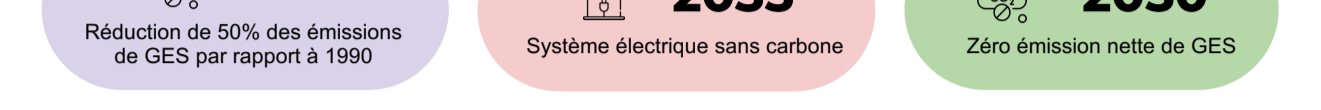


Dans le contexte de la transition énergétique mondiale, tous les pays sont amenés à **baiss** leurs émissions de CO2 dans l'atmosphère. Pour atteindre ces objectifs, ces pays envisagent différents scénarios pour répondre à la demande énergétique en 2050. Un des vecteurs énergétiques qui pourrait s'avérer essentiel dans ces scénarios est l'**Hydrogène**. En particulier, ce dernier pourrait fortement impacter les domaines **des transports, de l'industrie spécialisée, et des oléfines produites à partir de méthanol**. Nous avons donc été chargés de quantifier la demande en hydrogène dans ces différents secteurs d'ici 2050 pour les pays suivants : **la France, L'Allemagne et la Suisse**.

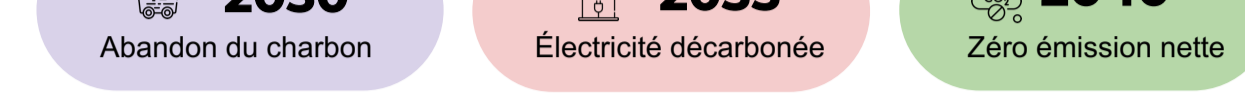
Programme Suisse

Les objectifs officiels de la Suisse en 2050 :



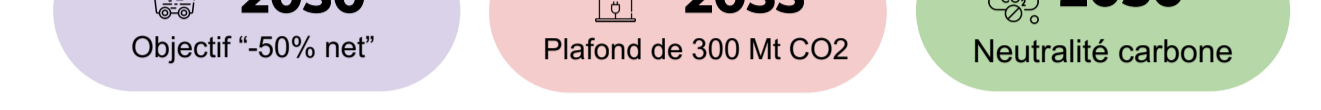
Programme Energiewende

Les objectifs officiels de l'Allemagne en 2050 :



Programme France

Les objectifs officiels de la France en 2050 :



Secteur des poids lourds

Hypothèses pour 2050:
Le nombre de véhicules ne change presque pas
Les véhicules parcourent en moyenne le même nombre de km

En Allemagne :

960 000 millions de poids lourds en Allemagne en 2023
100 000 km/an. C'est la distance moyenne parcourue par un camion allemand
8,5 kg d'hydrogène est nécessaire pour qu'un camion à hydrogène parcoure 100 km.

Il faut réfléchir à la **proportion de camions à hydrogène dans le mixte automobile allemand en 2050**. Pour que l'Allemagne respecte ses objectifs, il sera nécessaire d'avoir uniquement des véhicules électriques ou à hydrogène dans le parc allemand.

Approximation (RTE) : **35 %** de camions à hydrogène en 2050

2,8 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour le secteur des poids lourds.

En France :

615 000 millions de poids lourds en France en 2023
44 000 km/an. C'est la distance moyenne parcourue par un camion en France
8,5 kg d'hydrogène est nécessaire pour qu'un camion parcoure 100 km..

La méthode de calcul est identique à celle utilisée pour l'Allemagne. On prend cependant en compte que l'électricité française est **verte et produite à bas coût**. Ce qui rend plus pertinent un pourcentage plus élevé de camions électriques, donc **moins de camions à hydrogène**.

Approximation (RTE) : **25 %** de poids lourds à hydrogène en 2050

0,76 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour les poids lourds

En Suisse :

700 000 millions de poids lourds en Suisse en 2023
45 000 km/an. C'est la distance moyenne parcourue par un camion en Suisse
8,5 kg d'hydrogène est nécessaire pour qu'un camion parcoure 100 km..

On prend en compte l'importance de la transition vers les **poids lourds à hydrogène**, au vu du **faible intérêt** que présentent les voitures à hydrogène.

Approximation : **35 %** de poids lourds à hydrogène en 2050

0,94 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour les poids lourds

Secteur de l'industrie spécialisée

Hypothèses pour 2050:
Autant d'acier, de méthanol et d'ammoniac seront produits
Les réactions étudiées ici sont totales et ont un rendement proche de 1 (optimisation industrielle)

Certains domaines de l'industrie émettent fortement du CO2 dans l'atmosphère. L'hydrogène pourrait être une alternative intéressante pour ces domaines concernés. On s'intéresse ici à l'utilisation de l'hydrogène dans la **production d'acier, de méthanol, et d'ammoniac**.

En Allemagne :

	Acier primaire	Méthanol	Ammoniac
Quantité à produire	$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$ 30 millions de tonnes	$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$ 1,0 millions de tonnes	$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 2,0 millions de tonnes
Besoin en hydrogène	1,3 millions de tonnes	0,18 millions de tonnes	0,17 millions de tonnes

1,65 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour le secteur de l'industrie spécialisée

En France :

Le secteur industriel français est un peu différent que celui de l'Allemagne : les consommations et productions diffèrent légèrement. Par exemple la France produit moins d'acier que l'Allemagne mais plus d'ammoniac car la surface agricole exploitée y est plus importante

	Acier primaire	Méthanol	Ammoniac
Quantité à produire	$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$ 11 millions de tonnes	$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$ 2,2 millions de tonnes	$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 5,3 millions de tonnes
Besoin en hydrogène	0,5 millions de tonnes	0,4 millions de tonnes	0,9 millions de tonnes

2,1 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour le secteur de l'industrie spécialisée

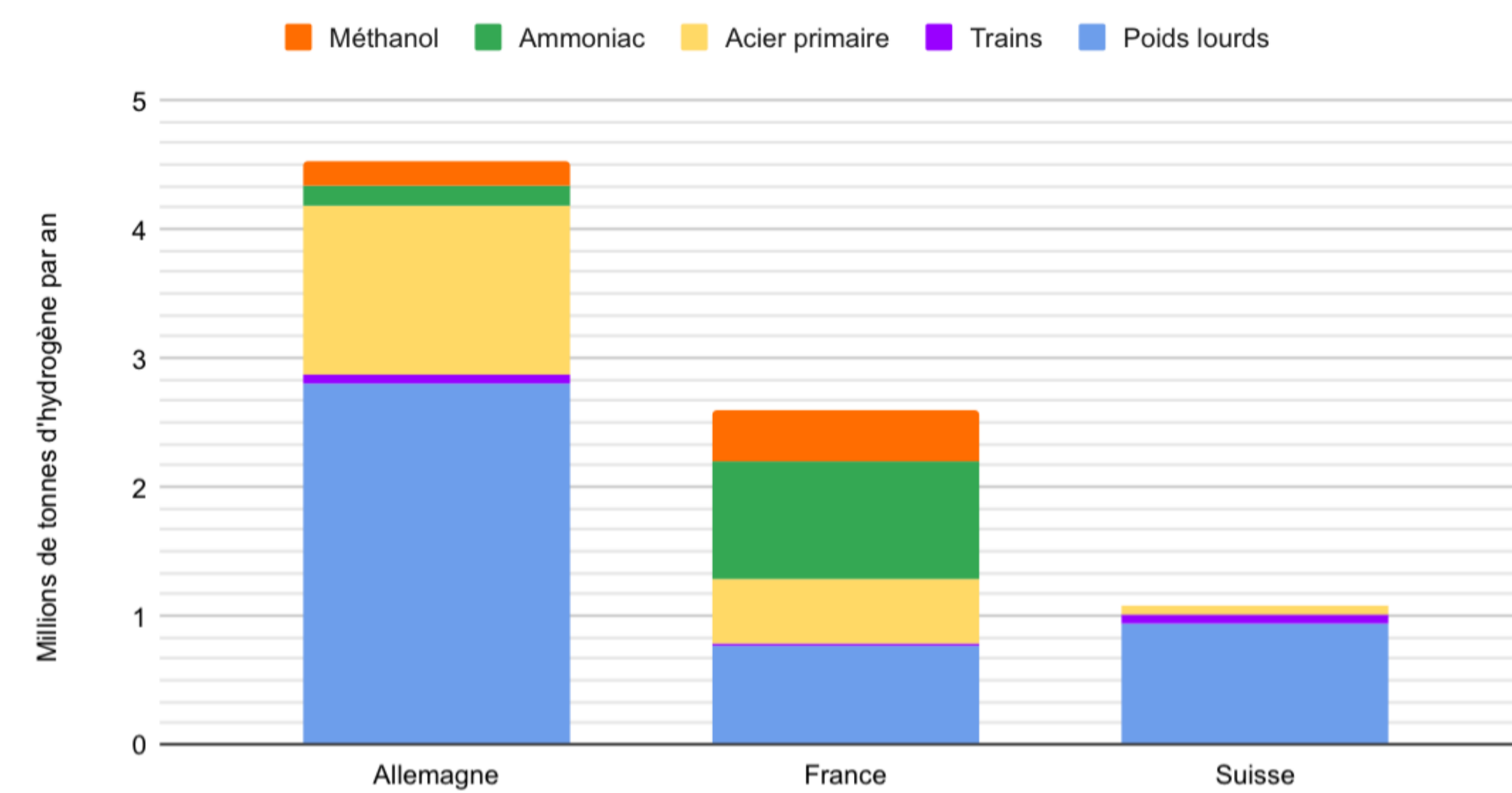
En Suisse :

Le secteur industriel suisse est très peu développé en comparaison avec les secteurs industriels allemands et français, en particulier au niveau du méthanol et de l'ammoniac.

	Acier primaire	Méthanol	Ammoniac
Quantité à produire	$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$ 1,2 millions de tonnes	$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$ 1000 tonnes	$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 1000 tonnes
Besoin en hydrogène	0,065 millions de tonnes	180 tonnes	85 tonnes

65 milliers de tonnes d'hydrogène en 2050 pour le secteur de l'industrie spécialisée

Évaluation de la demande en hydrogène à l'horizon 2050 par secteur et pour la Suisse, l'Allemagne et la France



Les oléfines à partir de méthanol

Un axe majeur de décarbonation de l'industrie est le développement de la production de plastique sans dérivés pétroliers. On étudie le cas de la production de polyoléfines à partir de méthanol.

Hypothèses pour 2050:
Quantité d'oléfine inchangée en 2050. L'intégralité des plastiques polyoléfine produite par de l'hydrogène.
3 tonnes de méthanol sont nécessaires pour produire une tonne d'oléfines

En France :
Étant donnée la forte pollution liée à la production de plastique « de pétrole » on peut supposer que **l'intégralité des oléfines produite en France en 2050 proviendront du méthanol** pour suivre des scénarios de neutralité carbone

500 000 Tonnes d'oléfines sont produites en France chaque année
0,28 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour la production de plastique en Allemagne

En Allemagne : **L'intégralité des oléfines produite en Allemagne en 2050 proviendront du méthanol** pour suivre des scénarios de neutralité carbone (à modifier)

1,3 Mt d'oléfines sont produites en Allemagne chaque année
0,75 millions de tonnes d'hydrogène en 2050 pour la production de plastique en France

Consommation des trains à hydrogène

Hypothèses pour 2050:
Consommation énergétique en Allemagne ne change pas
La proportion du chauffage dans la consommation énergétique finale ne change pas

En Allemagne :

250 millions de km ont été parcourus par des trains non électrifiés en 2022
33 kg d'hydrogène sont nécessaires pour parcourir 100 km
20% des trains ne sont pas électrifiés
On considère que **tous les trains non électrifiés vont devenir des trains à hydrogène**. (approximation)

75 milliers de tonnes d'hydrogène en 2050 pour les trains à hydrogène

En France :

100 millions de km ont été parcourus par des trains non électrifiés en 2022
1ère C'est la place de la SNCF en tant que consommateur d'électricité en France
16 TWh C'est la consommation totale de la SNCF en énergie en 2023

30 milliers de tonnes d'hydrogène en 2050 pour le secteur des trains à hydrogène

En Suisse :

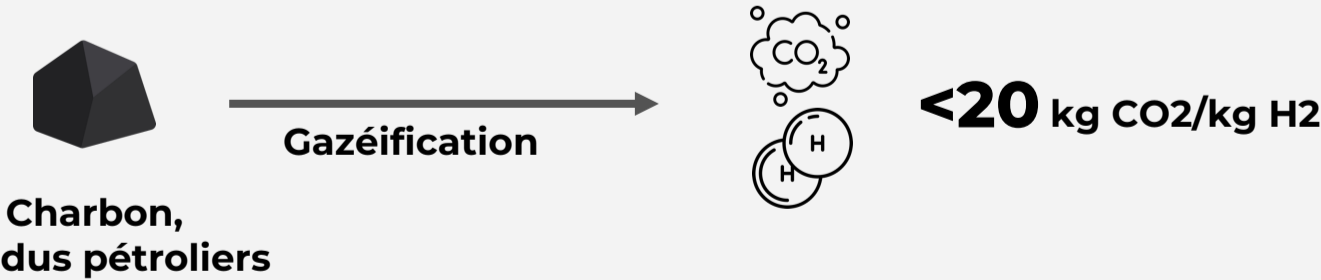
42 millions de kilomètres ont été parcourus par des trains en Suisse en 2022
33 kg d'hydrogène sont nécessaires pour qu'un train parcoure 100 km
20% des trains ne sont pas électrifiés

Parmi ces 20%, on considère que **tous ces trains vont devenir des trains à hydrogène**. (approximation)

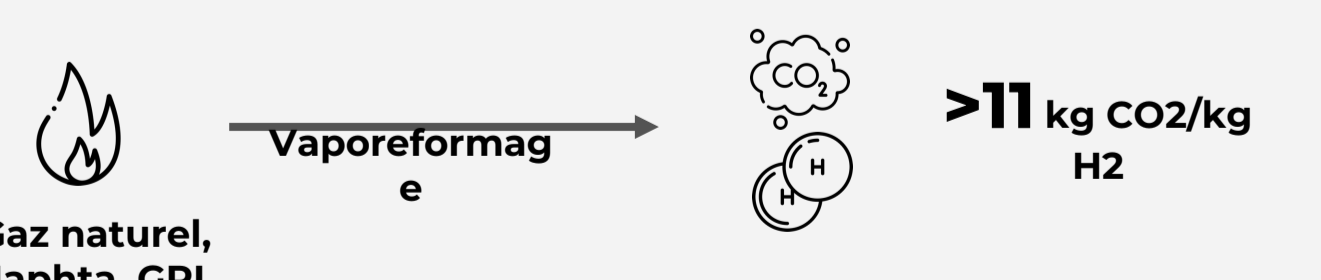
13 milliers de tonnes d'hydrogène en 2050 pour les trains à hydrogène

Comment produire tout cet hydrogène ?

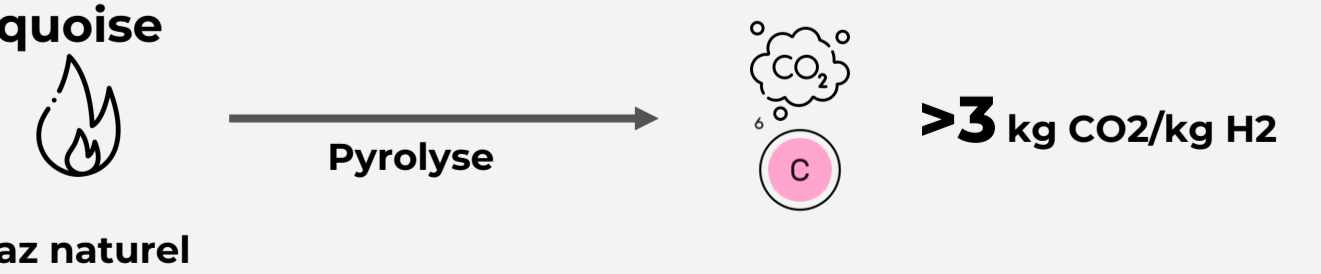
Hydrogène noir



Hydrogène gris

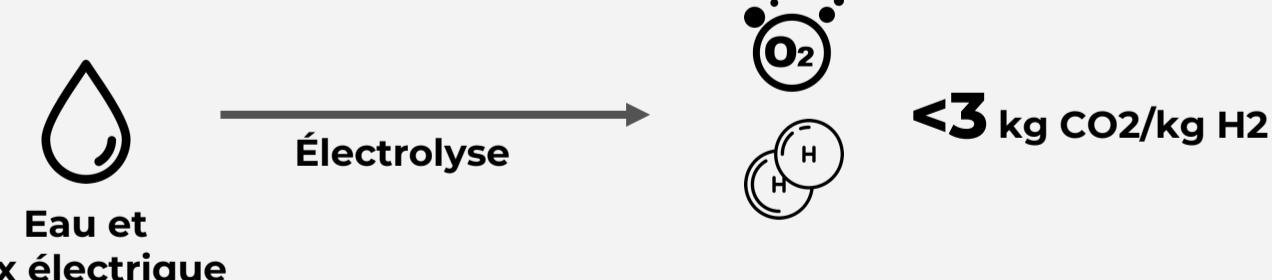


Hydrogène turquoise

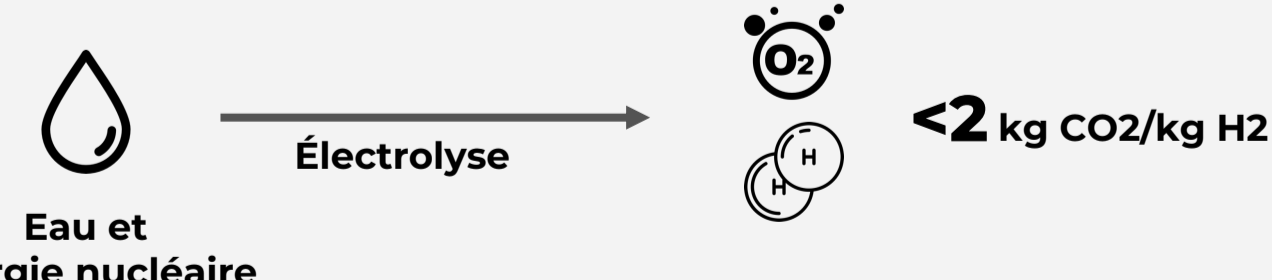


Ces trois méthodes de production seront peu utilisées en 2050 de production en raison de leur **impact environnemental**.

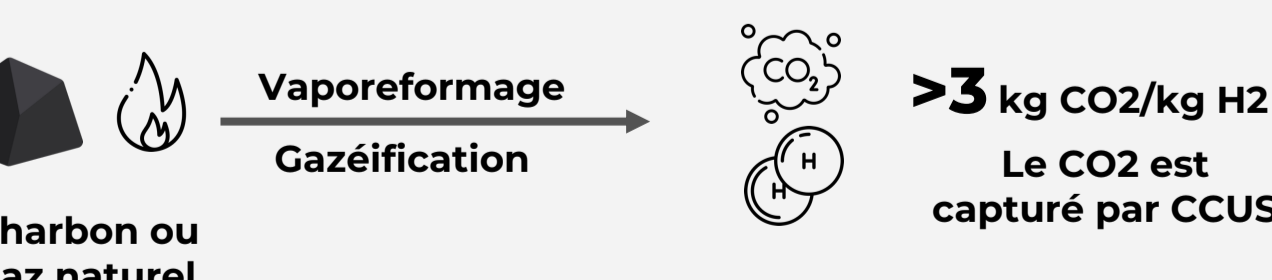
Hydrogène jaune



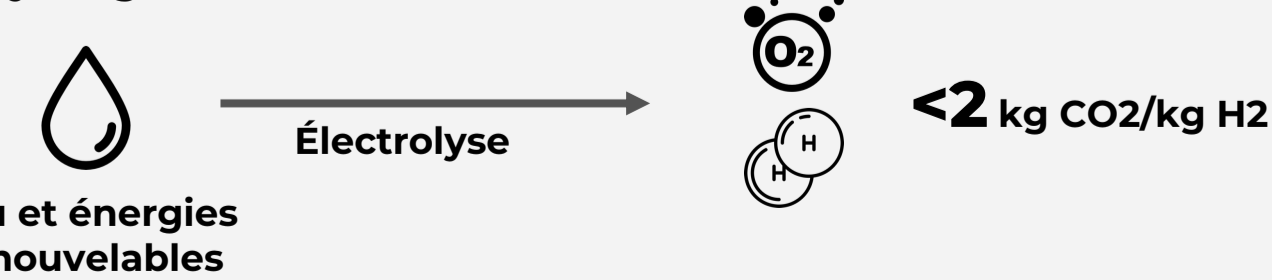
Hydrogène rose



Hydrogène bleu



Hydrogène vert



À terme, l'Allemagne pourra s'appuyer sur son **parc d'énergie renouvelable** pour produire de l'hydrogène à via **électrolyse de l'eau**
L'Allemagne a également prévu une stratégie importante d'importation pour répondre à la forte demande en hydrogène prévue pour 2050.



La France a l'avantage de disposer d'une source d'électricité à bas coût et sans émissions de GES grâce à son **parc nucléaire**. Les projets gouvernementaux prévoient donc de baser la production de H2 sur l'électrolyse. Le pays est d'ailleurs pionnier dans le **développement de nouveaux catalyseurs** qui permettront une production plus efficace, comme par exemple le projet de gigafactory d'électrolyseurs haute température de Genvia.



La Suisse dispose d'un **parc d'énergie renouvelable** très développé, majoritairement **hydro-électrique**, et qui pourrait donc alimenter les électrolyseurs pour fournir de l'hydrogène propre de manière fiable, quelques installations ont d'ailleurs déjà été mises en place.

