

Acculturation Hydrogène

EPI Besançon

Février 2023



1

SOMMAIRE

Programme de la soirée du 8 février 2023:

L'hydrogène: levier de la transition écologique ou mirage industriel ?

1. Décarbonation , c'est quoi le problème?
2. Culture Physique ..de l'hydrogène
3. L' hydrogène c'est maintenant
4. Grand témoin et questions

2

SOMMAIRE

Programme de la soirée du 8 février 2023 :

L'hydrogène: levier de la transition écologique ou mirage industriel ?



Joseph Fourier (1768-1830).
(© Archives de l'Académie des sciences)

1. Décarbonation, c'est quoi le problème?

2. Culture Physique ..de l'hydrogène
3. L' hydrogène c'est maintenant
4. Vous aurez bien une question ?

« Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires », publié en 1824⁽¹⁾(Fourier, 1824),

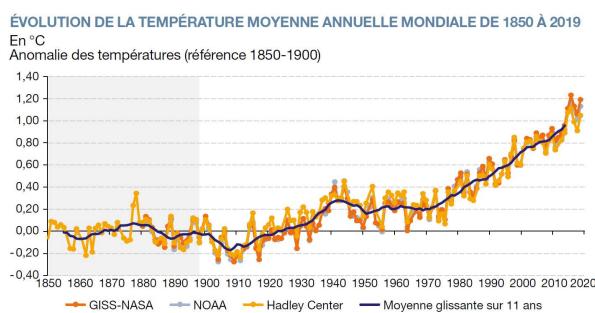
15/03/2023

3



3

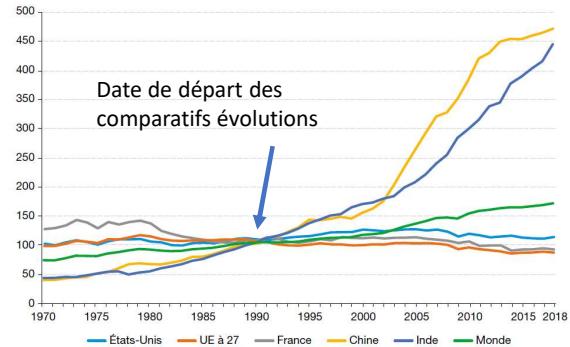
POURQUOI LA DÉCARBONATION EST ELLE OBLIGATOIRE ?



NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (Agence publique)
GISS-NASA : Goddard Institute for Space Studies (Department of NASA)

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE CO₂ DANS LE MONDE ENTRE 1970 ET 2018

Indice base 100 en 1990

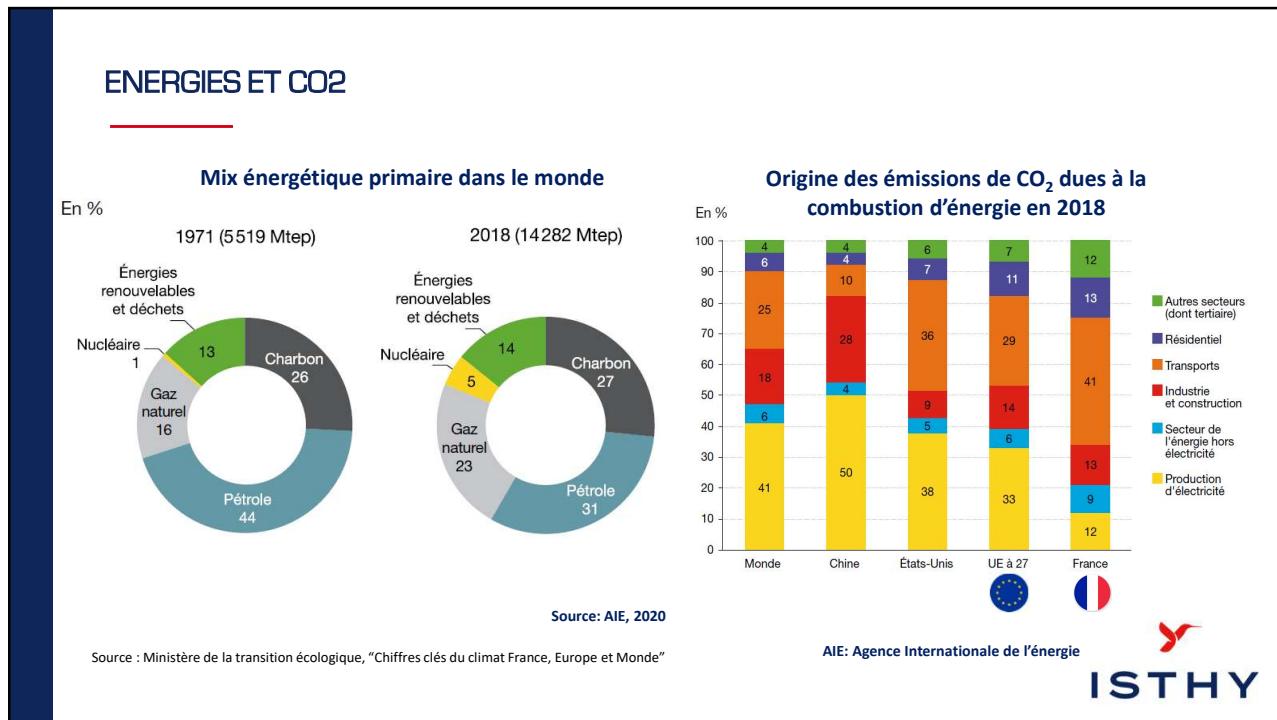


Source : EDGAR, 2019

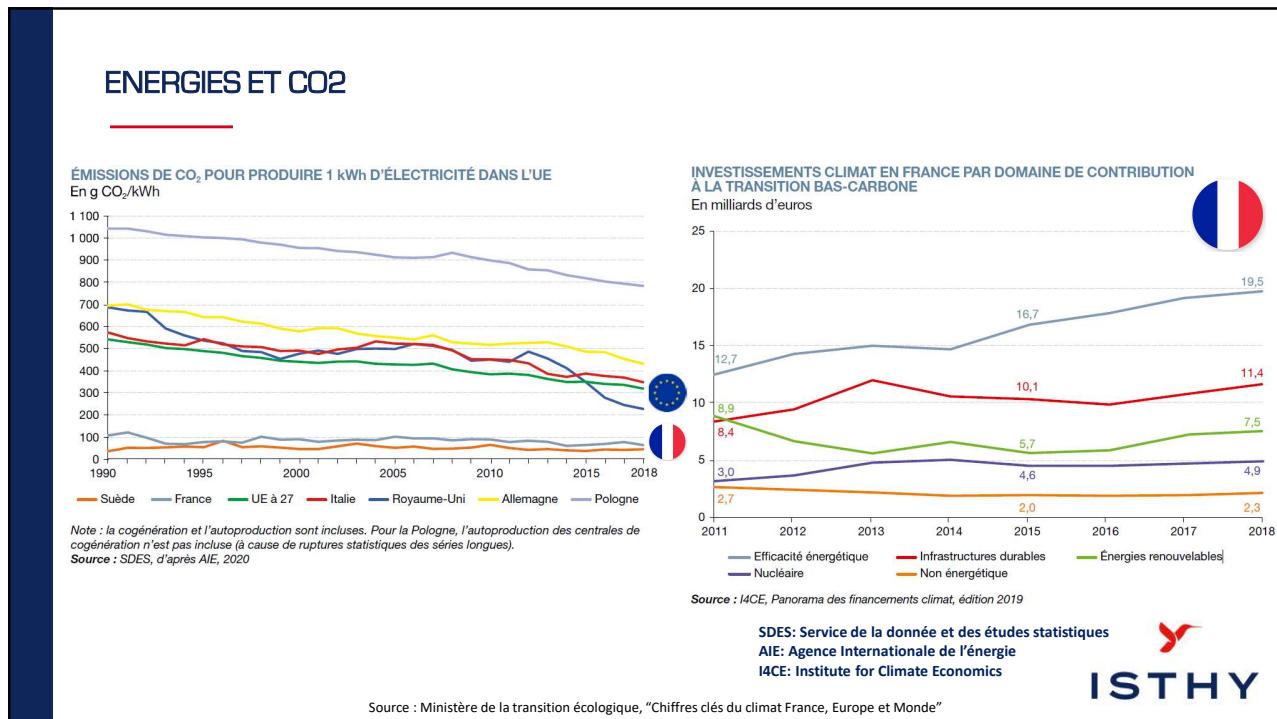
Source : Ministère de la transition écologique, "Chiffres clés du climat France, Europe et Monde"



6



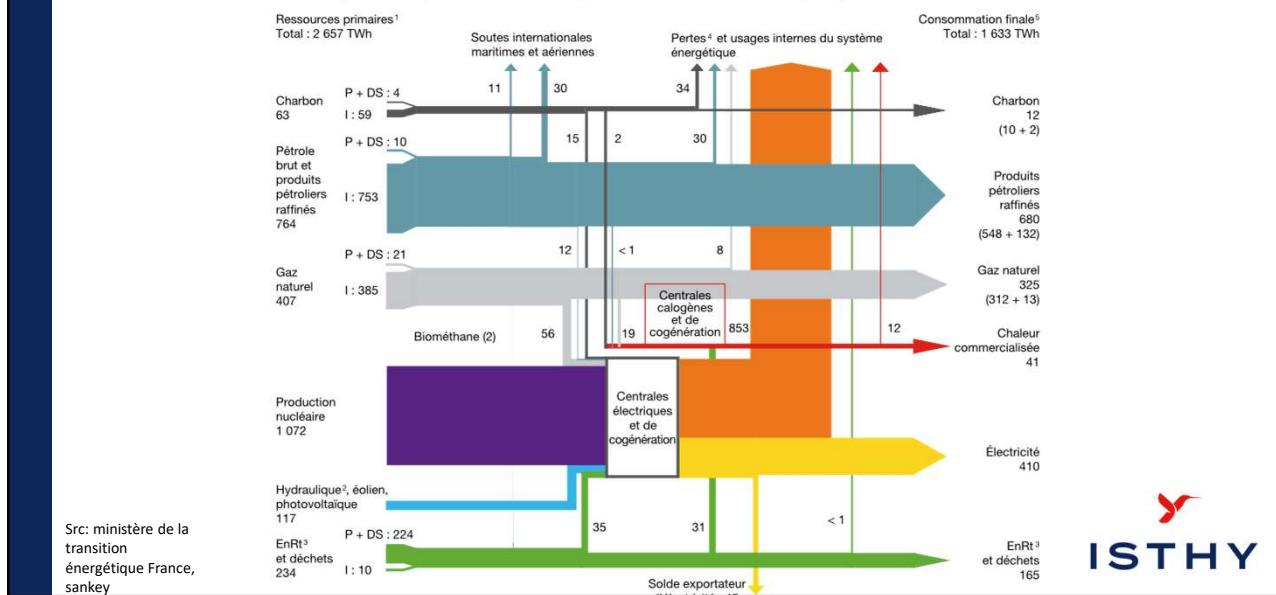
8



17

ENERGIES ET CO2

En TWh, en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)



18



LOIS ET RÈGLEMENTS POUR DÉCARBONATION 2030 ET 2050

Décarbonation obligatoire pour espérer respecter l'accord de PARIS (COP21 / 2015)
Lois et règlements pour décarbonation 2030 et 2050

EU -55% pour 2030 : directive européenne sur le climat, accord premier de Juin 2021
// 2050 : Neutralité carbone

USA -52% pour 2030 : Engagement de l'administration BIDEN, 22 avril 2021
// 2050 : Neutralité carbone

Fr -40% pour 2030 : Paquet climat-énergie (2014), SNBC (stratégie nationale bas carbone)
// 2050 : Neutralité carbone

20

LOIS ET RÈGLEMENTS POUR DÉCARBONATION 2030 ET 2050

Eu -55% pour 2030 : directive européenne sur le climat, accord premier de Juin 2021 et session du 17 mars 2022 // 2050 : Neutralité carbone

Aussi appelée « fit for 55 », la réduction des émissions totales de l'UE de 55% par rapport à 1990 à été présentée le 14 juillet 2021, à la suite du vote de la loi climat le 24 juin de la même année par les états membres.
Elle comprend 13 mesures :

- Refonte du marché du carbone et nouveau marché du carbone pour le transport routier, le bâtiment et le transport maritime.
- Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières.
- Fin des quotas de carbone gratuits pour l'aviation.
- Création d'un fonds social pour le climat pour accompagner la transition.
- Renforcement des puits de carbone naturels.
- Doublement de la part des énergies renouvelables.
- Refonte de la fiscalité de l'énergie.
- Efficacité énergétique.

- Réduction des émissions des voitures neuves (fin de vente des voitures thermiques en 2035).
- Déploiement d'infrastructures de distribution des carburants alternatifs.
- Augmentation de la part des carburants durables pour l'aviation.
- Incitation à l'utilisation de carburants durables dans le secteur maritime.
- Répartition des efforts climatiques entre États membres.

15/03/2023

23



23

LOIS ET RÈGLEMENTS POUR DÉCARBONATION 2030 ET 2050

Eu -55% pour 2030 : directive européenne sur le climat, accord premier de Juin 2021 et cession du 17 mars 2022 // 2050 : Neutralité carbone
Répartition des efforts climatiques entre États membres :



Les ministres de l'environnement de l'UE ont procédé à un échange de vues sur cette proposition lors de la session du Conseil "Environnement" du 17 mars 2022.

15/03/2023

25



25

LOIS ET RÈGLEMENTS POUR DÉCARBONATION 2030 ET 2050

Eu -55% pour 2030 : directive européenne sur le climat, accord premier de Juin 2021 // 2050 : Neutralité carbone

Réduction des émissions des voitures neuves :

Réduction des émissions de CO₂ pour les nouvelles voitures et camionnettes: projections

Pourquoi cela est important

Les voitures et les camionnettes sont responsables d'environ 15 % du total européen des émissions de CO₂, le principal gaz à effet de serre.

12 % voitures
2,5 % camionnettes

Ce qui va changer

La proposition de règlement revoit à la hausse les objectifs de réduction des émissions de CO₂ pour 2030 et fixe un nouvel objectif de 100 % pour 2035. Cela signifie que toutes les nouvelles voitures ou camionnettes mises sur le marché de l'UE à partir de 2035 seront des véhicules à émission nulle.

Li 17 mars 2022.

15/03/2023

limites de 95 g/km et 147 g/km

-15% * -55% * -100% * -15% * -50% * -100% *

*par rapport aux objectifs de 2021

ISTHY

37

Qu'est-ce qui va changer?

Transport par route

Points de recharge:

- au moins tous les 60 km sur les axes principaux
- d'ici la fin de 2025
- d'ici la fin de 2030
- chaque année, la puissance de sortie totale fournie par les stations de recharge devrait augmenter en fonction du nombre de voitures immatriculées
- au moins une station de recharge dans chaque aire de stationnement sûre et sécurisée (fin 2030)
- des stations de recharge dans les zones urbaines

Dérogations pour les axes peu fréquentés

Points de ravitaillement en hydrogène:

- au moins tous les 200 km sur les axes principaux (fin 2030)
- nombre de stations plus élevé dans les zones urbaines

Points de ravitaillement en méthane liquéfié:

- au moins le long des axes principaux pour permettre aux véhicules qui roulent au méthane de circuler dans l'ensemble de l'UE

Les nouvelles infrastructures devront:

- permettre de recharger sur une base ad hoc
- accepter les paiements électroniques
- donner aux utilisateurs des informations claires sur les options tarifaires

Ports

Dans les ports maritimes les plus fréquentés:

- 90 % au moins des porte-conteneurs et des navires à passager devront avoir accès à une alimentation électrique à quai

Dans la plupart des ports de navigation intérieure:

- au moins une installation permettant une alimentation électrique à quai (d'ici 2030)

Aéroports

Alimentation électrique pour:

- tous les postes de stationnement situés à côté du terminal d'ici 2025
- tous les postes de stationnement éloignés d'ici 2030

Les aéroports ayant un seuil de trafic inférieur à 10 000 vols par an peuvent être exemptés.

39

ACTIONS INDUITES

Actions induites

- **sobriété des consommations , efficacité énergétique des process**
- **Transition énergétique transport, habitat, industrie, énergie, agriculture**
- **Réduction des fossiles, charbon, pétrole, gaz, et déforestation**

- **Chaine énergétiques électriques** : rendement, 0 CO2 usage, moins cher, plus fiable
- **Substitution de vecteurs énergétiques aux énergies primaires tels que électricité et hydrogène**

15/03/2023

47



47

SOMMAIRE

Programme de la soirée du 8 février 2023:

L'hydrogène: levier de la transition écologique ou mirage industriel ?

1. Carbonation , c'est quoi le problème?
- 2. Culture Physique ..de l'hydrogène**
3. L' hydrogène c'est maintenant
4. Vous aurez bien une question ?

15/03/2023

53

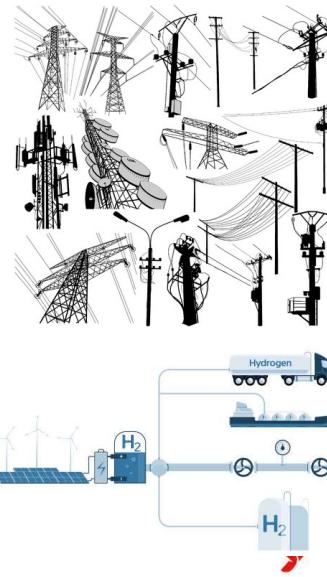


53

VECTEURS ÉNERGÉTIQUES

Caractéristiques vecteur électricité

- Non stockable
- Transportable aisément via réseau de lignes électriques diverses
- Très peu de pertes au transport et à l'utilisation
- Normes connues et maîtrisées par la majorité des acteurs du secteur



ISTHY

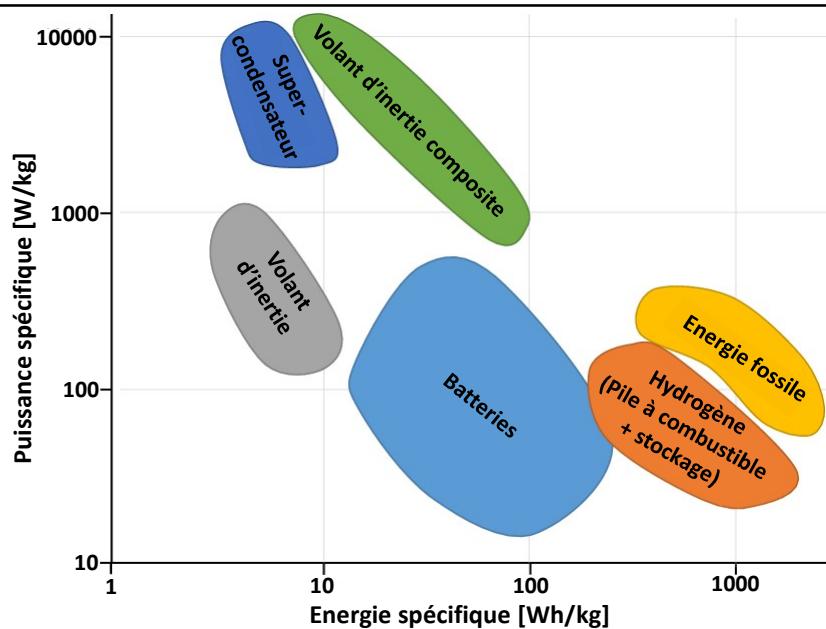
Caractéristiques vecteur hydrogène

- Stockable
- Transportable difficilement par fret ou pipeline
- Pertes élevées au transport et rendement moindre à l'utilisation
- Normes et référentiels différents pour chaque application
- Aspect sécurité nécessite une grande attention idem l'électricité.
- Avantage spécifique face aux batteries :
 - Pas consommation de matières rares (Lithium, Nickel, Cadmium...).
 - Recyclage
 - Densité énergétique massique

15/03/2023

54

54



Source : Bertrand Kirsch, Maîtriser la conception des drones solaires à voilure souple : vers l'avènement des pseudo-satellites à hautes altitudes (HAPS), 2018.

15/03/2023

Les limites

56

ISTHY

56

L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

1. Caractéristiques de l'hydrogène
 2. Modes de production
 3. Le stockage
 4. Le transport
 5. Les usages
 6. La sécurité

15/03/2023

58



58

L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

➤ Numéro atomique: 1

- **Point de fusion:** - 259,2 °C
- Inflammable : 17 microJ

Propriétés de l'H,

➤ Densité:

- $\rho_{\text{Gas}}(\text{H}_2)$: 0,08988 kg/m³ (à CNTP)
 - $\rho_{\text{Liquid}}(\text{H}_2)$: 70,8 kg/m³ (à -253 °C)
 - $\rho_{\text{Solid}}(\text{H}_2)$: 70,6 kg/m³ (à -262 °C)

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	No	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Caractéristiques de l'hydrogène :

Densité : 0,09 g/l

Vitesse de convection /air : 12m/s

Pci : 242,7 kJ/mol, 33 kWh/kg

Flamme :

Température : 2045°C

Vitesse de propagation : qq m/s

en turbulent et >1000m/s en cas de détonation.

CNPT: Conditions normales de pression et de température ($T=20^\circ\text{ C}$ $P=1$ atm)

15/03/2023

60



60

L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

La production de l'hydrogène Tableau des couleurs de l'H2

L'arc-en-ciel de l'hydrogène : ses différentes voies de production, son empreinte carbone et sa terminologie

Couleur	Technologie	Source d'énergie ou d'électricité	Empreinte carbone ¹	Terminologie ²
Production via biomasse	Hydrogène vert	Thermolyse	Biomasse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène renouvelable
	Hydrogène vert	Vaporeformage	Biométhane (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène renouvelable
	Hydrogène vert	Electrolyse de l'eau	Solaire, éolienne, hydroélectricité Minimale (< 2 kgCO2/kgH2)	Hydrogène renouvelable
	Hydrogène rose		Nucléaire Minimale (< 2 kgCO2/kgH2)	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène jaune		Réseau électrique (FR) Basse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène bleu	Vaporeformage Gazéification	Gas naturel + CCUS Charbon Basse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène turquoise	Pyrolyse	Gaz naturel	Noir de carbone (co-produit) /
	Hydrogène gris	Vaporeformage		Elevée (~ 11 kgCO2/kgH2) Hydrogène carboné
	Hydrogène marron	Gazéification	Lignite Très élevée <td>Hydrogène carboné</td>	Hydrogène carboné
	Hydrogène noir		Charbon bitumineux Très élevée <td>Hydrogène carboné</td>	Hydrogène carboné

¹ Méthode d'évaluation des émissions de GES en périmètre well-to-gate incluant le scope 1, le scope 2 et le scope 3 « amont ».

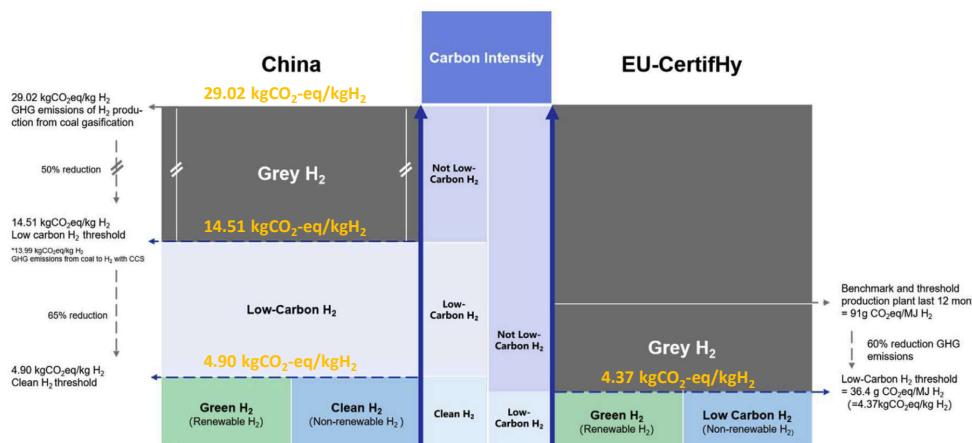
² En reprenant la terminologie légale introduite à l'article L811-1 du code de l'énergie.

15/03/2023



63

L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



The comparison between CertifHy and the proposed standard in China. CCUS: Carbon Capture, Utilisation and Storage

Wei Liu, Yanming Wan, Yalin Xiong, Pengbo Gao, « Green hydrogen standard in China: Standard and evaluation of low-carbon hydrogen, clean hydrogen, and renewable hydrogen », International Journal of Hydrogen Energy, 47, (2022), 24584-24591. (China Hydrogen Alliance Research Institute, Beijing, China).

15/03/2023

64



64

IMPACT DE L'HYDROGÈNE SUR L'ENVIRONNEMENT

❖ L'Eau

- ❖ La production d'un kg d'hydrogène par électrolyse requiert **9 à 11 litres** d'eau pure pour 100 km, l'eau liquide est rendue au fil du voyage ([France hydrogène](#))
- ❖ 1 litre d'essence E5 nécessite 18 litres d'eau pour sa production, soit **135 litres** pour 100 km *
- ❖ 1 litre d'éthanol E100 (canne à sucre) nécessite 2500 litres d'eau pour sa production, soit **18750 litres** pour 100 km *
- ❖ 1 litre de biodiesel B100 (soja,colza) nécessite 14000 litres d'eau pour sa production, soit **84000 litres** pour 100 km*

(* src: université de Twente, pays bas [Proceedings of the National Academy of Sciences Juin 2019](#))

15/03/2023

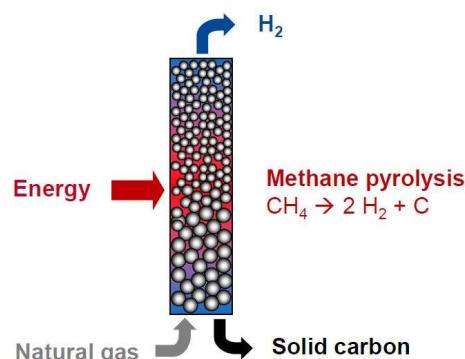
66



66

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Principe du vaporeformage de méthane



15/03/2023

76



76

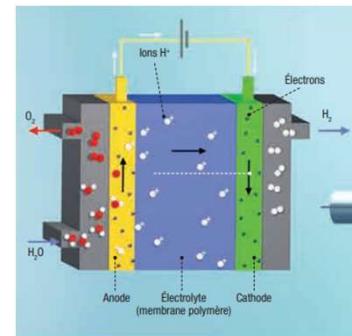
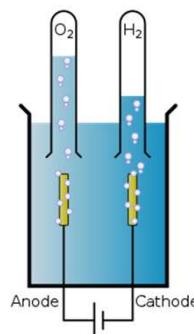
DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

La production de l'hydrogène

1) Production par électrolyse

❖ Valeurs de rendements :

- 50-70% Pour les ELY PEM/ Alcalins
- 80-90% Pour ELY SO



15/03/2023

81



81

ALCALIN

McPhy
energy

John Cockerill
 考克利尔竞立
**Mcphy**

Série	Piel	Débit H ₂ [Nm ³ /h.kW]	0,18	Conso. [kWh/Nm ³ .kW]	-
Pression [barg]	2,5	Débit O ₂ [Nm ³ /h.kW]	0,1	Rendement [%]	-

P = [3-5000] kW

15/03/2023

John Cockerill

Série	DQ System 20	Débit H ₂ [Nm ³ /h.kW]	0,15	Conso. [kWh/Nm ³ .kW]	0,04
Pression [barg]	15	Débit O ₂ [Nm ³ /h.kW]	-	Rendement [%]	77

P = [10-5000] kW

ISTHY/UTBM

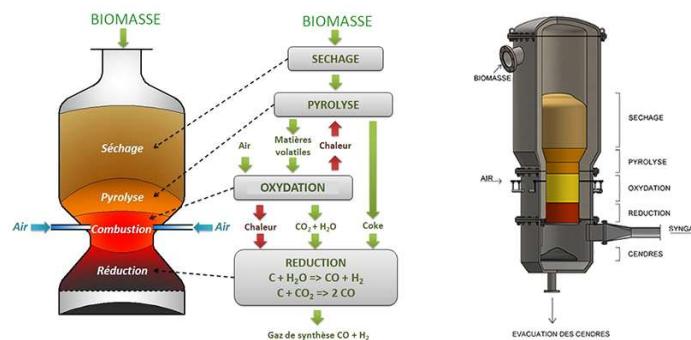
86

86

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

La production de l'hydrogène

Production par torréfaction de biomasse



15/03/2023

88



88

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le stockage de l'hydrogène

Stockage gazeux

- ❖ Pressions usuelles :
 - ❖ 200 bars : Transport, 14,8 g/l
 - ❖ 350 bars : 23,86g/l
 - ❖ 700 bars: 40,02 g/l, principe compression : Compresseurs multi étages (surpresseurs)
- ❖ Densité spécifique 5 à 8 %
- ❖ Rendement de compression : 93% à 200 bars et jusqu'à 85% à 700 bars ,
- ❖ Aspects thermiques : Coeff de Joule-Thomson inverse : échauffement à la détente -> Contrôle lors du remplissage pour éviter les dommages sur le liner.

15/03/2023

90



90

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



Implantation des réservoirs sur la Toyota Mirai II



Rack de réservoirs Faurecia présenté au salon HBFC de Belfort en septembre 2021

15/03/2023

94

 **ISTHY**

94

LE TRANSPORT

Transport par camion



Le camion-citerne



Le camion-cadres



Le tube trailer



15/03/2023

106

 **ISTHY**

106

LE TRANSPORT

source et niveau de coût attendu de l'hydrogène à faible teneur en carbone dans différentes régions

- Distribution
- Production

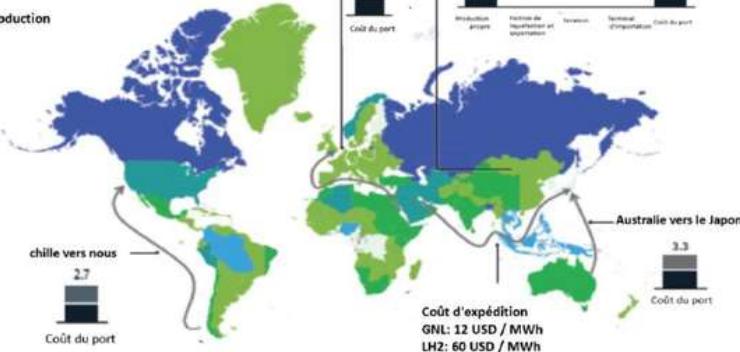


Figure 2. Coût d'expédition de l'hydrogène liquide à travers les régions, 2030, USD/Kg.
(www.gjetc.org and Hydrogen Council, Pathway to Hydrogen Competitiveness, 2019)

Source : <https://www.usinenouvelle.com/article/plaidoyer-pour-un-hydrogène-arc-en-ciel.N1226237>

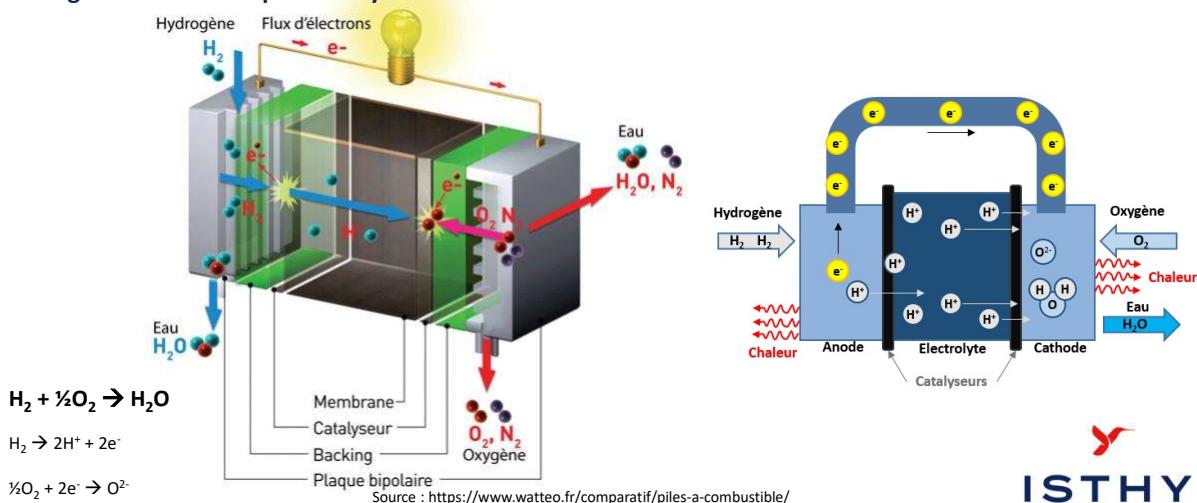


116

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'usage de l'hydrogène

Usages dans les transports : Oxydation : La Pile à Combustible



122

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'usage de l'hydrogène

Usages dans les transports : Oxydation



Système Toyota
sur la Mirai 2021

15/03/2023

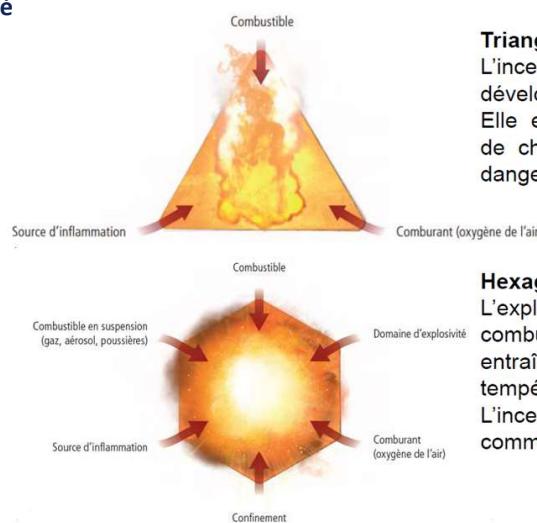
128



128

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

La sécurité



Triangle du feu

L'incendie est une combustion qui se développe d'une manière incontrôlée. Elle engendre de grandes quantités de chaleur, des fumées et des gaz dangereux (inflammables et toxiques).

Hexagone de l'explosion

L'explosion est une réaction de combustion extrêmement rapide entraînant une élévation de température et de pression. L'incendie peut mener à l'explosion comme l'explosion à l'incendie.

15/03/2023

135



DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE UN VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

La sécurité

CLASSEMENT DE L'HYDROGÈNE

IMPLANTATION : réglementation

Dépôt	Equivalent en bouteille B50	Législation
		Pas de législation
Q < 100 kg	Q < 134	Implantation du dépôt : se rapprocher le plus possible de l'implantation de l'installation soumise à DECLARATION. Voir règles pour l'implantation des stockages en page 6.
		Législation des installations classées
100 kg ≤ Q < 1 t	134 ≤ Q < 1334	Installation soumise à DECLARATION Arrêté du 12 février 1998 (rubrique 4715 I.C.P.E.) Voir les modalités de déclaration en pages 4 et 5.
		Législation des installations classées
Q ≥ 1 t	Q ≥ 1334	Installation soumise à AUTORISATION Voir les modalités de demande d'autorisation en page 5.

Source : Réglementation pour le stockage d'hydrogène,



SOMMAIRE

Programme de la soirée du 8 février 2023:

L'hydrogène: levier de la transition écologique ou mirage industriel ?

1. Carbonation , c'est quoi le problème?
2. Culture Physique ..de l'hydrogène
- 3. L' hydrogène c'est maintenant**
4. Vous aurez bien une question ?



MARCHÉS D'USAGES D'AUJOURD'HUI ET À MOYEN TERME

1. Les mobilités

1. Lourdes ou intensives routières
2. Ferroviaire
3. Maritimes ou fluviales
4. légères

2. L'industrie
3. Le stationnaire

15/03/2023

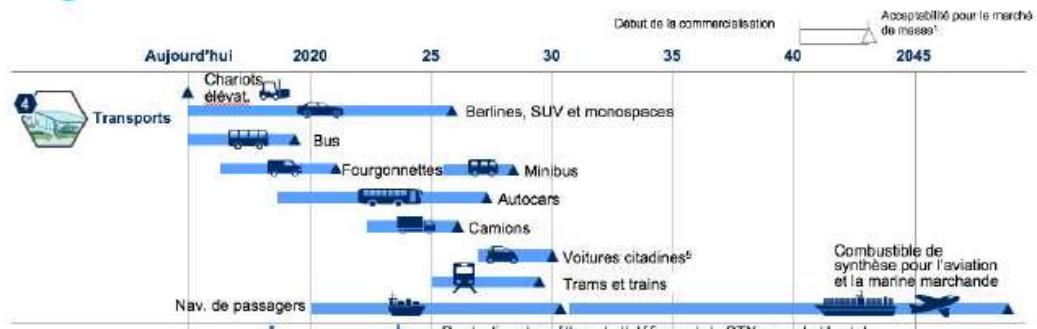
153



153

MARCHÉS D'USAGES D'AUJOURD'HUI ET À MOYEN TERME

- Figure 4 : De nombreuses technologies hydrogène seront bientôt prêtes pour être déployées à grande échelle



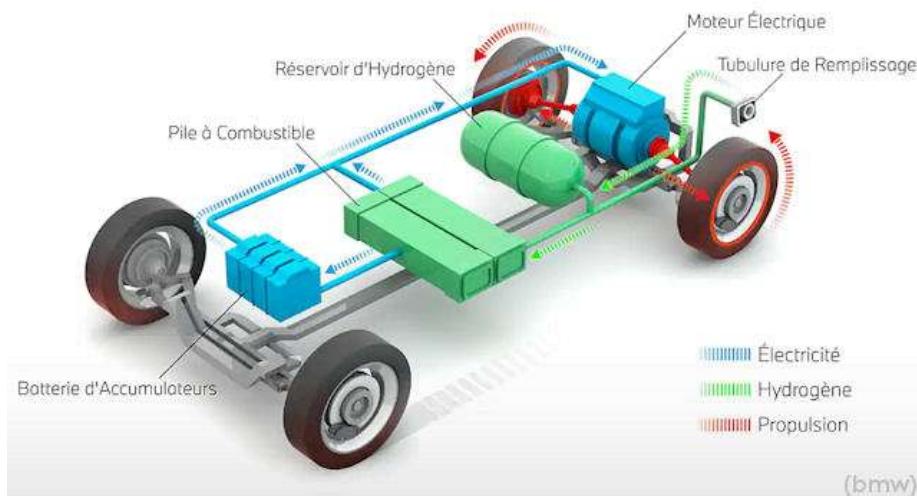
15/03/2023

154



154

MOBILITÉS PRINCIPE CHAINE DE TRACTION



Source : <https://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d'une-auto/s-1563-voiture-a-hydrogène-fonctionnement.php>



155

VÉHICULE UTILITAIRE

Véhicule utilitaire



Marque : Renault
Modèle : Kangoo
Date de sortie : 2011
Puissance : 44 kW (batterie) + 5 kW (FC)
Autonomie : 230 km
Réservoir H₂ : 1,78 kg d'H₂



Marque : Mercedes
Modèle : Sprinter FC
Date de sortie : 2020
Puissance : 147 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 4,5 kg d'H₂



Marque : HYVIA
Modèle : Master Van H2-TECH
Date de sortie : 2023
Puissance : 57 kW (Motor), 30 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 6,4 kg (350 bars) d'H₂



Marque : GCK
Modèle : Master Evo H2
Date de sortie : 2020
Puissance : 96 kW (Motor), 40 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 5 kg (700 bars) d'H₂

15/03/2023

157

157

VÉHICULE UTILITAIRE

Véhicule utilitaire



Marque : Citroën
Modèle : Jumpy H2
Date de sortie : 2021
Puissance : 45 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 4,4 kg d'H₂



Marque : Opel
Modèle : Vivaro H2
Date de sortie : 2021
Puissance : 45 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 4,4 kg d'H₂



Marque : Peugeot
Modèle : Expert H2
Date de sortie : 2021
Puissance : 45 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 4,4 kg d'H₂

15/03/2023

158

158

MOBILITÉS LOURDES OU INTENSIVES ROUTIÈRES

Mobilité intensive/lourde (camion)



Marque : Dongfeng
Modèle : RE-Fire (urbain)
Date de sortie : 2018
Puissance : 30 kW (FC)
Autonomie : 330 km
Réservoir H₂ : -
+3000 unités déployées



Marque : Nikola
Modèle : Two (proto)
Date de sortie : 2021
Puissance : 750 kW
(moteur)
Autonomie : 1200 km
Réservoir H₂ : -



Marque : Esoro
Modèle : Coop
Date de sortie : 2017
Puissance : 100 kW (FC)
Autonomie : 400 km
Réservoir H₂ : 31 kg d'H₂



Marque : BOM
Modèle : -
Date de sortie : 2021
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -
Ni bruit, ni pollution

15/03/2023

164

164

MOBILITÉS LOURDES OU INTENSIVES ROUTIÈRES

Mobilité intensive/lourde (bus)



Marque : Daimler
Modèle : -CHIC project
Date de sortie : 2014
Puissance : -
Autonomie : 8kg/100 km
Réservoir H₂ : -
Car de desserte régulière



Marque : SAFRA
Modèle : Auxerre-eolbus
Date de sortie : 2019-2023
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -
5 bus en 2023 puis 23 en 2025
Illustration non représentative



Marque : Toyota
Modèle : SORA
Date de sortie : 2018
Puissance : 2 x 114 kW (FC)
Autonomie : -
Réservoir H₂ : 600 L d'H₂
+100 bus en 2020



Marque : SAFRA
Modèle : Businova
Date de sortie : 2019
Puissance : 250 kW (élec) + 30 kW (FC)
Autonomie : 300 km
Réservoir H₂ : 28 kg d'H₂
Jusqu'à 100 passagers



15/03/2023

166

166

MOBILITÉS LÉGÈRES

Mobilités légères



Marque : Hyundai
Modèle : Nexo
Date de sortie : 2018
Puissance : 135 kW (FC)
120 kW (Moteur)
Autonomie : 700 km
Réservoir H₂ : 6,33 kg d'H₂



Marque : Hyundai
Modèle : ix35
Date de sortie : 2013
Puissance : 100 kW (FC et Moteur)
Autonomie : 600 km
Réservoir H₂ : 5,64 kg d'H₂



Marque : Honda
Modèle : Clarity FC
Date de sortie : 2020
Puissance : 100 kW (FC)
130 kW (Moteur)
Autonomie : 460 km
Réservoir H₂ : --



Marque : Mercedes
Modèle : Daimler GLC
Date de sortie : 2017
Puissance : 147 kw (Moteur)
Autonomie : 500 km
Réservoir H₂ : 4 kg d'H₂



15/03/2023

168

168

MOBILITÉS LÉGÈRES

Mobilités légères



Marque : Toyota
Modèle : Mirai
Date de sortie : 2015
Puissance 114 kW (FC et Moteur)
Autonomie : 550 km
Réservoir H₂ : 5kg d'H₂



Marque : Toyota
Modèle : Mirai 2
Date de sortie : 2021
Puissance : 134 kW (FC et Moteur)
Autonomie : 650 km
Réservoir H₂ : 5,6 kg d'H₂



Marque : Hopium
Modèle : Machina
Date de sortie : (2025)
Puissance : 370 kW (Moteur)
Autonomie : 1000 km
Réservoir H₂ : 6kg d'H₂



Marque : Audi
Modèle : A7 H-Tron
Date de sortie : 2014 Concept
Puissance : 170 kW (Moteur)
Autonomie : 500 km
Réservoir H₂ : 5kg d'H₂



15/03/2023

169

169

MOBILITÉS FERROVIAIRES

Mobilité ferroviaire



ALSTOM transport // 2017-2021
14 rames , Allemagne actuel
12 rames, France, 2025
 Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est, Occitanie et
 Auvergne-Rhône-Alpes



15/03/2023

176

176

TRANSPORT MARITIME / FLUVIAL

Transport maritime & fluvial



Société : CIAM
Projet : Helys
Date de sortie : 2024
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -



Société : PlanetSolar
Fondation
Projet : PlanetSolar
Date de sortie : 2021
Puissance : 30 kW (FC)
Autonomie : 6 jours
Réservoir H₂ : -



Société : Energy Observer
Projet : Energy Observer
Date de sortie : 2017
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : 63kg d'H2



Société : Energy Observer
Projet : Energy Observer 2
Date de sortie : 2025
Puissance : 2,5 MW (FC)
Autonomie : 7500 km
Réservoir H₂ : LH2 70t 1000 m³
240 conteneurs 20



15/03/2023

178

178

TRANSPORT AERIEN

Transport aérien (prospectif)



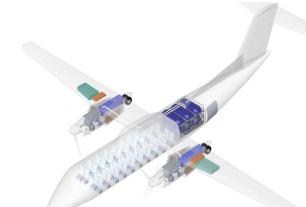
Marque : Airbus
Modèle : Zeroe
Date de sortie : 2030
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -
Projet « Flight to Net Zero »



Marque : Easyjet
Modèle : -
Date de sortie : 2035
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -
Projet Avion à hydrogène



Marque : Destinus
Modèle : Hyperplane
Date de sortie : 2025-30
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -
8 522 km/h, 30dB



Marque : Universal H2
Modèle : -
Date de sortie : 2025
Puissance : -
Autonomie : -
Réservoir H₂ : -
150 à 250 passagers



15/03/2023

182

182

MARCHÉS D'USAGES D'AUJOURD'HUI ET À MOYEN TERME

Programme de la journée du 6 septembre 2022:

1. Les mobilités

1. Lourdes ou intensives routières
2. Ferroviaire
3. Maritimes ou fluviales

2. L'industrie

3. Le stationnaire

15/03/2023

183



183

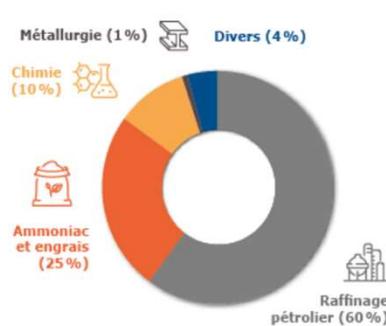
DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'usage de l'hydrogène

Usages industriels

- ❖ Dépollution : Elimination du soufre dans les carburants (raffinage)
- ❖ Associé à l'azote, il donne de l'ammoniac, très utilisé pour la production d'engrais
- ❖ Dans l'industrie, il est utilisé en électronique comme gaz vecteur (transportant des gaz actifs), dans l'industrie du verre comme atmosphère de protection... C'est principalement sa forte réactivité qui en fait un gaz intéressant.
- ❖ Dans l'industrie métallurgique, il sert de réducteur pour le fer (séparation des atomes d'oxygène)

Consommation d'hydrogène



15/03/2023

190



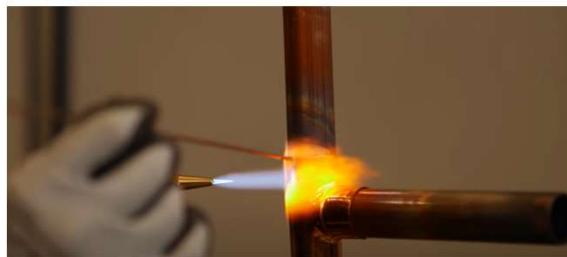
190

DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE LE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'usage de l'hydrogène

Usages industriels

- ❖ Soudure Bulane : flamme 2800°C, h2 généré en continu par électrolyse, pas de stockage de gaz.



15/03/2023

191



191

MARCHÉS D'USAGES D'AUJOURD'HUI ET À MOYEN TERME

Programme de la journée du 6 septembre 2022:

1. Les mobilités

1. Lourdes ou intensives routières
2. Ferroviaire
3. Maritimes ou fluviales

2. L'industrie

3. Le stationnaire

15/03/2023

193



193

STATIONNAIRE BÂTIMENT

« Dans le cadre de la transition énergétique et de la volonté de baisser significativement les rejets de gaz à effet de serre, plusieurs fournisseurs de gaz ont déjà commencé à injecter de l'hydrogène dans leurs réseaux.

De fait, cette technique permet de réduire les émissions de CO₂, même avec un apport d'hydrogène relativement faible. C'est pourquoi ce gaz est envisagé à hauteur de **10 %** dans le réseau gazier. Ce taux pourrait atteindre 20 % à compter de 2030.

Les modèles gaz à condensation récents supportent tout à fait le mélange à 10 % d'hydrogène actuel. Néanmoins, en vue de l'augmentation prévue pour 2030, plusieurs fabricants **adaptent déjà leurs modèles** pour une **quantité d'hydrogène à 20 %, voire à 30 %.** »

Source : <https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/chaudiere-hydrogene>



198

198

STATIONNAIRE BÂTIMENT

20% H₂

NOx < 26 mg/kWh Classe 6



VITODENS 200-W

(type B2HF)

- 1 Brûleur MatrixX-Plus avec régulation de la combustion Lambda Pro Plus
- 2 Echangeur de chaleur Inox-Radial
- 3 Ecran tactile 7 pouces
- 4 Internet Inside
- 5 Lightguide
- 6 Pompe à haute efficacité énergétique
- 7 Vase d'expansion (10 litres)

Type d'appareil	Chaudière gaz à condensation chauffage seul (type B2HF) et double service (type B2KF)			
	Simple service	Simple service	Simple/double service	Simple/double service
Plage de puissance nominale				
50/30 °C	kW	1,9 – 11,0	1,9 – 19,0	1,9 – 25,0
80/60 °C	kW	1,7 – 10,1	1,7 – 17,5	1,7 – 23,0
				1,9 – 32,0
				1,7 – 29,3
Dimensions				
Longueur	mm	360	360	360
Largeur	mm	450	450	450
Hauteur	mm	700	700	700
Poids	kg	33	33	33 / 34
Evacuation des fumées	Ø mm	60	60	60
Arrivée d'air	Ø mm	100	100	100
Débit de soutirage	l/min			15,7
Débit eau chaude sanitaire				17
Chaudière double service	kW	–	–	30,7
Classe d'efficacité énergétique	■■■	■■■	■■■	■■■
Eta S	%	92	93	94
Eta S avec sonde extérieure et Vitotrol	%	96	97	98
				98

Source : <https://www.izi-by-edf-renov.fr/sites/catalogue/produits/fiche-technique-vitodens-200w-b2kf-viessmann.pdf>

15/03/2023

200



200

2. STATIONNAIRE TERTIAIRE, EVENEMENTIEL



PERFORMANCES			
MODELE THYTAN	THYTAN 50	THYTAN 130	
Puissance nominale (PRP)	cos phi = 1 25 kW	cos phi = 0,8 30 kVA	cos phi = 1 80 kW
Puissance secours (ESP) 1h	40 kW	50 kVA	100 kW
Puissance crête 5s	100 kVA		200 kVA
Mise en parallèle		Oui	
Continuité de service		Oui, double circuit d'alimentation H2	
Démarrage		Instantané	
Durée de vie	20 000 heures		15 000 heures

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES		
Type de pile (PEM)	Ballard	Hyundai
Tension de sortie	230/400 VAC - 50/60 Hz	
Type de sortie	Prises mono - triphasées Powerlock	
	En option : raccordement sur borne TT	
Régime de neutre *		IP43
Indice de protection		De - 5° à + 45° C
Température de fonctionnement		4 anneaux de levage
Manutention		Passages de fourches
Dimensions (Lx l x h)	2500 x 1100 x 1800	2800 x 1100 x 2390

CERTIFICATION
Systèmes conçus et assemblés selon les directives CE - Marquage CE

* Autres régimes sur demande



15/03/2023

201

201

SOMMAIRE

Programme de la soirée du 8 février 2023:

L'hydrogène: levier de la transition écologique ou mirage industriel ?

1. Carbonation , c'est quoi le problème?
2. Culture Physique ..de l'hydrogène
3. L' hydrogène c'est maintenant
- 4. Grand témoin et questions**

15/03/2023

241



241

FIN

MERCI pour votre ATTENTION

Michel ROMAND

0608930422

michel.romand@isthy.fr



15/03/2023

242