

## Note de synthèse stratégique : Les différents types d'hydrogène

Sébastien Tertrais

Date : 01 octobre 2025

### Synthèse sur les différents types d'hydrogène

L'hydrogène est souvent présenté comme un vecteur énergétique clé pour la décarbonation, notamment dans les transports et l'industrie. Cependant, ses méthodes de production varient grandement en termes de coût, d'impact environnemental et de maturité technologique. Voici une synthèse concise et précise des principaux types d'hydrogène existants en 2025, avec leurs caractéristiques, avantages, limites et contexte d'utilisation, en lien avec la discussion sur l'hydrogène rose et la conférence de Saint-Malo.

---

#### 1. Hydrogène gris

- Définition : Produit par reformage à la vapeur (steam methane reforming, SMR) ou gazéification du charbon, à partir de combustibles fossiles (gaz naturel ou charbon).
- Caractéristiques :
  - Coût : 1-2 €/kg (le moins cher).
  - Émissions : 9-12 kg CO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub> (très émetteur).
  - Part mondiale : ~95 % de la production mondiale (120 Mt/an), dont 2 Mt/an en France, principalement pour l'industrie (raffineries, ammoniac).
- Avantages :
  - Technologie mature et largement déployée.
  - Coût compétitif grâce à des infrastructures existantes.
- Limites :
  - Forte empreinte carbone, incompatible avec les objectifs de décarbonation (ex. : Fit for 55 de l'UE).
  - Dépendance aux énergies fossiles, soumise à la volatilité des prix du gaz.
- Contexte : Dominant en 2025, mais en recul progressif face aux pressions réglementaires et à la montée des alternatives bas-carbone.

---

#### 2. Hydrogène bleu

- Définition : Hydrogène gris avec capture et stockage du carbone (CCS) pour réduire les émissions.
- Caractéristiques :
  - Coût : 2-3 €/kg (plus cher que le gris en raison du CCS).
  - Émissions : 1-3 kg CO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub> (jusqu'à 90 % d'émissions capturées, selon l'efficacité du CCS).
  - Part mondiale : Moins de 1 % de la production mondiale, avec quelques projets pilotes (ex. : Norvège, Canada).
- Avantages :
  - Réduit l'impact carbone du reformage, compatible avec une transition progressive.

Sébastien Tertrais Insights : <https://sebastientertrais.com/>

Conseil stratégique, analyse systémique des mutations sociétales, conférences. Pour éclairer la complexité et accompagner la prise de décision.

- Utilise des infrastructures fossiles existantes, facilitant le déploiement.
  - Limites :
    - Technologie CCS coûteuse et encore immature (stockage à long terme non garanti).
    - Dépendance persistante aux combustibles fossiles.
  - Contexte : Solution transitoire, mais peu développée en France en 2025, où le nucléaire domine le mix bas-carbone.
- 

### 3. Hydrogène vert

- Définition : Produit par électrolyse de l'eau ( $H_2O \rightarrow H_2 + O_2$ ) alimentée par des énergies renouvelables (éolien, solaire, hydroélectricité).
  - Caractéristiques :
    - Coût : 4-6 €/kg (élevé, dépend du prix de l'électricité renouvelable).
    - Émissions : Quasi nulles (0-0,5 kg CO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub>, selon la production des EnR).
    - Part mondiale : ~2-3 % de la production mondiale. En France, projets pilotes comme H2V Normandy (100 MW d'électrolyseurs prévus d'ici 2028).
  - Avantages :
    - Entièrement décarboné, aligné avec les objectifs climatiques.
    - Synergie avec la croissance des EnR (ex. : 16 GW solaire, 21 GW éolien en France en 2025).
  - Limites :
    - Coût élevé, lié à l'intermittence des EnR et au prix des électrolyseurs (500-1000 €/kW).
    - Besoin d'infrastructures massives pour le stockage et la distribution (ex. : pipelines, stations de ravitaillement).
    - Rendement énergétique modeste (60-70 % pour l'électrolyse).
  - Contexte : Poussé par les subventions (ex. : 9 milliards d'euros via France 2030), mais limité par l'intermittence des EnR. Projets comme Energy Observer à Saint-Malo s'appuient sur l'hydrogène vert pour la navigation décarbonée.
- 

### 4. Hydrogène rose (ou violet)

- Définition : Produit par électrolyse de l'eau alimentée par l'énergie nucléaire.
- Caractéristiques :
  - Coût : 3-5 €/kg (compétitif par rapport au vert, grâce à la stabilité du nucléaire).
  - Émissions : Quasi nulles (0-0,2 kg CO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub>, le nucléaire étant décarboné à 96-98 % en France).
  - Part mondiale : Marginal (<1 %), mais potentiel fort en France (61,4 GW de capacité nucléaire). Projets pilotes comme H2V Normandy couplent électrolyse et nucléaire.
- Avantages :
  - Production stable et continue (contrairement aux EnR), idéale pour l'électrolyse.
  - Valorise l'excédent d'électricité nucléaire (30 TWh perdus en 2024 par modulation, soit 8 % de la production).
  - Synergie avec le parc français, déjà leader mondial en électricité décarbonée.
- Limites :

- Coût initial des électrolyseurs et infrastructures (5-10 milliards d'euros pour 10 GW d'électrolyseurs).
  - Résistance sociétale au nucléaire dans certains pays (moins en France).
  - Nécessite un développement du marché de l'hydrogène (actuellement 2 Mt/an en France, majoritairement gris).
  - Contexte : Particulièrement pertinent pour la France, où le nucléaire domine (67 % du mix électrique). Intérêt croissant pour des applications maritimes (ex. : ports comme Saint-Malo) et industrielles, soutenu par des acteurs comme Toyota (piles à combustible) et EDF.
- 

## 5. Autres types (mineurs)

- Hydrogène turquoise : Produit par pyrolyse du méthane, générant du carbone solide (non émis). Technologie expérimentale, non déployée à grande échelle (coût : 2-4 €/kg, émissions faibles).
- Hydrogène blanc : Hydrogène naturel extrait de gisements géologiques (rare, en exploration, ex. : Mali, Australie). Potentiel inconnu, coûts non établis.
- Hydrogène jaune : Produit par électrolyse alimentée par le réseau électrique (mix incluant fossiles). Émissions élevées, peu pertinent pour la décarbonation.