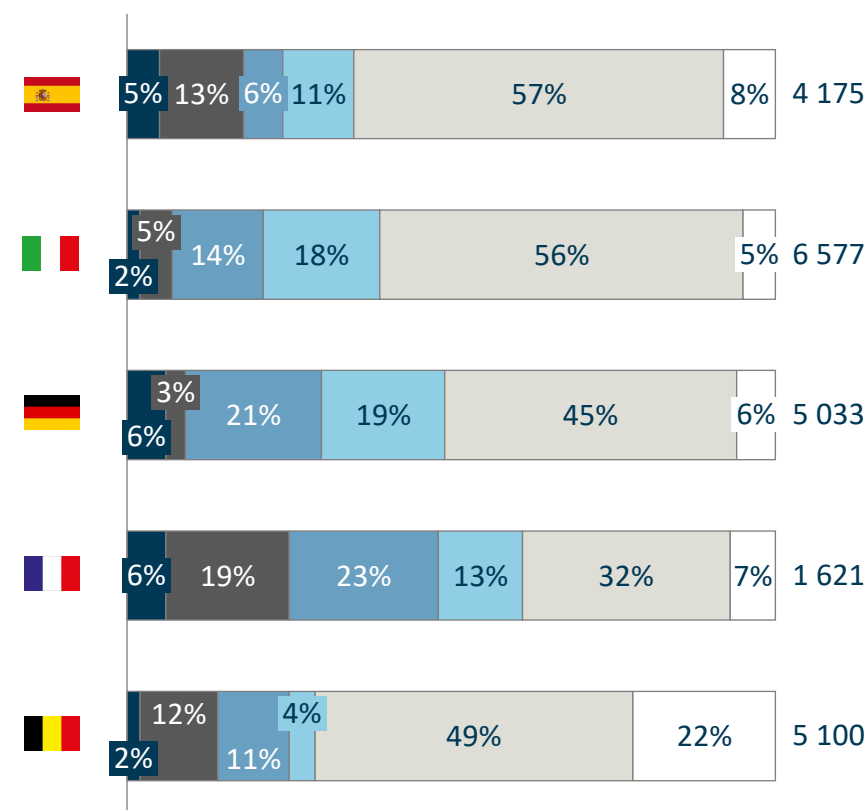
TYPE DE FERRAILLES EXPORTÉES PAR 5 PAYS EUROPÉENS |

En Kt, UE, 2021



TYPE DE FERRAILLES IMPORTÉES PAR 5 PAYS EUROPÉENS |

En Kt, UE, 2021



AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

- INTRODUCTION DE LA FILIÈRE
- CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE
- FLUX COMMERCIAUX

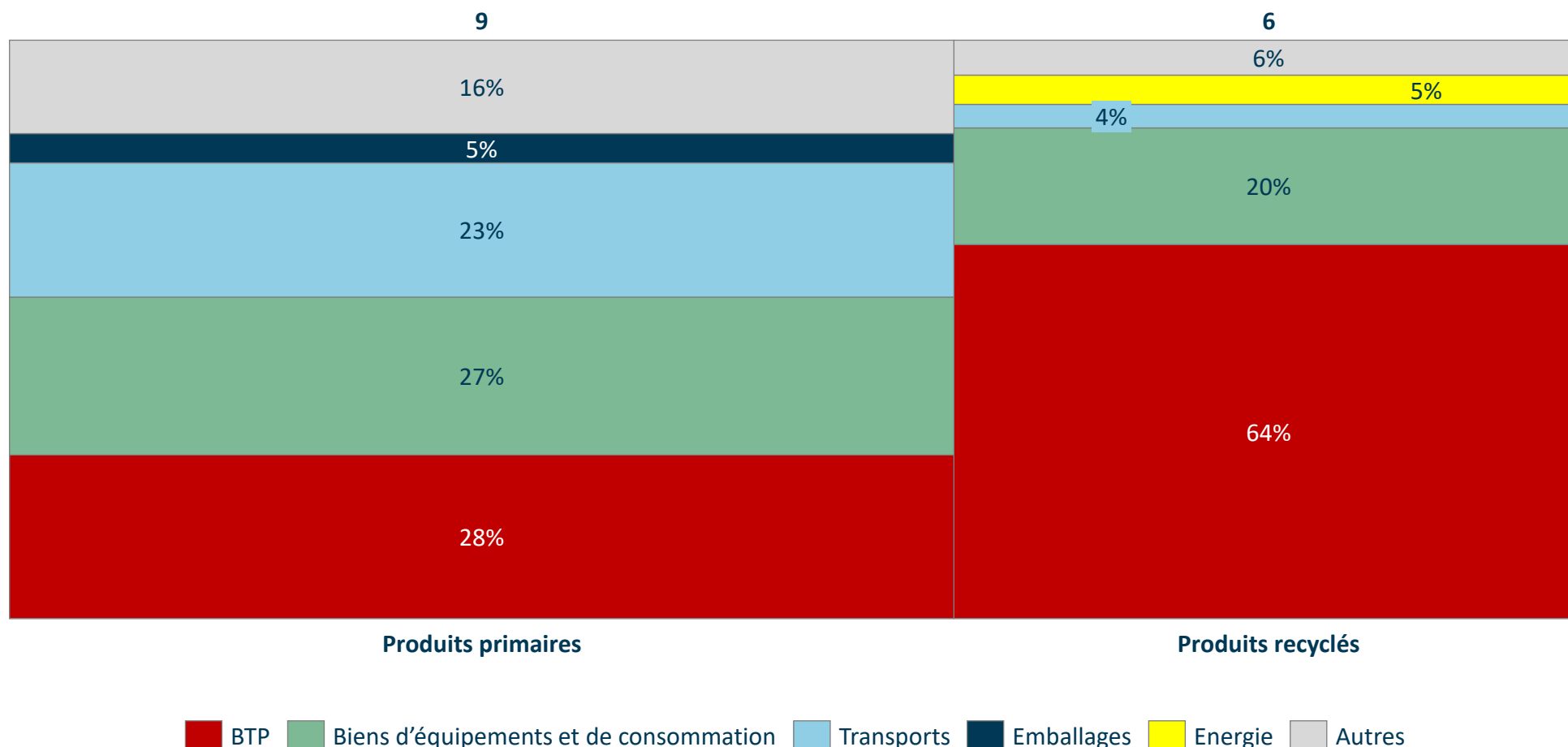
▪ UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE

- VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Le secteur des transports reste nettement utilisateur d'acier primaire, là où le BTP consomme davantage d'acier recyclé, dont il capte les 2/3 de la production actuelle

Secteurs contributeurs et débiteurs en matière recyclée (1/2)

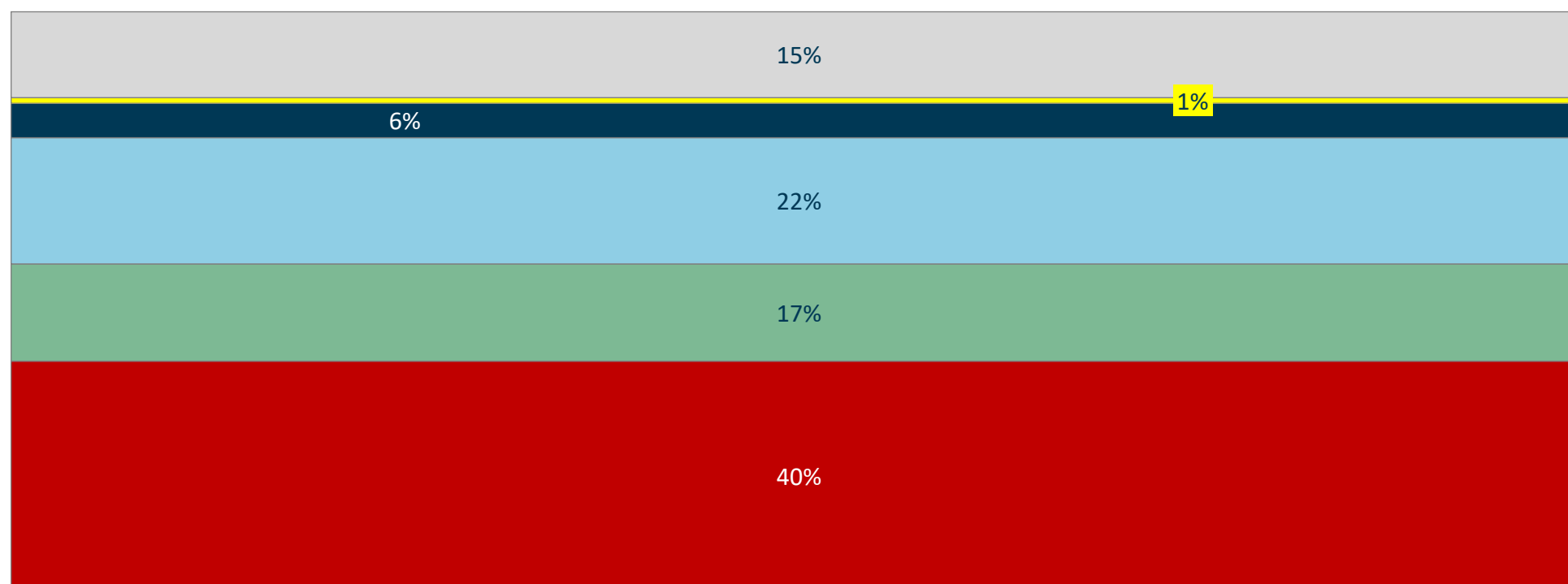
CONSOMMATION DES PRODUITS PRIMAIRES ET RECYCLÉS PAR INDUSTRIE | En Mt & %, France, 2022



Les transports, y compris l'automobile, fournissent 22% des ferrailles en France, tout en ne consommant que 4% de l'acier recyclé

Secteurs contributeurs et débiteurs en matière recyclée (2/2)

SECTEURS D'ORIGINE DES FERRAILLES EN FRANCE | En %, France, 2014



■ BTP
 ■ Biens d'équipements et de consommation
 ■ Transports
 ■ Emballages
 ■ Energie
 ■ Autres

AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

- INTRODUCTION DE LA FILIÈRE
- CARTOGRAPHIE DES CAPACITÉS DE PRODUCTION
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN FRANCE
- CHIFFRAGE DE LA PRODUCTION ET DE L'USAGE DE LA FERRAILLE EN EUROPE
- FLUX COMMERCIAUX
- UTILISATION DE L'ACIER HORS-AUTOMOBILE

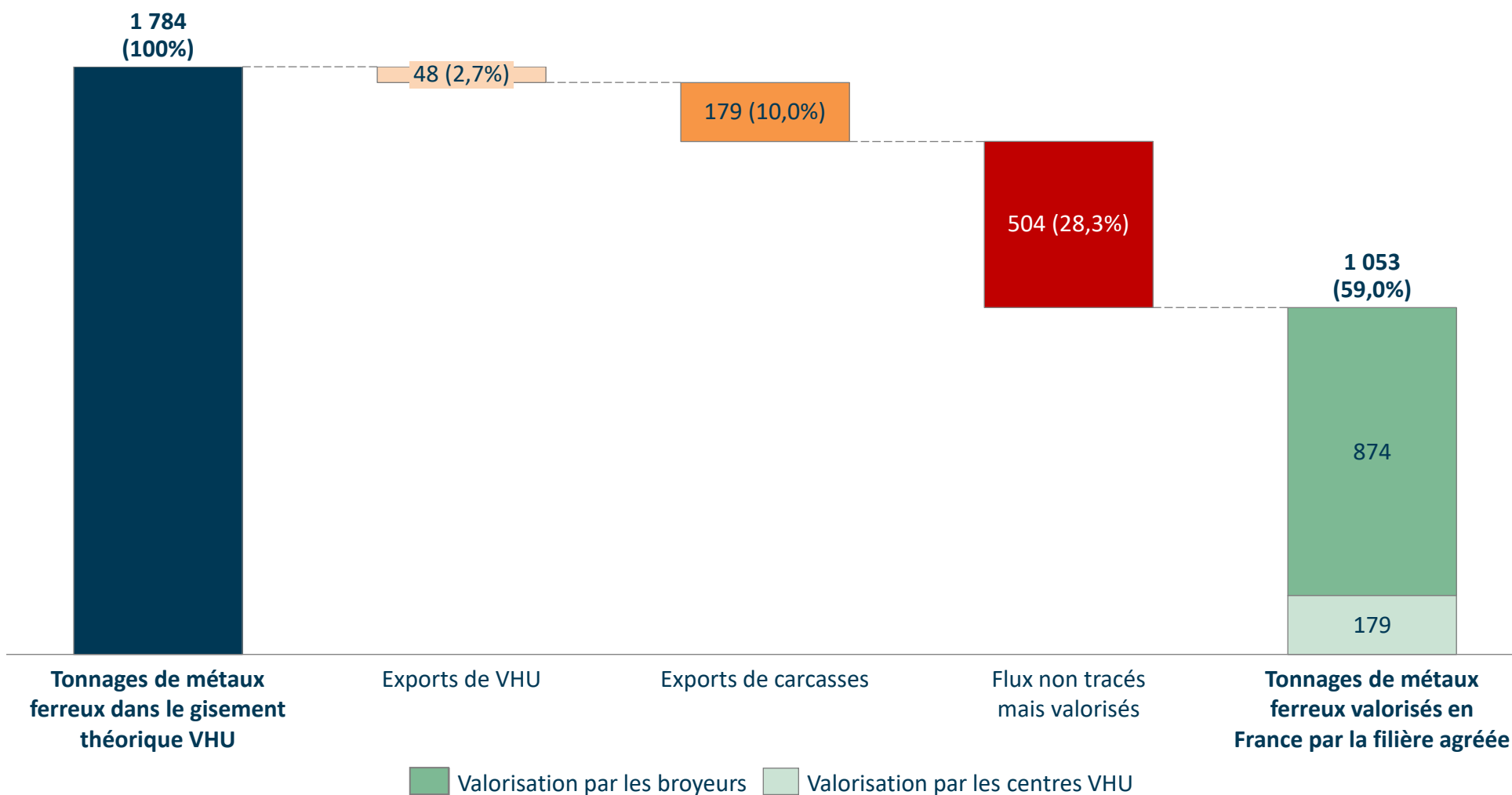
▪ VUE ACTUELLE & FUTURE SUR LES BESOINS EN RECYCLAGE & INCORPORATION DE L'AUTOMOBILE

- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

A l'heure actuelle, le gisement VHU en acier n'est valorisé qu'à 59% par la filière agréée française, même si rien n'est mis en décharge étant donné la valeur du métal

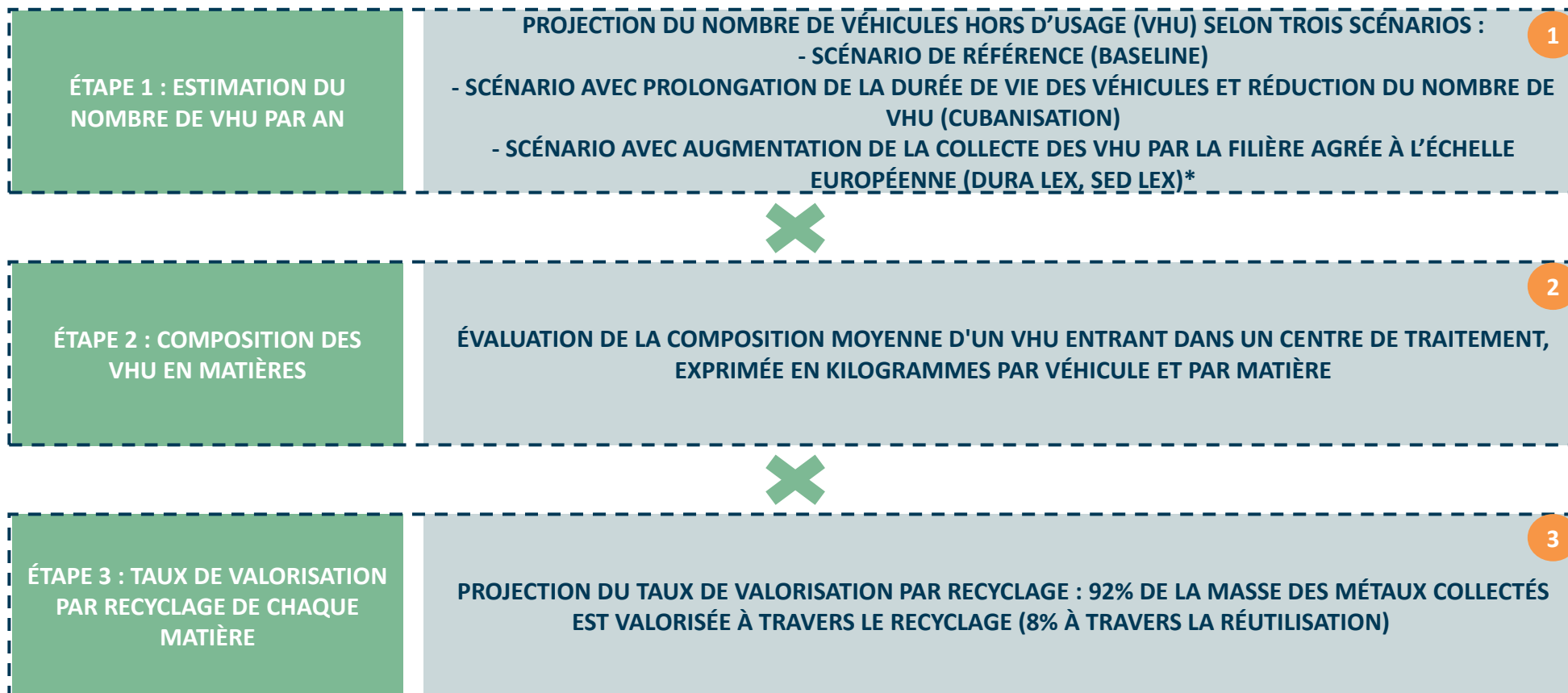
Etats des lieux du gisement VHU

DESTINATIONS DES MÉTAUX FERREUX CONTENUS DANS LES VHU | En Kt, France, Moyenne annuelle sur la période 2017-2020



Nous voulons cerner le champ des possibles en termes de gisement automobile potentiel pour le recyclage via une modélisation

Méthodologie d'évaluation du gisement VHU - Métaux



=

ESTIMATION DU GISEMENT TOTAL DE MATÉRIAUX RECYCLÉS PROVENANT DES VHU, PAR MATIÈRE ET PAR AN

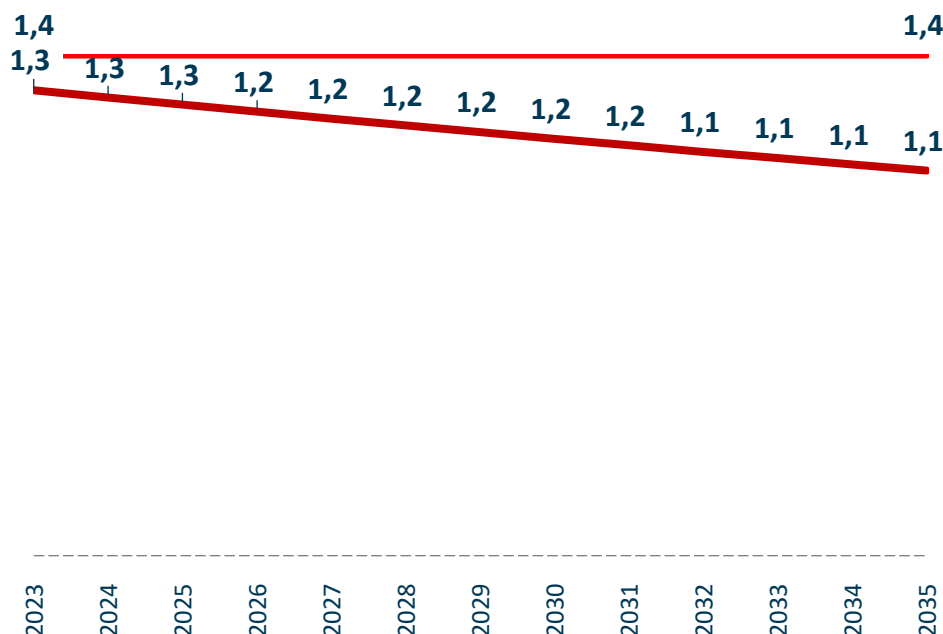
*Les taux de collecte en France est déjà très élevé
Source : modélisation Strat Anticipation

La mise en application du règlement VHU pourrait permettre un meilleur contrôle des exports de VO / VHU et ainsi de davantage les traiter au sein de la filière agréée

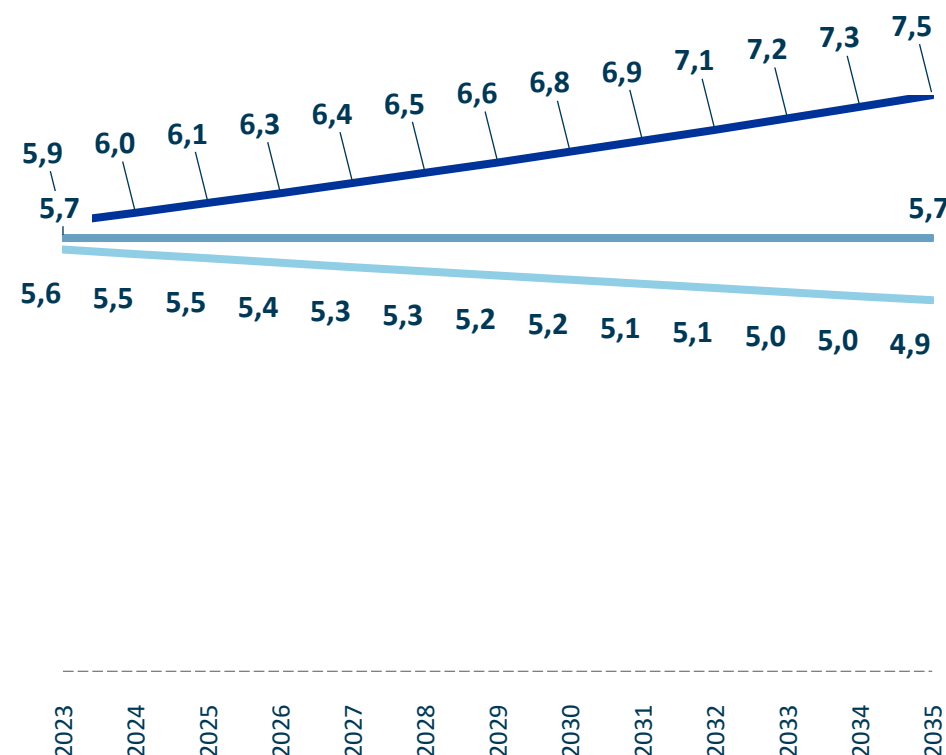
Méthodologie d'évaluation du gisement VHU - Etape 1 : Estimation du nombre de VHU par an

1

SCÉNARIOS DE NOMBRE DE VHU TRAITÉS PAR LA FILIÈRE
AGRÉÉE EN FRANCE | En millions / an, France, 2023-2035



SCÉNARIOS DE NOMBRE DE VHU TRAITÉS PAR LA FILIÈRE
AGRÉÉE DANS L'UE | En millions / an, UE, 2023-2035



— France - Baseline
— France - Cubanisation

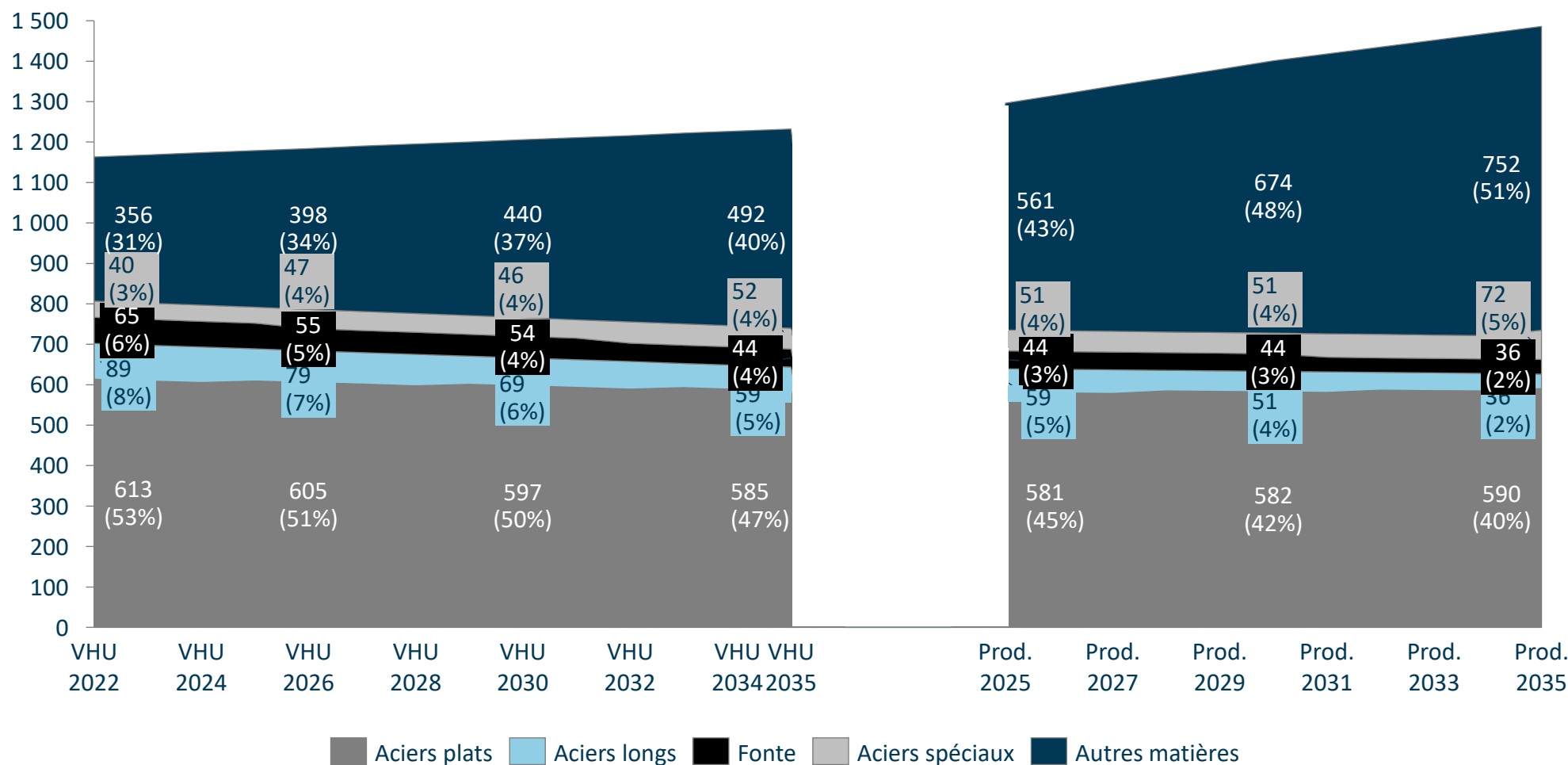
— UE - Baseline — UE - Dura lex, sed lex
— UE - Cubanisation

Entre un VHU de 2022 et une sortie d'usine en 2035, la part d'acier plat devrait uniquement baisser relativement, alors que la part d'acier long va être divisée par 4

Méthodologie d'évaluation du gisement VHU - Etape 2 : Contenu moyen en métaux ferreux dans un véhicule

2

PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DU CONTENU MOYEN EN MÉTAUX FERREUX DANS UN VÉHICULE |
En Kt, France & UE, VHU 2022 - Sortie d'usine 2035

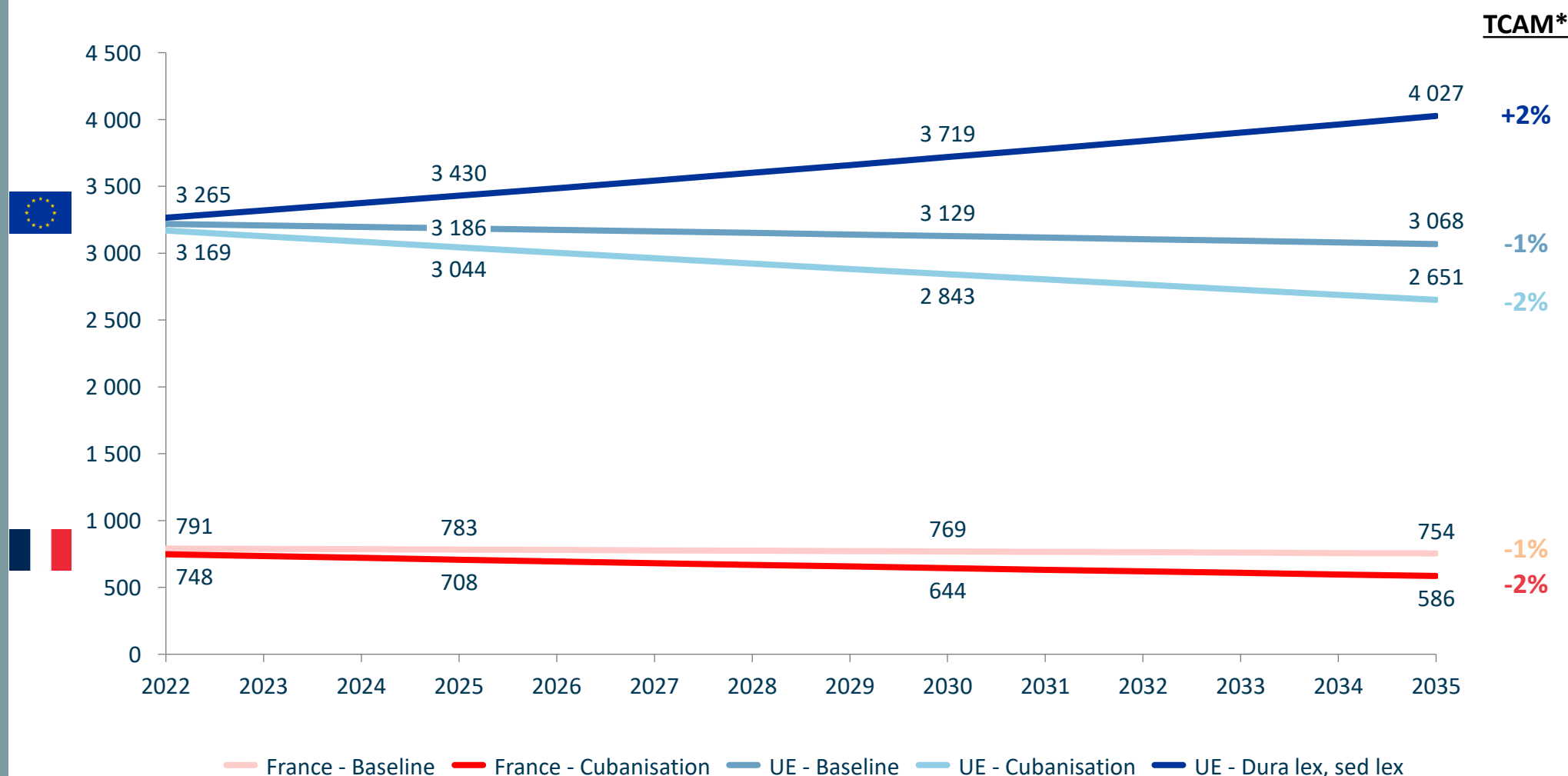


Source : modélisation Strat Anticipation

Les quantités d'aciers plats générées par la filière agréée vont se maintenir, voire augmenter dans un scénario favorable pour l'UE

Sorties matières issues du gisement VHU pour le recyclage - Aciers plats

PRÉVISION DES TONNAGES D'ACIERS PLATS GÉNÉRÉS PAR LA FILIÈRE VHU POUR LE RECYCLAGE |
En Kt, France & UE, Centres VHU & broyeurs, 2022-2035



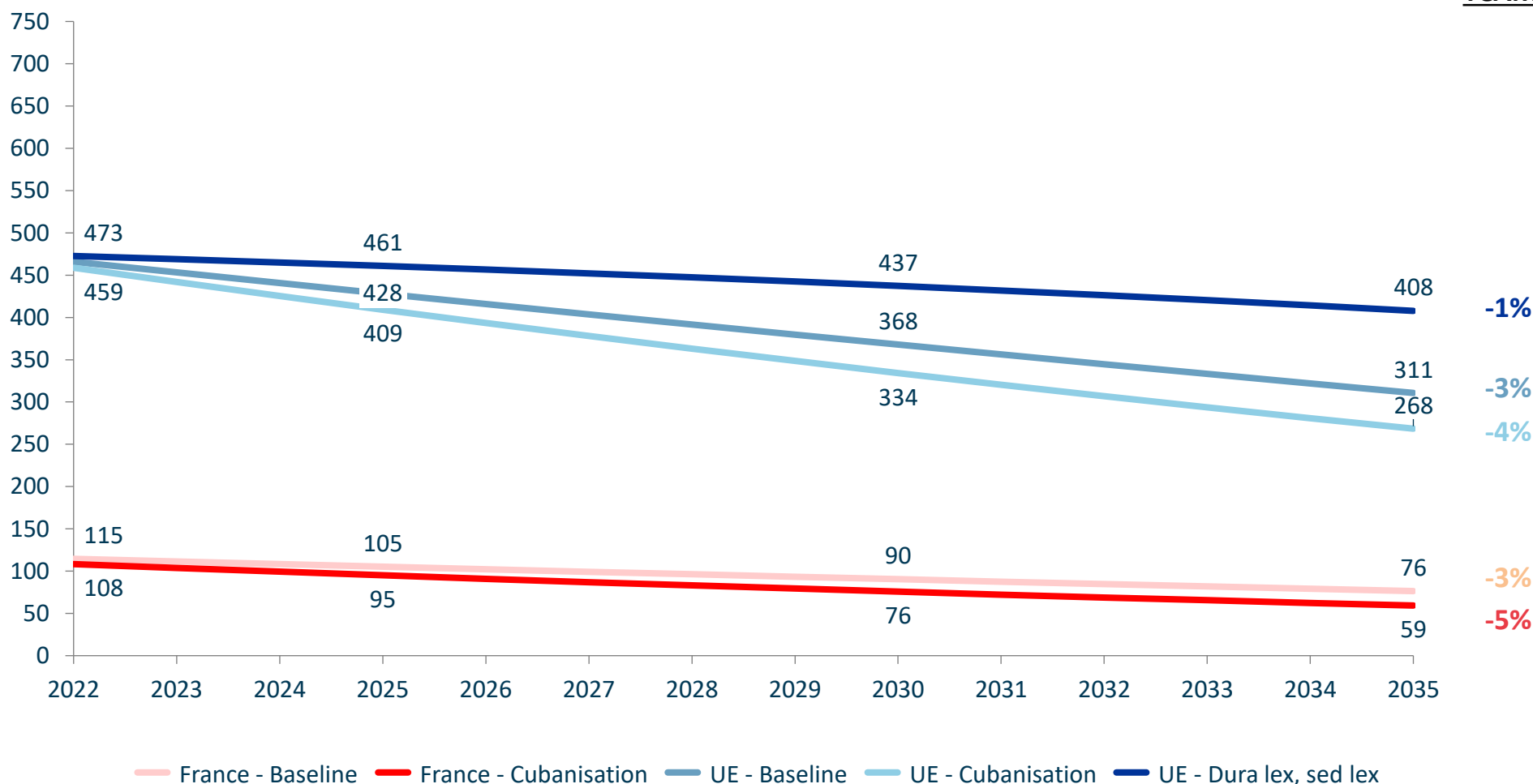
TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen
Source : modélisation Strat Anticipation

Quant à elles, les quantités d'aciers longs générées par les centres VHU vont baisser, avec la hausse progressive du nombre de VE traités, qui en contiennent moins

Sorties matières issues du gisement VHU pour le recyclage - Aciers longs

PRÉVISION DES TONNAGES D'ACIERS LONGS GÉNÉRÉS PAR LA FILIÈRE VHU POUR LE RECYCLAGE |
En Kt, France & UE, Centres VHU & broyeurs, 2022-2035

TCAM*

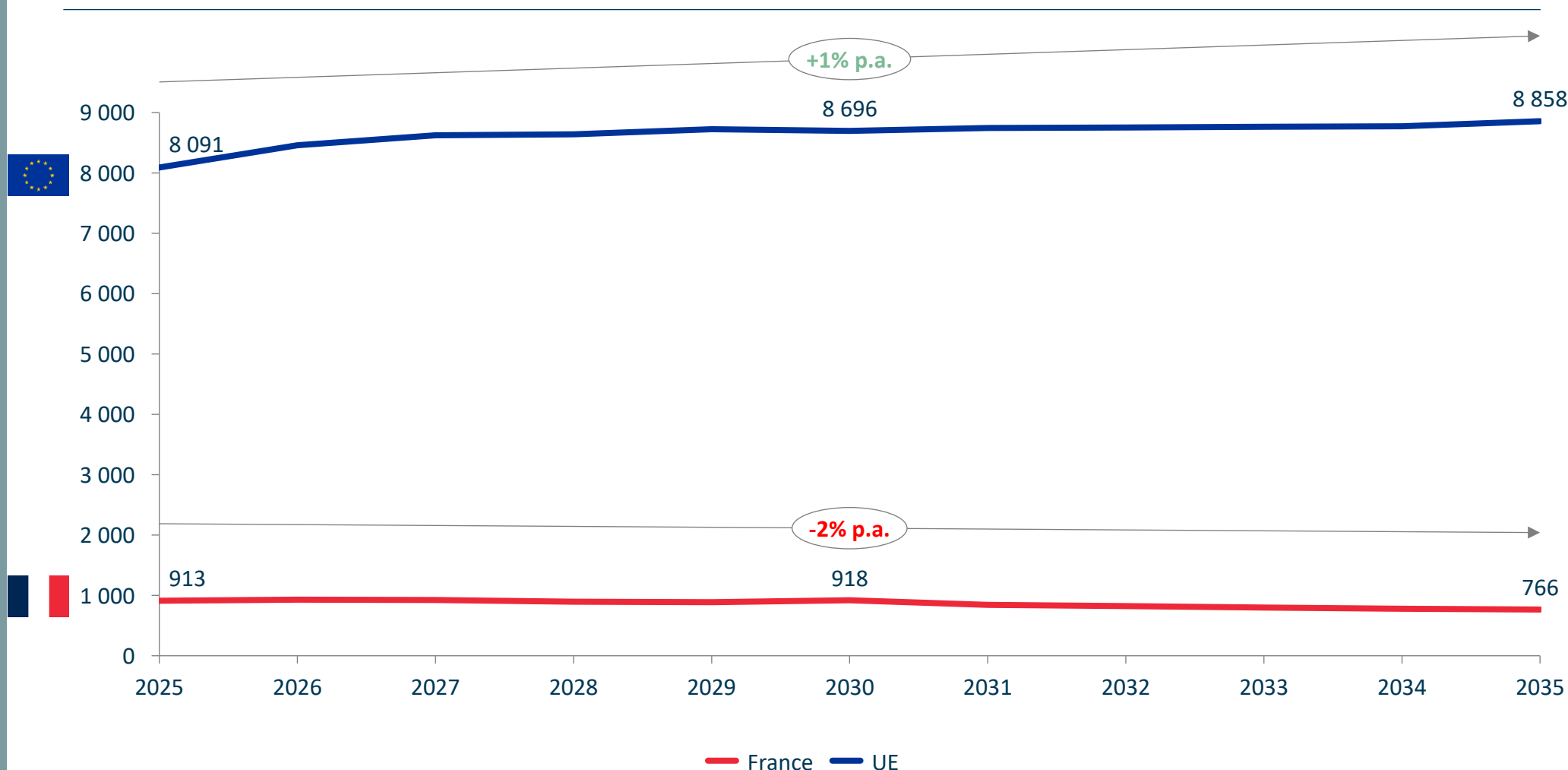


TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen
Source : modélisation Strat Anticipation

Le besoin total des usines automobiles en aciers plats devrait croître de 1% par an entre 2025 et 2035 dans l'UE, contre une baisse de 2% par an pour la France

Besoin total des usines automobiles françaises & européennes en acier - Aciers plats

PRÉVISION DU BESOIN AUTOMOBILE TOTAL EN ACIERS PLATS, TOUTES PROVENANCES CONFONDUES |
En Kt, France & UE, Prévisions de production GlobalData, 2025-2035

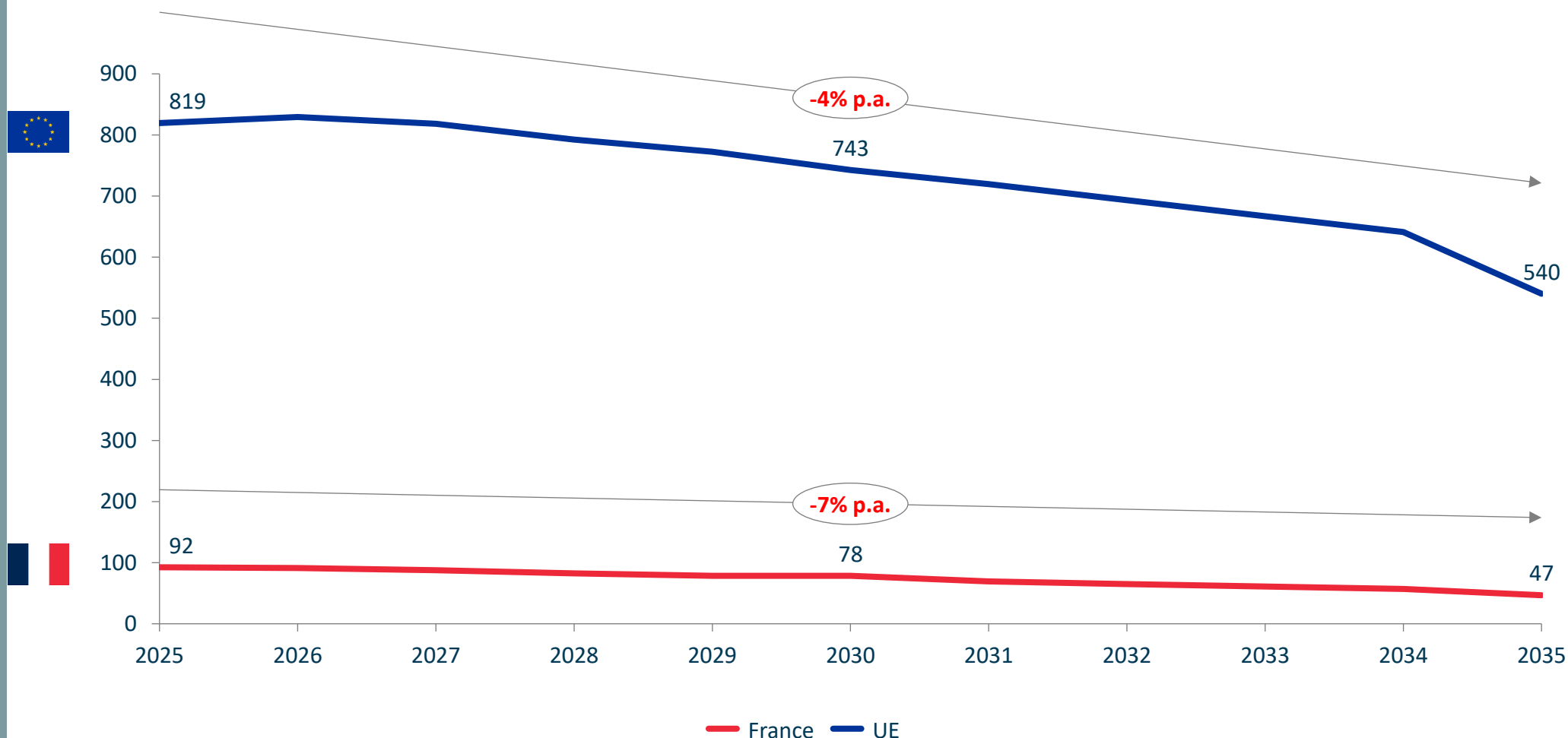


La situation est radicalement différente pour les aciers longs, pour lesquels les besoins automobiles devraient quasiment baisser de moitié d'ici à 2035

Besoin total des usines automobiles françaises & européennes en acier - Aciers longs

PRÉVISION DU BESOIN AUTOMOBILE TOTAL EN ACIERS LONGS, TOUTES PROVENANCES CONFONDUES |

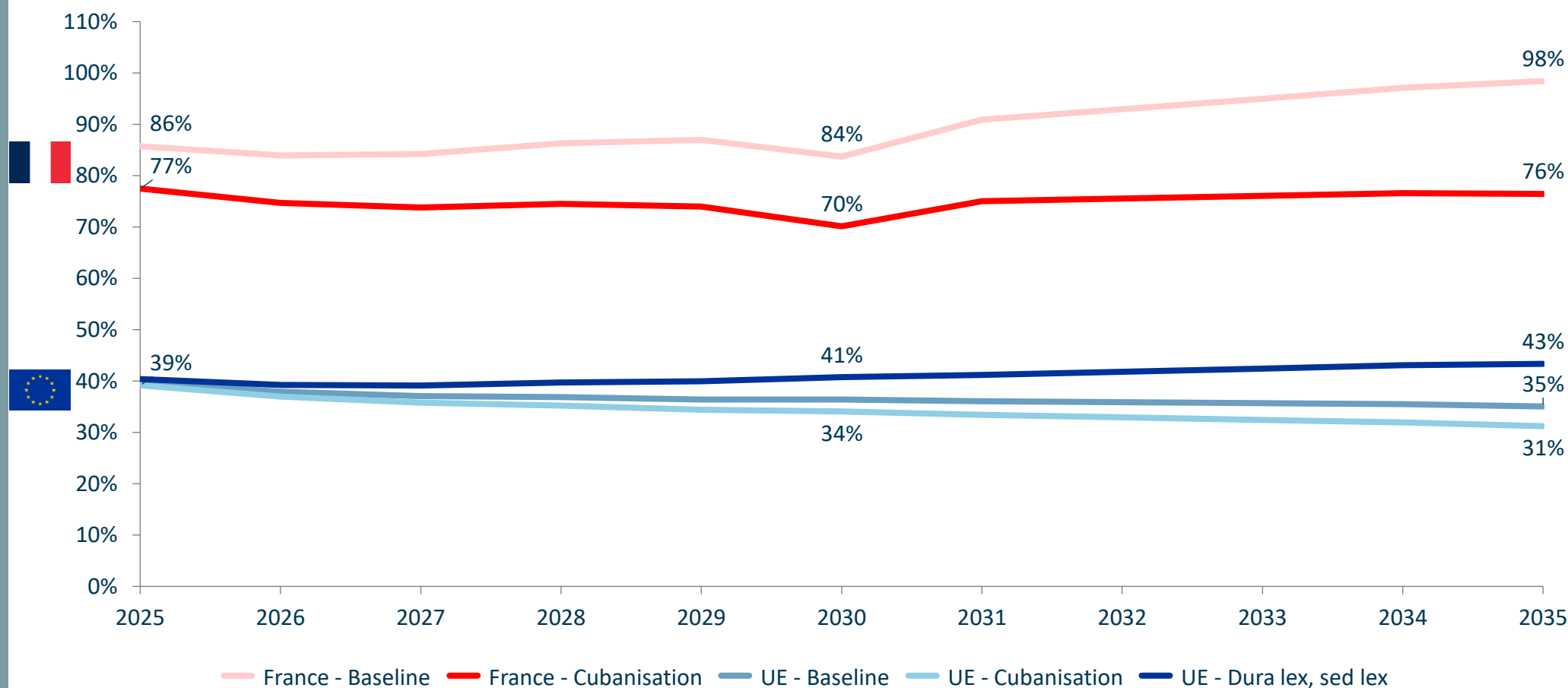
En Kt, France & UE, Prévisions de production GlobalData, 2025-2035



Si le gisement d'aciers plats automobiles permettrait théoriquement de faire de la boucle fermée, de nombreuses contraintes technico-économiques la rendrait délicate

Potentiel théorique de réincorporation de matière automobile - Aciers plats

PRÉVISION DU POTENTIEL MAXIMUM DE RÉINCORPORATION D'ACIERS PLATS AUTOMOBILES, COMPTE TENU DU GISEMENT¹ |
En %, France, Centres VHU & broyeurs, 2025-2035



1 : Si on exclut les contraintes d'ordre technique et économique, le gisement automobile de déchets permet de couvrir théoriquement X% des besoins de l'industrie automobile en France et en Europe, en fonction du scénario retenu

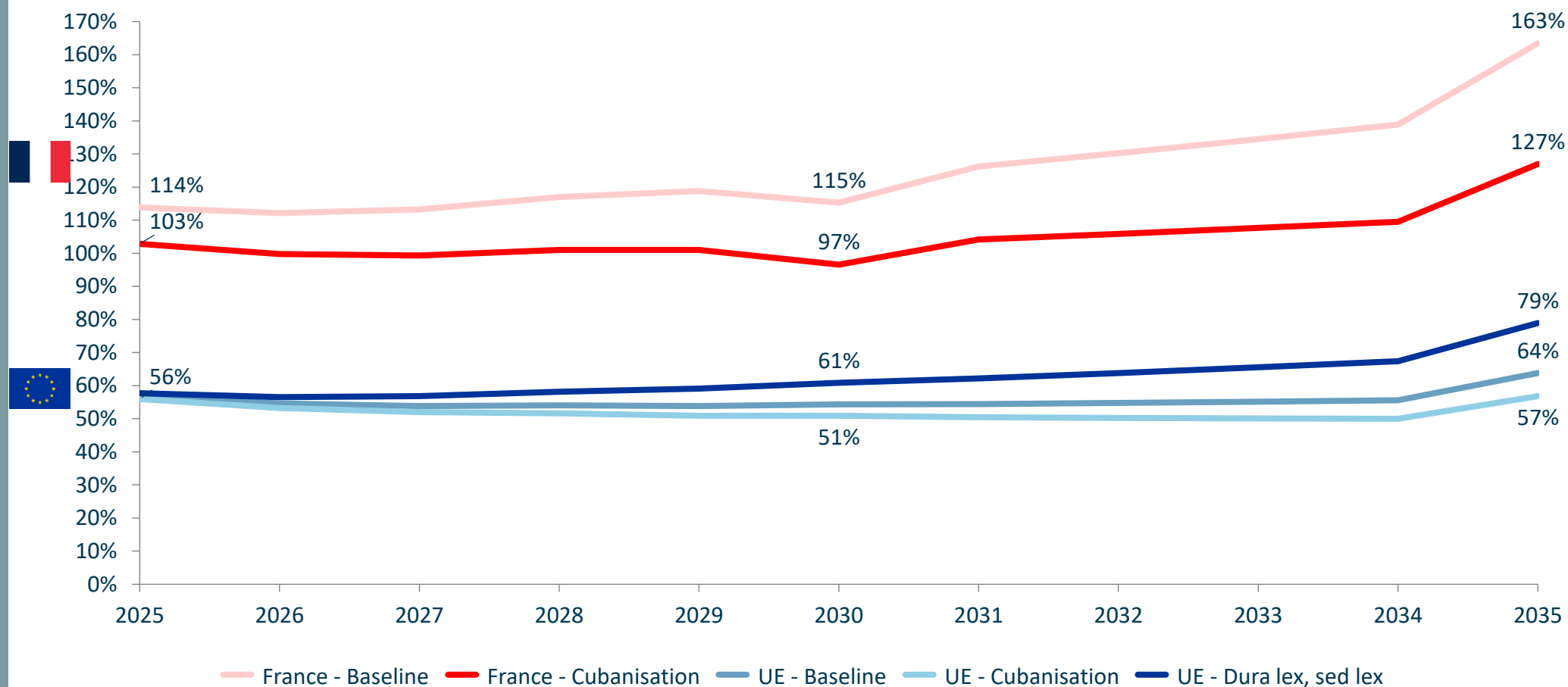
Remarque : La baisse du potentiel de réincorporation d'aciers plats en 2030, compte tenu du gisement, est liée à une hausse des prévisions de production de véhicules de GlobalData

Source : modélisation Strat Anticipation

La question du gisement pour les aciers longs est encore plus simple, car les besoins vont se réduire, alors que les broyeurs vont continuer à en générer

Potentiel théorique de réincorporation de matière automobile - Aciers longs

PRÉVISION DU POTENTIEL MAXIMUM DE RÉINCORPORATION D'ACIERS LONGS AUTOMOBILES, COMPTE TENU DU GISEMENT¹ |
En %, France, Centres VHU & broyeurs, 2025-2035



1 : Si on exclut les contraintes d'ordre technique et économique, le gisement automobile de déchets permet de couvrir théoriquement X% des besoins de l'industrie automobile en France et en Europe, en fonction du scénario retenu

Remarque : La baisse du potentiel de réincorporation d'aciers longs en 2030, compte tenu du gisement, est liée à une hausse des prévisions de production de véhicules de GlobalData

Source : modélisation Strat Anticipation

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION

- ▶ ÉTAT DES LIEUX

- ▶ **HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU**

- PROBLÉMATIQUE DU CUIVRE POUR LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- RETRAIT DES FAISCEAUX POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DES CARCASSES
- TRI POST-BROYAGE AVANCÉ POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DE LA FERRAILLE
- ÉCO-CONCEPTION DES CÂBLAGES : REMPLACEMENT DU CUIVRE PAR DE L'ALUMINIUM

- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER

- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF

- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

AGENDA

▶ INTRODUCTION

▶ ÉTAT DES LIEUX

▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU

▪ PROBLÉMATIQUE DU CUIVRE POUR LA FERRAILLE ISSUE DES VHU

▪ RETRAIT DES FAISCEAUX POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DES CARCASSES

▪ TRI POST-BROYAGE AVANCÉ POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DE LA FERRAILLE

▪ ÉCO-CONCEPTION DES CÂBLAGES : REMPLACEMENT DU CUIVRE PAR DE L'ALUMINIUM

▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER

▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF

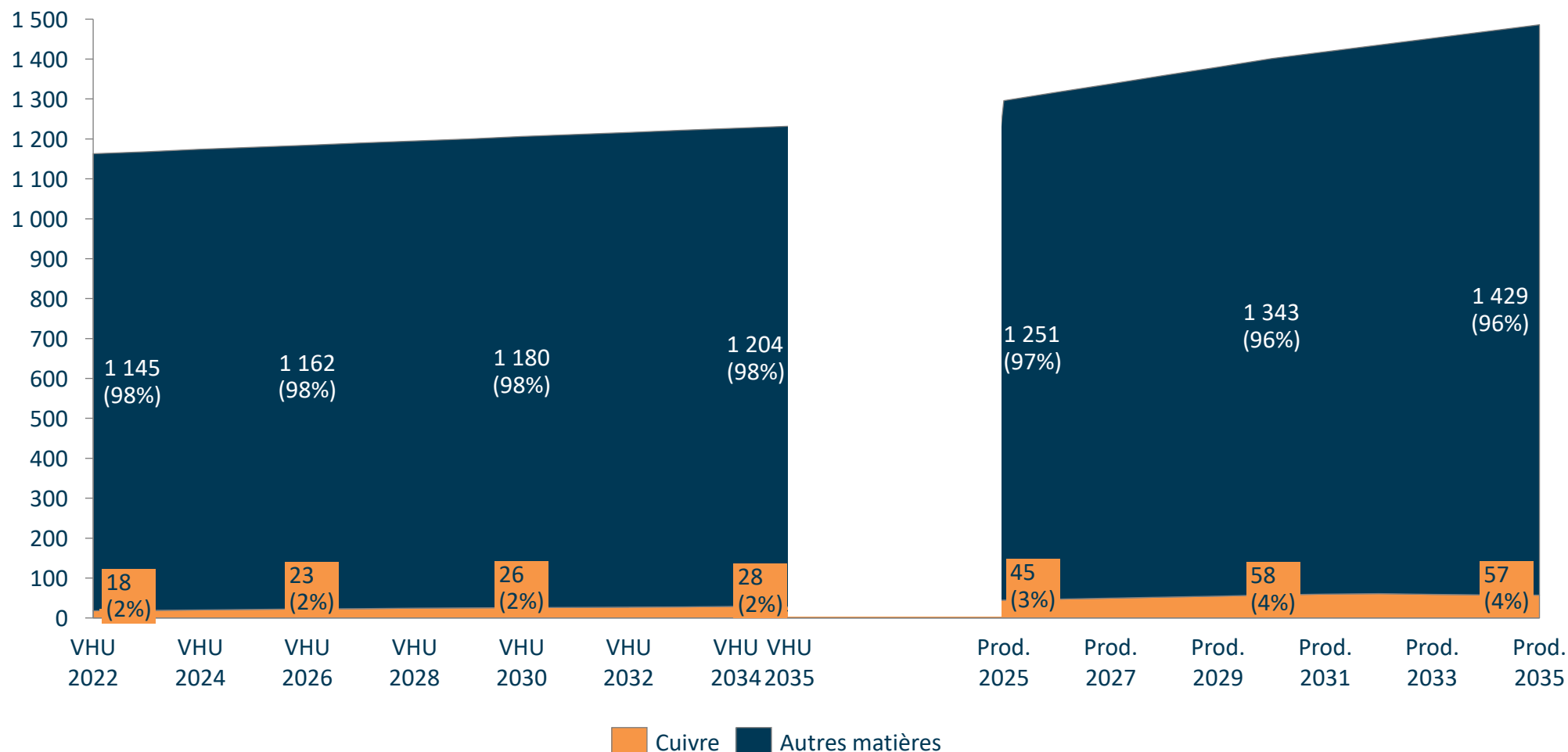
▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Le contenu moyen en cuivre dans un véhicule devrait être multiplié par 2 ou 3 entre un VHU qui entre actuellement en centre et un véhicule qui sortira d'usine en 2035

Contenu moyen en cuivre dans un véhicule

PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE DANS UN VÉHICULE |

En Kg, France & UE, VHU 2022 - Sortie d'usine 2035

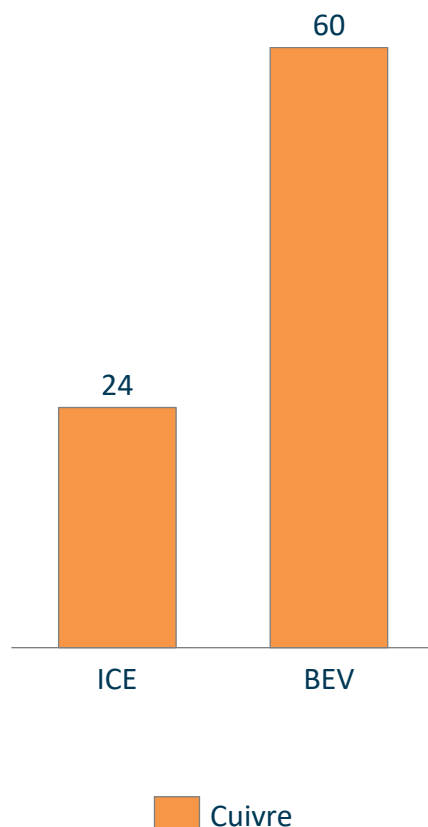


La hausse du contenu moyen en cuivre est en partie à relativiser, car elle est entre autres due à des composants d'électrification, qui seront probablement démontés

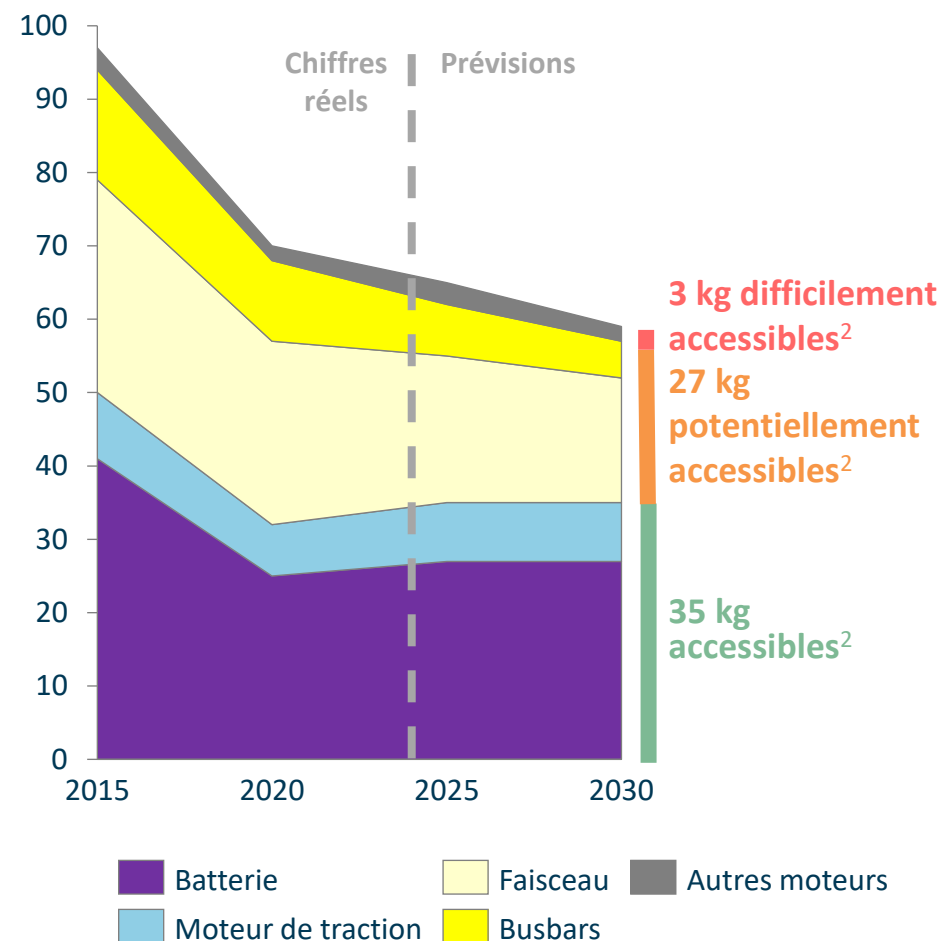
Contenu moyen en cuivre dans un ICE et un BEV

ESTIMATION

MASSE MOYENNE DE CUIVRE DANS UN ICE ET UN BEV DE 2022 |

En kg, 2022, S&P Global¹

MASSE MOYENNE DE CUIVRE, RÉPARTITION ET ACCESSIBILITÉ DANS UN BEV | En kg, 2015-2030, Benchmark Mineral Intelligence¹



1 : La masse totale de cuivre dans un BEV est différente entre les deux graphiques, tout comme celle d'un ICE qui diffère par rapport à la slide précédente.

En effet, les données proviennent de sources différentes, même si les ordres de grandeur sont identiques

2 : L'accessibilité mentionnée ici est d'ordre technique, et n'entend pas trancher le débat économique; masses projetées en 2025

Source : Benchmark Mineral Intelligence, Rho Motion, S&P Global, recherche & analyse Strat Anticipation

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION

- ▶ ÉTAT DES LIEUX

- ▶ **HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU**

 - PROBLÉMATIQUE DU CUIVRE POUR LA FERRAILLE ISSUE DES VHU

 - **RETRAIT DES FAISCEAUX POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DES CARCASSES**

 - TRI POST-BROYAGE AVANCÉ POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DE LA FERRAILLE

 - ÉCO-CONCEPTION DES CÂBLAGES : REMPLACEMENT DU CUIVRE PAR DE L'ALUMINIUM

- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER

- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF

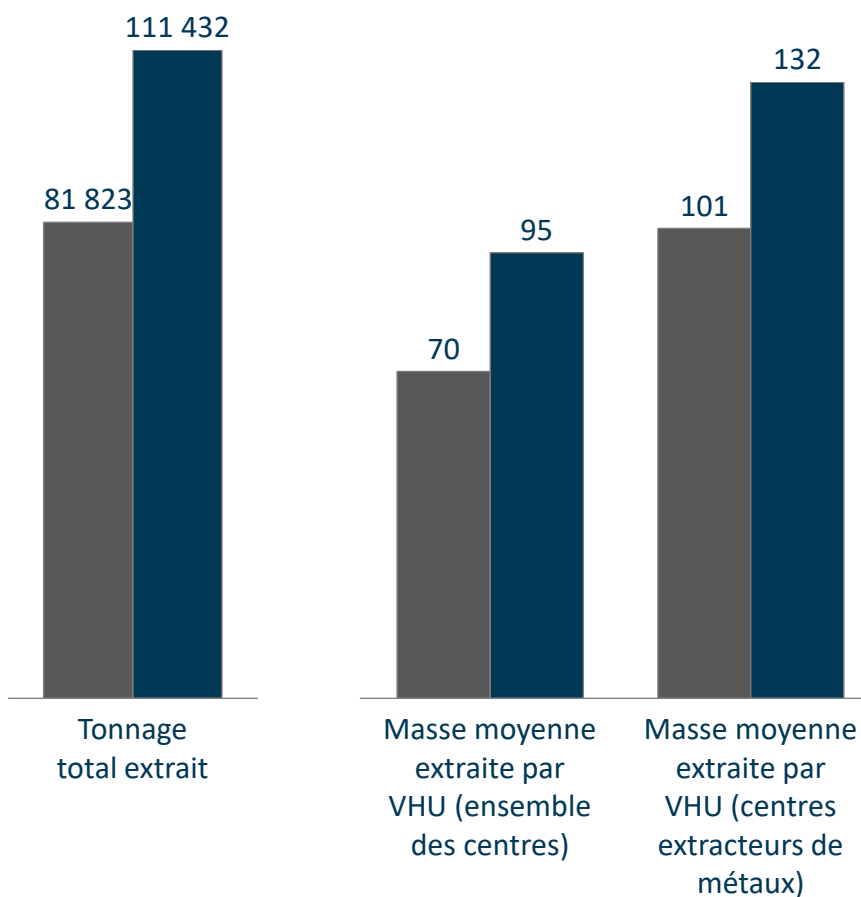
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Les métaux sont extraits pour près de 20% de leur masse totale dans un VHU, pour la PIEC ou le recyclage; la quasi-totalité du reste étant recyclé via broyage

Démontage actuellement réalisé dans les centres VHU - Métaux

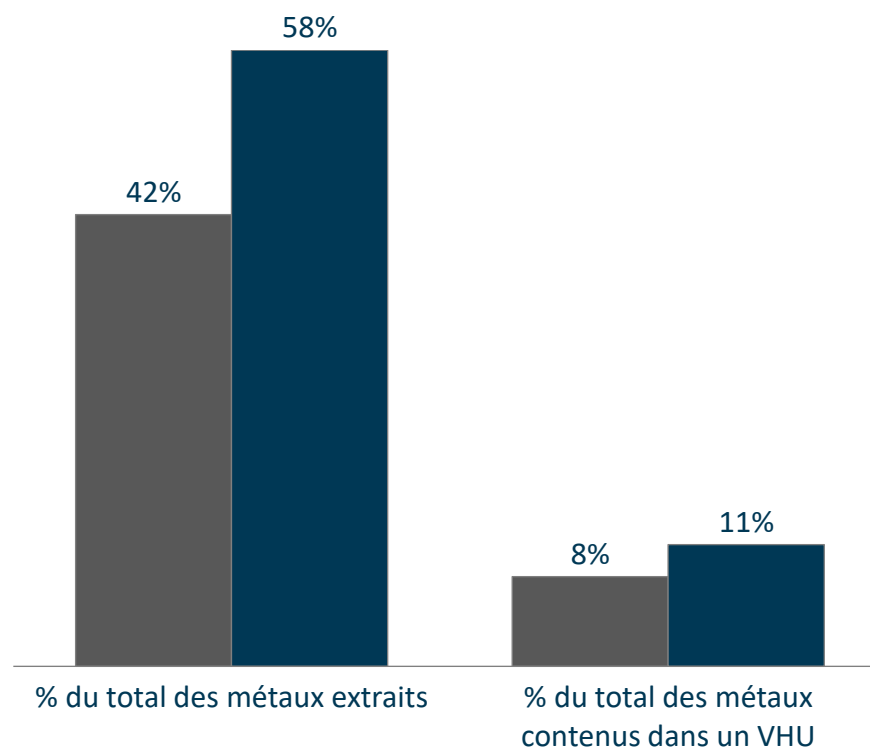
POIDS DES MÉTAUX RETIRÉS PAR LES CENTRES VHU |

En tonnes et Kg, France, 2022



PART DES MÉTAUX RETIRÉS PAR LES CENTRES VHU |

En %, France, 2022



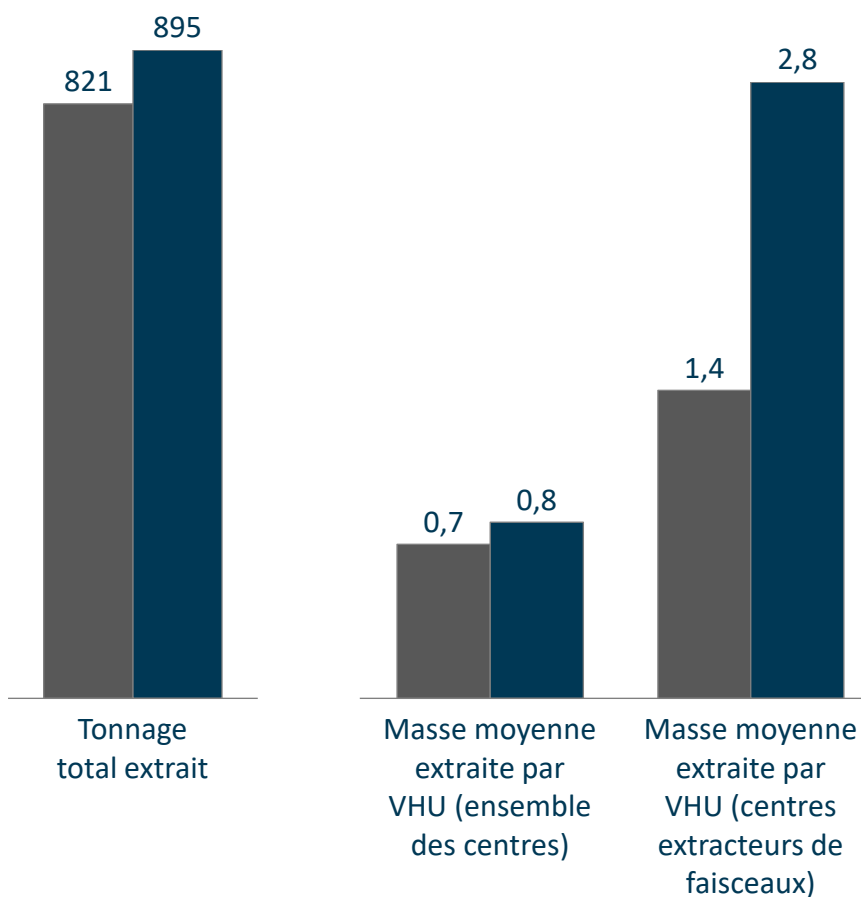
■ Métaux extraits pour la PIEC ■ Métaux extraits pour le recyclage

En moyenne, les centres VHU extraient 1,5 kg de faisceaux électriques par VHU avant broyage, soit environ 13% de la masse totale de faisceaux par véhicule

Démontage actuellement réalisé dans les centres VHU - Faisceaux électriques

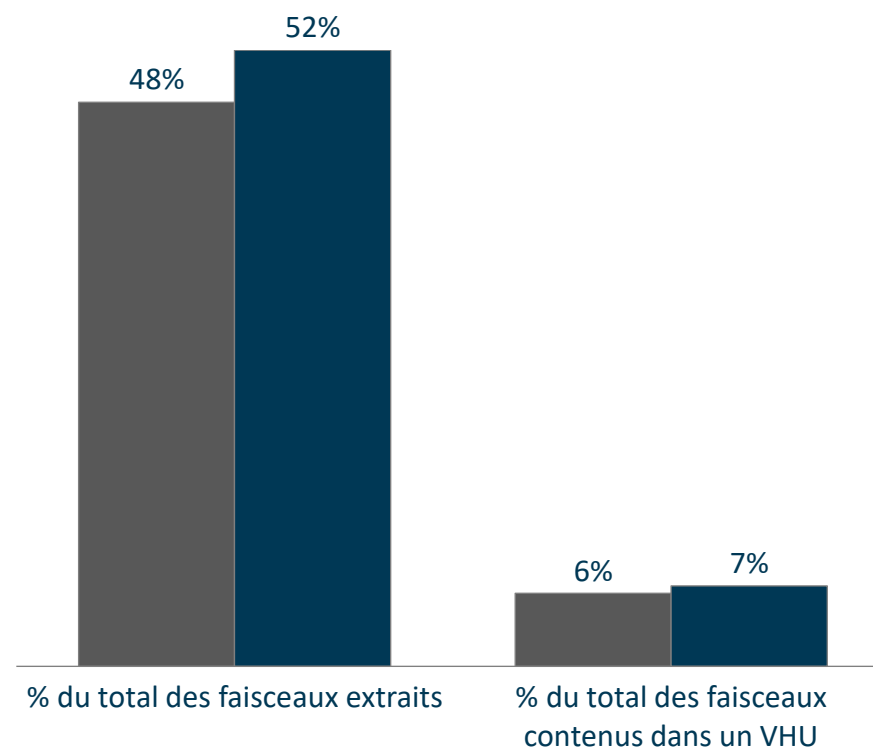
POIDS DES FAISCEAUX RETIRÉS PAR LES CENTRES VHU |

En tonnes et Kg, France, 2022



PART DES FAISCEAUX RETIRÉS PAR LES CENTRES VHU |

En %, France, 2022



■ Faisceaux électriques extraits pour la PIEC ■ Faisceaux électriques extraits pour le recyclage

Steel Car-to-Car

The potential of deep-dismantling to decarbonize automotive steel using ELV steel scraps

November 2024

1. Who are we ?



IMT is a **non-profit, independent Institute** which aims to produce **analyses** and **recommendations** based on **data, expertise** and **multi-stakeholder dialogue** with actors from the **industrial, economic, academic worlds**, the **civil society** and from **territories**, to foster an **efficient & just environmental transition**.

The project was launched in 2021 through an initiative led by **IDDRI** (sustainable development and international relations), financed by **ECF & TAH Foundation**.

4. Implementation: how do we proceed ?

+

- Low additional investment
- Simple and quick implementation
- Agile and targeted
- First owner privilege

-

- Diversity of current practices
- Quality control (steady)
- Today paid for non valuable materials (Hulk value on weight)

Deep-dismantling



2024

Advanced post-shredding



2025

+

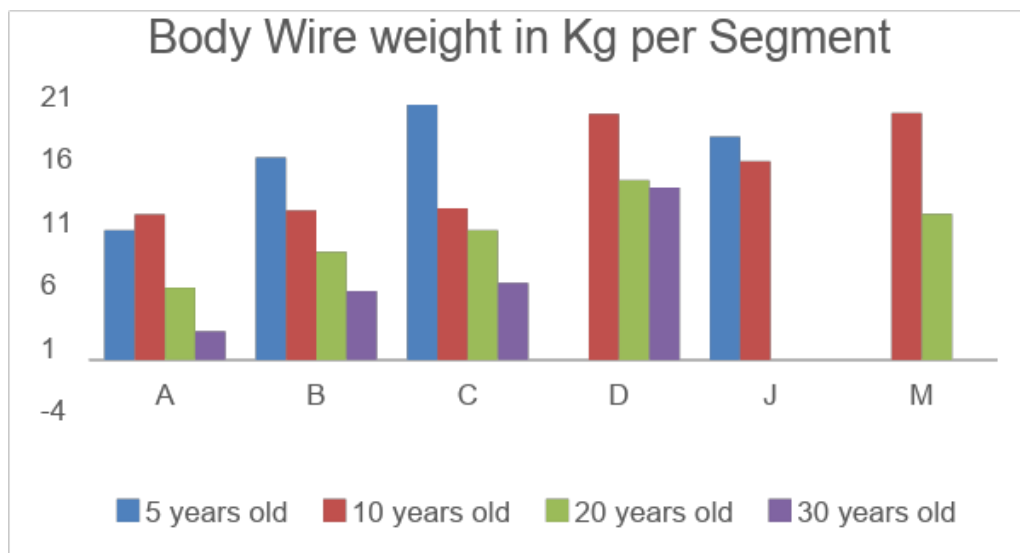
- Batches possible
- Quality stability : easier to pilot
- Quality standards easier to define

-

- Potentially: higher CAPEX, long term investment and slower implementation?
- **Low cost solutions to investigate**
- Logistic costs if few shredding sites equipped only

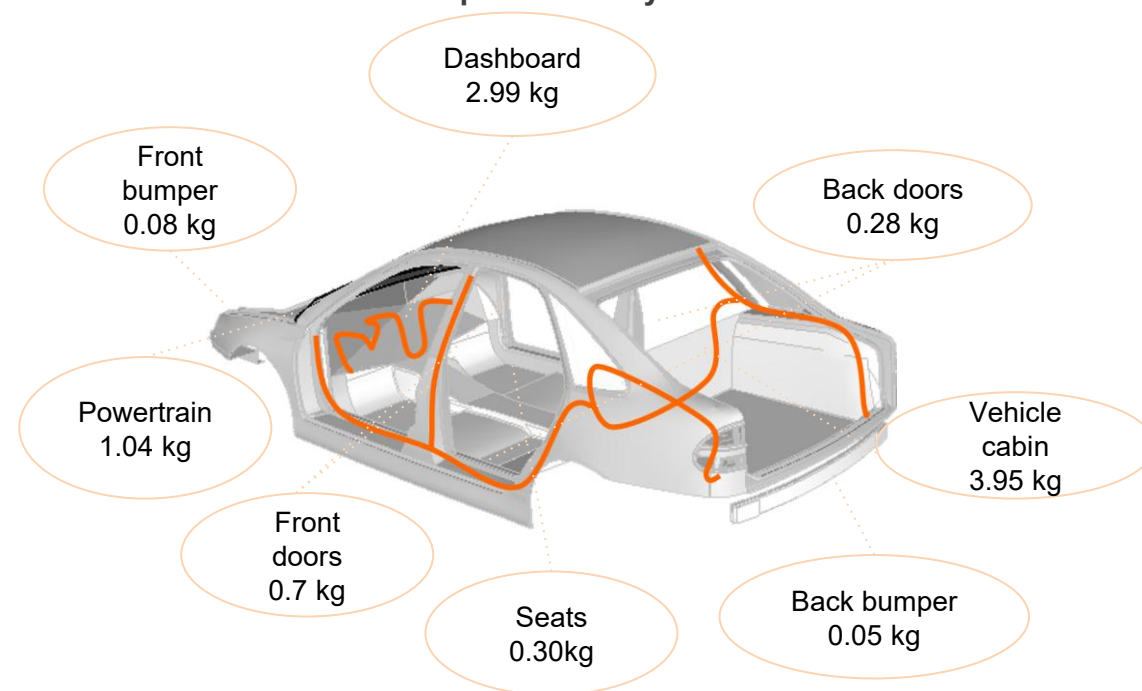
What and where is the value generated?
How is the value distributed?

7. First results (1): Copper wire repartition



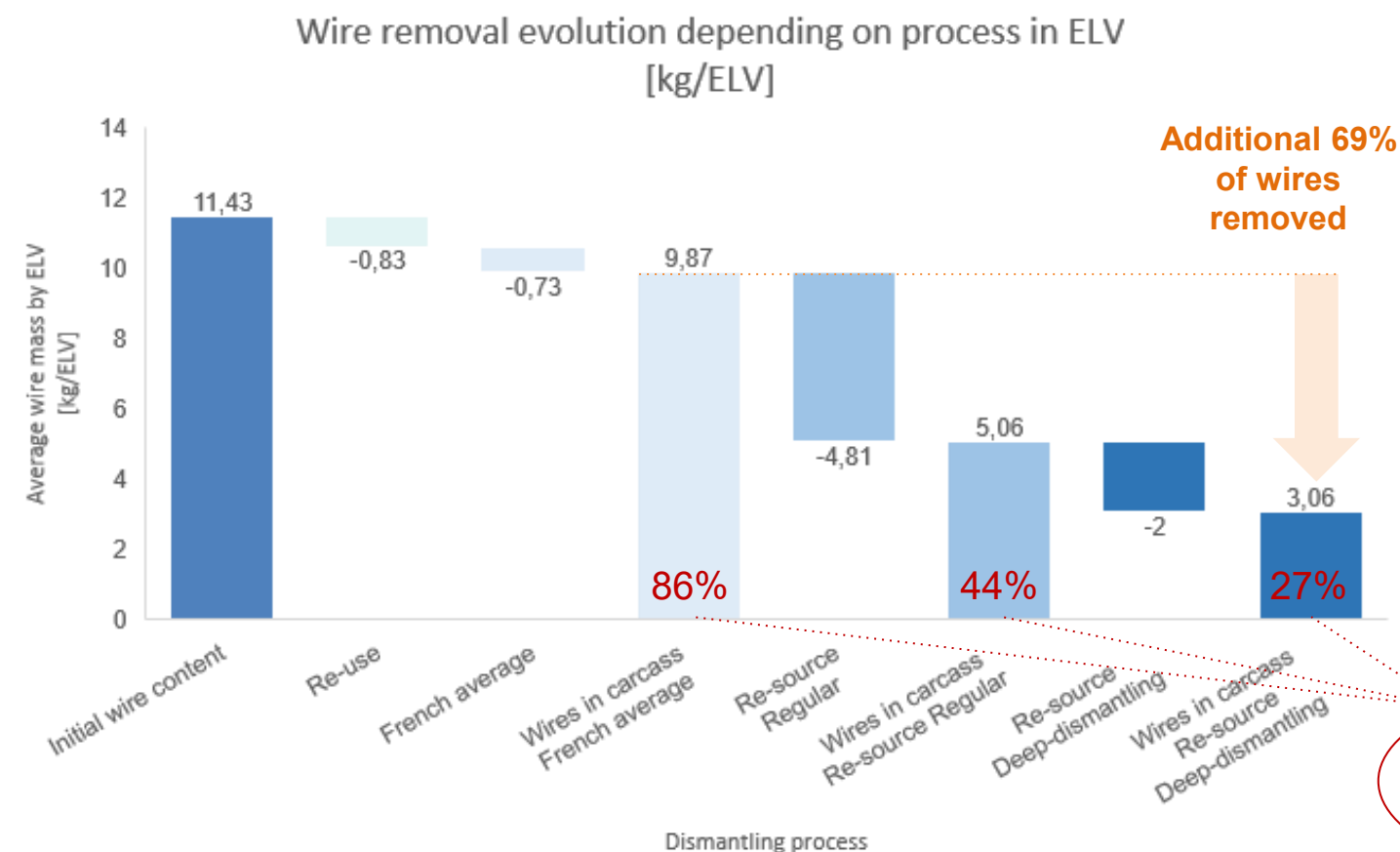
➔ **Copper content in vehicles tripled** over the past 20 years and **will continue to grow** with BEVs.

Total average copper wire content
11,43kg/ELV
ADEME data applied to sample representativity*



*Average ELV weight ADEME: 1135 kg
Average wires content ADEME: 9,68kg/ELV
Average ELV weight Sample: 1175 kg

7. First results (2) Copper wire content



Through **deep-dismantling process**, we reduced from 1,09% (French average) to **0,46%** (deep-dismantling) the **wires** remaining in the **carcass** sent to shredder.

% of wires remaining in carcass in comparison to original wires content

7. First results (3) Beyond E40 value

In terms of materials sales and labor cost, deep-dismantling requires **7min** additional **work time** to remove **17,5% additional copper wires** in comparison to Re-source (regular) dismantling process.

→ **Extra-costs are covered by extra value of material (excluding E40)**

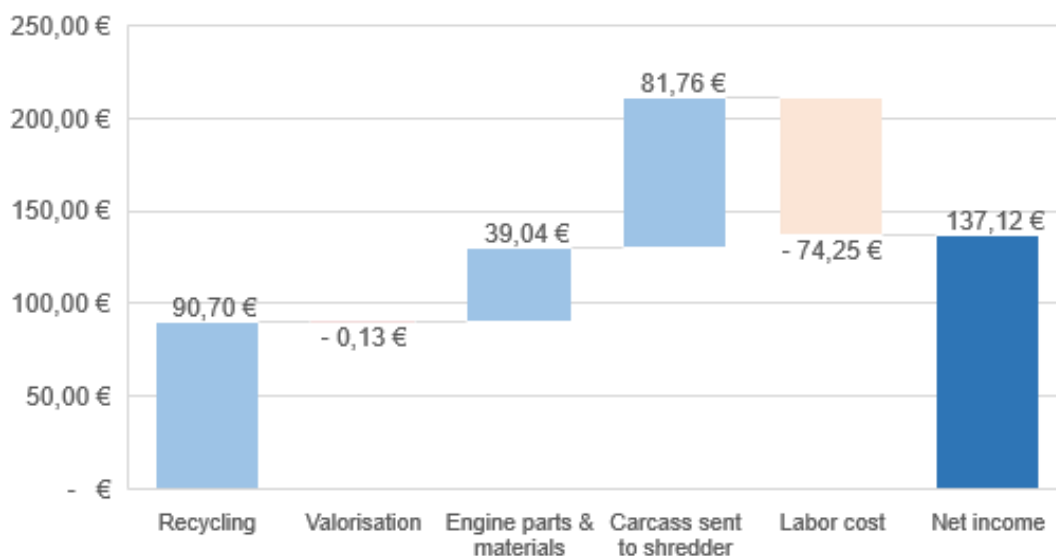
Prices March 2024

Copper wires: 2500 €/T

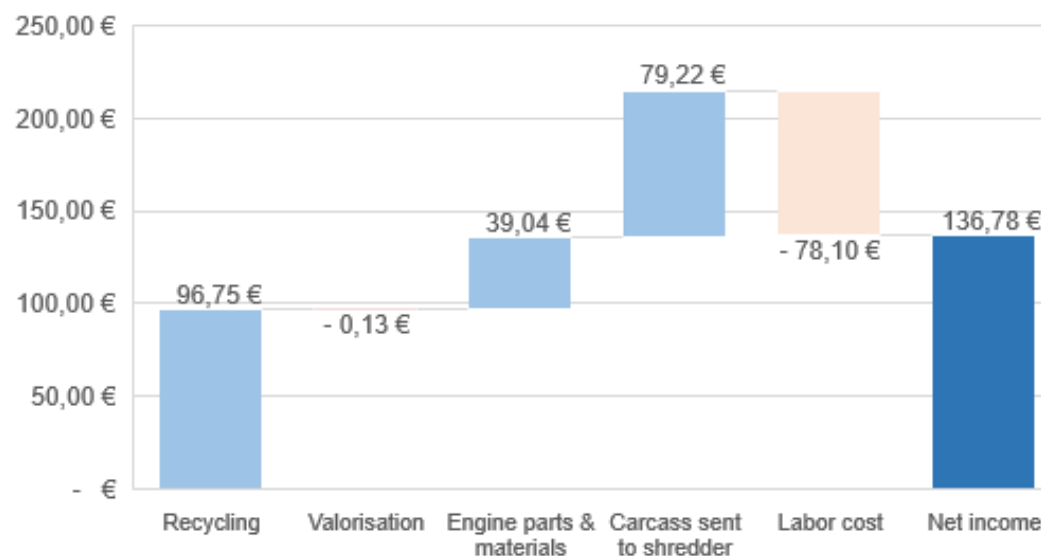
Labor cost: 33 €/h

Carcass: 100 €/T

Re-source (Regular)
Material sales and labor cost



Deep-dismantling (Re-source)
Material sales and labor cost



Une étude menée il y a une dizaine d'années confirme la faisabilité technique de l'obtention d'une ferraille E40 avec un faible niveau de résiduels

Etude sur ferraille E40 obtenue selon le traitement appliqué (ArcelorMittal, IRT M2P, ReSource, ENSAM Chambéry)

%	Fe	Cu	Cr	Ni	P	S	Mn	Mo	Al	SiO2	CaO	MgO	TiO2
VHU ENTIERS BROYÉS*1	94.18	0.333	0.200	0.066	0.019	0.021	0.443	0.009	0.513	0.721	0.193	0.333	0.070
VHU DÉMANTELÉS ²	93.42	0.159	0.042	0.042	0.023	0.059	0.094	0.004	0.055	0.762	0.964	0.624	0.144
VHU DÉMANTELÉS ET BROYÉS*1	95.06	0.113	0.147	0.040	0.018	0.019	0.373	0.007	0.223	0.678	0.177	0.353	0.053

- ▶ CELA CONFIRME QU'IL Y A UNE PERTE DE CUIVRE « PUR » DANS LA FERRAILLE E40 AUTOMOBILE AVEC UN PROCÉDÉ DE BROYAGE CLASSIQUE, D'ENVIRON 10% DE LA MASSE TOTALE EN CUIVRE
- ▶ IL Y A PROBABLEMENT UN PLANCHER AUTOUR DE 0,1% POUR LA TENEUR EN CUIVRE, À CAUSE DU CUIVRE LIÉ, DÉJÀ PRÉSENT DANS L'ACIER DES VHU AVANT LE BROYAGE
- ▶ CES CHIFFRES NE PRENNENT PAS EN COMPTE LES TECHNIQUES DE TRI POST-BROYAGE AVANCÉ ET DATENT D'UNE DIZAINE D'ANNÉES

 Polluants principaux de l'acier

1 : IRT M2P & ReSource; 2 : ReSource seul

Note : Procédé de broyage classique, sans tri post-broyage avancé

Source : ArcelorMittal, recherche & analyse Strat Anticipation

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION

- ▶ ÉTAT DES LIEUX

- ▶ **HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU**

- PROBLÉMATIQUE DU CUIVRE POUR LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- RETRAIT DES FAISCEAUX POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DES CARCASSES

- **TRI POST-BROYAGE AVANCÉ POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DE LA FERRAILLE**

- ÉCO-CONCEPTION DES CÂBLAGES : REMPLACEMENT DU CUIVRE PAR DE L'ALUMINIUM

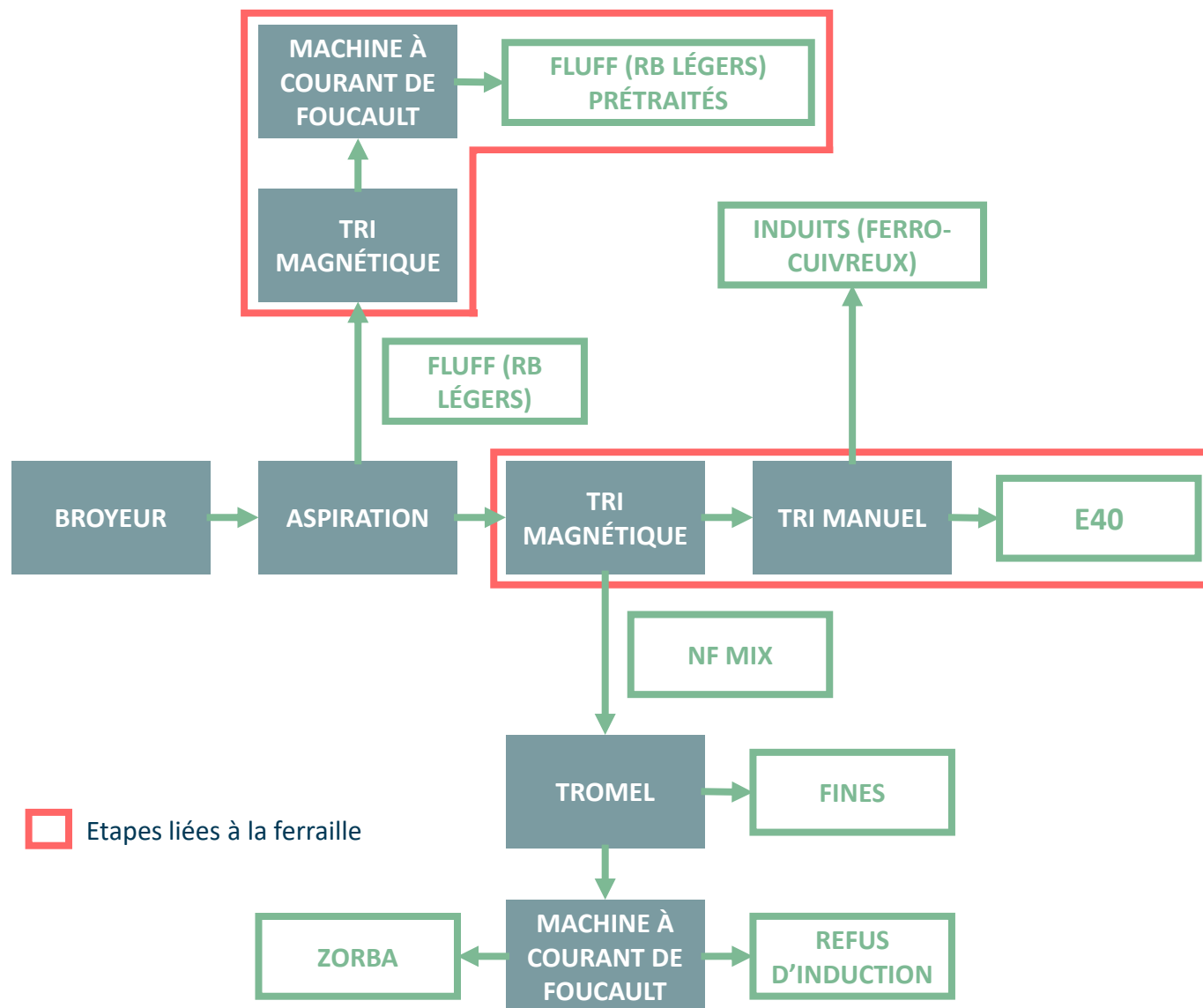
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER

- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF

- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Le broyage produit dans la plupart des cas trois flux: le « fluff », les métaux ferreux (E40) et le NF Mix. D'autres opérations sont réalisées par les acteurs avancés

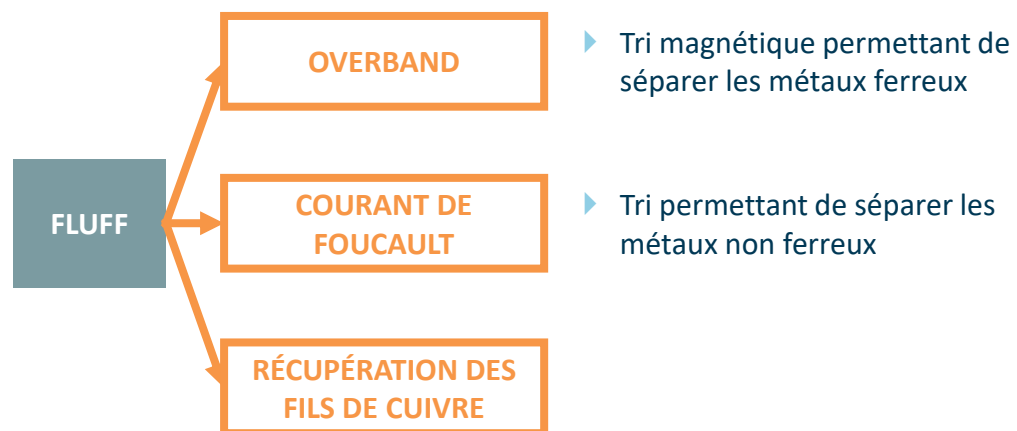
Schéma du processus typique de traitement des carcasses par les broyeurs agréés



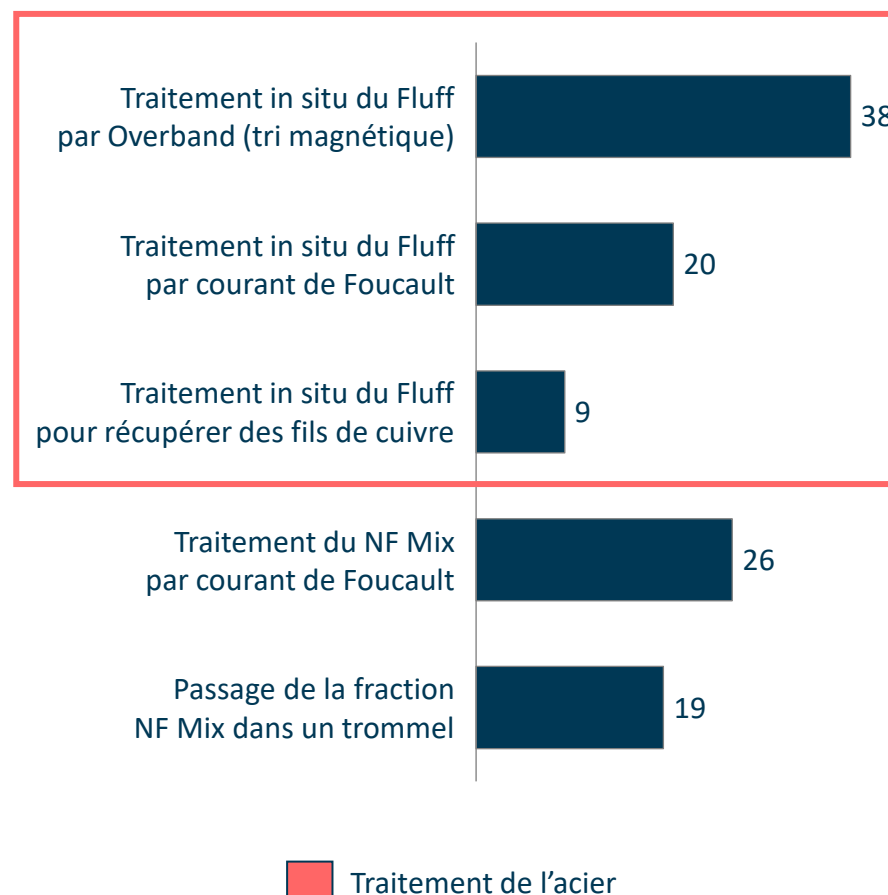
- ▶ Le processus typique de broyage des carcasses de VHU génère les flux suivants :
- Des flux métalliques : **induits ferro-cuivreux et E40**
- Le **fluff**, correspondant aux résidus de broyage légers
- Le **NF Mix**, en cas d'absence de machine à courant de Foucault in situ
- Les **fines**, à la suite d'un passage sur un dispositif de séparation granulométrique du NF Mix
- Le **zorba**, flux riche en métaux non ferreux, issu de la machine à courant de Foucault
- Les **refus d'induction**, flux pauvre en métaux non ferreux, issu de la machine à courant de Foucault

Environ la moitié des broyeurs agréés français dispose d'au moins une solution de traitement optionnel pour le « Fluff » et le « NM Mix »

Traitements classiques pour le tri post-broyage des métaux



TYPES DE TRAITEMENT OPTIONNELS EFFECTUÉS PAR LES BROYEURS* | En nombre de broyeurs, France, 2022



Note : Sur la base des 56 broyeurs ayant effectué une déclaration en 2023 parmi les 61 broyeurs agréés français, un broyeur peut choisir plusieurs options
 Source : ADEME - Observatoire VHU - État des lieux de la filière VHU en France en 2022, recherche & analyse Strat Anticipation

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION

- ▶ ÉTAT DES LIEUX

- ▶ **HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU**

- PROBLÉMATIQUE DU CUIVRE POUR LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- RETRAIT DES FAISCEAUX POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DES CARCASSES
- TRI POST-BROYAGE AVANCÉ POUR RÉDUIRE LA TENEUR EN CUIVRE DE LA FERRAILLE

- **ÉCO-CONCEPTION DES CÂBLAGES : REMPLACEMENT DU CUIVRE PAR DE L'ALUMINIUM**

- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Le cuivre est aisé à manipuler et encombre peu, mais est gênant dans la ferraille, car c'est un polluant métallurgique de l'acier, qui devient un élément d'alliage et le durcit

Avantages et inconvénients du cuivre et de l'aluminium comme conducteur pour câbles automobiles

	CUIVRE		ALUMINIUM	
THRÉSABILITÉ Capacité d'un matériau à être inséré dans des gaines	▶ Très flexible et manipulable, il permet une installation aisée, même dans des configurations complexes	+	▶ Moins flexible, difficile à manipuler en termes de procédés de fabrication	-
COÛT	▶ Plus cher à l'achat, le cuivre justifie son coût par des performances supérieures	-	▶ L'aluminium réduit les coûts globaux du câblage	+
MASSE	▶ Nettement plus lourd que l'aluminium	-	▶ Avec une masse réduite de 50 % par rapport au cuivre, l'aluminium permet des gains importants en masse	+
ENCOMBREMENT	▶ Plus compact, il permet une meilleure optimisation de l'espace dans les faisceaux et environnements restreints	+	▶ Sur une section donnée, il y a un facteur 1,6 entre l'espace occupé par l'aluminium et par le cuivre	-
CRITICITÉ	▶ Ressource stratégique et critique, le cuivre fait face à une demande croissante de nombreux secteurs	-	▶ L'aluminium est moins sous tension, mais les besoins en pureté compliquent l'approvisionnement	+
EFFET SUR LA QUALITÉ DE LA FERRAILLE BROYÉE ISSUE DES VHU	▶ Le cuivre est délicat à séparer des métaux ferreux, et est un polluant métallurgique pour l'acier, le principal matériau d'un VHU	-	▶ L'aluminium ne reste pas dans l'acier lors de la fusion de la ferraille, car il passe dans le laitier sous forme d'alumine	+

L'aluminium peut être une solution envisageable, compte tenu de ses qualités et de ses défauts, pour les câbles haute tension voire pour les « busbars »

Intérêt de l'aluminium pour le câblage par type d'usage

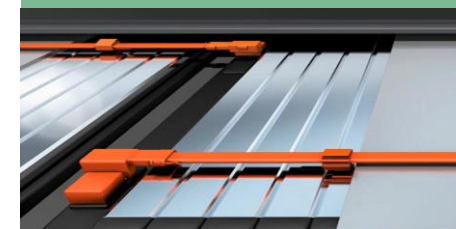
PETITS CÂBLAGES



CÂBLES HAUTE TENSION



BUSBARS



EXIGENCES DE CE TYPE DE CÂBLAGE

- ▶ Conductivité
- ▶ Flexibilité

- ▶ Réduction de poids
- ▶ Coût

- ▶ Poids
- ▶ Coût
- ▶ Encombrement

DÉFIS PRINCIPAUX DE L'ALUMINIUM

- ▶ Fragilité
- ▶ Perte de signal

- ▶ Connectique
- ▶ Corrosion galvanique
- ▶ Encombrement

- ▶ Section accrue
- ▶ Conductivité réduite

APPLICABILITÉ DE L'ALUMINIUM

Non optimal

Bien adapté

Partiellement adapté

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION
- ▶ ÉTAT DES LIEUX
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ **TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER**
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

Les aciers plats, qui représentent environ 48% du poids d'un VHU de 2022, sont en moyenne peu démontés par les centres VHU, en dehors des ouvrants (95 kg)

Principaux usages d'aciers plats dans un VHU actuel, masses associées et démontabilité

ESTIMATION

► Caisse en blanc - Aciers plats (300 kg)

- Exploitée le plus souvent via le **broyage**
- Plancher (60-80 kg) : Acier ferritique D
- Montants de toit (40-50 kg) : AHSS D
- Longérons avant/arrière (30-40 kg) : AHSS avec traitement thermique ou thermomécanique D
- Panneaux latéraux (30 kg) : Acier ferritique D
- Traverse centrale et renforts (20-30 kg) : AHSS ou acier à double phase (Dual Phase Steel) D



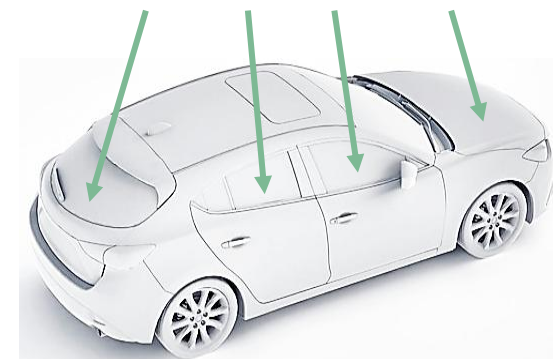
► Liaisons au sol - Aciers plats (163 kg)

- Exploitées le plus souvent via le **broyage**
- Planchers du châssis (50-70 kg) : Acier ferritique D
- Supports de suspension ou points d'ancrage (30-40 kg) : AHSS D



► Ouvrants - Aciers plats (95 kg)

- Exploités via le **démontage** ou le **broyage**
- Portières (50-60 kg) : Acier ferritique classique pour la majeure partie, avec des renforts locaux en AHSS D
- Capot (15-20 kg) : AHSS, avec renforts localisés D
- Coffre / hayon (15 kg) : Acier ferritique classique ou AHSS, selon la gamme du véhicule D



D Pièce souvent démontée¹ D Pièce parfois démontée¹ D Pièce rarement démontée¹

¹ : Correspond à une estimation du démontage moyen réalisé par les centres VHU, mais il y a une diversité de pratiques parmi les acteurs
Source : ADEME - Observatoire VHU - État des lieux de la filière VHU en France en 2022, recherche & analyse Strat Anticipation

Les aciers longs permettent de réaliser des pièces du groupe motopropulseur, qui sont retirées pour la plupart au moment du démontage du bloc moteur

— Principaux usages d'aciers longs dans un VHU actuel, masses associées et démontabilité (1/2)

ESTIMATION

► Groupe motopropulseur : exploité le plus souvent via le **démontage**

- Arbres et pignons : Acier forgé (27MnCr5, 20NiCrMo2, 27CrMo4)
- Bielles (4-12 kg) : Acier forgé (C7056, 38MnVS6, 46MnVS6)
- Ressorts de soupape (0,05-0,1 kg) : Acier pour ressort allié (54SiCr6, Superclean)
- Roulements (0,2-1 kg) : Acier à roulement (100Cr6, 100CrMo7)

D



D



D



D



► Groupe motopropulseur (suite)

- Pièces d'injecteur (0,1 kg) : Acier décolleté (Usimax D38, C45, C45Pb)
- Ressort d'embrayage (0,1-0,2 kg) : Acier pour ressort allié (54SiCr6, 60SiCrV7)
- Vis de bielles (0,05 kg) : Acier pour frappe à froid (Freeform M 1500)
- Vilebrequin/Pistons (10-20 kg/0,3-0,5 kg) : Acier forgé (38MnVS5, 41Cr54, 42CrMo4)

D



D



D



D



ETANT DONNÉ QU'UN CERTAIN NOMBRE DE PIÈCES LIÉES AU POWERTRAIN VONT DISPARAÎTRE AVEC L'ÉLECTRIFICATION, LE CONTENU MOYEN EN ACIERS LONGS DES VÉHICULES VA SUBSTANTIELLEMENT BAISSER : DE 185 À 120 KILOS

D

Pièce souvent démontée¹

D

Pièce parfois démontée¹

D

Pièce rarement démontée¹

¹ : Correspond à une estimation du démontage moyen réalisé par les centres VHU, mais il y a une diversité de pratiques parmi les acteurs
Source : ADEME - Observatoire VHU - État des lieux de la filière VHU en France en 2022, recherche & analyse Strat Anticipation

Les aciers longs servent à réaliser de nombreuses pièces de sécurité & confort et pour les suspensions de roues, assez peu démontées aujourd'hui pour la plupart

Principaux usages d'aciers longs dans un VHU actuel, masses associées et démontabilité (2/2)

ESTIMATION

► Châssis : exploité le plus souvent via le **broyage**

- Ressort de suspension (1,5-2,5 kg) : Acier pour ressort allié (54SiCr6, 61SiCr7, M 2050 S cor)
- Rotule (0,5 kg) : Acier pour frappe à froid (Freeform, 30MnVS6, 27MnCrB52)
- Tige d'amortisseur (1 kg) : Acier étiré et laminé à froid (C35, C45)
- Joint tripode (0,2-0,4 kg) : Acier forgé (C45, C60)
- Moyeu de roue (3-5 kg) : Acier forgé (30MnSiV6, 38MnSiV6, 41Cr54)



► Pièces de sécurité et de confort : exploitées le plus souvent via le **broyage**

- Barre de torsion de ceinture de sécurité (0,5-1 kg) : Acier étiré et laminé à froid (C100)
- Balai d'essuie-glace (0,2-0,5 kg) : Acier étiré et laminé à froid pour les structures métalliques (C18, C36, C20C)
- Ressort de rappel de sièges (0,1-0,3 kg) : Acier pour ressort allié (C60)
- Compresseur d'air conditionné (5-8 kg) : Acier décolleté pour les pièces métalliques (115MnPb30, 115Mn30, 100CR6)
- Éléments d'assemblage (vis, boulons) : Acier pour frappe à froid (37CrB1, 17MnB4, 23MnB4)



Pièce souvent démontée¹ Pièce parfois démontée¹ Pièce rarement démontée¹

1 : Correspond à une estimation du démontage moyen réalisé par les centres VHU, mais il y a une diversité de pratiques parmi les acteurs
Source : ADEME - Observatoire VHU - État des lieux de la filière VHU en France en 2022, recherche & analyse Strat Anticipation

Les aciers longs présentent des alliages plus complexes, avec une composition qui tolère différents métaux, ce qui les rend moins sensibles à la pollution au cuivre

Principaux alliages d'aciers à usage automobile - Caractéristiques générales

CATÉGORIE D'ACIER	TYPES D'ALLIAGES	ÉLÉMENTS D'ADDITION PRINCIPAUX	PROPRIÉTÉS MAJEURES	APPLICATIONS PRINCIPALES
ACIER PLAT	Aciers à faible teneur en carbone	Galvanisation avec une couche de zinc	Résistance à la corrosion très élevée, durabilité élevée, ductile	Panneaux de carrosserie, certains composants structurels
	Aciers à haute résistance élastique	Manganèse	Haute limite d'élasticité, ductile, résistance à la corrosion	Panneaux de carrosserie, châssis, poutres, longerons
ACIER LONG	Aciers à phase complexe	Aluminium, manganèse, chrome et molybdène	Petits grains, haute résistance à la traction, limite d'élasticité élevée	Suspensions de châssis, montants, pare-chocs, rails de siège
	Aciers à vanadium	Vanadium	Résistance à la fatigue par efforts de torsion et de flexion	Ressorts de suspension, barres anti-roulis, barres stabilisatrices, bielles de moteur
	Aciers à haute teneur en carbone	Chrome et carbone	Résistance mécanique élevée, haute dureté, haute ténacité	Engrenages, roulements, mandrins, joints
AUTRES	Aciers inoxydables austéno-ferritiques à double phase (utilisé pour des aciers longs et plats)	Chrome et nickel	Pas d'extension de rendement, pas de vieillissement à température ambiante, valeur de durcissement à la cuisson élevée	Traverses inférieures de cabines, vilebrequins, rails, supports de suspension
	Aciers inoxydables martensitiques	Chrome et manganèse	Taux d'élasticité, résistance à la traction élevée, énergie d'absorption d'impact élevée	Pare-chocs, barres de protection dans les portes, barres stabilisatrices de suspension

Les aciers inoxydables austéno-ferritiques, les aciers à haute teneur en carbone, et les aciers à vanadium tolèrent le mieux la présence du cuivre

Principaux alliages d'aciers à usage automobile - Composition chimique

CATÉGORIE D'ACIER	TYPES D'ALLIAGES	C	Si	Mn	Cu	V	Cr + Mo	Al	Ni
ACIER PLAT	Aciers galvanisés à faible teneur en carbone	<0,2%	<0,03%	<1,5%	<0,2%	-	<0,2%	<0,05%	0,2%
	Aciers à haute résistance élastique	<0,14%	<0,5%	<2%	-	<0,2%	-	-	-
ACIER LONG	Aciers à phase complexe	0,17%	0,8%	2,2%	<0,2%	-	1%	1,2%	-
	Aciers à vanadium	0,5%	0,2-0,4%	0,5-0,8%	<0,25%	0,1-0,2%	0,8-1,1%	-	<0,35%
	Aciers à haute teneur en carbone	0,5%	<0,4%	0,6-0,9%	0-0,4%	-	1-1,5%	-	-
AUTRES	Aciers inoxydables austéno-ferritiques à double phase	<0,03%	<1%	<2%	<0,5%	-	22-26%	-	3-8%
	Aciers inoxydables martensitiques	<0,35%	1,0%	1,5%	-	-	11,5-14%	-	0,75%

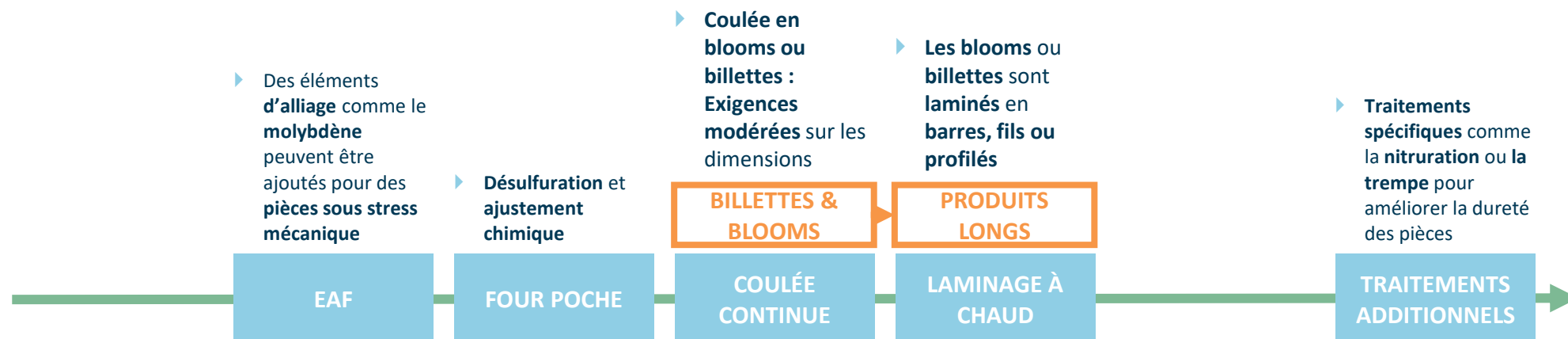
LE CUIVRE PRÉSENT DANS LA FERRAILLE ISSUE DE VHU SE COMPOSE À LA FOIS DU CUIVRE LIÉ, DÉJÀ PRÉSENT DANS L'ACIER, ET DU CUIVRE LIBRE QUI EST MÉLANGÉ À L'ACIER LORS DU BROYAGE

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION
- ▶ ÉTAT DES LIEUX
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ **CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF**
- ▶ SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS

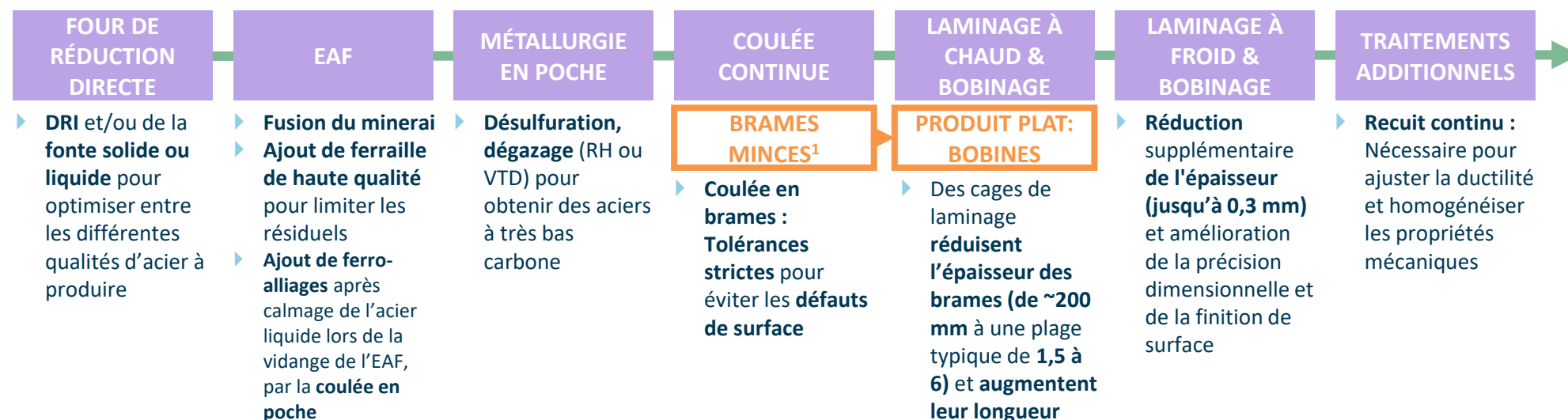
Produire des aciers plats autos en EAF à partir de ferraille est délicat, du fait des résiduels et de la finition de surface, seuls Sestao et Acciaieria Arvedi y arrivent dans l'UE

Processus de production des aciers plats et longs en four à arc électrique (EAF)



Acier long en EAF (Billettes ou blooms, procédé classique)

Acier plat à ArcelorMittal Sestao (EAF, technologie CSP)

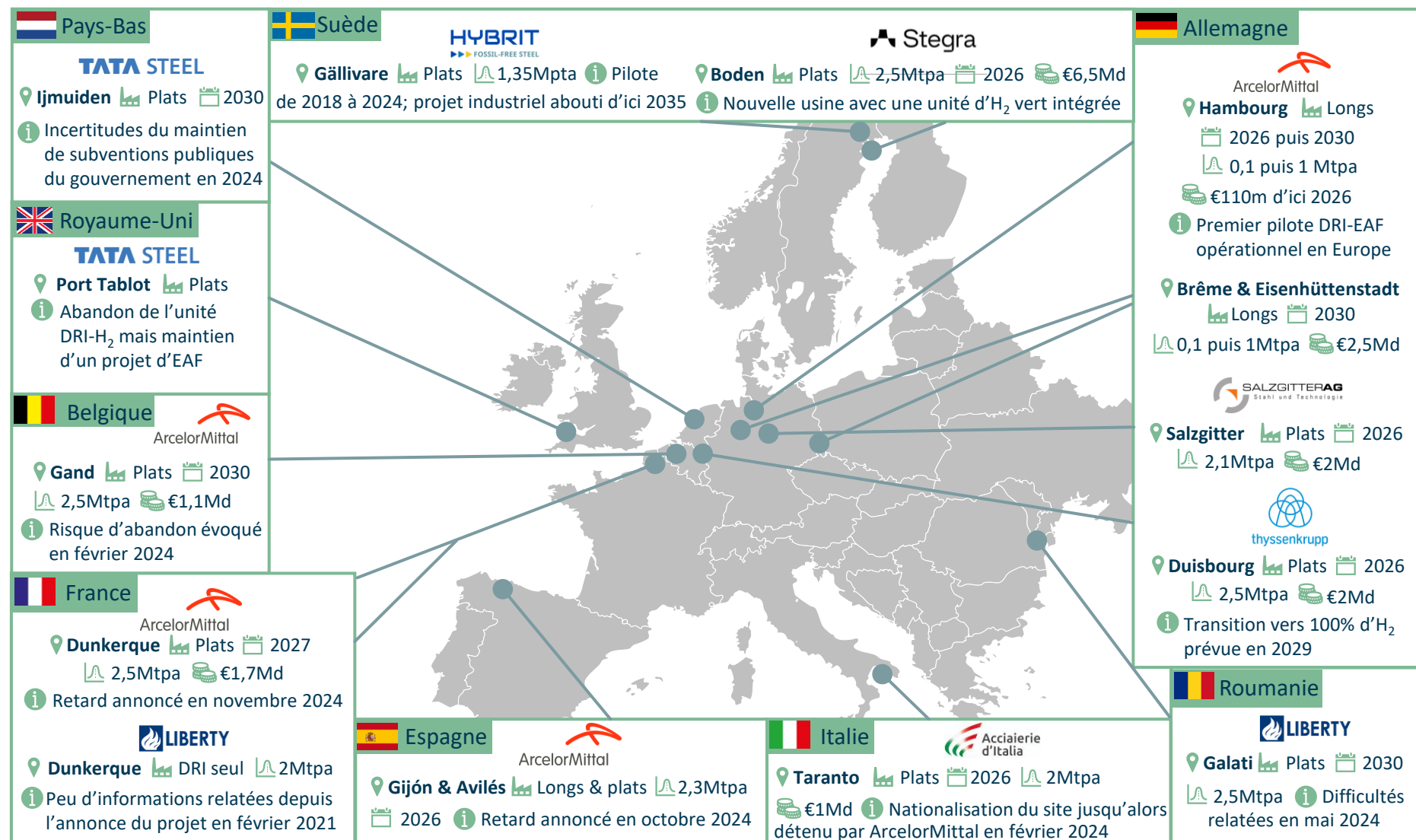


1 : Pas obligatoire pour faire des aciers plats, c'est la configuration de Sestao

Source : ArcelorMittal - Le DRI à hydrogène pour produire de l'acier sans charbon, Site Internet d'ArcelorMittal, recherche & analyse Strat Anticipation

Plus de 12 projets de DRI-H₂-EAF étaient envisagés en Europe, en majorité pour de l'acier plat automobile, mais beaucoup sont désormais incertains voire annulés

Cartographie des projets DRI-EAF annoncés en Europe



Source : IEEFA - Hydrogen unleashed : Opportunities and challenges in the evolving H₂-DRI-EAF pathway beyond 2024, Eurosteel – European Commission approves \$1.4 billion for ArcelorMittal steelmaking ops decarbonization in Germany (2024)

AGENDA

- ▶ INTRODUCTION
- ▶ ÉTAT DES LIEUX
- ▶ HAUSSE DU CONTENU MOYEN EN CUIVRE ET QUALITÉ DE LA FERRAILLE ISSUE DES VHU
- ▶ TOLÉRANCE AU CUIVRE DES PRINCIPAUX STANDARDS D'ACIER
- ▶ CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE DES ACIERS PLATS AUTOMOBILES À PARTIR DE FERRAILLE EN EAF
- ▶ **SUJETS CLÉS IDENTIFIÉS**

Les études et les entretiens suggèrent les sujets clés suivants pour la phase 2 du projet : amélioration des exigences techniques sur le contenu en cuivre,

Sujets clés - Acier

TRAVAILLER AVEC LES CONSTRUCTEURS SUR LES EXIGENCES TECHNIQUES EN TERMES DE CONTENU DE CUIVRE DANS LES ACIERS AUTOMOBILES

C

TRAVAILLER AVEC LES CONSTRUCTEURS SUR LA FACILITÉ DE DÉMONTAGE DES PIÈCES EN ACIER

D

ACCOMPAGNER LES CVHU À AMÉLIORER LE DÉMONTAGE DES CUIVRE & INOX ET À LES VALORISER (RF ÉTUDE IDDRI)

D

AMÉLIORER LES TECHNIQUES DE TRI POST-BROYAGE POUR ÉLIMINER LE MAXIMUM DE POLLUANTS



Rémi Cornubert

remi@stratanticipation.com

Mobile: +33 6 07 37 84 27

STRAT ANTICIPATION – 121 rue de Tocqueville– 75017 PARIS - FRANCE