



Hydrogène Bas Carbone Pour un développement multi-technologies ACP Energies – Groupe H2 / CO2

27 Janvier 2023 – Rueil-Malmaison



CarbonFree Energy
BIAGEM CONSULTING

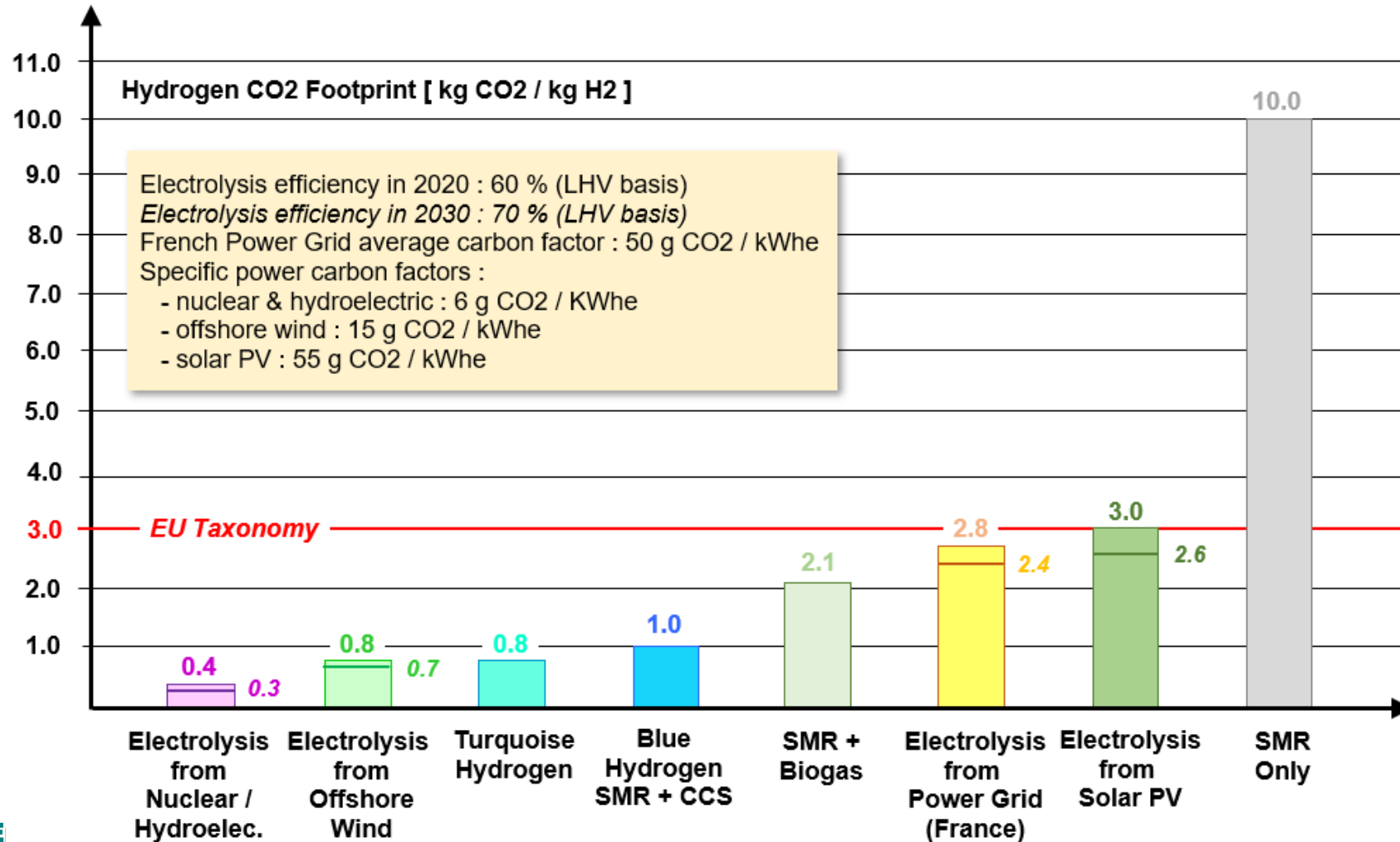
L'Hydrogène Bas Carbone – Plusieurs Technologies

- **L'Hydrogène Bas Carbone** est maintenant une désignation retenue par l'IEA et l'UE pour mieux corrélérer l'intensité carbone à celle de sa Source Primaire d'Energie ... comme pour toutes les applications de l'Energie Electrique ... et couvre un large spectre de technologies :
 - **Hydrogène Vert** : électrolyse utilisant directement des sources d'Energie Renouvelable (éolien, solaire PV) ; production intermittente => stockage important pour pallier l'intermittence de l'ENR et assurer une production continue
 - **Hydrogène Bleu** : vaporeformage de méthane (SMR, ATR) couplé avec Capture et Séquestration du CO2 (CCS) ; production industrielle continue
 - **Hydrogène Turquoise** : pyrolyse du méthane (torche plasma) avec coproduction de noir de carbone (pas d'émission directe de CO2) ; production industrielle continue
 - **Hydrogène Jaune** : électrolyse à partir du Réseau Electrique ; production industrielle continue
 - **Hydrogène Rose** : électrolyse à partir d'électricité produite directement par des centrales nucléaires
 - Bio-Hydrogène : vaporeformage (SMR) de Biogaz, thermolyse de Biomasse ; production industrielle continue



L'Hydrogène Bas Carbone – Spectre des Technologies

- L'Hydrogène Bas Carbone – Critère : Intensité Carbone ≤ 3.0 kg CO₂ / kg H₂ (UE)



L'Hydrogène Bas Carbone et Transition Energétique

- **Mission Première de l'Hydrogène Bas Carbone dans la Transition Energétique** = Remplacer des Energies Fossiles dans la Demande d'Energie Primaire :

- En tant que « **Matière** » : remplacer l'hydrogène carboné actuel de l'industrie

Heavy Industries	World	Europe	France
Hydrogen Production	75 Mtpa	11.5 Mtpa	0.9 Mtpa
Related CO2 Emissions	750 Mtpa	120 Mtpa	9 Mtpa

Refining : 45 %
 Ammonia & Fertilizers : 40 %
 Chemicals : 6 %
 Methanol : 4 %
 Metallurgy 4 %

- En tant que « **Vecteur Energétique** » : contribuer à décarboner le transport (95 % de la consommation de pétrole dans le monde, 14 % des émissions mondiales de CO2), permettre le développement de nouveaux Usages et Carburants Bas Carbone

1 Mtoe = 11.63 TWh
 H2 LHV = 33.3 kWh/kg

**6 – 9 fois plus d'hydrogène
 que la production industrielle
 actuelle**

Transport Sector Energy	World	Europe	France
Oil Consumption in 2018	4 660 Mtoe	640 Mtoe	79 Mtoe
Transport Sector Oil Consumption	2 420 Mtoe (52 %)	420 Mtoe (65 %)	50 Mtoe (63 %)
Equivalent Oil Chemical Energy	28 150 TWh	4 900 TWh	585 TWh
Equival. H2 Energy when considering energetic efficiency gain FCEV / ICEV = 2	14 075 TWh	2 450 TWh	292 TWh
Hydrogen Production Requirements	425 Mtpa	74 Mtpa	9 Mtpa



CarbonFree Energy
BIAGEM CONSULTING

L'Hydrogène Bas Carbone – Enjeux et Défis : Cas de la France

▪ Hydrogène Bas Carbone – Une seule technologie ?

- Décarbonation de l'industrie : enjeux

Key Assumptions :

1 Mtoe ⇔ 11.6 TWh

ENR average load factor : 22 %

Electrolysis efficiency : 60 %

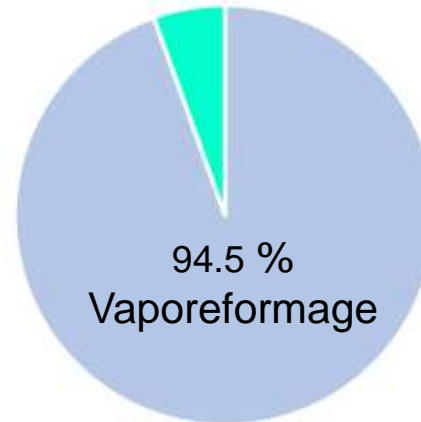
⇔ 55.5 kWh / kg H₂

Power to Wheel efficiency :

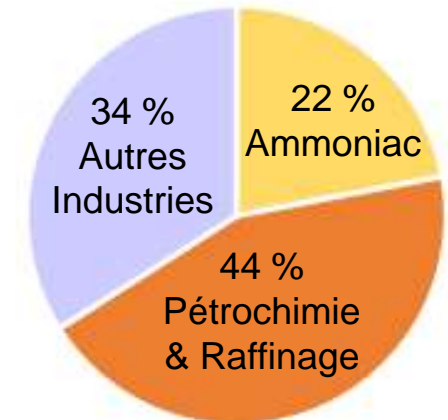
- ICEV : 30 %
- Fuel cell : 60 %
- Energy efficiency gain = 2

Production

5.5 % Electrolyse



Utilisation



Matière – Production d'Hydrogène : 0.9 Mtpa (2019) en France

⇔ **50 TWh par 100 % électrolyse**



L'Hydrogène Bas Carbone – Enjeux et Défis : Cas de la France

▪ Hydrogène Bas Carbone – Une seule technologie ?

- Décarbonation des Transports : enjeux

Consommation De Produits Pétroliers (2019)

Key Assumptions :

1 Mtoe \Leftrightarrow 11.63 TWh

H2 LHV = 33.33 kWh

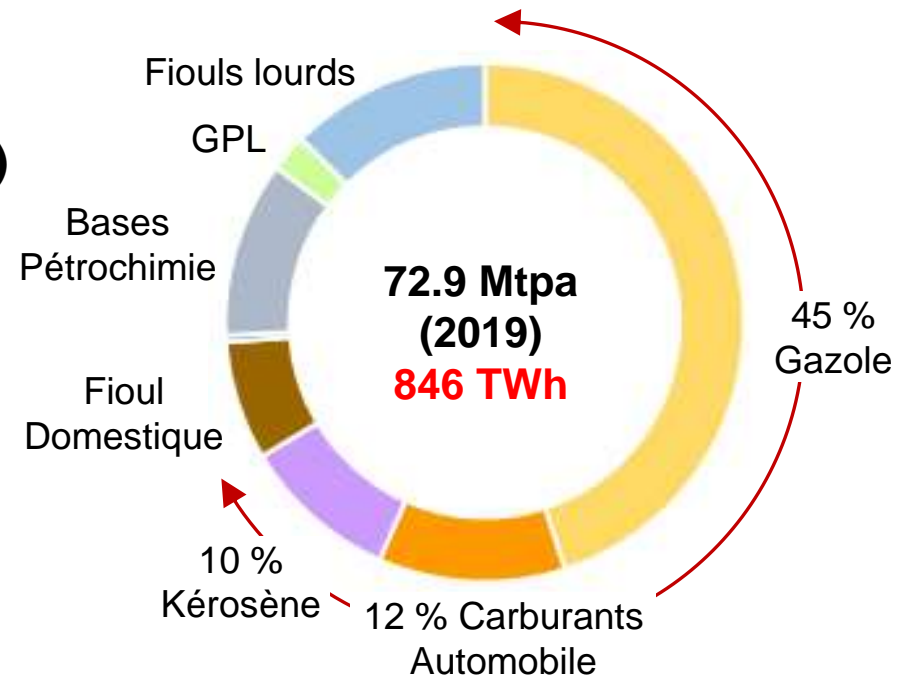
ENR average load factor : 22 %

Electrolysis efficiency : 60 %

\Leftrightarrow 55.5 kWh / kg H2

Power to Wheel efficiency :

- ICEV : 30 %
- Fuel cell : 60 %
- Energy efficiency gain = 2



Vecteur Énergétique – Substitution des Carburants Transports :

48.4 Mtpa / 66.4 % \Leftrightarrow **561 TWh**

\Rightarrow **280 TWh en tenant compte du gain en efficacité énergétique**

\Leftrightarrow **8.40 Mt H2**

Soit 468 TWhe d'énergie électrique pour être produit par électrolyse



CarbonFree Energy

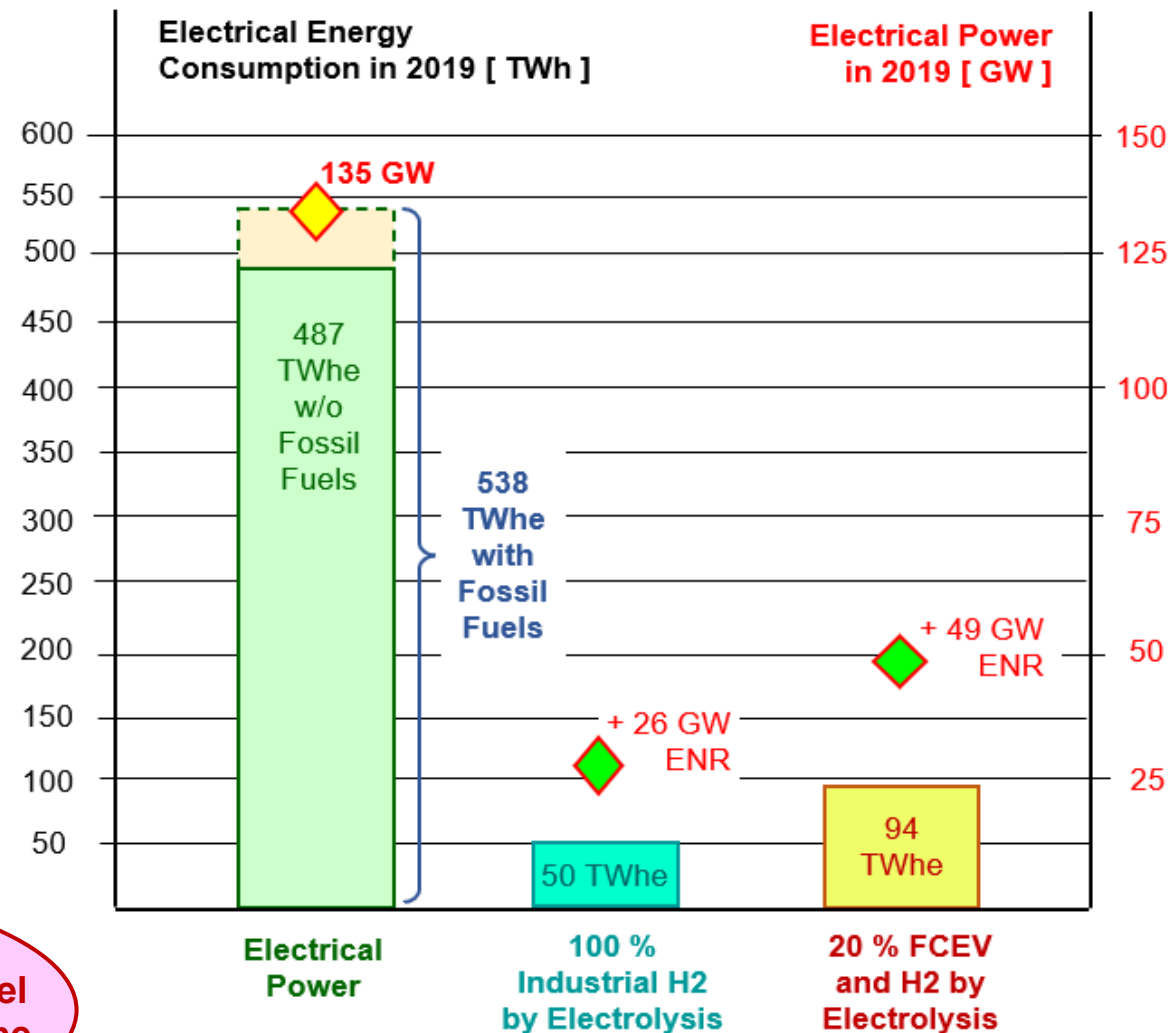
BIAGEM CONSULTING

L'Hydrogène Bas Carbone – Enjeux et Défis : Cas de la France

▪ **Décarbonation de l'Industrie et des Transports : l'électrolyse employée seule nécessiterait une production d'électricité considérable et une puissance ENR dédiée très importante en n'utilisant que de l'Hydrogène Vert**

- Production d'hydrogène industriel : substitution Gaz Naturel → Electrolyse
si Ratio = 100 % ⇔ + 50 TWhe
si 100 % Hydrogène Vert – ENR
=> Puissance ENR requise = + 26 GW
- Substitution Carburants Transport → Hydrogène pour véhicules avec PAC (FCEV)
si Ratio substitution = 20 % ⇔ + 94 TWhe
si 100 % Hydrogène Vert – ENR
=> Puissance ENR requise = + 49 GW

En 2035, un objectif 100 % décarbonation hydrogène industriel + 20 % FCEV demanderait 145 TWhe et 75 GW ENR



L'Hydrogène Bas Carbone – Développement d'une Nouvelle Filière

- D'autres technologies de production d'Hydrogène Bas Carbone devront donc être utilisées pour pallier les limitations de l'Hydrogène Vert et ainsi constituer un ensemble de solutions convenant à :
 - Une production **Locale** : petite et moyenne capacité (transports et petites industries)
 - Une production **Régionale** : grande capacité + nouvelles infrastructures pour le transport et la distribution d'hydrogène ; de telles infrastructures ne pourront être financées qu'à la condition d'une production massifiée d'hydrogène **avec un faible prix de revient e.g. $\leq 3 \text{ € / kg}$ – cas de l'hydrogène bleu** – permettant de livrer de l'hydrogène au consommateur final à un prix $< 6 \text{ € / kg}$
 - La création d'écosystèmes (e.g. grandes zones portuaires) avec production massifiée d'hydrogène utilisée directement par des complexes industriels pour la décarbonation de leurs activités (projets de Rotterdam, Dunkerque, Le Havre)

Gaz Naturel et Hydrogène Bleu seront amenés à jouer un rôle clé dans le développement d'une filière hydrogène performante → 2040



CarbonFree Energy
BIAGEM CONSULTING

