

CARNAUTO

L'hydrogène pour la mobilité, quelles opportunités pour les PME/ETI?

Nicolas des Courtils, Institut CARNOT IFPEN TRANSPORT

Direction Economie et Veille



Plus d'innovations pour la compétitivité des PME de l'automobile et de la mobilité

SOMMAIRE

- I. Présentation de CARNAUTO
- II. Pourquoi faut-il s'intéresser à la filière hydrogène maintenant ?
- III. Quels sont les atouts de l'hydrogène ?
- IV. La série de webinars et la chaîne de valeur de l'hydrogène
- V. La production d'hydrogène
 - a. Par vaporéformage
 - b. Par électrolyse
 - c. Par gazéification
- VI. Conclusion
- VII. Sources d'informations et de documentations

CARNAUTO?

Qui sommes nous ?

Les instituts Carnot

La recherche pour les entreprises

- Les instituts Carnot : **structures de recherche publiques** qui prennent des engagements forts pour développer la **recherche partenariale** au bénéfice de **l'innovation des entreprises** – de la PME au grand groupe – et des acteurs socio-économiques. Le réseau regroupe 39 instituts Carnot (labellisés par l'ANR). Plus d'info : <http://www.instituts-carnot.eu/fr>
- Carnauto : 9 instituts Carnot impliqués dans la filière automobile et mobilité. Objectif : **renforcer la compétitivité et l'attractivité** des ETI, PME et TPE en facilitant leur accès à l'innovation.

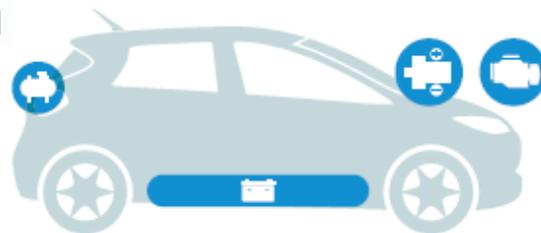
L'action filière Carnauto

3 défis d'avenir pour la filière automobile et mobilité

1

MOTORISATIONS ET VECTEURS ÉNERGÉTIQUES

- Thermique et hybride
- Électrique et systèmes de stockage associés
- Pile à combustible et systèmes de stockage associés



2

MATÉRIAUX ET ARCHITECTURES

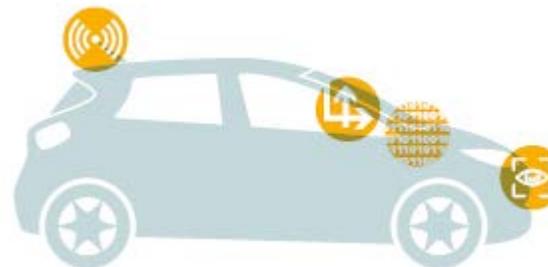
- Allègement
- Fonctionnalisation intelligente
- Sécurité



3

TIC ET MOBILITÉ

- Aide à la conduite
- Gestion de la mobilité
- Architecture logicielle et système



Nous suivre, nous contacter



www.carnauto.fr



entreprises@carnauto.fr



Carnauto



[@FiliereCarnauto](https://twitter.com/FiliereCarnauto)

Pourquoi faut-il s'intéresser à la filière hydrogène maintenant ?

Pourquoi faut il s'intéresser à la filière hydrogène maintenant ?

L'utilisation de l'hydrogène fait partie des actions possibles pour réduire les émissions de CO2

Le monde politique s'est emparé du sujet, **MAINTENANT**

- Juin 2020: lancement du plan hydrogène allemand doté de 9 Mrds €
- Septembre 2020 : lancement du plan hydrogène français, doté de 7 Mrds €

Des Appels A Projets (AAP) avec financement public sont lancés en permanence, mais ça ne durera pas.

- Juillet 2020: AAP Europe Horizon 2020 Green Deal
- Octobre 2020: AAP ADEME « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »
- Octobre 2020 : AAP ADEME « Ecosystèmes territoriaux hydrogène »

Usages en mobilité (suite) :

Des aides forfaitisées pour certains véhicules

	Aide maximale (Grande entreprise)	Aide maximale (Moyenne entreprise)	Aide maximale (Petite entreprise)
Fourgonnette (PTAC≤2,5t)	10 900 €	14 000 €	17 200 €
Fourgon (PTAC>2,5t)	23 800 €	30 600 €	37 400 €
Bus non articulé	140 000 €	180 000 €	220 000 €
Benne à ordures ménagères	133 000 €	171 000 €	209 000 €

Source ADEME: Financement possible pour l'AAP ADEME« Ecosystèmes territoriaux hydrogène »

Pourquoi faut il s'intéresser à la filière hydrogène maintenant ?

CARNAUTO et vous ?

- CARNAUTO est l'un des premiers informés lorsque qu'un AAP est créé,
- Les Instituts CARNOTS de CARNAUTO candidatent à la plupart des AAP et....ils ont souvent besoin de partenaires TPE,PME,
- CARNAUTO peut "embarquer" un partenaire industriel PME TPE à bord des AAP auxquels ses membres répondent.

Quels sont les atouts de l'hydrogène ?



Quels sont les atouts de l'hydrogène ?

L'hydrogène est l'élément le plus répandu dans l'atmosphère, presque toujours groupé avec d'autres molécules.

Sa combustion ne dégage pas de CO2 mais de l'eau. L'hydrogène n'est ni toxique ni polluant.

Propriétés physico-chimiques

Propriété	Hydrogène	Comparaison avec des produits classiques	
énergie par unité de masse (PCI) MJ/kg	120	environ 3 x plus que l'essence ou le gazole	
densité (gaz) kg/Nm3	0,09	8 x moins que le gaz naturel	13 x moins que l'air
énergie par unité de volume (PCI) MJ/m3	11	environ 3 x moins que l'essence ou le gazole	
taille (rayon) de la molécule 10^{-12} m	37	29 x plus petite que le gaz naturel	

Les ombres au tableau

- Il n'y a pas de mine d'hydrogène. Il faut toujours le détacher d'une molécule → la fabrication de l'hydrogène commence toujours par une consommation d'énergie.
- L'énergie par unité de volume de l'hydrogène est très faible → pour faire 100 km avec une petite citadine, il faut environ 4,5 litres d'essence ou 21 litres d'hydrogène à 700 bar.
- Compte tenu de sa petite taille, l'hydrogène "fuit" à travers les métaux.

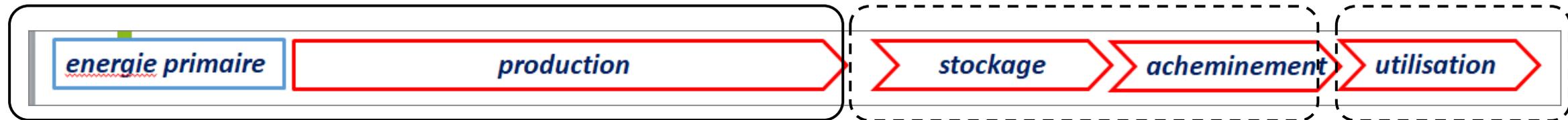
Le Cycle de Webinars
CARNAUTO : l'hydrogène
pour la mobilité, et la chaîne
de valeur de l'hydrogène



Le cycle de webinars et la chaine de valeur de l'hydrogène

La chaine de valeur de l'hydrogène

- Une chaine de valeur est une succession d'opérations, généralement consécutives, qui part de la matière première et se termine par la vente du produit fini. Chaque maillon de la chaine augmente la valeur du maillon précédent.



- Aujourd'hui nous étudierons la production d'hydrogène.
- Jeudi 28 février nous étudierons le stockage et l'acheminement de l'hydrogène.
- Jeudi 4 février , nous étudierons l'utilisation de l'hydrogène pour la mobilité.

CARNAUTO et vous ?

- Les Instituts CARNOT sont présents sur tous les maillons de la chaîne de l'hydrogène, CARNAUTO est une porte d'entrée vers les Instituts CARNOT.
- Les verrous de la chaine de valeurs sont encore nombreux, beaucoup de savoir faire peuvent être mobilisés avec profit pour les résoudre.

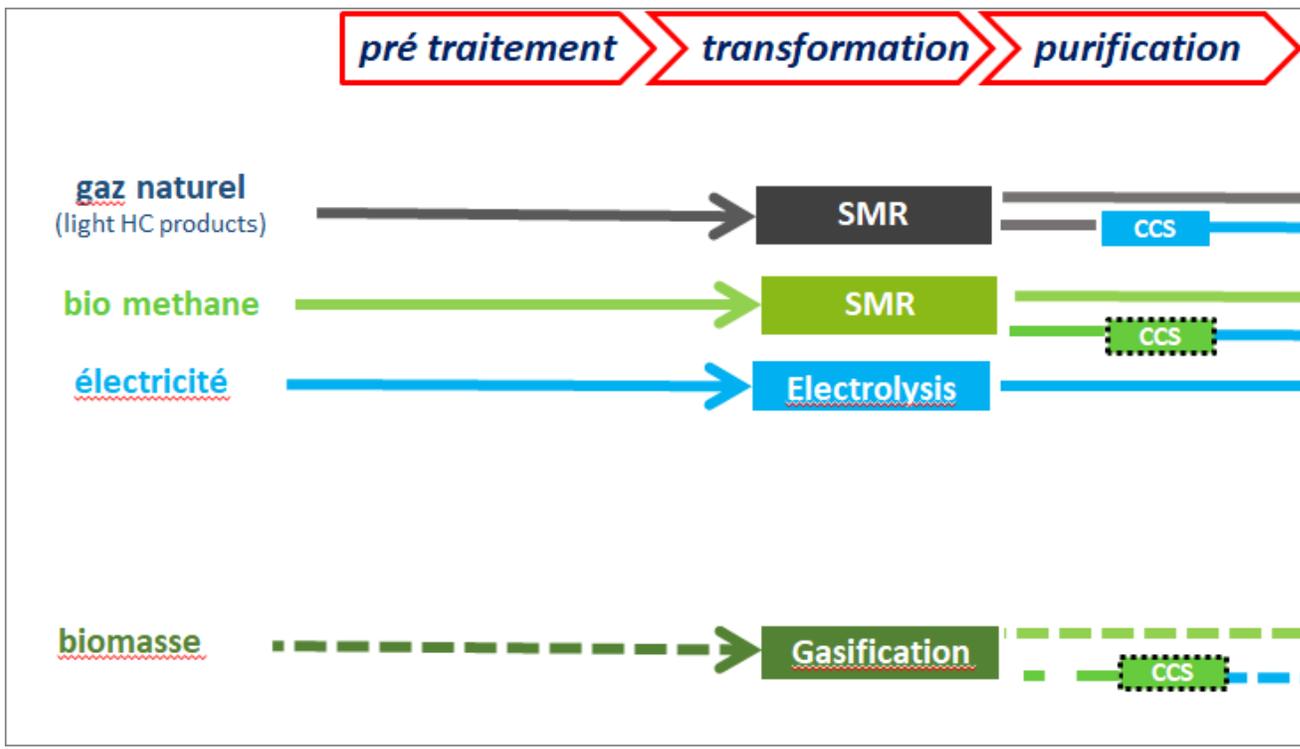


La production d'hydrogène



Comment produit-on de l'hydrogène ?

En séparant l'hydrogène des atomes avec lesquels il est lié



Energie primaire: matière première à fort contenu énergétique

Pré traitement: adaptation de la charge au procédé industriel qui va la transformer

Transformation: processus chimique ou physico-chimique qui produit de l'hydrogène et des co-produits avec la charge de départ

Purification: adaptation de l'hydrogène produit à l'usage prévu.

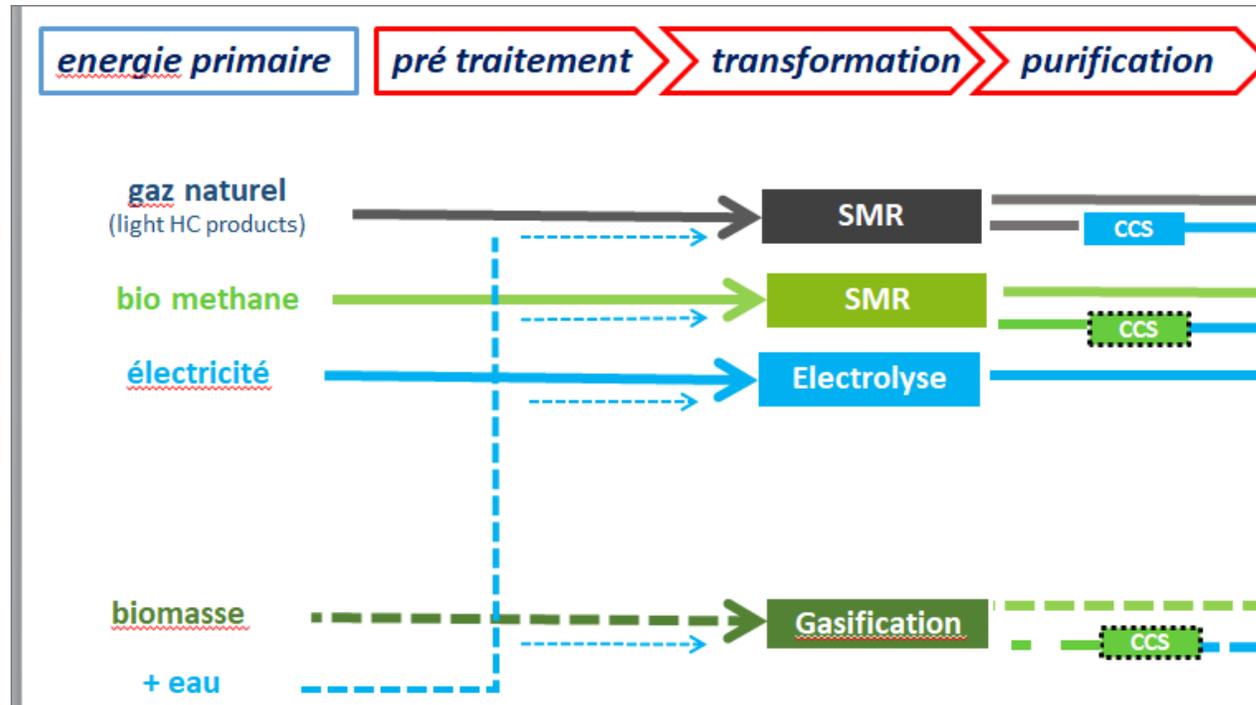
Deux grandes filières:

- Chimique: **vaporéformage**, Steam Methan Reforming (**SMR**) en anglais, **gazéification**
- Electrique/physico-chimique: **électrolyse**



Comment produit-on de l'hydrogène ?

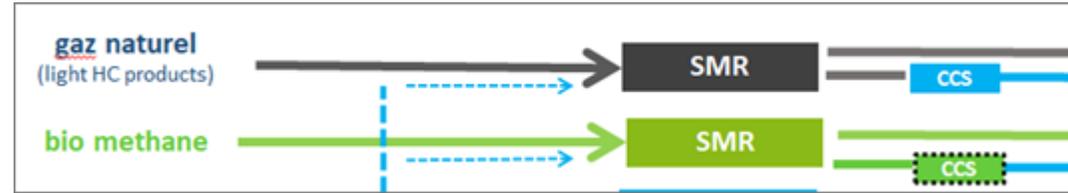
En séparant l'hydrogène des atomes avec lesquels il est lié (C_n-H_m, H_2O)



La production d'hydrogène consomme de l'eau:

- Environ 5 kg H₂O/kg H₂ pour les procédés chimiques
- Environ 15 kg H₂O/kg pour l'électrolyse

Le vaporéformage



Le principe

- On fait réagir du méthane (CH₄) avec de l'eau (H₂O) sous forme vapeur, à haute température (800 à 950°C)
- Le bilan des réactions est : $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$. La réaction est fortement **endothermique** (elle consomme de la chaleur).

Les avantages

- Connu depuis 100 ans, très optimisé, économique (coût H₂ sortie SMR : environ 1,50 €/kg)
- L'énergie primaire peut être du biogaz

L'inconvénient majeur

- 10 kg CO₂ par kg H₂.

La solution de compromis

- Le captage de CO₂ en sortie de réacteur et le stockage (en anglais **Carbon Capture Storage : CCS**)
 - techniquement au point, économique, mais nécessité de stocker le CO₂ en sous-sol
 - les technologies de captage: captage chimique dans le gaz, captage cryogénique
- Si l'énergie primaire est du biogaz, alors le procédé émet du **CO₂ "néгатif"** (diminue le CO₂ dans l'atmosphère)

L'électrolyse

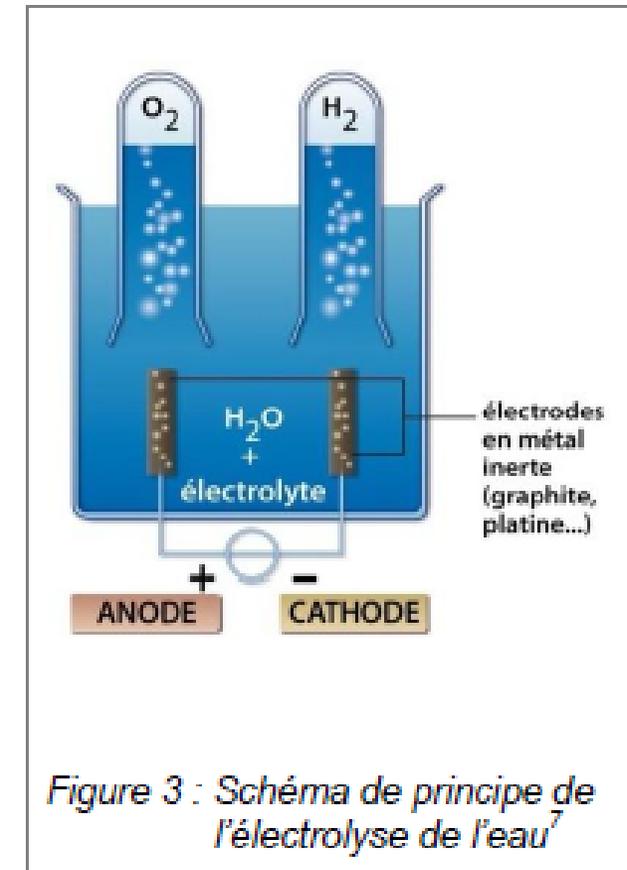


Le principe

- On détache l'hydrogène de la molécule d'eau selon la réaction:
 - $2 \text{H}_2\text{O} + \text{énergie électrique} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$

La technique de l' électrolyse

- Un récipient avec une solution aqueuse ($\text{H}_2\text{O} + \text{électrolyte}$)
- Deux électrodes reliées à un générateur de courant continu
- La consommation d'eau est de : au moins 10 kg d'eau par kg d'hydrogène, en pratique plutôt 15 à 20.



L'électrolyse

Les avantages

- Connu depuis 200 ans,
- Pas d'émissions de CO2

Les inconvénient majeur

- Le prix de l'hydrogène produit dépend pour 60 à 80% du coût de l'électricité utilisée
- Le coût : cout H2 sortie électrolyseur : 10 à 15 €/kg
- La consommation d'eau
- La petite taille des électrolyseurs (environ 20 MW, il faudrait 500 MW)

La solution de compromis

- Des développements prometteurs : augmentation des tailles (**scale-up**), et des rendements. Augmentation de la durabilité (actuellement 10 ans au mieux, objectif :20 ans)

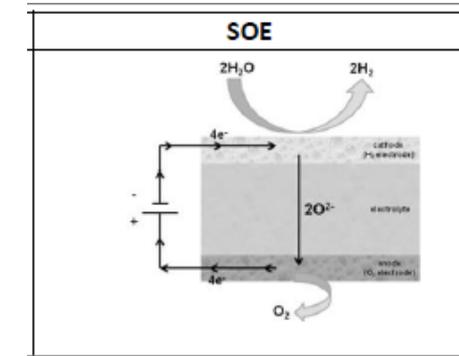
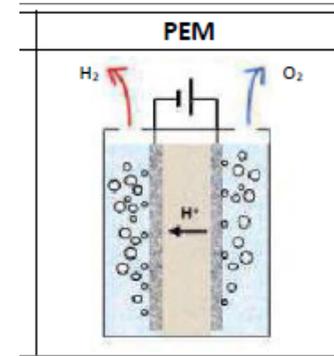
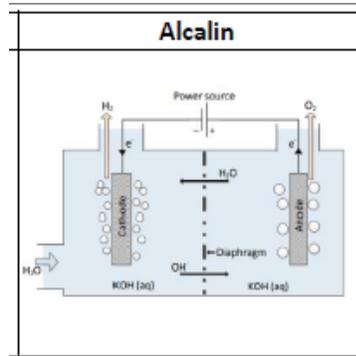
CARNAUTO et vous ?

- **CARNAUTO travaille sur la production d'hydrogène pour la mobilité. Les Instituts de CARNAUTO sont de bon conseillers pour, par exemple, étudier le remplacement d'une consommation d'hydrogène livré en bouteilles (20 à 60 €/kg) par de l'hydrogène produit sur site avec un électrolyseur.**
- **Les besoins en technologie pour le développement des électrolyseurs sont nombreux. CARNAUTO peut aider à adapter une technologie jugée innovante pour les besoins de l'électrolyse**



L'électrolyse

Les différentes technologies d'électrolyseurs



	Electrolyse Alcaline	Electrolyse PEM	Electrolyse HT (SOEC)
Principales caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie mature • Rendement : env. 70% • Capex* : min. 600 €/kW • Opex* : env. 2% CAPEX • Durée de vie : env. 170 000 h • Tps démarrage: à froid 3 600 s, à chaud : 60 s • sensible aux variations de charge • Empreinte au sol: 100 m2/MW 	<ul style="list-style-type: none"> • TRL 9 (prototypes indust.) • Rendement : env. 70% • Capex* : min. 900 €/kW • Opex* : env. 2% CAPEX • Durée de vie: env. 110 000 h • Tps démarrage: à froid 30 s, à chaud : 2 s • Adapté aux variations de charge • Empreinte au sol: 50 m2/MW 	<ul style="list-style-type: none"> • TRL 6-7 (démonstrateurs) • Rendement : env. 85% (besoin vapeur surch.) • Capex estimés:* min. 2150 €/kW • Opex* estimés: env. 5% Capex • Durée de vie : au mieux 10 000 h • Tps démarrage: à froid: 12h, à chaud: 600 s • Pas adapté aux variations de charges • Empreinte au sol: pas d'exemple en service
2 avantages clés	<ul style="list-style-type: none"> • Capex • Durée de vie 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamique de réponse • Compacité 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement théorique • Réversibilité théorique
2 inconvénients importants	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamique de réponse • Peu de potentiel d'amélioration 	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie • Capex 	<ul style="list-style-type: none"> • Capex + Opex • Pas d'unité industrielle en service

*CAPEX: conditions de calcul: unité de 100 MW, durée de vie : 10 ans

OPEX: conditions de calcul: unité de 100 MW, durée de vie : 10 ans

(source : SRIA HYDROGEN EUROPE july 2020 pp 20 à 40)

Gazéification de la biomasse



Le principe

- Procédé chimique en 2 étapes, proche du **vapo-réformage**
- Etape 1 : prétraitement: on prépare la biomasse à la gazéification , par un traitement thermique : **torréfaction** , ou **pyrolyse**
- Etape 2: gazéification: on injecte la biomasse préparée, avec de l'oxygène et de l'eau dans un réacteur, dans lequel des réactions chimiques proches de celles du vapo-réformage se produisent.

Les avantages

- Permet de traiter de la biomasse solide (paille, bois, résidus végétaux) et des déchets .

L'inconvénient majeur

- Procédés encore en phase prototypes .
- Emissions de CO2 , non fossile

La solution de compromis

- Le captage et le stockage (en anglais **Carbon Capture Storage : CCS**) qui permet de produire du CO2 négatif
- Techniquement au point , économique, mais nécessité de stocker le CO2 en sous-sol



A RETENIR, conclusion

- L'hydrogène c'est "maintenant", parce que le monde politique s'est emparé du dossier, et incite l'industrie à s'engager à l'aide de financements conséquents.
- Les qualités de l'hydrogène (non polluant, non toxique , combustion sans CO2) en font un pilier possible de la transition énergétique mais
- Des "ombres au tableau": son faible contenu énergétique par unité de volume et sa petite taille créent les obstacles suivants: faible autonomie en mobilité, difficulté de stockage, fuite à travers les métaux.
- Les 2 voies majeures de production d'hydrogène sont:
 - La voie chimique (vaporéformage et gazéification) . Avantage: fiabilité et prix. Adapté à la transformation de la biomasse en hydrogène. Inconvénient: émissions de CO2. Compromis: captage de CO2. Si biomasse , alors captage ="CO2 négatif"
 - La voie électrique/électrolytique. Avantage: pas d'émissions de CO2. Inconvénient : prix, maturité pour certaines technologies.

A RETENIR, opportunités

- Les perspectives:
 - Pour la voie chimique:
 - utiliser de la biomasse et capter le CO₂ produit pour diminuer le CO₂ dans l'atmosphère,
 - optimiser les technologies et la chimie du captage,
 - développer les applications industrielles.
 - Pour la voie électrolytique:
 - réduire les coûts par accroissement de taille (scale -up). Besoin de savoir-faire en conception industrielle d'unités de production.
 - réduire les coûts des composants, améliorer leur durabilité.
 - réduire le coût de l'électricité.

Sources d'informations et de documentation

Génériques hydrogène :

- [Tout savoir sur l'hydrogène \(IFPEN\)](#)
- [L'essentiel sur l'hydrogène \(CEA\)](#)
- [Association FRANCE HYDROGENE](#)

Appels à projets H2

- [AAP ADEME générique](#)
- [AAP ADEME hydrogene et autres AAP décarbonation](#)

Quels sont les atouts de l'hydrogène ?

- Hydrogène -J6368 V2 - Karine SURLA- Techniques de l'Ingénieur 2019

La production d'hydrogène

- Vaporeformage et autres modes de production chimiques :
 - Production de biokérosène par la voie thermochimique -IN 303- Laurent BOURNAY-- Techniques de l'Ingénieur 2016
 - [captage CO2](#)
- Electrolyse: [SRIA HYDROGEN EUROPE july 2020 pp 20 à 40](#)

Nous suivre, nous contacter



www.carnauto.fr



entreprises@carnauto.fr



Carnauto



[@FiliereCarnauto](https://twitter.com/FiliereCarnauto)