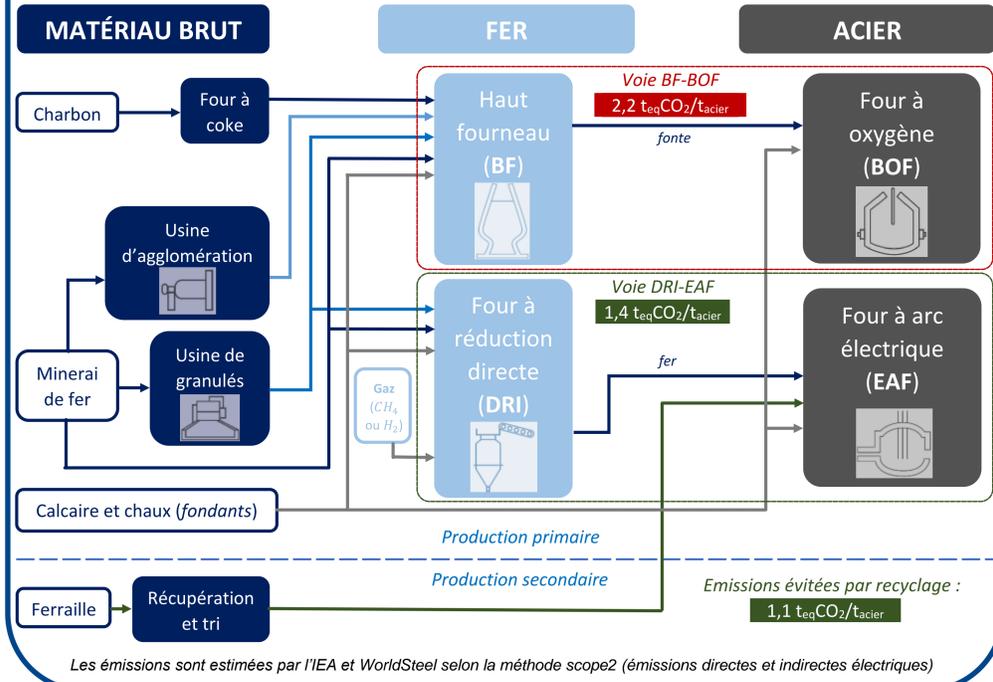
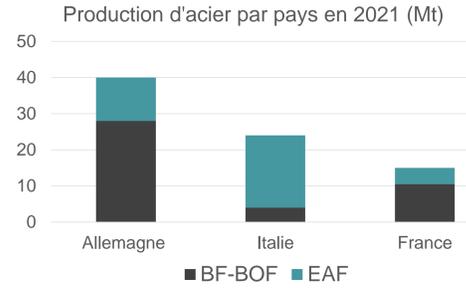


## Des méthodes de production variées et plus ou moins émettrices, alimentées par différentes énergies

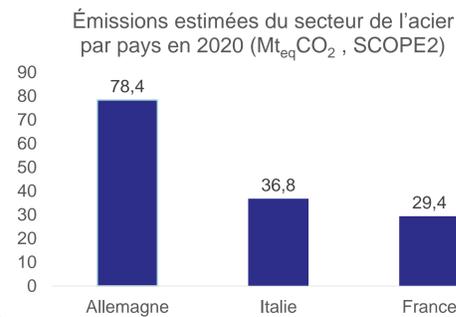


## Un paysage industriel contrasté en Europe...

- En France et en Allemagne, la méthode « traditionnelle » à haut-fourneaux domine.
- La production italienne est déjà majoritairement électrifiée.
- La production a tendance à baisser sur les 20 dernières années dans les 3 pays considérés (quelques mégatonnes de moins par an).



## ... pour des émissions de CO<sub>2</sub> inégalement réparties



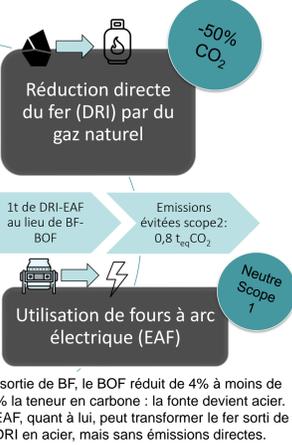
- Le secteur de l'acier est considéré comme « hard to abate », c'est-à-dire à fortes émissions qui sont intrinsèques à son activité.
- Cette industrie pèse lourd. Le tableau suivant montre la part de l'acier dans les émissions de l'industrie :

Pays	Part (%)
Allemagne	33%
Italie	12%
France	22%

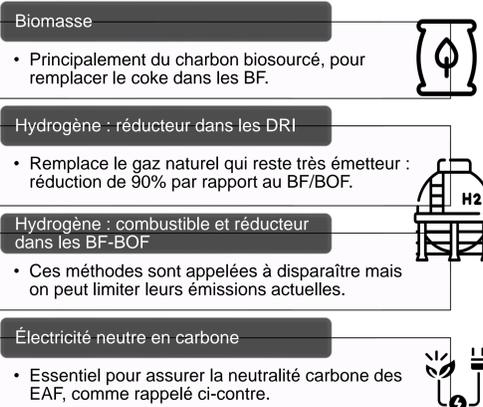
## Quels sont les moyens de mitigation des émissions ?

### Opter pour d'autres méthodes de production

Le minerai de fer, sous forme de granulés, doit être épuré de l'oxygène qu'il contient : c'est la **réduction**. Traditionnellement, les hauts fourneaux utilisent du **coke** pour réaliser cette étape. Du **gaz naturel** peut aussi fournir l'énergie dans un four DRI. Le haut fourneau donne de la fonte, le DRI du fer.



### Changer les moyens d'alimentation des fours



### Technologies futures

- CCUS :** Captage, stockage et utilisation du CO<sub>2</sub> émis. De nombreux projets existent mais sont difficile à mettre en œuvre ; se pose aussi la question du secteur bénéficiant de la réduction
- Electrowinning,** porté par ArcelorMittal : Electrolyse du fer :  $\frac{1}{2}Fe_2O_3 = Fe + \frac{3}{4}O_2$  Pas d'émissions directes de CO<sub>2</sub>

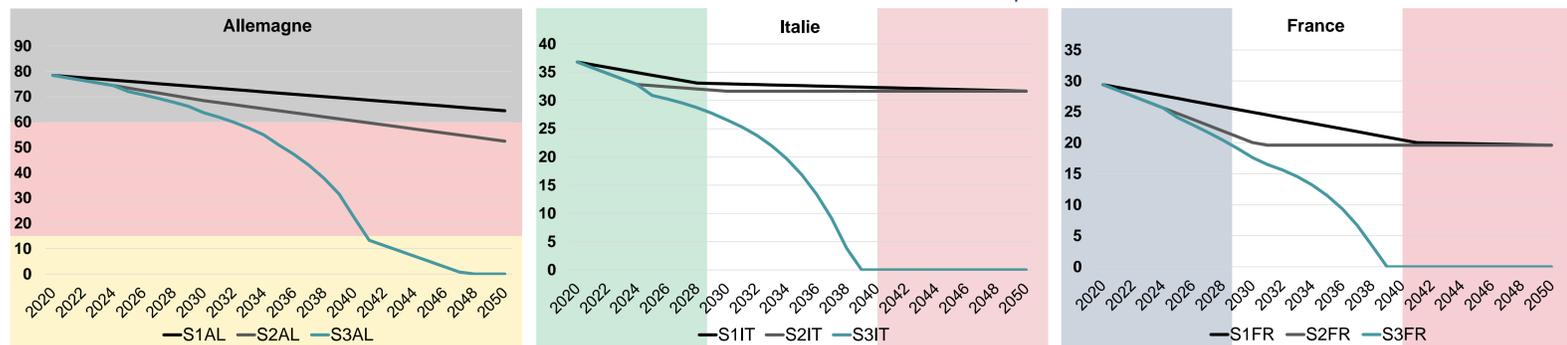
**Émissions indirectes :** pour les réduire, il faudra, entre autres, disposer abondamment d'une électricité neutre en carbone et d'hydrogène produit par électrolyse, à des prix abordables.

Dans le cadre du "Green Deal" européen, les trois pays visent la **neutralité carbone à l'horizon 2050**. Pour y parvenir, ils misent sur des solutions similaires : l'**électrification** (en Allemagne et en France particulièrement) qui a déjà fait ses preuves en Italie en divisant les émissions par 3 depuis 1990, l'**emploi de H<sub>2</sub>** à chaque étape de production le permettant, l'**augmentation du recyclage** et la **capture du carbone**. Cependant, l'Italie passe par la nationalisation de la production d'acier (ou au moins par le rachat des moyens de production par des entreprises italiennes) pour harmoniser les actions de décarbonation, là où l'entreprise ArcelorMittal domine en France et en Allemagne, parmi d'autres multinationales.

## Scénarios envisagés

- S1 (référence) :** Tendances actuelles de remplacement des BF/BOF par DRI/EAF à gaz naturel (0,5 Mt/an), recyclage de 90% de la ferraille disponible en 2050, mixe énergétique stable
- S2 (optimisation) :** Remplacement renforcé (1 Mt/an), recyclage de 90% de la ferraille disponible en 2030, mix énergétique stable
- S3 (rupture technologique) :** Mêmes critères que S2, avec apparition géométrique d'H<sub>2</sub> dans les DRI dès 2025 (départ à 5%, facteur 1,2 : 90% d'ici 2040), et captage graduel du CO<sub>2</sub> (hypothèse : si un pays évite x émissions par CCUS et que l'acier représente k% de ses émissions totales, l'acier bénéficie d'une réduction de  $\frac{kx}{100}$  de l'ordre de 0,1 Mt d'abord puis 1Mt dès 2035, production d'électricité et d'H<sub>2</sub> neutres en 2050

## Simulation des trajectoires par pays (Mt<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>, SCOPE2)



### Commentaires et conclusion

- Nous avons considéré que les objectifs de décarbonation s'appliquaient en **SCOPE2** (émissions directes et indirectes électriques) estimées par WorldSteel. On constate l'**incompatibilité totale** entre les **prévisions** actuelles et les **objectifs** annoncés de décarbonation à l'horizon 2050 pour l'Allemagne, la France et l'Italie. En se restreignant aux **émissions directes**, la décarbonation serait plus rapide et s'envisage dès 2030 avec S2 pour la France et l'Italie. Mais ces émissions sont **non-négligeables**, elles multiplient par 10 les émissions de la voie DRI-EAF. Nous avons choisi de ne pas tenir compte d'une éventuelle évolution du **mix électrique** des 3 pays. Si cette évolution ne fera aucun doute, il est difficile de la prévoir.
- La décarbonation du secteur de l'acier n'est donc envisageable qu'avec une **rupture technologique** et une **accélération** dans la conversion des fours. Cependant, des **freins** à la mise en place de ces technologies subsistent : disponibilité des **ressources**, **coûts** de mise en œuvre...

## Bibliographie sélective :

Fan, Z., & Friedmann, S. J. (2021). Low-carbon production of iron and steel: Technology options, economic assessment, and policy. *Joule*, 5(4), 829–862.  
 Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI (2019) *Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of industry*.  
 Rapports de la Wirtschaftsvereinigung Stahl (Allemagne) ; Rapports de la Federacciai (Italie) ; Plan de transition pour le secteur de l'acier par l'ADEME (France) ; Cofindustria (2020) *Plane d'azione per l'idrogeno* (modalités d'implémentation de l'hydrogène)

