

DOMAINE INDUSTRIE

UTILISER L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ POUR LA RÉDUCTION DU MINÉRAI DE FER

Utiliser l'hydrogène décarboné, à partir du mix électrique français compétitif grâce au nucléaire, pour réduire les émissions de l'industrie sidérurgique, en particulier celles de la production d'acier.

01

Le DRI : une technologie avec une industrialisation coûteuse mais indispensable à développer pour atteindre les objectifs du Plan Acier

Les pouvoirs publics se réengagent pour décarboner la sidérurgie française avec le lancement du Plan Acier en janvier 2022 qui vise à réduire de 31% les émissions du secteur d'ici 2030.

La technologie de réduction directe du minerai de fer (DRI) à partir d'hydrogène permettra d'atteindre les objectifs du Plan Acier. Cependant, le DRI à partir d'hydrogène est encore émergent et coûteux : environ 100€ supplémentaires par tonne par rapport à l'acier traditionnel.

02

La France a une place à prendre pour pérenniser la filière sidérurgique française sur un segment à haute valeur ajoutée

L'entrée en service du projet GravitHy annoncé cet été permettrait à la France de se hisser au niveau de la Suède, leader européen du DRI-hydrogène.

Un écosystème français / européen doit se construire autour du projet GravitHy et d'ArcelorMittal pour assurer une production souveraine de l'acier. L'hydrogène doit être produit au niveau local en privilégiant l'emploi d'électrolyseurs alcalins (économes en ressources critiques). Le projet GravitHy agrège déjà plusieurs maillons en amont et en aval de la chaîne de valeur.

Le potentiel de réduction des GES et de création d'emplois est important : 9 MtCO₂e évitées et 6 000 emplois.

03

Un fort engagement de l'Etat, de l'Union européenne et de certains clients mais un manque de mesures réglementaires

Les financements de l'Union européenne et de l'Etat sont importants, mais à compléter, pour déployer le procédé de DRI-hydrogène. Cependant, la subvention destinée à ArcelorMittal doit être conditionnée à un projet structurellement rentable qui privilégie les filières d'approvisionnement européennes.

Une forte demande en acier bas-carbone apparaît avec l'initiative *First Movers Coalition*. Le surcoût relatif de l'acier décarboné (green premium d'environ 80€ pour une voiture) doit néanmoins pouvoir être assuré par les clients finaux.

Les mesures réglementaires favoriseront l'utilisation de l'acier décarboné dans la construction (norme RE2020), mais restent insuffisantes (absence de normes dans l'autre secteur très consommateur d'acier qu'est l'automobile et de taux d'intégration d'acier bas-carbone pour les produits finis sidérurgiques).

04

Des contrats carbone pour différence à attribuer, un taux minimum d'acier décarboné à imposer dans les produits finis et un réseau électrique à adapter

La mise en place des contrats carbone pour différence (CCfD) permettrait de réduire le risque associé aux lourds investissements requis, mais ces derniers doivent être rendus compatibles avec la réglementation communautaire sur les aides d'Etat.

En outre, **l'imposition d'un taux minimum d'acier décarboné dans les produits finis au niveau européen dans les secteurs de la construction et de l'automobile** permettrait de créer des conditions favorables à la naissance d'un marché européen de l'acier décarboné.

L'adaptation du réseau électrique est nécessaire pour accueillir plus de capacité, notamment *via* une meilleure rémunération de la flexibilité.

LE DRI : UNE TECHNOLOGIE AVEC UNE INDUSTRIALISATION COÛTEUSE MAIS INDISPENSABLE À DÉVELOPPER POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS DU PLAN ACIER

Périmètre technologique

Description : développer le procédé de réduction directe du minerai de fer à partir d'hydrogène dans les hauts-fourneaux pour décarboner les aciéries grâce à l'hydrogène.

La réduction directe du minerai de fer vise à substituer l'hydrogène au charbon pour désoxyder le minerai de fer. Le fer pré-réduit peut ensuite être fusionné dans un four à arc électrique pour produire de l'acier.

N.B. Les fours à arc électrique sont également utilisés pour produire de l'acier à partir de ferrailles. Cette filière du recyclage des ferrailles n'est pas étudiée dans ce rapport.

Maturité technologique

Stade : accélération et passage à l'échelle

Procédé de DRI - hydrogène

TRL 7-9

ETAT DES LIEUX

- **Engagement politique :** les pouvoirs publics se réengagent pour décarboner la sidérurgie française
- **Après avoir désinvesti la filière sidérurgique, la France a lancé le Plan Acier en janvier 2022 pour décarboner et améliorer la compétitivité de la sidérurgie française.** Ce plan vise à réduire de 31% les émissions du secteur d'ici 2030 et de tendre vers la neutralité carbone en 2050.
- **Acceptabilité :** les riverains ne devraient pas contester les initiatives de décarbonation des aciéries
- **La population locale devrait soutenir le développement du DRI** puisqu'elle conteste les nuisances causées par les rejets des aciéries.
- **Compétences & savoir-faire :** un manque de compétences dans une filière française vieillissante
- **La modernisation de la filière requiert de nouvelles compétences, notamment pour exercer les métiers de l'industrie 4.0.** La technologie de DRI est seulement maîtrisée par quelques acteurs : le japonais Midrex technologies et l'italo-argentin Techint.
- **Réseau existant de partenaires :** un réseau qui se structure au niveau européen mais encore peu développé en France
- **L'écosystème français se développe avec la naissance de GravitHy, consortium d'entreprises issues de l'amont et de l'aval de la chaîne de valeur.** Toutefois, aucun acteur français ne possède la technologie de DRI et aucune association dédiée à la décarbonation de l'acier ne fédère l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur en France.
- **Structuration macro de la chaîne de valeur et du territoire :** des infrastructures à développer de concert
- **Le DRI est un procédé particulièrement électro-intensif.** Le réseau électrique français, l'un des

plus avancés au monde, constitue donc un avantage compétitif pour le développement du DRI en France. Cependant, dans un scénario de réindustrialisation profonde, de nouvelles capacités de production d'électricité décarbonée seraient nécessaires, avec des besoins en renforcement du réseau variables selon les technologies sélectionnées (le nucléaire nécessite moins de développer le réseau que les énergies renouvelables). En parallèle, le DRI nécessite des infrastructures hydrogène bien développées mais les projets de gigafactories d'hydrogène décarboné ne sont pas toujours positionnés aux abords des sites industriels sidérurgiques.

- **Voies de commercialisation :** un marché en devenir avec des partenariats qui se nouent en aval de la chaîne de valeur
- **ArcelorMittal propose des certificats acier vert pour réduire les émissions carbone du scope 3 de ses clients.** Les secteurs de la construction et de l'automobile semblent favorables à cette offre tandis qu'ils représentent la majorité du marché de l'acier : Effiage construction s'engage dans les bâtiments bas carbone, Volkswagen, Volvo et Mercedes-Benz souhaitent s'approvisionner en acier décarboné. L'équipementier automobile Forvia s'associe également au projet GravitHy. L'initiative First Movers Coalition entraîne de nombreux acteurs à acheter de l'acier bas-carbone pour réduire leurs émissions indirectes (carnets de commandes pleins).
- **Leviers de déploiement et voies d'industrialisation :** un besoin important en investissements
- **D'importants investissements sur le long terme sont requis pour industrialiser le DRI.** Ils représentent plus d'un milliard d'euros pour chaque installation (analyse Capgemini).

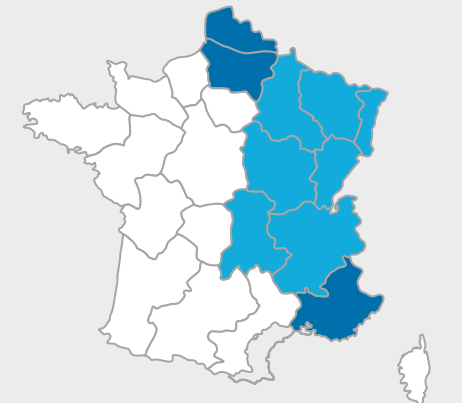
Taux de déploiement en France

Capacités françaises de production d'acier décarboné avec le DRI par rapport à l'objectif 2030 : **0%**

Zones d'implantation privilégiées

Deux projets industriels (Hauts-de-France et Provence-Alpes-Côte d'Azur).

L'industrie sidérurgique représente au total 160 établissements et 16 827 emplois dans les régions Grand-Est, Bourgogne, Franche-Comté, Auvergne-Rhône-Alpes. Auvergne-Rhône-Alpes (analyse Capgemini).



Projets en voie de développement

Forte densité de sidérurgistes

UNE MUTATION DE LA CHAÎNE DE VALEUR DE L'ACIER AUTOUR DU LEADER ARCELORMITTAL ET DU PROJET GRAVITHY ET PORTÉE PAR LA DEMANDE AVALE

ÉVALUATION DE L'ÉCOSYSTÈME

Le marché français de la sidérurgie se caractérise par un niveau de consolidation élevé : ArcelorMittal assure plus de 70% de la production d'acier et se positionne comme un investisseur majeur de la transition énergétique sidérurgique, par le biais de la création d'un fonds innovation pour l'acier vert de 100 millions de dollars destiné à investir dans les entreprises innovantes du secteur.

GraviHy émerge et promet de devenir un leader de l'acier décarboné fabriqué à partir de la réduction directe du minerai de fer aux côtés d'ArcelorMittal. Au-delà de la sidérurgie, l'offre d'acier bas-carbone permet de structurer la chaîne de valeur de l'hydrogène. L'écosystème de production d'hydrogène se compose d'un grand groupe historique, de nouveaux entrants spécialisés dans l'intégration des moyens de production à grande échelle et de fabricants d'électrolyseurs.

Organismes de recherche et de formation	Fournisseurs d'hydrogène et d'électricité décarbonée	Spécialistes du procédé	Sidérurgistes	Principaux usagers
Plusieurs centres techniques industriels de référence en métallurgie et fonderie français accompagnent les industriels.	La France compte de nombreux leaders dans la production de l'hydrogène et de l'électricité décarbonés.	Les acteurs français ne détiennent pas la technologie du DRI-hydrogène (sous licence).	La société ArcelorMittal et GraviHy prévoient de développer le DRI en France. (82% de l'objectif 2030 du Plan Acier)	Les industriels français n'ont pas annoncé de stratégie d'approvisionnement en acier décarboné contrairement aux constructeurs auto. allemands.
Centres de recherche français - CTIF (FR) - CETIM (FR) - CTICM (FR) - MetaFensch (FR) Centres de recherche leaders - TNO (NL) - K1-MET (AT)	Acteur historique qui se positionne sur la production d'hydrogène décarboné - Air Liquide (FR) Nouveaux acteurs qui se lancent dans la production d'hydrogène décarboné à grande échelle - Engie (FR) - EDF (Hynamics) (FR) - TotalEnergies (FR) - Lhyfe, scale-up (FR) - SAMFI (H2V) (FR) Partie amont de production d'hydrogène voir fiche Production d'hydrogène bas-carbone à grande échelle. Fournisseurs d'énergies décarbonées - EDF (FR) - Engie (FR) - TotalEnergies (FR) ...	Leaders étrangers - Midrex Technologies (EU / JP) racheté par Kobe Steel : 83% des parts de marché - Techint (IT / AR) : 17% des parts de marché Intégrateurs présents en France - Primetals - Groupe Mitsubishi Heavy Industries (JP) - ArcelorMittal (IN)	Entreprises en France - Grands groupes ou filiales : ArcelorMittal (IN) - Aperam (LU) - Dillinger (DE) - Aubert & Duval (FR) - Ascometal (CH) Petites et moyennes entreprises : - Acéries de Bonpertuis (FR) - ALR Acéries et Laminoirs de Rives (FR) Consortium : - GraviHy (FR) Leaders de la réduction directe du minerai de fer - SSAB (SE) - Thyssenkrupp (DE) - Voestalpine (AT) - Hyundai Steel (KR) - POSCO (KR) - Tata Steel (IN) - Salzgitter (DE) - Start-up H2greensteel (SE)	Acteurs de la construction - Bouygues Construction (FR) - Effiage construction (FR) - Vinci (FR) ... Constructeurs et équipementiers automobiles - Volkswagen (DE) - Volvo (SE) - Mercedes-Benz (DE) - Renault (FR) - Stellantis (FR / IT) - Forvia (FR) ... Energie - Total (FR) - Schlumberger (EU) - Eni (IT) - EDF (FR) ...

Projet d'ArcelorMittal

Description	Décarboner la production d'acier à Dunkerque (DRI et four électrique) et à Fos-sur-Mer (four électrique à arc).
Parties prenantes	Air Liquide, ArcelorMittal
Localisation	Dunkerque (Hauts-de-France) et Fos-sur-Mer (Provence-Alpes-Côte d'Azur)
Chiffres clés	Budget supérieur à 1,7 milliard d'euros.
Sources de financement	Soutien public en cours de demande, ArcelorMittal (1,7 milliard d'euros)

Projet GraviHy

Description	Décarboner la production d'acier grâce au procédé DRI
Parties prenantes	EIT InnoEnergy (chef de file), Primetals, Engie, Forvia, Plug, Idec
Localisation	Fos-sur-Mer (Provence-Alpes-Côte d'Azur)
Chiffres clés	Budget de 2,2 milliards d'euros (2024 – 2026)
Sources de financement	Union Européenne (EIT InnoEnergy), entreprises partenaires

LA FRANCE A UNE PLACE À PRENDRE POUR PÉRENNISER LA FILIÈRE SIDÉRURGIQUE FRANÇAISE SUR UN SEGMENT À HAUTE VALEUR AJOUTÉE

EVALUATION DU POTENTIEL FRANÇAIS

Positionnement de la France : l'entrée en service du projet GravitHy annoncé cet été permettrait à la France de se hisser au niveau de la Suède, leader européen du DRI-hydrogène. La Suède a débuté le projet HYBRIT (SSAB, LKAB et Vattenfall) d'accélération de la technologie en 2016 et prévoit de vendre de l'acier décarboné en 2026. Seules deux sociétés possèdent cette technologie : le japonais Midrex technologies (Kobe Steel) et l'italo-argentin Techint.

Potentiel de décarbonation: un potentiel de décarbonation conséquent

Émissions CO2 évitées:

- 9 MtCO₂e seraient évitées grâce au projet dunkerquois d'ArcelorMittal et au projet GravitHy à horizon 2030. L'aciérie est le 3ème secteur industriel le plus émetteur de GES en France, avec 20 MtCO₂e émises chaque année.

Potentiel de création de valeur : le développement du DRI permettra de relancer la filière sidérurgique française sur un segment à haute valeur ajoutée

PIB - valeur du marché généré :

- Valeur ajoutée** créée annuellement par l'industrie de l'acier dans l'Union européenne : 134,5 Mds€.
- Investissements :** 500 Mi€ à investir dans le DRI (100 Mi€ pour atteindre le TRL 8, 150 Mi€ pour le TRL 9 et 250 Mi€ pour une maturité complète) (source Commission européenne).

Emplois générés:

- Prévisions 2030 :** 6 000 emplois directs et indirects en France d'ici à 2030 alors que le secteur a perdu 10 000 emplois entre 2008 et 2017 soit plus de 20% de ses effectifs selon l'Observatoire de la métallurgie.

Potentiel d'accroissement de la souveraineté énergétique et industrielle de la France : une production d'hydrogène locale mais des écarts de souveraineté énergétique importants suivant le type d'électrolyseur utilisé (la technologie alcaline d'électrolyseur consomme moins de ressources critiques)

Criticité des ressources majeures :



Ressource	Criticité	Problématique (si criticité forte ou modérée)
Platinoïdes	Forte	extraction à 68% par l'Afrique du Sud, la Russie (17%) puis le Zimbabwe (9%).
Terres rares	Forte	extraction à 62% par la Chine et première transformation à 82% par la Chine.
Cuivre	Modérée	extraction à 30% par le Chili et première transformation à 39% par la Chine.
Graphite	Modérée	extraction à 79% par la Chine et 8% par le Brésil.
Aluminium	Modérée	extraction à 29% par l'Australie et première transformation à 54% par la Chine.
Nickel	Modérée	extraction à 60% par l'Indonésie, les Philippines et la Russie et première transformation à 31% par la Chine.

Source : INEC et Capgemini

Potentiel de circularité et de durabilité :

- Pour produire l'hydrogène nécessaire au DRI,** les technologies moins consommatrices en ressources peuvent être favorisées comme celle de l'électrolyseur alcalin. En outre, les électrolyseurs peuvent être réparés ou reconditionnés et les ressources recyclées.

Provenance de la technologie :

- Plusieurs industriels français produisent des électrolyseurs** (McPhy, Elogen, Genvia, Ergosup) avec un positionnement international fort pour McPhy et Elogen. La souveraineté industrielle de la France quant aux technologies d'électrolyseurs est donc importante. En revanche, le procédé de DRI-hydrogène (sous licence) n'est pas détenu par des acteurs français.

UN FORT ENGAGEMENT DE L'ETAT, DE L'UNION EUROPÉENNE ET DE CERTAINS CLIENTS MAIS UN MANQUE DE MESURES RÉGLEMENTAIRES

Cadre public de déploiement

Engagement politique : les pouvoirs publics se réengagent pour décarboner la sidérurgie française.

- **Lancé en janvier 2022, le Plan Acier vise à décarboner et améliorer la compétitivité de la sidérurgie française.** Il prévoit de réduire les émissions de la filière de 30% en 2030 puis de 81% d'ici 2050, par rapport à 2015.

Dispositifs de financement : des financements d'ampleur au niveau européen et national mais qui restent insuffisants

Niveau européen :

- **Financement** de 143 M€ du Projet HYBRIT (partenariat entre SSAB, LKAB et Vattenfall) par l'EU Innovation Fund.
- **Projet GravitHy** : soutien du Centre européen d'accélération de l'hydrogène vert (EGHAC) mis en place par l'EIT InnoEnergy et financé par l'EIT InnoEnergy et les entreprises partenaires.
- **Projet autrichien H2 FUTURE** financé par Horizon 2020 (18 M€).
- ArcelorMittal bénéficie sur la période 2017-2020 d'un financement de la banque européenne d'investissement (BEI) de 350 millions d'euros.
- **Fonds de recherche sur le charbon et l'acier** (280 M€).

Niveau national :

- **Demande de financement de grands projets** dans le cadre du programme IPCEI (Projet Important d'Intérêt Européen Commun) pour l'hydrogène.
- **Crédit d'impôt recherche** de 30 % des dépenses de R&D jusqu'à 100 Mi€, et de 5 % au-delà de ce montant.
- **Programmes d'investissement d'avenir** (l'Institut de Recherche Technologique pour l'appel à projet Matériaux, Métallurgie et Procédés (M2P)).
- **France 2030** : 5,6 Mds€ pour réduire les émissions polluantes du secteur industriel.

Cadre législatif et réglementaire : une réglementation européenne ambitieuse

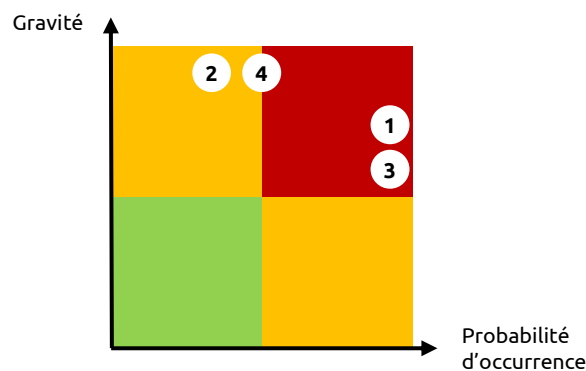
- **La proposition de fin progressive des quotas carbone alloués gratuitement aux industriels** (réforme de l'European Union Emissions Trading System - EU ETS) est en discussion. Elle sera structurante pour la production d'acier bas-carbone.
- **Le renforcement du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières** (MACF) pour l'acier est en discussion.
- **La norme RE2020 va accélérer la décarbonation** des matériaux de construction.

Barrières au déploiement

	Faible	Forte	
Approvisionnement (matériaux et technologie)			Le procédé de DRI nécessite une qualité particulière du minerai de fer, produit de façon insuffisante pour répondre aux futurs besoins mondiaux. Sous licence, le procédé de DRI-hydrogène n'est pas détenu par des acteurs français. Une attention particulière doit être portée sur l'approvisionnement en hydrogène local et sur la disponibilité en ressources critiques pour assurer la fabrication d'électrolyseurs.
Capacité de développement et infrastructures			Les capacités de développement des infrastructures ne constituent pas un frein au déploiement du DRI : l'hydrogène est soutenu par un plan massif et sera dédié en priorité à l'industrie. Toutefois, le besoin en énergie décarbonée est important : il représentera 13,5 TWh pour atteindre les objectifs du Plan Acier en 2030, soit environ 6% du mix électrique d'origine renouvelable prévu en 2028 par la PPE.
Compétences et savoir-faire			La modernisation de la filière requiert de nouvelles compétences, notamment pour exercer les métiers de l'industrie 4.0. De plus, 560 recrutements annuels seront nécessaires pour renouveler les effectifs compte tenu des départs massifs à la retraite. Par ailleurs, des incertitudes persistent quant à la qualité de l'acier produit par DRI - hydrogène, ce qui génère des incertitudes sur son utilisation.
Économiques			L'acier décarboné manque de compétitivité (environ 100 € supplémentaires par tonne selon les Echos) face à une concurrence internationale rude : le DRI est très électro-intensif tandis que l'hydrogène décarboné manque aujourd'hui de compétitivité. Cependant, une forte demande en acier bas-carbone apparaît avec l'initiative First Movers Coalition et le mix énergétique français reste attractif grâce au nucléaire.
Financières			Le financement ne constitue pas une barrière importante au déploiement de la technologie : aides de l'Etat et de l'Union européenne suffisantes sur les 2 projets et entreprises prêtes à investir seules (ArcelorMittal) ou en partenariat pour diluer les risques (projet GravitHy). Cependant, au-delà de 2030, les sidérurgistes de petite taille ne pourront pas financer ces installations (plus d'1 milliard d'euros d'investissements pour chaque installation - analyse Capgemini) alors qu'ils sont spécialisés sur des segments à haute valeur ajoutée.
Acceptabilité			Une partie de la population proteste pour réduire la pollution générée par les rejets des aciéries. La population devrait donc être en faveur du développement du DRI, d'autant plus qu'il permettra la création de nouveaux emplois.
Législatives et réglementaires			Bien que des mesures soient prises dans la Construction (norme RE2020), un manque de mesures est constaté pour inciter au développement d'acier décarboné dans d'autres secteurs consommateurs d'acier (automobile). Pas de standards environnementaux ni de seuil d'intégration d'acier bas carbone pour les produits finis sidérurgiques. En attente de la clarification du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières.

RISQUES ET RECOMMANDATIONS

Cartographie des risques majeurs



1. **Risque de fuites de carbone** dues à des importations massives d'acier très carboné plus compétitif.
2. **Risque d'inadaptation des infrastructures électriques et hydrogène** pour répondre au besoin des aciéries.
3. **Manque de planification des gouvernements et d'anticipation dans la structuration** de la filière sidérurgique française.
4. **Manque de demande** en acier décarboné.

Recommandations et leviers (publics / privés) à mettre en œuvre

Infrastructures et approvisionnement

- **Développer avec anticipation les infrastructures hydrogène nécessaires.** Calculer précisément le besoin en énergies renouvelables et nucléaire pour décarboner l'industrie française. Anticiper la construction des moyens de production d'énergie associés et le raccordement de ces actifs au réseau électrique (délais de 3 à 5 ans).
- **Prévenir le risque de pénuries en ressources nécessaires** pour produire des électrolyseurs par la mise en œuvre de l'économie circulaire.
- **Développer la filière amont de production du minerai de fer** pour obtenir la qualité du minerai utilisée dans le procédé de DRI en quantités suffisantes.

Politiques publiques

- **Accélérer les travaux entre l'ADEME et les industries** pour proposer rapidement une trajectoire claire sur la décarbonation de l'acier à horizon 2050.
- **Soutenir la décarbonation de la sidérurgie** au travers d'un programme d'investissement d'avenir dédié à la filière.
- **Compenser les surcoûts de production liés au coût de l'hydrogène bas carbone** avec des aides financières au fonctionnement.

Programmes de recherche et d'innovation

- **Préserver le Crédit d'impôt recherche (CIR)** et fluidifier le dispositif en simplifiant le traitement des dossiers.
- **Simplifier l'accès aux programmes nationaux de recherche et accompagner les porteurs de projets** qui candidatent au programme Horizon Europe.

- **Prendre de l'avance sur la nouvelle génération de technologies** qui permettra de produire de l'acier différemment et à moindre coût.

Industrialisation et structuration de la filière

- **Moderniser l'image de la filière et valoriser les opportunités** auprès des futurs diplômés pour attirer les talents.

Financements & investissements

- **Clarifier et détailler la trajectoire de décarbonation** de l'acier pour rassurer les investisseurs.
- **Attribuer des contrats carbone pour différence (CCfD)** aux aciéristes pour réduire le risque associé aux lourds investissements requis.
- **Valoriser les avantages compétitifs de la France** pour produire de l'acier décarboné afin d'obtenir des fonds européens.
- **Allouer des fonds publics aux projets** qui ont un plan d'approvisionnement européen.

Réglementation

- **Clarifier l'application** du Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF).
- **Imposer un taux minimum d'acier décarboné** dans les produits finis au niveau européen, à commencer par les secteurs de la Construction et de l'Automobile.
- **Définir des normes environnementales européennes** sur l'acier et veiller à leur respect pour tout produit importé.
- **Ajouter les ferro-alliages dans la liste des produits importés** visés par la taxe carbone.
- **Rendre les contrats carbone pour différence (CCfD)** compatibles avec la réglementation communautaire sur les aides d'Etat.

- Plan sidérurgie France, vers une sidérurgie française compétitive, innovante, décarbonée et attractive, Conseil national de l'industrie, 2022
- Hydrogen (H2)-based ironmaking, World Steel Association, 2022
- World direct reduction statistics 2020, Midrex technologies et World Steel Dynamics 2021
- Stratégie Nationale Bas Carbone sous contrainte de ressources, INEC et Capgemini, 2022
- Climate-neutral Steelmaking in Europe, Commission européenne, 2021

Interviews

- Air Liquide
- EIT InnoEnergy France

Organismes / Entreprises :

- Les Echos
- L'Usine Nouvelle
- Techniques de l'ingénieur
- Sénat
- EUROFER
- Observatoire de la métallurgie

- **Procédé de réduction directe du minerai de fer (DRI - *Direct Reduced Iron*)** : procédé permettant d'obtenir du minerai de fer préréduit (produit semi-fini sidérurgique) grâce à la réaction chimique de réduction des oxydes de fer. Le gaz de réduction utilisé, composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène, est habituellement obtenu à partir de charbon ou de gaz naturel. Le DRI à partir d'hydrogène consiste à utiliser un gaz de réduction entièrement constitué d'hydrogène.
- **Contrats carbone pour différence (CCfD)** : contrat conclu entre l'Etat et un industriel pour dérisquer les investissements privés dans des technologies de décarbonation prometteuses mais peu matures. Cet outil politique assure à l'investisseur un prix du carbone fixe et suffisamment élevé pour rendre son investissement rentable, puisque l'Etat comble la différence entre le cours du carbone et le prix fixé sur une durée déterminée.
- **Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF)** : taxe sur les importations européennes marquées par un bilan carbone dépassant le seuil fixé par l'Union européenne. La mise en place de ce système évitera la délocalisation des activités polluantes en dehors de l'Union européenne.
- **Sans ce mécanisme, les industriels sur le sol européen seraient contraints** à des normes environnementales exigeantes, tandis que les importations de produits fortement carbonés seraient autorisées. COP autour ou supérieur à 4.