



L'HYDROGÈNE

est-il vraiment
une énergie
d'avenir ?



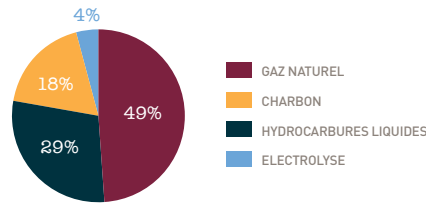
Colombus
Consulting

L'HYDROGÈNE JOUERA UN RÔLE MAJEUR DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE EN COURS

Le marché de l'hydrogène est actuellement centré sur l'industrie et ses moyens de production sont majoritairement carbonés.

96% DE L'HYDROGÈNE EST PRODUIT À PARTIR D'ÉNERGIES CARBONÉES.

C'est une énergie utilisée principalement dans l'industrie pour le raffinage pétrolier, la production d'ammoniac et de méthanol.



Moyens de production de l'hydrogène (Source : IFPEN)

Les gouvernements se sont engagés dans une stratégie bas carbone qui implique une transformation radicale des modes de production et de consommation d'énergie.

Cette stratégie vise principalement à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les villes concentrent la majorité des émissions. Elles devront réduire leur pollution pour se mettre en conformité avec les exigences européennes de qualité de l'air.

Les usages urbains devront pour cela être décarbonés progressivement.

- 75%

DE RÉDUCTION DES D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE D'ICI 2050 PAR RAPPORT À LA RÉFÉRENCE 1990 D'APRÈS LA STRATÉGIE NATIONALE BAS CARBONE.

2/3

DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE PROVENANT DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE MONDIALE SONT CONCENTRÉS DANS LES ZONES URBAINES.

L'HYDROGÈNE PRÉSENTE 4 AVANTAGES POUR RÉPONDRE À UNE STRATÉGIE BAS CARBONE.



Sa combustion est non carbonée, elle ne rejette que de la vapeur d'eau.



Sa combustion génère une grande quantité d'énergie.



C'est une énergie stockable, permettant entre autre le stockage de l'électricité.



L'hydrogène est l'élément chimique le plus abondant sur terre (92% en nombre d'atomes).

L'hydrogène peut répondre aux objectifs gouvernementaux visant une transition énergétique bas carbone à condition de décarboner sa production.

LA MOBILITÉ HYDROGÈNE SE DÉMOCRATISERA POUR LA MOBILITÉ COLLECTIVE ET L'USAGE PROFESSIONNEL

Complémentaire au véhicule électrique à batterie, le véhicule à hydrogène sera utilisé pour les flottes captives.



TRANSPORTS EN COMMUN

Le véhicule à hydrogène se recharge en quelques minutes (entre 3 et 5 minutes contre 4 à 6h avec une recharge normale pour un véhicule électrique) et peut parcourir une distance de 600 kilomètres par rechargement.



TAXIS

Permettant les trajets longues distances, il sera complémentaire au véhicule électrique qui a contrario assure de plus courtes distances en raison de l'autonomie plus limitée de sa batterie.



VÉHICULES UTILITAIRES POIDS LOURDS



Le développement de la mobilité hydrogène pour un usage à grande échelle implique la mise en place d'infrastructures permettant la recharge de véhicules dans les zones urbaines et sur les axes routiers principaux.

La recherche contribuera à la baisse du prix de la pile à combustible qui représente le coût principal d'un véhicule hydrogène à hauteur de 50% (Source : IEA 2015).

L'agence européenne FCH-Ju a alloué 665 millions d'euros à la recherche dédiée à la pile à combustible avec deux ambitions (Source : CNRS 2017) :

- 1 Faire baisser le prix des véhicules à pile à combustible (PAC) de plus de 50% d'ici 2023.
- 2 Augmenter la durée de vie des véhicules à PAC de 75% d'ici 2023.

QUEL MODE DE TRANSPORT SERA ASSOCIÉ À L'HYDROGÈNE DEMAIN ?*

TYPE DE MOBILITÉ HYDROGÈNE	USAGES	POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT À 2030	PRIORITÉ DE DÉVELOPPEMENT	MATURITÉ
Autibus, cars	Transport en commun	++++	++++	+++
Poids lourds	Transport de marchandises	++++	+++	++
Véhicules utilitaires	Services professionnels utilitaires	++++	+++	+++
Véhicules légers	Taxis	++	++	+++
Bateaux de marchandise	Transport de marchandises	+	+	+
Bateaux de plaisance	Loisir	+	+	++
Trains	Fret	+	+++	+
Avions	Transport de marchandises	-	-	-

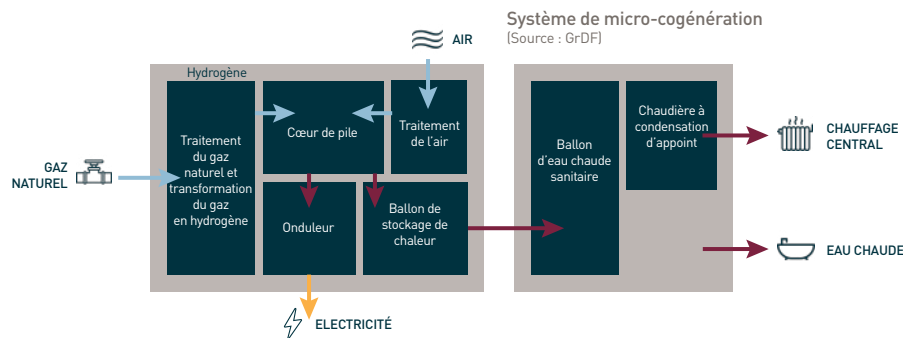
(* Estimation réalisée par Columbus Consulting)

Afin de décarboner les villes, l'hydrogène doit être introduit dans les usages urbains, principalement dans la mobilité.

L'INTÉGRATION DE LA PILE À COMBUSTIBLE PEUT AMÉLIORER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

La micro-cogénération (micro CHP) dans les villes permettra d'exploiter les réseaux de gaz déjà existants.

La micro-cogénération consiste à produire et utiliser simultanément l'électricité et la chaleur à partir d'une énergie pour un usage résidentiel ou tertiaire. Actuellement, le combustible utilisé est le gaz naturel.



La micro-cogénération présente l'avantage de produire de l'électricité qui sera autoconsommée au sein des bâtiments.

L'excédent de production pourra être exporté ou revendu sur le réseau, et aussi produire de la chaleur.

90%
C'est le rendement global d'un système de micro-cogénération.

-15%
C'est la réduction du prix d'un système de micro-cogénération chaque année lorsque l'on double les installations.



UN PRÉCURSEUR, LE JAPON

Depuis 2009, plus de 120 000 systèmes de micro-cogénération ont été installés dans des immeubles japonais.



L'ALLEMAGNE

La micro-cogénération connaît un certain succès suite aux incitations importantes des pouvoirs publics avec des aides à l'investissement et un tarif de rachat de l'électricité.



LA FRANCE

Le marché du micro CHP est restreint avec seulement 200 installations en France. Le démonstrateur Epilog de GrDF a démontré que la technologie était mature et prête à être déployée.

LA MICRO-COGÉNÉRATION (MICRO CHP) INTÉGRERA L'HYDROGÈNE COMME COMBUSTIBLE DANS LES ZONES ISOLÉES.

Cette solution s'appliquera aux sites isolés comme les habitations dans les îles ou les régions montagneuses ayant un accès difficile aux réseaux de gaz et d'électricité.

L'introduction de l'hydrogène comme combustible permettra de **diminuer l'empreinte carbone et de maintenir le rendement global du système** de micro-cogénération.

LA PRODUCTION DÉCARBONÉE D'HYDROGÈNE EST NÉCESSAIRE POUR CONTRIBUER AUX OBJECTIFS BAS CARBONE

La production décarbonée d'hydrogène est possible et devra être industrialisée pour répondre à la demande croissante.

MOYENS DE PRODUCTION DÉCARBONÉE D'HYDROGÈNE			MATURITÉ
	Electrolyse de l'eau	Un électrolyseur décompose l'eau (H ₂ O) en dihydrogène (H ₂) et en dioxygène (O ₂) grâce à un apport d'énergie sous forme électrique.	Démonstrateur
	Gazéification de la biomasse	Procédé de décomposition par la chaleur d'un solide combustible en présence d'un réactif gazeux pour obtenir du gaz de synthèse.	Démonstrateur
	Méthanisation avec capture du carbone	Dégradation de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène aboutissant à la production d'un digestat et du biogaz.	Démonstrateur
	Photo-électrolyse de l'eau	Procédé de séparation de molécules d'eau en hydrogène et en oxygène grâce à l'énergie solaire et les oxydes de fer.	R&D
	Micro-organismes	Production d'hydrogène grâce à des bactéries modifiées sous l'effet de la lumière, en milieu anaérobie.	R&D

L'hydrogène est une opportunité pour le secteur de la production électrique car décarboner la production d'hydrogène implique notamment le recours à une électricité d'origine renouvelable ou nucléaire.

LES TECHNIQUES DE CAPTURE ET DE STOCKAGE DU CARBONE PERMETTRONT UNE PRODUCTION DÉCARBONÉE D'HYDROGÈNE.

Les moyens de production carbonés existants permettront de produire de l'hydrogène carbon-free à terme, à condition que le carbone émis lors du procédé soit récupéré et stocké. Le carbone capturé pourra également être réutilisé pour d'autres usages.

Les techniques de capture et de stockage du carbone doivent être industrialisées avec la demande croissante en hydrogène.



La capture et le stockage de carbone devrait contribuer à la **réduction des émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 20% d'ici 2050.**
D'après l'IEA

L'HYDROGÈNE NATUREL EST UNE MANNE POTENTIELLE QUI POURRAIT DÉCLENCHER UNE RÉVOLUTION ÉNERGÉTIQUE.

L'hydrogène à l'état naturel est produit par réaction de l'eau profonde avec certains minéraux issus de roches. La méconnaissance actuelle des sources d'hydrogène naturel tant au niveau de leur abondance que de leur pérennité voire de leur existence implique un faible nombre d'études lancées pour évaluer l'intérêt économique de ces sources.

(Source : CNRS)

Pour répondre aux objectifs de la stratégie bas carbone, **il est nécessaire de décarboner la production d'hydrogène qui dépend aujourd'hui à 96% des énergies fossiles. Un effort de recherche ciblé sur l'hydrogène naturel** doit être fait compte tenu du potentiel que représente cette ressource possiblement inépuisable et durable.

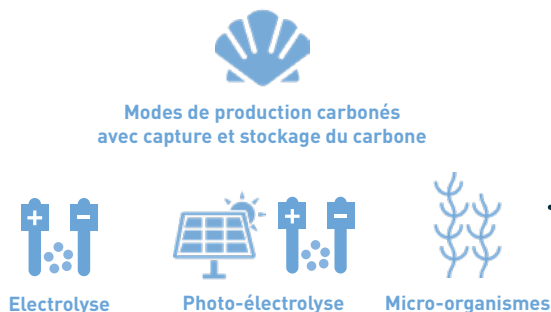
LA CHAÎNE DE VALEUR SERA TRANSFORMÉE DE LA PRODUCTION AUX USAGES DE CONSOMMATION

La chaîne de valeur future de l'hydrogène doit développer ses infrastructures pour répondre à la stratégie bas carbone du gouvernement.

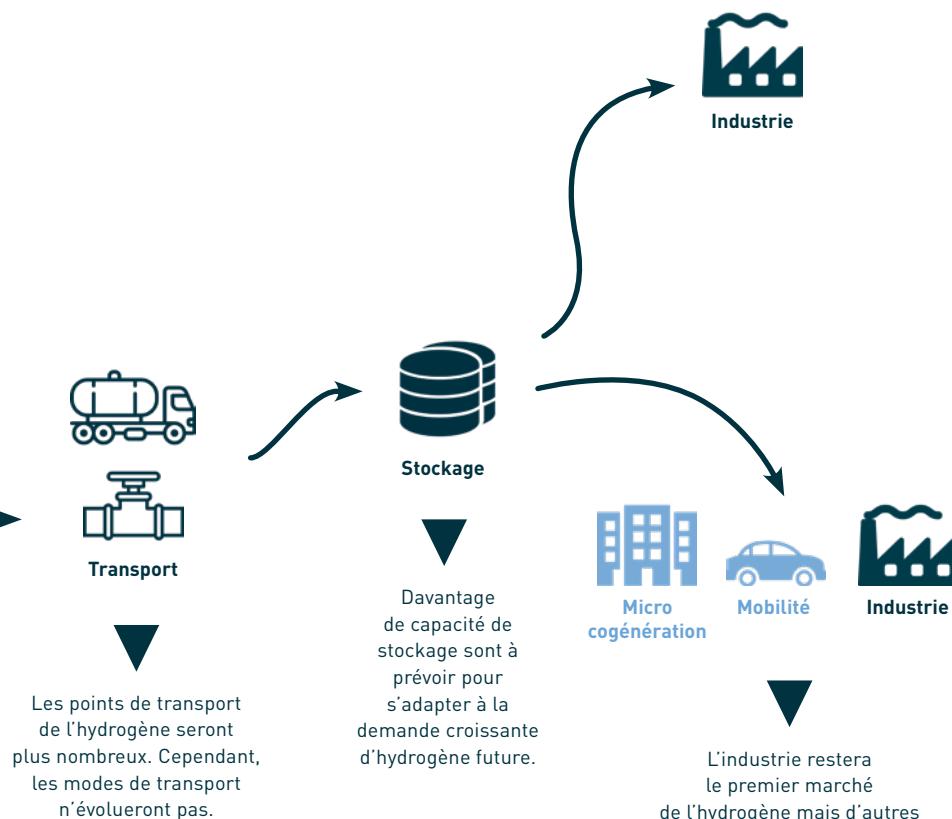
Ancienne chaîne



Nouvelle chaîne



Les anciens modes de production évolueront vers une production davantage décarbonée de l'hydrogène grâce aux techniques de capture du carbone. Ils seront associés à des nouveaux modes de production carbon-free d'hydrogène.



Les points de transport de l'hydrogène seront plus nombreux. Cependant, les modes de transport n'évolueront pas.

Davantage de capacité de stockage sont à prévoir pour s'adapter à la demande croissante d'hydrogène future.

L'industrie restera le premier marché de l'hydrogène mais d'autres usages se développeront : la mobilité sur les segments professionnels et collectifs, ainsi que la micro cogénération.

L'ambition politique française et internationale est d'**atteindre une consommation énergétique bas carbone**.

L'énergie hydrogène répond à cet objectif mais le manque d'infrastructures ralentit son développement. Les efforts entrepris dans la recherche pour l'accélération des avancées technologiques doivent s'intensifier avec un soutien plus important de la sphère publique dans le secteur.

La désynchronisation entre les infrastructures sous-dimensionnées par rapport à la demande est un des principaux risques pesant sur la filière hydrogène.

Nous sommes convaincus qu'il faut **encourager les investissements dans les infrastructures dès maintenant pour garantir le développement rapide de la filière**. Si l'annonce du « **Plan Hydrogène** » du Ministre de la Transition Ecologique Nicolas Hulot a permis de mobiliser la filière hydrogène, les **moyens sont encore trop limités** (100 millions d'euros) et nécessitent des investissements complémentaires de la part d'opérateurs privés.



**Antoine
Harcouët**

Consultant, spécialiste de l'énergie



**Michael
Repiso**

Consultant, spécialiste de l'énergie

www.colombus-consulting.com

A PROPOS DE COLOMBUS CONSULTING

Partenaire des organisations impliquées dans des changements majeurs, Columbus Consulting a l'ambition de réconcilier les intérêts économiques et humains des projets de transformation.

Le cabinet, créé en 1999 et qui compte 170 consultants, est dirigé par Valérie Ader et ses neuf Partners.

Alexandre MALRIC

Senior Manager
Columbus Consulting

Tel : +33 6 27 06 73 37
malric@colombus-consulting.com

138 avenue des Champs-Élysées - 75008 Paris

