



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



DÉCARBONATION  
DE L'INDUSTRIE

# FEUILLE DE ROUTE DE LA FILIÈRE MINES ET MÉTALLURGIE

MAI  
2021

# Sommaire

## Feuille de route de décarbonation de la filière Mines et Métallurgie

I.	Introduction et inventaire des émissions de la filière Mines et Métallurgie .....	3
II.	Les leviers de réduction des émissions.....	4
a)	Les leviers de réduction pour le secteur de la sidérurgie intégrée .....	7
b)	Les leviers de réduction pour le secteur de l'aluminium.....	10
	La réduction des émissions directes.....	10
	La notion d'empreinte carbone .....	12
c)	Les leviers de réduction pour le secteur de la métallurgie.....	14
III.	Appui public pour la décarbonation de la filière .....	16

# Feuille de route de décarbonation de la filière Mines et Métallurgie

Suite aux travaux pour la décarbonation de l'industrie menés dans le cadre du Conseil National de l'Industrie, l'Etat et la filière Mines et Métallurgie conviennent d'une feuille de route fondée sur les trajectoires de décarbonation des deux secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre (GES) de la filière : les industries de la sidérurgie et de l'aluminium. Eramet a également contribué à ces travaux, ajoutant ses propres objectifs de réduction et plan d'action à la feuille de route. Les autres secteurs de la filière seront traités en 2021 dans des feuilles de route dédiées.

## I. Introduction et inventaire des émissions de la filière Mines et Métallurgie

Les émissions directes de gaz à effet de serre de la filière **Mines et Métallurgie** s'élèvent à environ **26 Mt de CO<sub>2e</sub>** en 2015 sur le territoire national<sup>1</sup>.

Les secteurs de la sidérurgie intégrée et de l'aluminium représentent 87% de ces émissions avec respectivement 21,7 Mt de CO<sub>2e</sub> (incluant les émissions de la centrale de DK6<sup>2</sup>) et 1,2 Mt de CO<sub>2e</sub> en 2015. Le reste des émissions provient des aciéries électriques, des filières aval, avec notamment les sites de laminage et les fonderies, et des autres métaux, qui feront l'objet d'une feuille de route dédiée. Ces émissions représentent de l'ordre de 3,4Mt de CO<sub>2e</sub><sup>3</sup>.

La Stratégie nationale bas carbone (SNBC) fixe **pour l'industrie** un objectif de **réduction des émissions de GES en 2030 de 35% par rapport à 2015**. La trajectoire correspondante pour la filière **Mines et Métallurgie** est une réduction de **31% des émissions de GES entre 2015 et 2030**. La présente feuille de route, convenue entre l'Etat et la filière, vise à tendre vers cet objectif en proposant des actions à mettre en œuvre, et à réduire l'empreinte carbone de la filière (incluant les émissions sur le territoire national et celles liées aux importations) quand c'est nécessaire. Outre les leviers matures et quantifiables, la feuille de route identifie des leviers de rupture qui pourraient être mobilisés pour aller plus loin dans la décarbonation de la filière.

Les trajectoires identifiées de réduction des émissions directes sont les suivantes :

- Pour le **secteur sidérurgique intégré** (21,7 Mt CO<sub>2eq</sub> en 2015 si l'on intègre les émissions de la centrale DK6<sup>4</sup>) : une **réduction de 31% des émissions de GES entre 2015 et 2030** à travers la réduction des émissions des sites de Dunkerque et Fos-sur-Mer ;
- Pour l'**aluminium** (1,2 Mt CO<sub>2eq</sub> en 2015) : à périmètre industriel constant, la **réduction** des émissions du secteur sur le territoire national à horizon 2030 est évaluée dans une fourchette de **5% à 9% d'ici 2030 par rapport à 2015**, réduction qui pourra être plus importante au-delà de l'horizon 2030 à travers la mise en place de solutions de rupture. Il est à noter que les efforts de décarbonation ne sont pas entièrement reflétés dans le chiffre de baisse de 5 à 9% : l'augmentation de la

---

<sup>1</sup> D'après les données 2019 du système d'échange de quotas d'émission (SEQE) européen. Il est à noter que les émissions totales de la filière sont de 18.7 Mt CO<sub>2eq</sub> en 2015 d'après les chiffres du CITEPA 2019.

<sup>2</sup> Source : données SEQE 2019.

<sup>3</sup> Ibid.

<sup>4</sup> Ibid.

production d'aluminium recyclé en France – également évoquée dans cette feuille de route – permettrait par ailleurs de réduire les émissions directes et indirectes par tonne d'aluminium consommée ;

- Pour **Eramet** (246 ktCO<sub>2eq</sub> en 2018), l'objectif de réduction se chiffre en tonnes de CO<sub>2</sub> par tonne produite, c'est-à-dire en **intensité carbone** de la production, et devrait atteindre **7,3% en 2023 par rapport à 2018**.

En parallèle, d'autres travaux - au prisme plus large - sont en cours entre l'ADEME et certains secteurs de l'industrie, dont les industries de l'acier et de l'aluminium, pour co-construire des trajectoires de décarbonation ambitieuses à **horizon 2050**, conformément aux objectifs de l'industrie de la Stratégie Nationale Bas Carbone, sur la base d'analyses bibliographiques, d'échanges avec les industriels et de retours d'experts (projet des **Plans de Transition Sectoriels**<sup>5</sup>, auxquels les industriels se sont engagés à contribuer lors des discussions ayant permis de faire émerger la présente feuille de route).

Ces travaux permettent également d'estimer les investissements nécessaires pour déployer les leviers de décarbonation identifiés à l'échelle du secteur, d'identifier les impacts sur l'emploi, et de mettre en contexte la trajectoire du secteur en tenant compte de son implantation territoriale et de ses marchés également en transition. Au travers d'échanges et d'ateliers, le projet permet de soulever auprès des industriels et leurs parties prenantes (clients, fournisseurs, compétiteurs, financeurs, etc.) les actions publiques et privées à mettre en place pour suivre les trajectoires de décarbonation.

## II. Les leviers de réduction des émissions

La feuille de route présente, pour chaque secteur ou entreprise, des trajectoires de décarbonation basées sur différents leviers technologiques :

- Pour le secteur sidérurgique intégré : outre l'utilisation de leviers historiques tels que l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations, des actions de taux accrus de recyclage de l'acier sont prévues et un programme d'innovation d'envergure est en place afin de développer les technologies nécessaires à un futur à faibles émissions de carbone (cf. partie A).
- Pour l'aluminium : la trajectoire sera permise par la réduction des émissions de procédés liées à la fabrication d'aluminium primaire et par le biais de moyens incrémentaux de réduction des émissions liées à la transformation et au recyclage de l'aluminium. D'autres leviers pourraient être actionnés au-delà de 2030 avec le développement de technologies de rupture.

Par ailleurs, des efforts de productivité devraient aussi permettre de réduire légèrement la consommation électrique et donc les émissions de type Scope 2. Le développement du recyclage permettra de réduire notablement les émissions de type Scope 3, tout en renforçant la souveraineté nationale en matière d'approvisionnement en aluminium (cf. partie B).

- Pour la métallurgie (et en particulier le groupe Eramet) : les leviers matures mobilisables sont l'électrification de certains fours de traitement thermique d'alliages spéciaux, la réduction de l'utilisation d'additifs carbonés, l'optimisation du management de l'énergie par l'IoT (Internet of Things) et le Big-Data, l'amélioration de l'efficacité énergétique des utilités et la récupération de chaleur

<sup>5</sup> <https://finance-climact.fr/actualite/plans-de-transitions-sectoriels/>



fatale. A plus long terme, la « pré-réduction », l'utilisation d'hydrogène décarboné, la capture et le stockage de CO<sub>2</sub>, l'électrification et le biogaz pourront permettre d'accélérer la décarbonation des activités (cf. partie C).

Leviers de décarbonation mobilisables	Réduction des émissions annuelles de GES en 2030 par rapport à 2015 (en ktCO <sub>2,eq</sub> )
Amélioration de l'efficacité énergétique dans la production d'acier	<i>Non chiffré</i>
Augmentation du taux de recyclage d'acier circulaire	De l'ordre de -2600
« Smart Carbon » : innovation et évolutions technologiques dans la fabrication d'acier	De l'ordre de -4100
<i>Filière acier haut-fourneau</i> En % par rapport à 2015	-31 %
Amélioration de la maîtrise du procédé d'électrolyse dans la fabrication d'aluminium primaire	-45 à -90
Amélioration de l'efficacité énergétique dans la transformation et le recyclage de l'aluminium	-10 à -15
<i>Filière aluminium</i> En % par rapport à 2015	-5 % à -9%
	<b>Réduction de l'<u>empreinte carbone</u> annuelle en 2030 par rapport à 2015 (en ktCO<sub>2,eq</sub>)</b>
<i>Augmentation de la capacité de production d'aluminium recyclé en France, en remplacement des importations d'aluminium primaire</i>	-1800 <sup>6</sup>

Un **résumé des mesures globales** à conduire par la filière et par l'Etat est donné ci-après. Des mesures adaptées à chaque levier de décarbonation sont ensuite détaillées dans les parties suivantes. L'appui public relatif à la décarbonation de la filière est quant à lui l'objet de la partie 4.

<sup>6</sup> Hypothèse de remplacement de 200kt d'aluminium primaire importé par 200kt d'aluminium recyclé produit en France. Ce potentiel de réduction porte sur l'intégralité de l'empreinte carbone de l'aluminium consommé en France, qui inclut les importations d'aluminium, et les émissions directes et indirectes associées. L'empreinte carbone de l'aluminium consommé en France s'élèverait à environ 5,9 MtCO<sub>2,eq</sub> en 2015 d'après les premiers chiffres de la filière, qui ont vocation à être affinés en 2021.

***Actions transverses à mener par la filière :***

Les acteurs de la filière engageront aussi vite que possible des investissements liés à la décarbonation, en mobilisant les outils mis en place dans le cadre de la programmation pluriannuelle de l'énergie et du plan de relance (appels à projet pour la décarbonation de l'industrie, guichet ASP, guichets PIA etc.), ainsi que les fonds européens (Fonds de Transition Juste, Fonds Innovation de l'ETS notamment), et poursuivre le développement de projets permettant de développer des matériaux et procédés pour la transition énergétique de la filière, en particulier sur les innovations de rupture.

***Actions transverses à mener par l'Etat :***

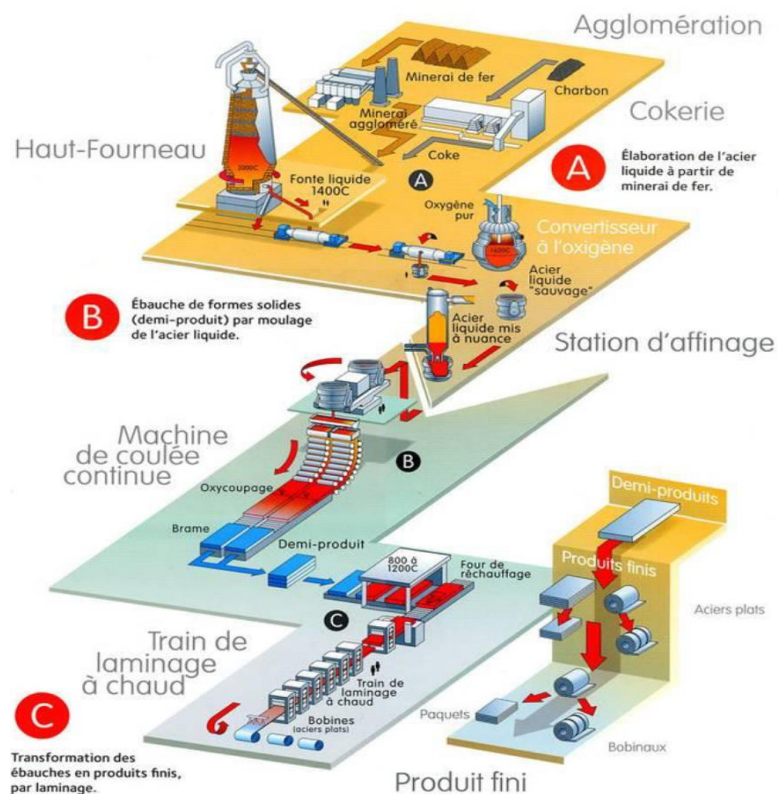
Le soutien de l'Etat doit se matérialiser par des outils de financement de R&D, industrialisation et déploiement industriel permettant la décarbonation et favorisant le recyclage, comme ceux mis en place dans le cadre de France Relance (soutien de 1,2 Md€ pour la décarbonation de l'industrie) qui gagneront à être pérennisés ou au moins prolongés au-delà de 2022. Il doit s'accompagner d'instruments de défense contre le risque de fuite de carbone dans l'élaboration de la phase 4 du marché carbone européen avec la promotion d'un Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières pour l'acier, comprenant des dispositions correctrices pour éviter les effets de bord à l'export et sur les filières aval (ce qui suppose notamment de veiller à un calendrier adapté d'extinction à horizon 2030 du dispositif actuel de protection contre les fuites de carbone), du maintien des outils permettant un accès compétitif et prévisible à l'électricité décarbonée à long terme, ainsi que du soutien au développement de l'hydrogène bas-carbone.

## a) Les leviers de réduction pour le secteur de la sidérurgie intégrée

La trajectoire à l'horizon 2030 prévoit pour le secteur sidérurgique, qui a émis 21,7 MtCO<sub>2eq</sub> en 2015 (en incluant les émissions de la centrale DK6), **une réduction des émissions de 31% en France pour les deux sites intégrés de Dunkerque et Fos-sur-Mer d'ici 2030 (et de 30% en Europe) par rapport au niveau de 2015, soit de 7,4 Mt CO<sub>2eq</sub>** (émissions totales, y compris les centrales thermiques, ou de 5,8 Mt pour les émissions directes des usines sidérurgiques hors centrales thermiques adjacentes<sup>7</sup>). La filière intégrée vise également une neutralité carbone à horizon 2050, en cohérence avec les objectifs de l'Accord de Paris et le Green Deal de l'Union européenne.

Dans la sidérurgie, de loin le principal émetteur de la filière (plus de 94 % des émissions totales), un programme d'innovation sans précédent est en place visant à développer les technologies nécessaires à un futur à faibles émissions de GES. L'une des principales solutions, à long terme, est de trouver un agent réducteur alternatif à l'utilisation du carbone - sous forme de charbon actuellement - dans la fabrication de l'acier primaire (illustrée dans le schéma ci-dessous). Ces technologies sont développées en Europe et, en fonction des résultats, elles pourront être déployées sur des sites sidérurgiques français.

Procédé de fabrication de l'acier : la filière intégrée



<sup>7</sup> Nous n'évoquons ici que les projets envisagés par le groupe ArcelorMittal sur le territoire français.

Pour atteindre ses objectifs, la feuille de route décarbonation de la filière intégrée de la sidérurgie repose sur :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique ;
- l'augmentation du recyclage de l'acier ;
- les deux voies innovantes développées dans des sites européens, comprenant des sites français :
  - « Smart Carbon / Haut-fourneau vert », qui vise à transformer la filière haut-fourneau pour produire de l'acier neutre en CO<sub>2</sub> ;
  - « DRI (Direct Reduced Iron) / Hydrogène », qui vise à remplacer le charbon par l'hydrogène pour réduire le minerai de fer sans émettre de CO<sub>2</sub>.

A court terme, un premier levier est **l'efficacité énergétique**, qui fait l'objet d'une amélioration continue et permanente au sein des sites. De nombreuses actions sont mises en place et suivies régulièrement dans un plan dédié. Par exemple, pour le site de Dunkerque :

- L'optimisation des systèmes de soufflantes produisant le vent froid des hauts-fourneaux (projet Eole) ;
- La recirculation des gaz chauds en fin de chaîne d'agglomération (projet WGR *waste gas recirculation*), combiné à un projet d'amélioration du dépoussiérage des agglomérations ;
- La réorganisation complète de l'ensemble des chaudières du site.

Cependant, beaucoup de progrès ont déjà été réalisés dans ce domaine et les consommations d'énergie sont déjà optimisées sur les sites. **Une réduction des émissions de procédé** permettrait des gains beaucoup plus importants.

Jusqu'à 2030, au moins 30% de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> :

- **L'augmentation du taux de recyclage d'acier circulaire** sur les sites de Dunkerque et Fos-sur-Mer, d'ici 2024. La maximisation de l'enfournement de ferrailles permettra en effet de réduire la proportion de fonte au convertisseur avec les installations existantes. L'amélioration de la logistique d'approvisionnement des ferrailles sera également nécessaire. Au total, **la réduction de CO<sub>2</sub> ciblée est d'environ 12% d'ici 2030.**
- **A travers la voie « Smart Carbon », des innovations et évolutions technologiques** telles que :
  - La réduction de l'utilisation de charbon dans le haut fourneau (coke et charbon pulvérisé) par la **réinjection des gaz sidérurgiques, et potentiellement par l'utilisation d'hydrogène**, pour substituer le charbon fossile (coke et charbon pulvérisé). Il s'agit du projet IGAR Hybrid HF3.

Le projet IGAR Hybrid HF3 s'inscrit au cœur de la stratégie de décarbonation d'ArcelorMittal. Il a pour principe de faire recirculer dans le haut-fourneau les gaz sidérurgiques réducteurs issus des procédés : cokerie, aciérie et haut-fourneau. La première étape du projet consiste à co-injecter du gaz de cokerie dans le haut-fourneau. Le gaz de cokerie est constitué principalement de 60% d'hydrogène et de 22% de méthane. Cette co-injection permettra de préparer le haut-fourneau aux futures injections d'hydrogène tout en réalisant une première réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. L'étape suivante consistera à faire recirculer dans le haut-fourneau des gaz de haut-fourneau et d'aciérie riches en monoxyde de carbone grâce à une injection en cuve, après les avoir séparés et réchauffés. Après ces deux étapes, le résultat final obtenu permettra une nouvelle baisse des émissions de CO<sub>2</sub>. Après la mise en œuvre d'IGAR Hybrid HF3 et l'atteinte de ses objectifs, une troisième étape consistera à injecter un gaz synthétique en cuve et aux tuyères, ceci afin d'éliminer complètement l'air et donc l'azote injecté aux tuyères, et ainsi de maximiser le gain de CO<sub>2</sub>.



- **L'utilisation du gaz issu des hauts-fourneaux**, pour générer de l'éthanol ou d'autres composés précurseurs de l'industrie des polymères, utilisables par la pétrochimie. Un pilote de démonstration industrielle *Carbalyst®* de 120 M€ est développé à Gand (Belgique) pour capturer les gaz résiduels du haut-fourneau et les convertir biologiquement en éthanol. Ce procédé a vocation à être déployé en France (Fos-sur-Mer) avant 2030. Un deuxième projet, *CarbHFlex*, qui serait testé en France sur le site de Fos-sur-Mer, vise à démarrer dès 2026 la production de composés organiques.
- **La génération d'agents réducteurs (solides ou gazeux) puis leur utilisation en remplacement de combustibles fossiles.** Cette génération s'opère à partir de produits de récupération (économie circulaire). Le PCI (« Pulverized Coal Injection »), charbon fossile injecté dans les hauts-fourneaux, est remplacé par du charbon de bois (procédé Torero) issu de la torréfaction ou pyrolyse de bois de récupération, par des granulés de plastique/CSR (combustibles solides de récupération) ou par du gaz issu d'un procédé de gazéification de déchets divers (dont plastiques). Pour ce procédé, totalement nouveau, de nombreuses inconnues demeurent quant aux performances industrielles réelles et nous rendent prudents sur la précision des estimations de gain.
  - Le projet Torero (40 M€), développé à Gand (Belgique), vise à convertir annuellement 120 000 tonnes de déchets de bois en bio-charbon. Ce procédé a vocation à être déployé en France d'ici à 2030.
  - Le procédé de production de pellets plastique demandera de nombreux ajustements, notamment sur le tri des plastiques, afin d'éviter les déchets de plastique chloré.
- **Pour aller vers la neutralité carbone, la capture et le stockage du carbone issu des hauts-fourneaux.** Le projet 3D sur le site d'ArcelorMittal de Dunkerque, déjà démarré depuis 2019, vise à valider un procédé développé par l'IFPEN de capture du CO<sub>2</sub> issu du gaz sidérurgique, avec un démonstrateur pour un investissement de 19,3 M€ sur quatre ans avec un soutien de 14,8 M€ de subventions de l'UE. Une première unité industrielle pourrait être opérationnelle sur le site ArcelorMittal de Dunkerque à partir de 2026, et devrait capter de l'ordre de **1 Mt CO<sub>2</sub> /an**. Si la capture/séparation de CO<sub>2</sub> a tout son sens pour améliorer la pureté des gaz riches en CO et H<sub>2</sub> utilisés dans CarbHFlex et/ou Igar, elle permettrait également d'éliminer le CO<sub>2</sub> excédentaire permettant de réduire à zéro les émissions GES sur le site.

Le déploiement des projets inscrits dans cette voie « **Smart Carbon** » représenterait environ **19% de réduction de CO<sub>2</sub>**.

Pour déployer les projets de ces différents leviers, ArcelorMittal devrait investir de l'ordre de **1,8 Md€ sur 10 ans** sur les sites de Dunkerque et de Fos-sur-Mer.

A plus long terme, au-delà de 2030 :

- **La réduction du minerai de fer avec de l'hydrogène ou par un procédé d'électrolyse.**
- **L'hydrogène** tient une place importante dans la stratégie d'ArcelorMittal. Plusieurs projets pilotes sont en cours de lancement, notamment un projet significatif pour tester la fabrication de boulettes de minerai pré réduit (DRI) avec de l'hydrogène sur le site d'Hambourg, à travers un projet de 60 M€. Un déploiement à grande échelle est envisagé sur le site de Dunkerque, et ce projet est candidat au PIIEC, en partenariat avec Air Liquide, qui contribuera à réduire les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> du site de 2,85 millions de tonnes d'ici 2030. D'autre part, d'autres projets sont

également prévus pour les sites de Dunkerque et Fos-sur-Mer portant sur la valorisation d'hydrogène décarboné par électrolyse sur une filière haut-fourneau décarbonée (injection d'hydrogène par électrolyse pour la réduction du minerai de fer et injection directe aux tuyères du haut-fourneau) et l'utilisation d'hydrogène avec captage de CO<sub>2</sub> sur la filière HF en synergie avec le stockage du CO<sub>2</sub>.

- Le projet *Siderwin* étudie la réduction du minerai de fer par électrolyse. Le projet, au stade de pilote de laboratoire, est cofinancé par l'Union européenne à hauteur de 7 M€, et pourrait nécessiter, à terme, de grandes quantités d'électricité décarbonée.

Toutefois, à ce jour, toutes les études technico-économiques menées, ainsi que les études prospectives sur l'évolution des coûts de l'hydrogène (que ce soit l'H<sub>2</sub> par électrolyse ou par capture de stockage de CO<sub>2</sub>) ne montrent pas une rentabilité économique de cette solution à l'horizon 2030 hors soutien public, par rapport aux anticipations sur le cadre économique.

#### **Actions à mener par la filière :**

- Poursuivre la R&D pour la réduction des émissions liées à la fabrication d'acier en filière fonte et à sa première transformation;
- Promouvoir la mise en œuvre d'opérations d'efficacité énergétique;
- Mettre en œuvre le procédé de recirculation des gaz de hauts-fourneaux;
- Evaluer le potentiel technologique et industriel de la capture et du stockage de carbone pour la production d'acier, ainsi que pour la technologie de pré-réduction du minerai de fer.

#### **Actions à mener par l'Etat :**

- Poursuivre le soutien à l'investissement pour les projets de décarbonation de l'industrie grâce au renouvellement de l'AAP dédié et en soutenant les projets PIEEC;
- Mettre en place des outils de financement en matière de R&D et d'industrialisation permettant la décarbonation;
- Maintenir les outils permettant l'accès à une électricité décarbonée compétitive;
- Travailler à la mise en place des mécanismes de financement de Contrat Carbone pour différence.

## **b) Les leviers de réduction pour le secteur de l'aluminium**

### **La réduction des émissions directes**

L'industrie de l'aluminium a émis 1,2 MtCO<sub>2eq</sub> en 2015. Il convient de différencier les émissions associées aux usines de production d'aluminium primaire (0,79 Mt de CO<sub>2e</sub>, soit 65% des émissions du secteur) et les émissions liées à la combustion de produit fossiles pour les fonderies de recyclage, l'alumine et le laminage (0,41Mt de CO<sub>2e</sub>, soit 34%).

A périmètre industriel constant, la réduction des émissions de CO<sub>2eq</sub> sur le territoire national est évaluée entre 55 à 105 kt CO<sub>2eq</sub> (soit -5% à -9%) en 2030 par rapport à 2015 et se fera par :

- **La réduction des émissions de procédés liées à la fabrication d'aluminium primaire d'ici 2030 : - 45 à - 90 kt CO<sub>2eq</sub>.**

Le principal levier porte sur **l'amélioration de la maîtrise du procédé d'électrolyse** en vue de réduire les effets d'anode, qui génèrent des émissions de PFC, gaz à très fort potentiel de réchauffement global ;

A titre d'exemple, le projet PIANO (Pilotage Individuel des ANOdes) développé dans les deux centres de recherches français de Rio Tinto (LRF et Aluval) depuis 2018 permettrait de réduire de 16 % les émissions de GES via la réduction des effets d'anode. Le montant total du projet de recherche est de 2,5 M€ ;

- **La réduction par des moyens incrémentaux des émissions liées à la transformation et au recyclage de l'aluminium** de 6% à 9% à l'horizon 2030 : **-10 à -15 kt CO<sub>2eq</sub>** par rapport au niveau de 2015, à périmètre constant (c'est-à-dire sans les investissements en recyclage mentionnés ci-après), pour un coût d'investissement estimé de 60 à 100M€. Il n'est pas envisagé une électrification complète des usines de transformation et de recyclage sans subvention d'exploitation.

De façon plus prospective, **au-delà de 2030**, le secteur aluminium pourrait mettre en œuvre les leviers suivants pour sa décarbonation :

- **La capture et le stockage du carbone issu de l'électrolyse.** Les centres de R&D du LRF et d'Aluval évaluent les possibilités d'une captation carbone soit au niveau de la superstructure soit en cheminée. Les sites d'aluminium primaire sont en veille sur les technologies développées par le secteur de la sidérurgie avec comme projet de les adapter à leur production si c'est compatible. Compte tenu de la probable localisation future des sites de stockage de CO<sub>2</sub>, cette technologie s'adressera vraisemblablement en premier lieu à Dunkerque. Un groupe de travail composé les acteurs français se met en place en 2021 pour évaluer le potentiel technologique et industriel de cette approche.
- **La réduction des émissions de procédés liées à la fabrication d'aluminium primaire de 100 % d'ici 2050** : **-710kt CO<sub>2eq</sub>** en faisant l'hypothèse d'une production d'aluminium primaire constante. Rio Tinto en France et au Canada est engagé dans une joint-venture avec ALCOA (nommée ELYSIS), qui vise le développement d'une technologie « 0 carbone » pour produire l'aluminium primaire, avec un effort de R&D très élevé.

A un horizon post-2030, l'adoption par les usines de production d'aluminium primaire de Dunkerque et de Saint-Jean-de-Maurienne de technologies de production à très faibles émissions de procédés, par exemple la technologie de l'anode inerte, nécessiterait une mise à disposition de la technologie (licences) et des investissements estimés aujourd'hui à plusieurs centaines de millions d'euros pour chacun des deux sites.

- **L'électrification complète de la transformation de l'aluminium.** Compte tenu de l'importance des coûts d'investissement et des surcoûts d'exploitation et de maintenance, la garantie d'un soutien financier dans la durée serait indispensable avant toute opération de ce type. Les émissions de CO<sub>2eq</sub> résiduelles seraient liées au recyclage (vernis, peintures, déchets organiques,...) et limitées à 10 ou 15% des émissions directes actuelles.

**Actions à mener par la filière :**

- Poursuivre la R&D pour la réduction des émissions liées à la fabrication d'aluminium primaire et à la transformation de l'aluminium ;
- Promouvoir la mise en œuvre d'opérations d'efficacité énergétique ;
- Evaluer le potentiel technologique et industriel de la capture et du stockage de carbone pour la production d'aluminium primaire et étudier la possibilité de lancer un projet pilote sur un site industriel français.

**Actions à mener par l'Etat :**

- Poursuivre le soutien à l'investissement pour les projets de décarbonation de l'industrie grâce au renouvellement de l'AAP dédié ;
- Mettre en place des outils de financement en matière de R&D et d'industrialisation permettant la décarbonation ;
- Maintenir les outils permettant l'accès à une électricité décarbonée compétitive.
- Travailler à la mise en place des mécanismes de financement Contrat carbone pour Différence (CCD).

**La notion d'empreinte carbone**

Au-delà des émissions directes liées à la production de 230 kt d'aluminium utilisée sur le territoire français, il est à noter que plus de 400 kt d'aluminium primaire sont importées chaque année. Or, rapportée au volume d'aluminium, l'empreinte carbone de cet aluminium primaire importé est en moyenne largement supérieure à celle de l'aluminium produit en France (10,5 tCO<sub>2eq</sub> en moyenne par tonne d'aluminium importé en Europe contre 4,5 tCO<sub>2eq</sub> par tonne d'aluminium produit en France<sup>8</sup>), principalement du fait de la source d'énergie largement décarbonée en France.

Par ailleurs, en supposant une proportion de 10 % d'aluminium primaire importé et de 90% de déchets, l'empreinte carbone de l'aluminium recyclé s'élève en moyenne à 1,3 tCO<sub>2eq</sub> par tonne d'aluminium produite et est donc bien inférieure à celle de l'aluminium primaire, a fortiori importé. Ainsi, l'extension des capacités de recyclage existantes dans les usines de laminage d'aluminium ou la création de nouvelles capacités de recyclage et de fonderie de plaques et de billettes<sup>9</sup> augmenterait en absolu les émissions de GES sur le territoire français mais permettrait par ailleurs une réduction de l'empreinte carbone nationale de GES.

Il est à noter qu'une baisse effective de l'empreinte carbone française ne sera permise que si l'aluminium produit en France prend effectivement des parts de marché sur l'aluminium primaire importé.

De plus, l'augmentation des capacités de recyclage renforcerait la souveraineté nationale en matière d'approvisionnement en aluminium (réduction de la dépendance aux importations). La France étant actuellement largement exportatrice de déchets d'aluminium, il ne devrait pas y avoir de difficulté d'accès à cette ressource.

Néanmoins, l'augmentation des volumes de recyclage sur le territoire national ne peut se faire sans des investissements dans l'optimisation des technologies de tri et de collecte des déchets en fin de vie. En moyenne, 500 kt de déchets aluminium sont exportés chaque

---

<sup>8</sup> Source European Aluminium.

<sup>9</sup> Une telle extension semble peu vraisemblable pour les pièces moulées compte tenu de la transition annoncée vers les véhicules électriques.

année<sup>10</sup> pour des raisons de qualité de tri mais aussi par l'insuffisance des capacités de recyclage sur notre territoire.

**Actions à mener par la filière :**

- Promouvoir l'augmentation du taux de recyclage des rebuts ou chutes de production sur les sites de production d'aluminium primaire ;
- Promouvoir la création de nouvelle(s) entité(s) de fonderie(s) de recyclage de plaques ou de billettes en France (projet de Constellium Neuf Brisach - entre 50 et 150 kt - et projet d'Aluminium-France Extrusions pour des billettes par exemple).
- Travailler sur des moyens d'amélioration du tri et de la collecte des déchets en fin de vie ;
- Développer des solutions technologiques telles que la spectrométrie d'émission atomique de plasma induit par laser (LIBS), qui permettrait de mieux trier les chutes d'alliages d'aluminium par famille, de façon à faciliter leur recyclage : cette technologie pourrait traiter des volumes importants à vitesse élevée.

**Actions à mener par l'Etat :**

- Prolonger au-delà de 2021 de l'Appel à projets « Soutien à l'investissement et à la modernisation de l'Industrie », opéré par BPIFrance, qui offre un canal de soutien pertinent pour les projets de développement de capacité de recyclage ;
- Accompagner les entreprises pour maintenir la chaîne de valeur du recyclage en France (notamment avec l'automatisation des process pour les fondeurs), afin de bénéficier des impacts positifs du recyclage sur le territoire national.

---

<sup>10</sup> Source : Douanes



### c) Les leviers de réduction pour le secteur de la métallurgie

Pour le groupe Eramet et ses différentes filiales du secteur de la sidérurgie, dont les émissions sur le périmètre français ont représenté un volume de 246 ktCO<sub>2eq</sub> en 2018, l'objectif de réduction en intensité carbone de la production (tonnes de CO<sub>2</sub> par tonne produite) est de -7,3% en 2023 par rapport à 2018 dans le cadre de sa feuille de route RSE 2018-2023. Les leviers sont les suivants par ordre d'importance et d'actionnabilité :

- L'électrification des fours de traitement thermique pour la production d'alliages d'aciers spéciaux, programme soutenu dans le cadre du plan de relance, et principal levier de cette feuille de route.
- La réduction des produits carbonés dans la charge (fluidifiants). Cette substitution est déjà en cours et peut être réalisée sans investissement (réduction de 8% d'émissions de CO<sub>2</sub> par tonne de SiMn déjà réalisée entre 2019 et 2020 sur le site de Comilog Dunkerque).
- Le remplacement d'une partie des réducteurs carbonés (coke, anthracite), par des bio réducteurs (par exemple le charbon de bois) à hauteur de 40%, qui représente, au-delà d'une incertitude technique en matière de pilotage de procédés, un investissement probable de l'ordre de 1 M€ et des surcoûts potentiels mais non définis à ce stade. Ce levier peut être majeur mais reste dépendant de développements R&D à mener (pilote 2021 en Norvège).
- En s'appuyant sur l'IoT (Internet of Things) et le Big-Data, le déploiement d'une aide opérationnelle au management de l'énergie. Cela permettra de mieux piloter des fours de chauffage alimentés au gaz.

Autres leviers à l'impact attendu plus mineur :

- L'amélioration de l'efficacité énergétique des utilités : la gestion de la variation de vitesse des moteurs électriques, le déploiement d'éclairage LED, l'amélioration de la production et distribution d'air comprimé.
- La récupération de chaleur fatale, dans le cadre de la mise en place d'un écosystème industriel adéquat, sur Dunkerque notamment.

Les leviers de décarbonation identifiés sur le plus long terme sont :

- Un investissement de 700K€/an dans des programmes de recherche sur les sujets suivants :
  - 1/ l'optimisation du procédé actuel en améliorant la performance de la « pré-réduction » (la pré-réduction interne et la pré-réduction externe) ;
  - 2/ le développement de nouveaux procédés décarbonés comme la réduction des minerais à l'hydrogène d'origine renouvelable et l'électrolyse pour la production de Fe et Si Mn ;
  - 3/ le développement et la mise en œuvre de capacités de capture, de transport et de stockage de CO<sub>2</sub> émis par les procédés actuels de production.
- La décarbonation de plus long terme des fours de forge et traitement thermique pourrait passer par la généralisation de l'électrification des fours et un usage plus important de biogaz.

#### **Actions à mener par la filière :**

- Poursuivre les investissements dans la mise en œuvre des projets de décarbonation et programmes de R&D identifiés ;
- Travailler à la mise en place de pilotes et démonstrateurs industriels sur le territoire français ;

- Travailler au développement de l'IoT dans le cadre de la décarbonation ;

**Actions à mener par l'Etat :**

- Poursuivre le soutien à l'investissement pour les projets de décarbonation de l'industrie grâce au renouvellement de l'AAP dédié ;
- Mettre en place des outils de financement en matière de R&D et d'industrialisation permettant la décarbonation ;
- Maintenir les outils permettant l'accès à une électricité décarbonée compétitive.

### III. Appui public pour la décarbonation de la filière

La filière Mines et Métallurgie, bien que fortement impactée par la crise sanitaire du Covid-19, souhaite maintenir son engagement sur les objectifs de décarbonation et de réduction de l'empreinte environnementale. Ceci ne peut se faire qu'avec un appui résolu de la puissance publique aux niveaux national mais aussi local comme européen.

Dans le cadre de France Relance, le Gouvernement a mis en place un soutien ambitieux de 1,2 Md€ en faveur de la décarbonation de l'industrie (soutien à l'efficacité énergétique, à la chaleur bas-carbone, à l'électrification et à l'évolution des procédés, à l'utilisation de matières recyclées, etc.) et à l'industrie plus largement avec l'AAP « Résilience », auquel s'ajoutent des guichets pour soutenir les projets de recherche et innovation, en particulier des démonstrateurs par le biais du programme des investissements d'avenir PIA4.

Plusieurs moyens supplémentaires pourraient leur être conjugués :

- **Mesure 1 : prolongation des Appels à projets dédiés à la décarbonation de l'industrie.**
- **Mesure 2 : La mise en place d'outils de financement en matière de R&D, d'industrialisation (dont prototype à grande échelle) et de déploiement industriel permettant la décarbonation et favorisant le recyclage.**
  - Un soutien financier à la R&D et à l'innovation à travers des aides financières substantielles nationales et européennes (Horizon Europe (en particulier par le soutien au « *Clean Steel Partnership* » pour ce qui concerne l'acier), fonds ECSC, PIA, crédit d'impôt recherche ...), et soutien des projets de la filière pour l'éligibilité fonds innovation prévu par la directive ETS révisée.
  - Une aide au développement de l'industrialisation des procédés qui permettent la décarbonation en complément d'aides à l'innovation afin d'accompagner la baisse des coûts et des retombées industrielles dans le secteur des équipementiers.
  - Un soutien financier aux projets visant la décarbonation à travers par exemple une compensation des surcoûts visant à combler l'écart de compétitivité avec un procédé classique (plan de financement à taux bas ou nul, outils financiers permettant de démarrer sans trésorerie).
  - Le soutien au développement effectif des usines de recyclage en France (et pas seulement à l'innovation dans ce domaine) par des subventions à l'investissement, un dispositif de suramortissement et/ou la réduction de certaines taxes ou coûts.
- **Mesure 3 : La nécessité d'une visibilité à long terme sur les coûts de l'électricité pour garantir dès à présent les investissements à long terme** nécessaires pour réaliser la transformation d'ici 2050. A titre d'exemple, un mécanisme assurantiel accompagnant la conclusion de PPA assis sur les renouvelables fait l'objet d'un groupe de travail installé par les ministères de l'écologie et de l'industrie, qui associera largement les acteurs des secteurs concernés.
- **Mesure 4 : La défense, dans l'élaboration de la phase 4 du Système Européen de Quota d'émission des dispositions permettant de lutter efficacement contre le risque de fuite carbone et le portage au niveau européen d'un Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières,** qui suppose notamment de veiller à un calendrier adapté d'extinction à horizon 2030 du dispositif actuel de protection contre les fuites de carbone.
- **Mesure 5 : Le maintien des outils permettant un accès compétitif et prévisible à l'électricité bas-carbone, passant notamment par des contrats de long terme sur les principaux actifs de production, ainsi qu'un accès facilité à l'hydrogène bas-carbone à terme** (construire un plan à long terme pour permettre aux différents acteurs de planifier le déploiement de capacités de production et transport d'hydrogène

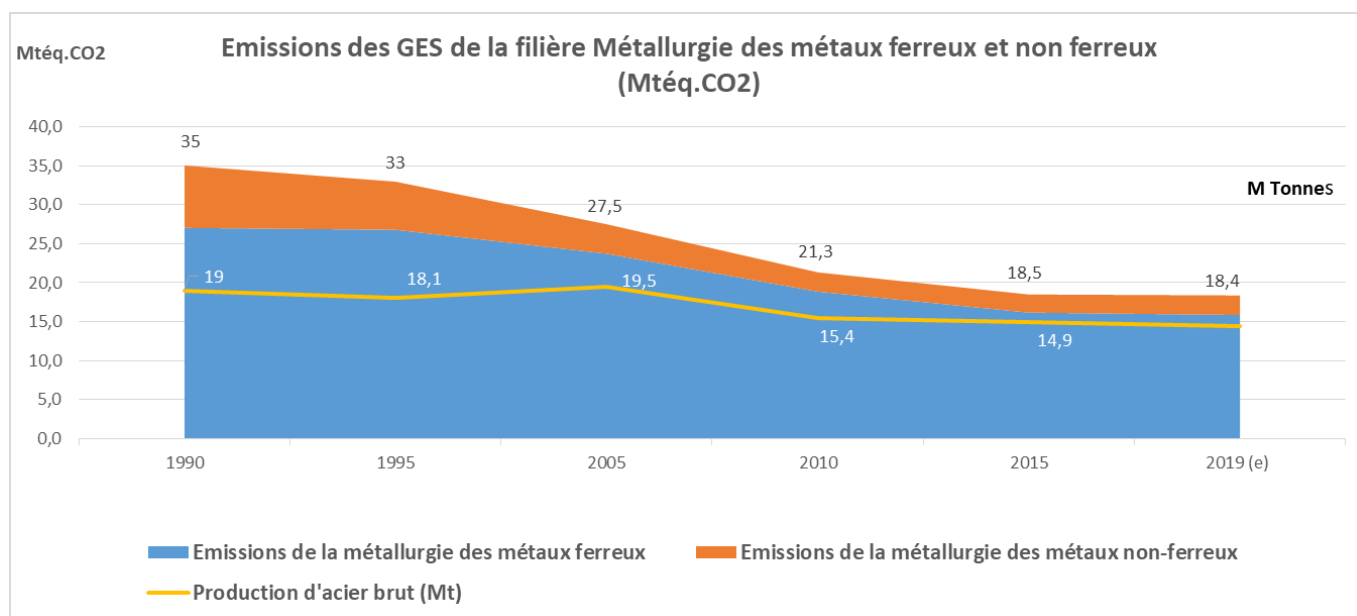
décarboné, encourager la construction d'électrolyseurs à proximité des sites industriels, prévoir des compensations ou restrictions de contraintes là où se trouvent des désavantages compétitifs sur l'achat d'électricité).

- **Mesure 6 : Travailler à la mise en place de Contrats Carbone pour différence.**

## ANNEXE 1

### Emissions de gaz à effet de serre de la filière Mines et Métallurgie

Source : Source - CITEPA, avril 2020 – Format Secten



Entre 1990 et 2018, les émissions de CO<sub>2e</sub> ont diminué de 38% pour la métallurgie des métaux ferreux et de 68% pour la métallurgie des métaux non-ferreux. Il est cependant essentiel de poursuivre, et d'accentuer ces baisses d'émissions. La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) prévoit pour l'ensemble la filière Mines et Métallurgie :

- Une réduction de 31 % des émissions de GES en 2030 par rapport à 2015 ;
- Une réduction de 80% des émissions de GES en 2050 par rapport à 2015.

