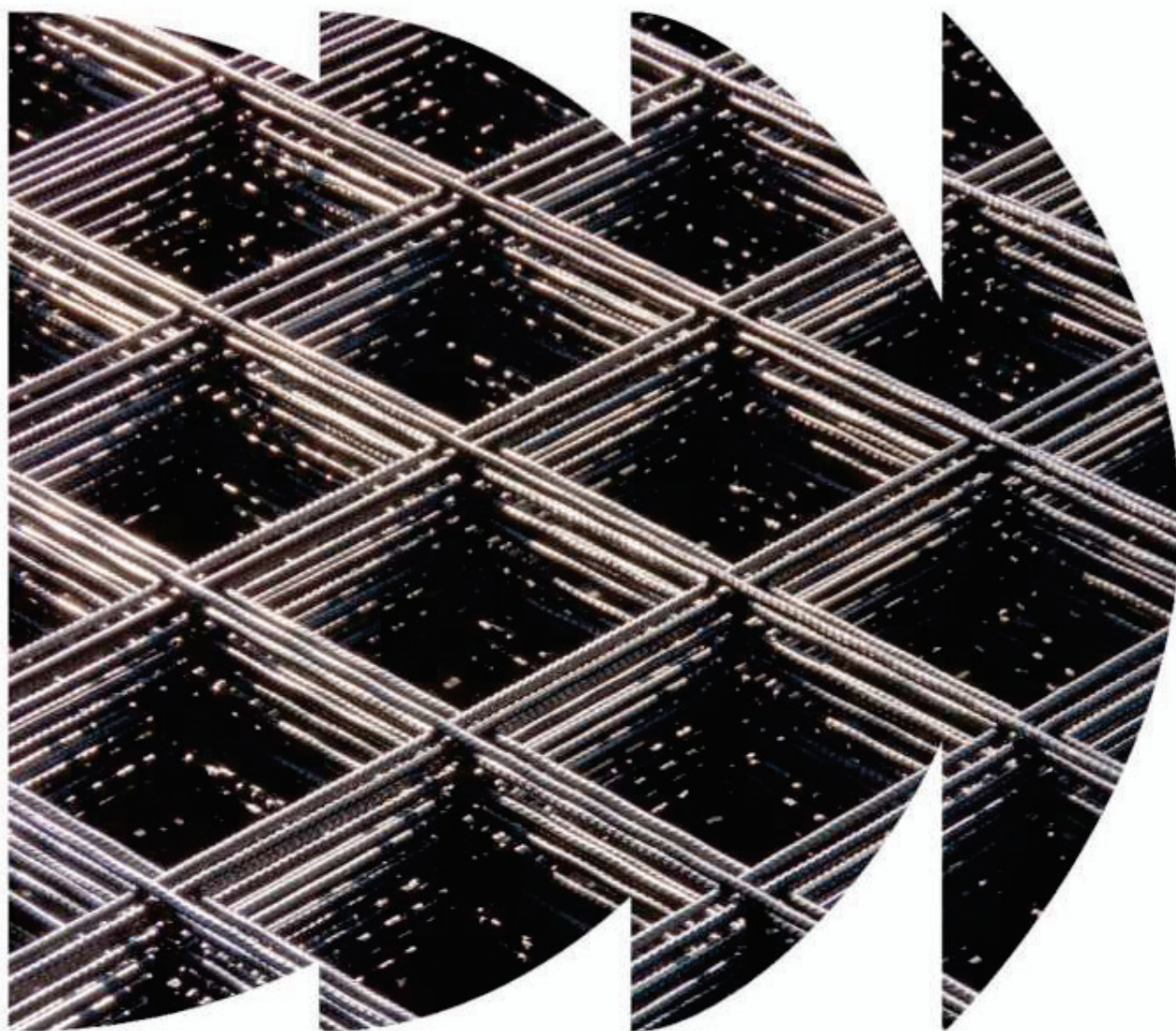


PRODUIRE DE L'ACIER BAS-CARBONE EN FRANCE

INDUSTRIE

DANS LE CADRE DE NOTRE
PLAN ROBUSTE POUR L'ECONOMIE FRANCAISE



LE THINK TANK DE LA
TRANSITION BAS CARBONE

 **THE SHIFT
PROJECT**

L'acier : répandu, carboné, décarbonable

L'acier : un pondéreux mondialement répandu

L'acier est un matériau très résistant, recyclable, largement répandu¹⁴¹, relativement abordable et simple à produire à partir de fer et de charbon, des matériaux abondants bien qu'exclusivement importés¹⁴² pour ce qui est de la production française. La France, comme l'UE27¹⁴³, est importatrice nette d'acier¹⁴⁴ et **la production française a considérablement décliné depuis 2019**, passant de 15 à 10,8 Mt/an [221]. La demande française d'acier est principalement portée par les **bâtiments et travaux publics (BTP)** (43 %), l'**industrie automobile** (26 %) et les équipements et machines (16 %). La production française d'acier est aujourd'hui très carbonée, elle a émis en 2024 environ **13 MtCO₂e**, soit **près du quart des émissions de l'industrie**, et environ **3,5 % des émissions françaises de GES**.

Trois voies de production aux enjeux distincts

La voie primaire à hauts fourneaux (HF ou BF-BOF¹⁴⁵) représente 70 % de la production mondiale d'acier [222] et 62,7 % en France en 2024 [223]. Elle repose sur une réaction très émissive de CO₂ à partir de charbon et de minerais de fer permettant surtout la production de produits plats (tôles, bobines...) pour le BTP (28 %), les biens d'équipement et de consommation (27 %), ou encore les transports (23 %) [224].

La voie secondaire à four à arc électrique (EAF¹⁴⁶) représente 22 % de la production mondiale et 37,3 % en France en 2024 [223]. Elle repose sur le recyclage des ferrailles par fusion de déchets métalliques triés, au sein d'un four à arc électrique (EAF) [224]. La production à l'arc électrique se concentre aujourd'hui sur les produits longs (tiges, poutres et profilés...), essentiellement pour le BTP (64 %) et les biens d'équipement et de consommation (20 %) [224].

La voie primaire par réduction directe du minerai de fer puis four à arc électrique (DRI-EAF¹⁴⁷) ne représente que 8 % des volumes mondiaux, et n'est pas présente en France. Des minerais de fer subissent d'abord une réaction de réduction directe (DRI) dans un four en présence d'un gaz de synthèse obtenu à partir de gaz naturel. Les minerais « réduits » réintègrent alors la voie secondaire dans un four à arc électrique (EAF) en complément de ferrailles. Cette DRI peut être réalisée au gaz naturel ou à l'hydrogène.

¹⁴¹ A l'échelle mondiale : construction de bâtiments, d'ouvrages d'arts et d'infrastructures (52 % dans le monde), d'équipements mécaniques (16 %), automobile (12 %), produits métalliques (10 %), moyens de transports, équipements électriques et domestiques (10 %) [223]. En France : construction (43 %), transports (26 %), mécanique (16 %), travail des métaux (10 %), électroménager (3 %), divers (2 %). [394]

¹⁴² En 2024, la France importait 100 % des 8,5 Mt de minerais de fer dont elle a besoin en provenance du Canada, du Brésil, du Caucase, d'Afrique... [222] et importait l'intégralité de son charbon [394].

¹⁴³ L'UE27 représente 7 % des volumes mondiaux produits et 10 % des volumes consommés [223]. Elle importe depuis l'Asie du Sud-Est (30 %), la Turquie (15 %), l'Inde (12 %) et la Chine (7 %).

¹⁴⁴ En 2024, la France a produit environ 10,8 Mt d'acier, a importé 11,2 Mt et en a exporté 9,7 Mt. Les flux d'acier sont donc considérables. La balance nette entre exportation et importation est négative (1,5 Mt importées nettes). [223]

¹⁴⁵ BF-BOF : Blast Furnace and Basic Oxygen Furnace

¹⁴⁶ EAF : Electric Arc Furnace

¹⁴⁷ DRI-EAF : Direct Reduced Iron with Electric Arc Furnace

Voie de production	Emissions de GES moyenne	Consommation énergétique	Production française	Type de produits
Hauts fourneaux (HF)	1,8 tCO ₂ e/t	5 950 kWh/t	6,8 Mt (62,7 %)	Plats
Four à arc électrique (EAF)	0,16 tCO ₂ e/t	580 kWh/t	4 Mt (37,3 %)	Longs. Plats sous conditions ¹⁴⁸ .
Réduction du minerai de fer au gaz naturel et four à arc électrique (GN-DRI-EAF)	0,95 tCO ₂ e/t ¹⁴⁹	4 750 kWh/t	0 %	Longs et plats
Réduction du minerai de fer à l'hydrogène et four à arc électrique (H ₂ -DRI-EAF)	0,15 tCO ₂ e/t	3 600 kWh/t	0 %	Longs et plats

Tableau 3 : Synthèse des émissions (scope 1+2), consommations énergétiques finales et productions par voie de production en 2024 en France et avec le mix électrique français [225], [222], [223], [224]

Leviers technologiques de la décarbonation de l'acier

Malgré des efforts d'amélioration continue possibles¹⁵⁰, environ 60 %¹⁵¹ des émissions de CO₂ de la filière française sont intrinsèquement dues aux procédés de production. La voie hauts fourneaux représente 92 % des émissions de la filière française [224]. **Décarboner la production d'acier nécessitera des pivots technologiques importants, impliquant des adaptations fortes des sites productifs.**

Electrifier la production d'acier et recycler les ferrailles (EAF)

La voie Four à Arc Electrique (EAF) permet le recyclage de l'acier plutôt que l'utilisation d'acier primaire, et présente l'intérêt d'être peu carbonée lorsque l'électricité est décarbonée, comme en France. Cette voie EAF nécessite 580 kWh/t [225], ainsi que des ferrailles comme matières premières, dont la France est exportatrice nette [226]. Toutefois, les filières consommatrices d'acier nécessitant des aciers de haute qualité, comme l'automobile, s'approvisionnent essentiellement via la voie primaire (non-EAF), les impuretés présentes dans les minerais étant plus facile à extraire que celles dans les ferrailles. Produire des aciers par voie EAF pose donc le défi d'éliminer les éléments indésirables des ferrailles : une opération additionnelle, mais possible et qui pourrait dès aujourd'hui être rentable¹⁵². **Ces ferrailles de meilleure qualité, couplées à du minerai de fer pré-réduit par réduction directe (DRI) introduit en**

¹⁴⁸ La production d'aciers plats dépend fortement du contenu en impuretés des intrants, ceux-ci pouvant fragiliser leur résistance mécanique. Or, en voie EAF les intrants sont à 100 % des aciers recyclés (ferrailles triées), dont le taux d'impuretés peut être trop élevé.

¹⁴⁹ 40 % de ferrailles et 60 % de DRI/HBI pour les voies GN-DRI-EAF et H₂-DRI-EAF [224]

¹⁵⁰ Brassage pour homogénéiser le mélange, injection d'H₂ et de gaz naturel en haut fourneau, augmentation du taux de O₂ brûleurs « oxyfuels » réutilisation des gaz de réactions, étanchéité des fours, introduction de plastiques plutôt que de charbon, augmentation de la qualité et de la part de ferrailles, réduction des rebuts, utilisation du biogaz, utilisation de résistances électriques et fours à induction plutôt que de gaz naturel pour le réchauffage des demi-produits et des ferrailles, recarbonation des laitiers, digitalisation [224].

¹⁵¹ Pour la voie haut fourneau, les émissions d'origine énergétique ne sont pas aisément dissociables des émissions directement issues des processus physico-chimiques, les deux étant intrinsèquement liés du fait de l'usage de charbon comme source d'énergie et comme agent réducteur. L'IEAGHG [397] et l'ADEME [224] estiment que 43 % des émissions de la voie haut fourneau sont dues à la réutilisation des gaz pour la production d'énergie, alors considérées comme émissions indirectes, le reste (57 %) étant des émissions directes associées au procédé (haut fourneau, agglomération, cokerie, chaux, convertisseur). Dans la voie électrique (EAF), l'IEA [225] estime que près de 95 % des émissions indirectes, essentiellement dues à la production d'électricité.

¹⁵² Le retrait manuel de polluants tels que le cuivre (Cu), notamment dans les véhicules hors d'usage, peut permettre d'atteindre des niveaux de polluants suffisamment faibles (moins de 0,5 % de Cu résiduel) pour réintégrer ces aciers dans la production d'acier plat de haute qualité à des taux allant jusqu'à 60 % pour les aciers les plus complexes (combiné avec 40 % de DRI), voire davantage pour des aciers moins complexes. Selon une évaluation de l'IMT et de l'IDDRI, l'opération peut dès aujourd'hui être viable économiquement : le coût additionnel de temps de travail pouvant être compensé par la vente du cuivre récupéré et la valorisation commerciale de la meilleure qualité des ferrailles [237]

amont du four à arc électrique (EAF), permettraient à cette voie de produire des aciers adaptés aux exigences de ces débouchés.

Développer la voie de réduction directe du minerai de fer par hydrogène et four à arc électrique (H₂-DRI-EAF)

La voie DRI-EAF se structure en deux étapes. La réduction directe (DRI) de minerais de fer par du gaz naturel (GN), du biogaz (bioGN) ou de l'hydrogène électrolytique¹⁵³ (H₂) conduit tout d'abord à la formation de minerais pré-réduits sous forme solide, ce qui les rend exportables et importables. On les qualifie de *Hot Briquetted Iron* et on désigne la voie soit par GN-DRI, bioGN-DRI, ou H₂-DRI selon l'agent réducteur utilisé. Ces HBI sont ensuite mélangés à des ferrailles dans un four à arc électrique (EAF). **La voie H₂-DRI-EAF est très décarbonée** avec un mix électrique comme celui de la France (0,15 tCO₂e/t [4]) **mais la production d'H₂ nécessite beaucoup d'électricité**, de l'ordre de 3 MWh supplémentaires par tonne d'acier¹⁵⁴. De plus, la filière hydrogène est peu développée et fait encore face à des enjeux énergétiques et économiques qui freinent son déploiement¹⁵⁵.

Le captage, transport et stockage du CO₂ (CCS) sur hauts fourneaux (HF)

Il est aussi possible de décarboner la production d'acier par les hauts fourneaux à l'aide du captage du CO₂ en sortie de cheminée, avant qu'il ne se retrouve dans l'atmosphère, permettant de continuer de disposer d'acier primaire. Cependant, **le captage du CO₂ sur un site de production est complexe** : les émissions de CO₂ ont lieu à différents endroits¹⁵⁶ et peu d'entre elles sont suffisamment concentrées en CO₂ (> 15 %) pour être captées [224]. Au mieux, le CCS capterait 50 à 70 % de ces émissions [224] [227] via une surconsommation électrique¹⁵⁷ de l'ordre de 1 MWh/t CO₂ captée, soit environ 15 à 20 % supplémentaires par tonne d'acier¹⁵⁸. Au même titre que pour l'hydrogène, le CCS engendre aujourd'hui un surcoût considérable¹⁵⁹. **De plus, il maintient une dépendance aux ressources fossiles** en ne décarbonant pas le procédé en lui-même. Cela accroît également la dépendance aux sites de stockage du CO₂, encore peu nombreux et essentiellement à l'étranger dans les projets envisagés¹⁶⁰.

Une crise multifactorielle pour la filière française : la décarbonation comme réponse stratégique

L'industrie française et européenne traverse une crise majeure depuis plusieurs années, aggravée par une rude concurrence internationale, notamment de la Chine et ses surcapacités de production, et plus récemment par des hausses de tarifs douaniers américains. La filière sidérurgique n'y échappe pas.

¹⁵³ Voir Chantier n°12 : Massifier la production d'hydrogène bas-carbone

¹⁵⁴ 55 kgH₂/t acier [228] et 55 kWh/kgH₂ par électrolyse de l'eau [398]. Lire Chantier n°12 : Massifier la production d'hydrogène bas-carbone

¹⁵⁵ Voir le chantier n°12 : Massifier la production d'hydrogène bas carbone.

¹⁵⁶ 47 % dans l'unité de génération d'énergie, 21 % dans les hauts fourneaux, 14 % dans l'agglomérateur, 9 % dans la cokerie, 3 % respectivement dans l'unité de production de chaux, de réchauffage et le four à oxygène [397].

¹⁵⁷ Lire Chantier n°13 : Capter, stocker et valoriser le CO₂ industriel résiduel

¹⁵⁸ Pour produire 1 tonne d'acier, la voie HF nécessite environ 5 950 kWh et émet 1,8 tCO₂e. Si le CCS permet de capter 50 à 70 % de ces émissions, soit ~0,9 à 1,26 tCO₂e, il requière alors environ 900 à 1260 kWh, soit environ + 20 % pour produire 1 tonne d'acier.

¹⁵⁹ Une étude réalisée par la Commission européenne évalue en 2020 que l'H₂ engendrerait un surcoût approximatif de l'ordre d'au moins 200 €/t d'acier (4 €/kgH₂ ; 55 kgH₂/t acier), hors CAPEX pour l'installation de DRI-EAF. Le coût du CCS s'élèverait à environ 200 à 250 €/tCO₂ sur les projets annoncés en France, hors CAPEX de HF. Ces chiffres représentent un surcoût de près de 50 % pour une tonne d'acier, vendue ~500 € [393].

¹⁶⁰ Voir Chantier n°13 : Capter, stocker et valoriser le CO₂ industriel résiduel.

Une contraction imposée par l'aval et la concurrence externe

Dans le **Plan de Transformation de l'Economie Française (PTEF)** de The Shift Project, publié en 2022 [228], l'adaptation du secteur sidérurgique à la sobriété des secteurs aval, BTP et construction automobile notamment, était l'un des leviers permettant non seulement d'atteindre les objectifs de décarbonation, mais aussi de structurer une industrie résiliente aux nouvelles crises affectant la production.

La situation de la filière sidérurgique s'est dégradée en France depuis la publication du PTEF, en raison de crises multiples. Les volumes produits ont fortement diminué et leur retour à la hausse au cours des décennies à venir est peu probable. Les niveaux de production d'acier français ont atteint en 2024 un niveau plus bas (11 Mt/an) que celui prévu dans le PTEF pour l'année 2050 après décarbonation (12 Mt/an), subissant de plein fouet une contraction subie plutôt qu'une sobriété anticipée et stratégique. Par rapport au PTEF, le levier de sobriété de l'industrie sidérurgie peut donc être considéré comme entièrement consommé, bien qu'il s'agisse d'une sobriété subie et rapide, donc non-maîtrisée et aux impacts économiques forts. Il s'agira donc de, *a minima*, stabiliser ce niveau de production voire retrouver un volume d'environ 12 Mt d'acier par an.

La construction neuve (43 % de la demande d'acier en France), qui dans le PTEF diminuait de 37 % à horizon 2050 par rapport à la période pré-COVID¹⁶¹, a réduit de 15 % entre 2021 et 2024.

Le secteur automobile (26 % de l'acier en France) subit une baisse drastique de la production des véhicules neufs, 22 % en deçà de son niveau pré-COVID [229] du fait de la baisse du marché, de la concurrence chinoise [230] et d'une hausse multifactorielle des prix des véhicules [231]. Cette production, qui devrait remonter en 2030 [232], se rapprochera du niveau projeté dans le PTEF en 2050 à la suite de reports vers les mobilités collectives et actives¹⁶² [233].

Les évolutions sur les besoins en **équipements et machines** (16 % de l'acier en France) sont à documenter et pourraient être influencées à la baisse par celles de la construction et de l'automobile.

De plus, la **transition énergie-climat** des secteurs aval se matérialise aussi par des réductions du besoin en acier par produit (réduction des rebuts, allègement des ouvrages et des équipements, augmentation des durées de vie, automobiles 20 % plus légères). Or, à l'inverse de la baisse de volumes subies dues à la concurrence externe et la baisse de la demande aval, ces baisses de l'intensité en acier par produit sont souhaitables dans un monde plus robuste et moins dépendant en minerai de fer et en énergies. La transformation de l'économie vers la décarbonation doit donc être anticipée par la filière sidérurgique pour lui permettre de répondre aux besoins d'une France décarbonée tout en reconstruisant un socle productif supplémentaire et résilient face aux risques énergie-climat.

¹⁶¹ Passage de 395 000 logements neufs par an actuellement à 250 000 en 2050 [395] par une baisse des maisons individuelles, notamment secondaires, au profit des logements collectifs, application de la loi ZAN, et la priorisation de la rénovation énergétique. Le tertiaire, les infrastructures, voiries et génie civil, plusieurs dynamiques en concurrence et ayant le potentiel de s'équilibrer pourraient survenir : baisse des activités relatives à certaines infrastructures de transport mais report sur d'autres, augmentation des travaux liés à l'adaptation au changement climatique, etc. [396]

¹⁶² 1,7 millions de véhicules en 2050 dans le PTEF [233], contre 1,8 millions en 2024 et 2,2 millions en 2019 [229]. Lire nos chantiers sur le vélo, les transports en commun et le train passagers.

D'une trajectoire énergie-carbone subie...

Comme pour l'industrie dans son ensemble [234], les émissions territoriales de la production d'acier sont en baisse. C'est le résultat de l'amélioration de l'efficacité énergétique, de la décarbonation de l'électricité mais également de la fermeture de sites et de baisses de production successives [234], notamment après les crises de 2008 et du COVID. Bien que ces incitations économiques ne soient pas suffisantes au vu de l'ampleur des investissements à mobiliser, la réduction progressive des quotas d'émissions¹⁶³ et l'augmentation du prix du CO₂ qui pourrait en découler augmenteront la pression sur les industriels. Et ce, tout particulièrement sur ceux qui auront peu anticipé ces nouvelles trajectoires [235].

... à une stratégie de renouvellement industriel ?

En plus de permettre d'intégrer les risques d'évolution des volumes de demande, la trajectoire qui mène à la décarbonation est une stratégie viable pour amorcer un pivot technologique et industriel devenu nécessaire à une sidérurgie française et européenne qui se voudrait pérenne sur le long terme.

L'industrie française de l'acier est fortement importatrice d'intrants (charbon, minerais, gaz), dont ses principaux concurrents situés au Moyen-Orient, en Afrique du Nord et en Asie disposent souvent abondamment sur leur territoire. Appuyés sur ces larges réserves d'intrants à prix avantageux¹⁶⁴, ces industries commercialisent en Europe des produits plus abordables mais fortement carbonés [236]. Le schéma de la Chine, dont la récente stabilisation de la demande intérieure a engendré une surcapacité de production après des années de développement industriel intensif, pourrait se reproduire dans d'autres pays en développement. A long terme, des pays extracteurs de minerais de fer pourraient décarboner leur mix électrique pour produire des minerais pré-réduits (HBI), voire de l'acier à bas coût et bas-carbone par voie H₂-DRI-EAF (Brésil, Australie), concurrençant alors l'acier français même sur le marché des matières décarbonées¹⁶⁵.

Les équipements français et européens datant en moyenne d'un demi-siècle, nous tenons là l'occasion de les remplacer par de nouvelles installations décarbonées. Prolonger la durée de vie de ce parc vieillissant nous laisserait dépendants d'installations bien moins modernes et compétitives que celles de nos concurrents (Asie, USA). Bien que plus coûteuse¹⁶⁶, la trajectoire de transformation de l'appareil productif vers la décarbonation est l'opportunité de prendre un véritable tournant technologique.

Réussir la transformation de la filière française

ArcelorMittal, le principal acteur français opérant des hauts fourneaux, a précisé son choix de s'orienter vers la filière DRI-EAF en remplaçant l'un de ses deux hauts fourneaux restants à Dunkerque. A l'avenir, un four à arc électrique (EAF) pourrait aussi remplacer un haut fourneau à Fos-sur-Mer, et être alimenté en HBI. L'émergence de cette filière doit être sécurisée par une politique industrielle assurant un contexte industriel et économique

¹⁶³ Le Système d'Echanges de Quotas d'Emissions (SEQUE, ou ETS en anglais) alloue aux industriels les plus émetteurs un nombre défini de quotas d'émissions. Chaque industriel doit payer s'il émet au-delà du volume alloué, qui décroît jusqu'à 0 entre 2026 et 2034. Dès 2026, le Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (MACF ou CBAM en anglais) impose aux importateurs l'achat de quotas d'émissions sur les importations dans l'UE de produits hors-UE dont les émissions dépassent un seuil défini.

¹⁶⁴ Parfois renforcés par des monopoles publics, des subventions massives et une main d'œuvre plus abordable.

¹⁶⁵ Les matières premières représentent environ 60-70 % du coût de production et l'énergie 15-20 % [224].

¹⁶⁶ D'après les entretiens d'experts du secteur sidérurgique réalisés dans le cadre de ce travail, les investissements nécessaires au remplacement et ceux pour le prolongement des installations pourraient différer d'un ordre de grandeur.

favorable, notamment en matière de disponibilité en hydrogène. Sans cela, **le risque est que la réduction des minerais de fer soit délocalisée en important des minerais pré-réduits (HBI) au gaz naturel** depuis des pays où cet agent réducteur est bien moins cher¹⁶⁷. **Cette alternative ne saurait s'inscrire dans une trajectoire de décarbonation durable** : l'empreinte carbone de la chaîne GN-DRI-EAF restant de 0,95 tCO₂e/t d'acier et exposant toujours la France à des produits dépendant directement du gaz fossile.

La production d'acier via EAF, plus efficace énergétiquement et largement décarbonée, doit également être fortement développée. La baisse de la demande dans le secteur du BTP, dont dépend fortement la voie EAF, lui imposera de diversifier ses débouchés¹⁶⁸. Face à l'enjeu de qualité des aciers plats, la voie H₂-DRI-EAF trouvera également sa place dans une industrie sidérurgique française reconstruite autour de l'EAF et atteignant à nouveau un niveau optimal d'utilisation de ses usines et équipements¹⁶⁹.

Au vu de la trajectoire amorcée par la filière, de l'âge des installations et du verrouillage technologique dans une voie nécessitant des énergies fossiles que cela impliquerait, **aucune infrastructure CCS n'est envisagée à 2050 sur hauts fourneaux**¹⁷⁰.

Rendre possible la transformation

Assurer la disponibilité en électricité et en ferrailles de qualité, abondantes et abordables

Disposer d'électricité bas-carbone pour l'industrie sidérurgique

En 2050, la consommation électrique¹⁷¹ de la filière pourrait être 2 à 8 fois plus importante qu'en 2024 du fait de l'électrification des modes de production. Or, la disponibilité en électricité étant limitée¹⁷², ces volumes entreront en concurrence avec d'autres besoins d'électrification (transports, chauffage...) et de nouveaux besoins (centres de données, production d'e-fuels...). Les investissements industriels requérant une visibilité de long terme, notamment sur le prix de l'électricité, la mise en place de mécanismes assurant aux industries électro-intensives une **électricité bas-carbone abondante et abordable**¹⁷³ et des **délais de raccordement au réseau adéquats**¹⁷⁴ est indispensable.

¹⁶⁷ Afrique, Amérique latine, Proche et Moyen-Orient, Australie...

¹⁶⁸ Par exemple, la voie EAF produit l'essentiel des aciers inox et fortement alliés, qui ciblent des marchés spécifiques à l'international et qui pourraient croître [224].

¹⁶⁹ La capacité de production en France et en Europe n'est utilisée qu'à 65 %, contre une cible à 80-85 % [222], [401], [402].

¹⁷⁰ Dans les projections du PTEF réalisées en 2022, la moitié de la production d'acier vierge de 2050 était réalisée par la voie hauts fourneaux, équipée de dispositifs CCS [228]. Le changement de contexte et le choix technologique amorcé par la filière ces dernières années entérine la trajectoire appuyée sur la réduction directe.

¹⁷¹ En 2024, la production de 6,7 Mt d'acier par HF a nécessité 1,1 TWh sur la base de ~159 kWh/t acier (estimations de The Shift Project dans le cadre de la présente étude d'après BREFs EU [400]) et 2,3 TWh pour la production de 4 Mt d'acier via EAF (~580 kWh/t acier, estimations idem). Dans l'hypothèse d'un maintien du volume total d'acier produit et d'un remplacement de la production via hauts fourneaux par une production par EAF, la consommation électrique du secteur passerait de ~3,4 TWh/an à 6,3 TWh/an (x2), voire à 26,7 TWh/an (x8) dans le cas d'une substitution par une voie H₂-DRI-EAF (3 600 kWh/t, voir précédemment).

¹⁷² Lire les chantiers dédiés aux énergies renouvelables et au nucléaire, ainsi que les enseignements-clés sur l'électricité dans la deuxième partie de ce rapport.

¹⁷³ Les contrats d'allocation de production nucléaire (CAPN) [403] à destination des gros industriels proposent par exemple de partiellement répondre à cet enjeu : au 1^{er} janvier 2026, EDF a signé avec des industriels électro-intensifs, dont des sidérurgistes, des CAPN pour 10 TWh (contre 100 TWh avec son ancêtre l'ARENH) leur garantissant une quote-part de la production nucléaire française. Le prix est composé d'une part fixe reflétant le coût du nucléaire mais aussi d'une part variable fixée aux enchères à l'échelle européenne.

¹⁷⁴ Les durées classiques observées dans les calendriers publics de grands projets industriels sont de l'ordre de 6 à 8 ans, avec plusieurs étapes réalisables en parallèles : 1 à 2 ans pour la demande de raccordement et la Concertation Ferracci (ex-Fontaine), 2-3 ans d'études détaillées et de dépôt des demandes d'autorisations, 1-2 ans d'instruction et de recours, 2-3 ans de

Garantir la disponibilité des ferrailles aux qualités requises

La France dispose de suffisamment de ferrailles, mais plus de la moitié en est exportée, notamment en Turquie¹⁷⁵. Ces ferrailles pourraient être mieux triées en valorisant les impuretés « résiduelles » comme le cuivre [237], puis broyées en France et atteindre la qualité requise¹⁷⁶ plutôt qu'exportées là où les coûts d'opération sont moins élevés [226] mais plus carbonés [238]. **La filière de collecte, tri et recyclage doit être structurée à la bonne échelle pour tirer profit du caractère recyclable de l'acier et développer l'EAF.**

Assurer une disponibilité des technologies de rupture nécessaires à la décarbonation

La filière hydrogène bas-carbone n'est pas encore structurée en France, alors même qu'il s'agit d'un prérequis au déploiement de la voie H₂-DRI – notons que la filière CCS ne l'est pas davantage¹⁷⁷. Son coût sera une contrainte ainsi que les **délais incompressibles de son déploiement** : le passage de l'idée à la mise en service peut prendre environ 6 à 8 années¹⁷⁸.

La disponibilité en compétences et la reconversion de certains salariés jouera aussi un rôle important. La transition d'une production par hauts fourneaux à celle par fours à arc électrique avec réduction de minerais de fer (DRI-EAF) pourrait nécessiter environ 2 fois moins d'emplois, passant d'environ 1000 à 500 salariés pour un site d'une capacité de production annuelle de 2 millions de tonnes d'acier^[200]. Les effectifs de la voie à hauts fourneaux devraient donc diminuer¹⁷⁹, avec une majorité d'entre eux pouvant être formée à l'exploitation d'un four électrique et d'un DRI ou reconvertis dans d'autres activités des zones industrielles concernées (Fos-sur-Mer, Dunkerque). En revanche, **l'exploitation d'un four de réduction et d'un électrolyseur (H₂-DRI) n'étant pas une activité existante en France, une anticipation de la montée en compétence sur ces tâches est nécessaire**. Notamment la manipulation de l'H₂ et du minerai de fer pré-réduit nécessitent des compétences spécifiques¹⁸⁰. 500 emplois directs et 3 000 emplois indirects¹⁸¹ pourraient être mobilisés pour un site de production d'H₂-DRI de 2 Mt/an de fer pré-réduits, soit les besoins pour produire environ 2 à 4 Mt d'acier par an. Notons l'incertitude élevée associée à ces estimations, aujourd'hui au stade de projections, sur la base d'apports d'acteurs pour certains sites. Elles ne peuvent être confrontées à d'autres études sur ce sujet du fait de la faible littérature en la

travaux et de mise en service. Projets considérés : projet de restructuration du réseau électrique entre Chaingy et Dambron ; projets de CCS [GOCO₂, Rhône Décarbonation] ; projets d'acier décarboné [AMF Décarbonation, Four EAF à Fos-sur-Mer par ArcelorMittal Méditerranée, GravitHy, Marcegaglia Fos] ; projets d'hydrogène décarboné et e-fuels [Take Kair, eM-Rhône, e-CHO]. Ces délais varient d'un projet à l'autre, le débat autour de la ligne très haute tension pour la zone industrielle de Fos-Berre est un exemple de la complexité du sujet [399]

¹⁷⁵ En 2023, l'ADEME estimait le volume de ferrailles disponibles (collectées et triées) à 9 599 kt et celui de ferrailles incorporées dans la production d'acier à 4 528 kt, soit environ 50 %, 5 071 kt, non incorporées en France [226].

¹⁷⁶ Les ferrailles exportées sont généralement de classe E1 et E3, dont les compositions et tailles sont diverses et les rendent peu exploitables directement dans un four. L'opération de broyage permet d'obtenir des ferrailles de classe E40, d'une taille homogène, dépourvue au maximum d'impuretés, facilitant alors grandement leur chargement direct dans un four.

¹⁷⁷ Lire Chantier n°12 : Massifier la production d'hydrogène bas-carbone et Chantier n°13 : Capter, stocker et valoriser le CO₂ industriel résiduel

¹⁷⁸ Durées classiques observées de 6 à 8 ans : 1-2 ans de préprojet, 3 ans de procédures administratives et d'études d'ingénierie, 2 à 3 ans de travaux. Projets considérés pour l'estimation des durées : voir note précédente.

¹⁷⁹ Les effectifs français des filières HF et EAF sont estimés à 35 000 ETP en 2023 : sidérurgie (26 000) ; Fabrication de tubes, tuyaux, profilés creux et accessoires correspondants en acier (6 000) ; Fabrication d'autres produits de première transformation de l'acier (3 000). Source : Insee, ESANE 2023, NAF 24.1, 24.2 et 24.3 [404].

¹⁸⁰ L'hydrogène est particulièrement explosif et inflammable (lire Chantier n°12 : Massifier la production d'hydrogène bas-carbone). Le minerai de fer pré-réduit (HBI) est aussi très inflammable.

¹⁸¹ <https://www.gravithy.eu/fr/who-we-are/gravithy-fos-sur-mer/>

matière. À l'échelle de l'ensemble de la filière, le principal déterminant du nombre d'emplois est la quantité d'acier produite et transformée¹⁸².

Structurer la demande aval en produits bas-carbone

Créer les conditions permettant la structuration d'une demande de long terme

La demande en acier décarboné serait stimulée par la mise en place de taux d'incorporation d'acier bas carbone dans les principaux secteurs consommateurs.

Dans le BTP, la norme RE2020 a permis aux acteurs de déclencher certaines transformations à la hauteur, en exigeant une réduction progressive du contenu carbone d'un bâtiment neuf : son aspect contraignant et progressif permet de donner aux acteurs la visibilité nécessaire¹⁸³. Un tel dispositif dans l'automobile aiderait à structurer la demande en acier bas carbone¹⁸⁴, en veillant à intégrer les enjeux de compétitivité des véhicules français à l'international.

Pour éviter une tension sur les ferrailles et les HBI, l'offre doit être anticipée : réorientation des flux de ferrailles vers des sites sidérurgiques consommateurs de ferrailles en France, développement du tri, organisation logistique des usines, fours de DRI... Enfin, des mécanismes devront assurer la viabilité économique des investissements de décarbonation¹⁸⁵ en répartissant le surcoût des produits décarbonés.

Créer les conditions de la viabilité concurrentielle de l'acier bas-carbone français et européen

L'acier étant un produit s'exportant internationalement, structurer la filière française répondant à une nouvelle demande implique d'assurer la compétitivité des aciers décarbonés qu'elle produit, a minima à l'échelle européenne. **Les impératifs de faible contenu carbone doivent s'appliquer à tout produit mis sur le marché européen, notamment ceux produits hors Europe.** Pour avoir un véritable effet sur le contenu carbone de l'acier présent dans la société, **cela doit s'étendre à un maximum de produits contenant de l'acier, via une extension du MACF au-delà des produits les plus simples**¹⁸⁶. Mais la traçabilité des modes de production, du contenu carbone et de la part d'acier recyclé est complexe (enjeu dit de *melting and pouring*¹⁸⁷), et cette difficulté doit être prise en compte. En parallèle, la Mesure de Sauvegarde de l'Acier¹⁸⁸ instaurée en 2019 visant à limiter ces importations impose des quotas par pays et le paiement d'une taxe au-delà. Or, le mode de calcul des quotas et de cette taxe, basé sur une hypothèse de marché croissant en Europe, peut être contourné par les

¹⁸² Les effectifs français des filières HF et EAF sont estimés à 35 000 ETP en 2023 : sidérurgie (26 000) ; Fabrication de tubes, tuyaux, profilés creux et accessoires correspondants en acier (6 000) ; Fabrication d'autres produits de première transformation de l'acier (3 000). Source : Insee, ESANE 2023, NAF 24.1, 24.2 et 24.3 [404].

¹⁸³ Des transformations de procédés, de compétences et d'approvisionnement des constructeurs pour adapter leur mix matières, jusqu'aux investissements dans les matériaux de construction bas-carbone dans l'industrie amont [396].

¹⁸⁴ Par exemple, le 16/12/2025, la Commission européenne [405], dans le cadre de la mise à jour de l'objectif de réduction des ventes de voitures thermiques, passant de - 100 % à - 90 % à horizon 2035, a proposé de compenser cette baisse de 10 % par l'usage d'acier décarboné à hauteur de 7 % et de carburants décarbonés pour 3 %.

¹⁸⁵ Travail sur le prix des intrants énergie et matière sur le long terme, la valorisation économique des produits décarbonés face aux produits carbonés, le rôle de l'Etat dans ces projets, entreprises et actifs stratégiques, par la commande publique ainsi que ses leviers législatifs et réglementaires, notamment à l'échelle européenne.

¹⁸⁶ Tout en prévenant les contournements (*resource shuffling*) consistant, pour un producteur hors UE, à vendre en UE ses produits bas carbone et à vendre ses produits carbonés sur d'autres marchés. Les produits bruts ou « semi-finished and finished products » désignent les tôles, les poutres, les barres d'acier, les rouleaux... par distinction avec les produits avals qui les utilisent : électroménager, portières de voitures, etc.

¹⁸⁷ Les termes « *melting and pouring* » signifient en français « fondu et coulé » et font référence à l'opération de fonte du minerai de fer ou des ferrailles en acier liquide puis de sa coulée pour lui donner la forme souhaitée (tige, tôle, etc.). En apportant plus de traçabilité sur ces opérations et en définissant le pays d'origine d'un acier comme celui où il est fondu, cela permettrait de garantir d'un acier fondu en Europe est européen. A date, un acier fondu hors Europe, importé en Europe dans une forme intermédiaire puis refondu et coulé en Europe peut être considéré comme européen et éviter des tarifs douaniers.

¹⁸⁸ EU Steel Safeguard : Règlement d'exécution (UE) 2019/159 du 31 janvier 2019 instituant des mesures de sauvegarde définitives à l'encontre des importations de certains produits sidérurgiques

exportateurs en passant par des pays tiers et doit s'adapter au marché actuel en surcapacité et en transition.

En tenant compte de ces enjeux, les nouveaux mécanismes devront continuer d'avantager les sidérurgistes s'étant déjà décarbonés en passant à l'EAF. Ils devront soutenir la massification de l'EAF, voie moins énergivore et moins coûteuse, et permettre d'étendre l'extension de la gamme d'aciers productibles par cette filière. **La voie EAF en France représente un choix sans regret** car elle est d'ores-et-déjà déployée et bénéficie d'atouts concurrentiels déterminants via une électricité décarbonée et des quantités importantes de ferrailles disponibles.

Conclusion

Il est donc possible de décarboner la production d'acier française. Cela passe en priorité par le développement de la voie à **four à arc électrique (EAF)**, nettement plus efficace, puis de la **réduction directe du minerai de fer par hydrogène et four à arc électrique (DRI-H₂-EAF)**. Si la brique technologique EAF est déjà largement développée en France, ce n'est pas le cas du procédé DRI-H₂. La structuration de celui-ci représente un **défi industriel à la temporalité longue, nécessitant sa mise en œuvre au plus tôt**. Ce procédé est en outre très électro-intensif et nécessitera donc une **électricité bas-carbone, abondante et abordable**. L'EAF requiert pour sa part des **ferrailles en quantité et en qualité suffisantes**, alors même que la ferraille française est aujourd'hui massivement exportée. Enfin **les débouchés de la filière doivent être sécurisés**, par des taux d'incorporation imposées dans les principaux secteurs consommateurs, et par une protection vis-à-vis de la concurrence internationale, notamment quand elle est plus carbonée.

Contact

Rémi Calvet

Ingénieur de projet Industrie

remi.calvet@theshiftproject.org

Eric Bergé

Chef de projet Industrie

eric.berge@theshiftproject.org

Maxime Efoui-Hess, coordinateur Industrie et Numérique

maxime.efoui@theshiftproject.org

Héloïse Lesimple

Pilote communication et affaires publiques Transition Robuste

heloise.lesimple@theshiftproject.org

www.theshiftproject.org