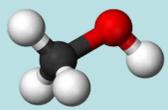
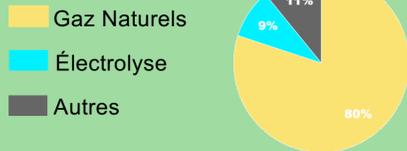


Le réchauffement climatique nous impose depuis longtemps une décarbonation, via la fin du recours aux combustibles fossiles. Face à ce défi, l'électricité fournit une énergie de substitution pouvant être décarbonée, mais la vitesse de développement des infrastructures nécessaire est limitée. Ce poster vise à explorer quels usages de cette électricité sont à prioriser pour décarboner le plus efficacement, dans un contexte où elle est limitée.

La plus grande partie de la production d'hydrogène aujourd'hui est d'origine fossile, avec une électricité bas-carbone, l'hydrogène devient viable. Son utilisation permet de décarboner d'autres procédés.

Origines de production française d'hydrogène en 2023



Une grande partie de l'hydrogène pur en France est utilisé pour produire de l'ammoniac et du méthanol. En scope 3, sa production par gaz naturels est responsable pour 80% du bilan carbone de l'ammoniac et pour 50% de celui du méthanol. L'utilisation de l'hydrogène bas carbone réduirait de 70% les émissions liées à la production de ces molécules.

L'hydrogène pourrait être employé dans le domaine du ferroviaire avec l'utilisation de piles à combustible. Cependant, dans les cas où l'électrification directe est possible, elle est plus efficace. Pour les longs trajets aux typologies plus complexes où l'électrification est impossible, l'hydrogène est envisageable grâce à la plus grande autonomie des piles à combustibles comparées aux batteries électriques.

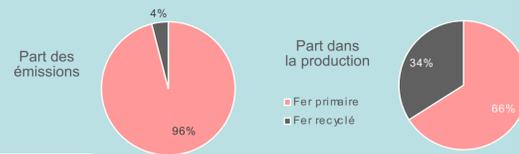


L'utilisation de l'hydrogène dans la sidérurgie a un très fort potentiel décarbonant grâce aux méthodes de réduction directe.

Sources
- Carbone 4 - Hydrogène bas-carbone : quels usages pertinents à moyen terme dans un monde décarboné
- Développement-durable.gouv.fr - L'hydrogène pur : évaluation des ressources et des usages en France en 2023

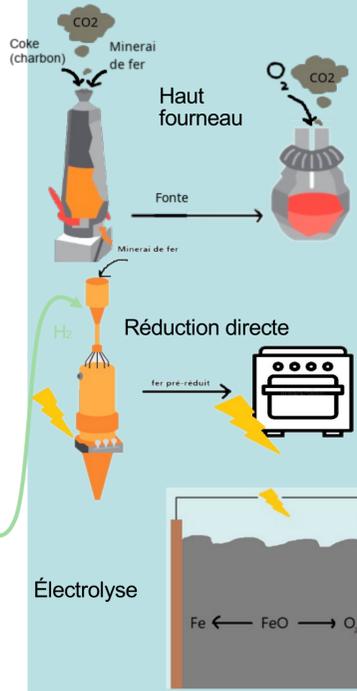
Le secteur industriel est responsable de 19% des émissions de gaz à effet de serre françaises. L'acier, 2e secteur le plus émissif derrière la chimie, peut se décarboner en changeant de procédé et d'énergie.

La filière recyclage, déjà électrifiée, est beaucoup moins émissive que la filière primaire. La production d'acier primaire représente 4% des émissions françaises et est concentrées sur trois sites de hauts fourneaux.



Besoins et émissions en scope 1

Processus	tcO2/tFe	Besoins /tFe
Haut fourneau	1,8	250kg Coke
Réduction directe	0	4.3MWh (dont 52kg de H2)
Électrolyse	0	3,6MWh



Le fer se trouve à l'état naturel sous forme oxydée, Fe_xO_y. Pour faire de l'acier, il faut le réduire.

Le haut fourneau consiste à le faire réagir avec du charbon, pour obtenir de la fonte (fer trop chargé en C) et du CO₂. Ensuite on injecte de l'oxygène pour retirer ce carbone excédentaire.

La réduction directe consiste à injecter un réducteur, (H₂, CH₄, CO) pour réduire le fer sans charbon, et qui peut ensuite être fondu dans un four à arc électrique.

L'électrolyse encore au stade expérimental, permettrait d'obtenir du Fer et de l'oxygène par simple application d'un courant. La principale difficulté porte sur les contraintes appliquées aux électrodes.

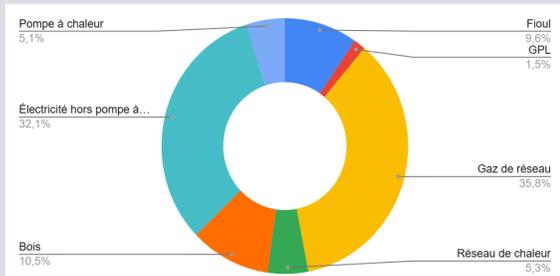
Minier, A. Q., Sourisseau, S., & Mari, E. (s. d.). *scenario transition acier—ADEME* Bailera, M., Lisbona, P., Peña, B., & Romeo, L. M. (2021). A review on CO₂ mitigation in the Iron and Steel industry through Power to X processes. *Journal of CO₂ Utilization*, 46, 101456. <https://doi.org/10.1016/j.jcu.2021.101456>

Les syngas

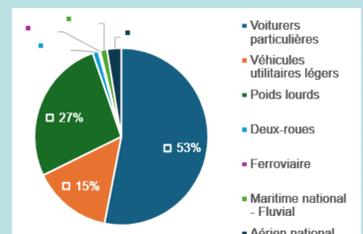
Les e-fuels sont une autre bonne manière de remplacer les énergies fossiles par de l'hydrogène.

Maritime	Aviation
e-GNL, e-méthanol	e-kérosène
Les réserves de biocarburant de 2 ^{ème} génération étant limitées, il est nécessaire de compléter avec d'autres carburants. Ces derniers sont les deux ayant le plus grand potentiel de décarbonation.	Les avions électriques ou à hydrogène étant impossibles pour les longs courriers, cette option de décarbonation des vols semble la plus faisable malgré sa faible efficacité et son fort coût car c'est un secteur très actif économiquement.

Le chauffage correspond en France au 78% des émissions de CO₂ des logements. À niveau national, ce chauffage est la cause d'environ un 20% des émissions de CO₂ totales. [3.1]



Le secteur des transports représente le principal contributeur aux émissions de gaz à effet de serre en France, avec 30 % des émissions nationales totales. Ces émissions sont majoritairement représentées (95 %) par les véhicules légers, les véhicules utilitaires légers et les poids lourds. Dans le cadre d'une électricité bas carbone, il est intéressant de s'interroger sur le potentiel de décarbonation d'un passage à des véhicules entièrement électriques.



Répartition des émissions du secteur du transport (totale = 125 MCO₂éq)

Sachant que ce sont surtout les petits appartements qui sont chauffés à l'électricité. En effet, autour de 73% des appartements de moins de 20 mètres carrés sont chauffés à l'électricité tandis que cette valeur se retrouve à peine au-dessus de 25% pour ceux de 70 mètres carrés. De façon similaire, ce sont surtout les locataires du secteur public et propriétaires qui utilisent les réseaux urbains (gaz, réseau de chaleur). [3.2]

Le chauffage présente donc un important potentiel de décarbonation.

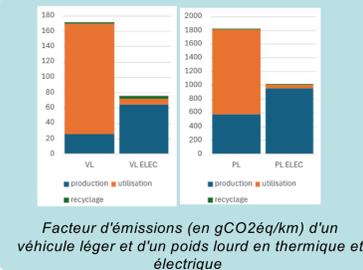


Une pompe à chaleur (PAC) extrait la chaleur de l'air, de l'eau ou du sol pour la transférer à l'intérieur du bâtiment. Avec un COP (coefficient de performance) typique entre 3 et 5, une PAC produit 3 à 5 kWh de chaleur par kWh d'électricité.

Le chauffage au fioul émet 250-300 gCO₂/kWh de chaleur produite. Le chauffage au gaz émet 200-250gCO₂/kWh de chaleur produite. Une PAC avec un COP de 3 et une électricité à 40 gCO₂/kWh émet 13-15 gCO₂/kWh de chaleur produite.

Cela correspond à une réduction de 90-95% de réduction des émissions par rapport au fioul et une réduction de 85-90% par rapport au gaz. [3.3]

En remplaçant la totalité du chauffage au fioul et au gaz par des pompes à chaleur, on réduit les émissions carbone (en scope 1) du secteur de 40%, ce qui se traduirait en une réduction de 8% des émissions de CO₂ nationales.

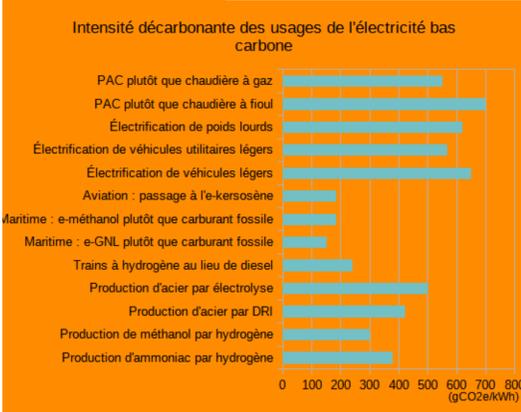


Facteur d'émissions (en gCO₂éq/km) d'un véhicule léger et d'un poids lourd en thermique et électrique

Passer d'un véhicule thermique à un véhicule électrique permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'environ 60 % sur l'ensemble de son cycle de vie. Cependant, la production de la batterie reste la principale source d'émissions pour les véhicules électriques. Pour un véhicule léger, cette transition devient avantageuse en termes d'émissions après environ 80 000 km, soit l'équivalent de 6 à 7 ans d'utilisation pour un conducteur moyen.

Les transports représentent environ 30 % de la consommation finale d'énergie en France. Étant donné le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules légers (VL), les véhicules utilitaires légers (VUL) et les poids lourds (PL), ainsi que leur consommation moyenne en mode électrique, la transition complète de la flotte française vers des véhicules électriques consommerait environ un tiers de la production électrique nationale. Cependant, les émissions des véhicules électriques sont principalement liées à la production des batteries, ce qui rend la réduction de cette flotte tout aussi cruciale. Il serait pertinent d'augmenter la part du ferroviaire pour les trajets longue distance et de favoriser les trajets courts à vélo électrique ou en véhicules légers à batterie réduite, puisque 40 % des trajets en voiture en agglomération concernent des distances inférieures à 3 km.

CONCLUSION



[3.1] <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel>
[3.3] <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone-ressources/article/les-facteurs-d-emission-de-gaz-a-effet-de-serre-statistique.developpement-durable.gouv.fr, rte-france, SDES, notre-environnement.gouv.fr>

