

ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA
Groupe Argumentaire sur les Énergies Nucléaire et Alternatives**L'HYDROGÈNE****RÉSUMÉ**

Comme l'électricité, le dihydrogène H₂ (hydrogène) est principalement **un vecteur énergétique** et non une énergie en tant que telle, car il est produit au moyen d'une réaction chimique à partir d'une ressource primaire. Actuellement, pour des raisons économiques, l'hydrogène est issu à **95 % de la transformation fossiles**, dont pour près de la moitié à partir du gaz naturel.

Les ressources principales permettant de produire le dihydrogène H₂ **sont l'eau et les hydrocarbures** (le charbon, le pétrole ou le gaz). L'hydrogène existe aussi à l'état naturel.

Production d'hydrogène

Différentes techniques de production existent :

- Le **reformage du gaz naturel à la vapeur d'eau** est la technique la plus répandue. Il s'agit de faire réagir du méthane avec de l'eau pour obtenir un mélange contenant de l'hydrogène et du CO₂. Le CO₂ émis par ce procédé pourrait éventuellement être capté et stocké pour produire un hydrogène décarboné. En lieu et place du gaz naturel, l'utilisation du biométhane (méthane issu de la fermentation de la biomasse) constitue aussi une solution pour produire un hydrogène décarboné ;
- l'**hydrogène peut aussi être produit à partir d'eau et d'électricité, c'est l'électrolyse de l'eau**. L'électrolyseur sépare une molécule d'eau en hydrogène et en oxygène. Cette voie est encore peu répandue car nettement plus coûteuse (2 à 3 fois plus chère que le reformage du gaz naturel) et réservée aujourd'hui à des usages spécifiques, comme l'électronique, qui requièrent un niveau élevé de pureté ;
- La **gazéification** permet de produire, par combustion, un mélange de CO et d'H₂ à partir de charbon (solution qui émet beaucoup de CO₂) ou de biomasse.

Une fois fabriqué, cet hydrogène devra être stocké.

Hydrogène vert, gris, bleu et jaune : de quoi parle-t-on ?

L'**hydrogène vert** est fabriqué par électrolyse de l'eau à partir d'électricité provenant uniquement d'énergie renouvelable.

L'**hydrogène gris** est fabriqué par procédés thermochimiques avec comme matières premières des sources fossiles (charbon ou gaz naturel).

L'**hydrogène bleu** est fabriqué de la même manière que l'hydrogène gris, à la différence que le CO₂ émis lors de la fabrication sera capté pour être réutilisé ou stocké.

L'**hydrogène jaune**, plus spécifique à la France, est fabriqué par électrolyse comme l'hydrogène vert mais l'électricité provient essentiellement de l'énergie nucléaire.

L'Ademe a récemment suggéré de changer la terminologie. L'hydrogène qui était jusqu'ici appelé « vert » est désormais appelé « renouvelable », l'hydrogène « gris » devient « fossile », et enfin, les hydrogènes « bleu » et « jaune » sont regroupés sous l'appellation « bas-carbone ».

Applications et usages de l'hydrogène

L'hydrogène peut être converti en électricité, en chaleur ou en force motrice selon l'usage final. Il a l'avantage de présenter une capacité de stockage (problématique avec l'électricité) et de pouvoir être produit sans émission de CO₂. En tant que vecteur énergétique, il se prête ainsi à :

- **des applications stationnaires** : stockage d'énergie dans les bâtiments en assurant une fourniture d'électricité et de chaleur grâce à la cogénération, ce qui permettrait le développement des bâtiments à énergie positive.
- **des applications mobiles** : l'hydrogène peut alimenter des véhicules équipés de moteurs à combustion fonctionnant au gaz.
- **des applications industrielles** : l'hydrogène est un composant chimique très employé dans l'industrie.

LIMINAIRE

L'hydrogène est le plus léger de tous les éléments chimiques.

Présents dès les premiers instants de l'univers, les noyaux d'hydrogène ont fusionné pour donner naissance à des noyaux plus lourds et plus complexes.

C'est un élément extrêmement abondant sur notre planète, mais il n'existe pas à l'état isolé, car il est toujours fortement lié, principalement à l'oxygène et au carbone. Il faut rompre l'une ou l'autre de ces liaisons si l'on veut disposer d'hydrogène en tant que matière première ou combustible.

La molécule d'hydrogène (composée de deux atomes) est trois fois plus énergétique que l'essence (120 MJ/kg contre 45 MJ/kg pour l'essence).

Par contre, cet élément très léger (0,09 g/l) occupe beaucoup plus de volume que le carburant : pour libérer la même énergie qu'un 1 litre d'essence, il faut 4,6 litres d'hydrogène comprimé à 700 bars.

Il va en résulter des problèmes de stockage sous forme gazeuse et de sécurité car l'hydrogène peut s'enflammer ou exploser au contact de l'air.

Cependant la petite taille de sa molécule lui permet de diffuser très rapidement (quatre fois plus vite que le gaz naturel) ce qui est un facteur favorable à la sécurité.

1. UNE ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE

À la fin du XIXème siècle, l'hydrogène était le combustible indispensable employé à la fois pour l'éclairage dans les lampes et comme gaz de ville, mélangé à l'oxyde de carbone.

Avec l'avènement de l'industrie du pétrole au XXème siècle, il n'est plus utilisé pour la production d'énergie (sauf dans la propulsion des fusées).

Cependant l'épuisement des ressources fossiles inévitable à terme et le non-rejet de gaz à effet de serre dans la combustion, relancent la filière hydrogène qui, outre son aspect purement combustible et également un moyen de stocker l'électricité en excès issue des filières renouvelables à production aléatoire.

L'hydrogène présente ainsi deux intérêts :

- utilisation de l'hydrogène pour la production d'électricité. Utilisé dans la pile à combustible, il permet de produire de l'électricité n'importe où, n'importe quand.

Cette propriété ouvre de multiples possibilités d'application :

- dans les transports : les véhicules électriques, alimentés par une pile à combustible, n'émettent plus de gaz à effet de serre
- dans le domaine des appareils portables (téléphone, ordinateur...), la pile augmentera leur autonomie
- dans les habitations, comme source de chaleur et d'électricité
- dans le domaine des énergies renouvelables, dans les sites isolés, en complément du solaire ou de l'éolien dont le fonctionnement est forcément intermittent
- fourniture de l'énergie par combustion (propulsion des fusées), ou en faisant entrer l'hydrogène dans la composition des gaz de synthèse, pour obtenir des carburants plus propres performants.

2. LES MÉTHODES DE PRODUCTION DE L'HYDROGÈNE

2.1. ACTION D'UN ACIDE SUR UN MÉTAL

C'est la première méthode employée de façon industrielle.

2.2. PRODUCTION À PARTIR DE COMBUSTIBLES FOSSILES

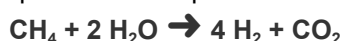
2.2.1. Gazéification du charbon

Cette méthode trouve son origine dans la cokéfaction du charbon destiné à alimenter les hauts fourneaux (gaz de ville). Elle nécessite le soufflage d'oxygène pour maintenir la température de combustion du carbone.

2.2.2. Reformage du gaz naturel à la vapeur d'eau

Actuellement 95 % de l'hydrogène est produit par reformage, mais cette technique rejette beaucoup de gaz carbonique dans l'atmosphère. La méthode consiste à casser la molécule de méthane (CH₄), principal composant du gaz naturel, qui possède 4 atomes d'hydrogène, avec de la vapeur d'eau à 900°C.

Deux réactions successives permettent de produire de l'hydrogène (H₂) et du dioxyde de carbone (CO₂) :



Ce procédé génère du dioxyde de carbone qui peut être capté et stocké (rarement encore à l'heure actuelle).

Les deux techniques précédentes nécessitent une purification de l'hydrogène obtenu.

2.2.3. Production par décomposition de l'eau

2.2.3.1. Electrolyse de l'eau

C'est une technique très vorace en électricité mais qui fournit un hydrogène très propre. Ce procédé était il y a peu encore bien plus coûteux que le vaporeformage de combustibles fossiles (3,4 à 12 \$ par kg H₂ en 2021).

Mais ses coûts sont principalement liés aux coûts des électrolyseurs et de l'électricité utilisée. Avec la chute des prix notamment dans la filière solaire, l'AIE (Agence Internationale de l'Energie) estime que le coût de production pourrait chuter à 1,6 \$ par kg H₂ en 2030 dans certaines régions avec un fort ensoleillement (Afrique, Australie, Chine, Moyen-Orient).

Le rendement de cette technique est de 40 % sur toute la chaîne, mais peut atteindre 80 % en récupérant la chaleur.

2.2.3.2. Dissociation de la molécule d'eau par cycles thermochimiques

La dissociation de l'eau est réalisée à haute température par la mise en œuvre de réactifs chimiques intermédiaires qui sont régénérés dans le cycle.

Les réacteurs nucléaires à haute température, dits « HTR » sont les outils bien adaptés pour fournir la chaleur nécessaire.

On trouvera ci-dessous les détails des réactions chimiques intervenant dans les différents modes de production :

Action d'un acide sur un métal	$Fe + 2 HCl$	$H_2 + FeCl_2$	
Gazéification du charbon	$C + H_2O$	$CO + H_2$	
Reformage du méthane	$CH_4 + 2 H_2O$	$CO_2 + 4 H_2$	
Electrolyse de l'eau	H_2O	$2H^+ + 2e^- + 1/2 O_2$	
Cycles thermochimiques (exemple d'un des procédés)	$CaO + Br_2$	$CaBr_2 + 1/2 O_2$	(550 °C)
	$CaBr_2 + H_2O$	$CaO + 2 HBr$	(775 °C)
	$Fe_3O_4 + 8HBr$	$3 FeBr_2 + 4 H_2O + Br_2$	(250 °C)
	$3 FeBr_2 + 4 H_2O$	$Fe_3O_4 + 6 HBr + H_2$	(575 °C)

2.2.4. Production à partir de la biomasse

Constituée de tous les végétaux à la surface de la Terre, la biomasse est une source d'hydrogène potentiellement très importante.

L'hydrogène est produit par gazéification : ce qui permet l'obtention d'un gaz de synthèse (CO+H₂) qui, après purification, donne de l'hydrogène.

Cette solution est intéressante car la quantité de CO₂ émise au cours de cette production est à peu près équivalente à celle absorbée par les plantes au cours de leur croissance.

Dans le futur il sera peut être possible de produire de l'hydrogène à partir de bactéries et de micro-algues.

La figure 1 ci-dessous présente une synthèse de l'économie de l'hydrogène (Source - RDT info n°42, août 2004).

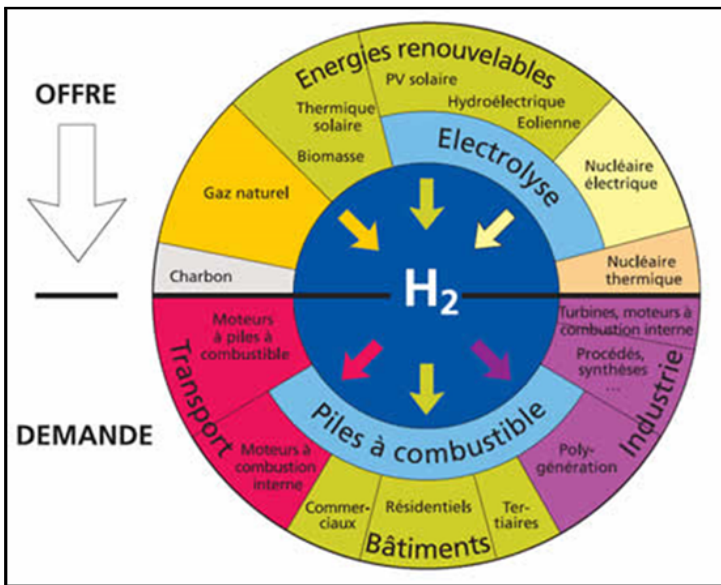


Figure 1 : Place de l'hydrogène dans le panel de la production énergétique et l'utilisation dans l'industrie

Comparaison des procédés

Le tableau comparatif ci-dessous donne le rendement énergétique et les émissions de polluants pour quelques chaînes de production caractéristiques :

Technique	Energie	Rendement %	Polluants g/kWh-H ₂	
			CO ₂	NO _x
Electrolyse	Hydraulique	62,5	0	0
	Nucléaire	25* à 36**	0	0
	Charbon	31,5	1,85	1,4
	Eolien et solaire	20 à 25 %	0	0
Gazéification	Charbon	65	1,3	0,9
Reformage	Gaz	50 à 70	0,36	0,13

* REP ** HTR

3. DISTRIBUTION ET STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE

3.1. DISTRIBUTION

Actuellement l'hydrogène est soit utilisé sur le site même de production, soit distribué par pipelines. Des réseaux de pipelines existent déjà dans plusieurs pays (France, Allemagne, Bénélux) pour l'approvisionnement d'industries chimiques et pétrochimiques.

Pour l'alimentation des véhicules automobiles, la mise au point de stations service ne semble pas poser de problème particulier : il existe déjà des stations pilotes dans le monde, mais il faudra du temps pour que ces stations-service couvrent le monde entier.

En attendant, certains constructeurs automobiles envisagent des carburants contenant de l'hydrogène et non de l'hydrogène seul. Pour cela, l'étape de reformage a lieu à bord du véhicule, mais l'intérêt est alors moindre car le reformage produit du CO₂.

3.2. STOCKAGE

La possibilité de stockage rend l'hydrogène particulièrement attractif par rapport à l'électricité :

3.2.1. Stockage sous forme liquide

Le conditionnement de l'hydrogène sous forme liquide est déjà utilisé dans le domaine spatial.

La liquéfaction à - 253°C permet d'obtenir 5 kg d'hydrogène dans un volume de 70 litres à faible pression (0,5 bar) ce qui autorise des réservoirs multiformes plus faciles à intégrer dans les automobiles par exemple. Cependant, l'hydrogène très volatil a tendance à s'évaporer rapidement (5 % du volume par jour).

Mais pour atteindre la température de liquéfaction, il faut une grande dépense d'énergie ce qui entraîne des coûts élevés qui risquent limiter son développement pour des usages courants.

3.2.2. Stockage sous haute pression

Le stockage de l'hydrogène sous forme gazeuse est une solution prometteuse mais avec de nombreuses contraintes.

En effet l'hydrogène léger, et donc volumineux, doit être comprimé pour réduire l'encombrement des réservoirs. Actuellement la pression des bouteilles est de 300 bars et l'on vise maintenant des réservoirs pouvant résister à des pressions nominales de 700 bars.

Cependant cette technique de stockage se heurte à deux problèmes : d'une part, la petite taille de la molécule de l'hydrogène induit des risques de fuites à travers les réservoirs, d'autre part, l'hydrogène fragilise certains matériaux en les rendant cassants.

Pour répondre à ces contraintes, des réservoirs en matériaux polymères sont étudiés pour remplacer les réservoirs métalliques actuels.

3.2.3. Stockage sous basse pression

Ce mode de stockage fait l'objet de nombreuses études : il s'agit de stocker l'hydrogène dans certains matériaux carbonés ou dans des alliages métalliques capables d'absorber l'hydrogène (exemple : hydrure de zirconium).

Il est restitué à la demande par effet thermique entretenu.

L'hydrogène sous pression se lie à des cristaux de métal pour former des hydrures métalliques. Il se forme ainsi une sorte d'éponge capable de libérer l'hydrogène sous l'effet de la température.

Une grande partie des risques liés à la manipulation de l'hydrogène gazeux (étanchéité, sécurité) serait ainsi éliminée ce qui est particulièrement intéressant pour l'automobile. Des recherches sont également en cours pour stocker l'hydrogène dans la glace (université néerlandaise de Delft).

4. UTILISATION DE L'HYDROGÈNE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Récupérer de l'énergie à partir du dihydrogène renouvelable ou bas-carbone préalablement stocké se fait de deux façons :

- soit sous forme de chaleur *via* **sa combustion directe avec le dioxygène** ;
- soit sous forme d'électricité *via* **une pile à combustible (PAC)** [voir ci-dessous].

Dans les deux cas, la réaction globale ne produit que de l'eau et l'énergie produite peut être diversement valorisée. L'hydrogène peut être valorisé sous trois formes principales détaillées ci-après.

4.1. L'HYDROGÈNE POUR DÉCARBONER LES TRANSPORTS

4.1.1. Le moteur à hydrogène

Les caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène permettent **une utilisation comme carburant** dans un moteur à allumage commandé de type « essence ». Cependant, cette solution nécessite des adaptations spécifiques pour obtenir un très haut rendement et de très faibles émissions de NOx. Il faut notamment exploiter différentes propriétés de l'hydrogène comme sa capacité à brûler rapidement en mélange très pauvre.

L'utilisation de l'hydrogène dans un moteur à combustion interne peut bénéficier des dernières avancées du moteur thermique et du couplage avec une chaîne de traction hybride. Ainsi, en se basant sur des technologies plus robustes et matures que celles utilisées actuellement pour les piles à combustible, il serait possible d'atteindre **un rendement supérieur à 50 %**. Ce pourrait être **une solution de transition vers la pile à combustible** puisqu'elle permet de commencer la validation de toute la filière de production et de distribution de l'hydrogène en utilisant les outils industriels de production existants.

4.1.2. La pile à combustible dans les voitures électriques

Pour le long terme, les constructeurs automobiles s'intéressent aussi aux piles à combustible (ou Fuel Cell), comme **générateurs d'électricité pour les véhicules électriques**. L'hydrogène sert alors à alimenter une pile à combustible – laquelle produit de l'électricité – pour permettre le fonctionnement du moteur électrique.

L'hydrogène est un des meilleurs vecteurs d'énergie pour les piles à combustible aujourd'hui en termes de performances énergétiques et d'émissions. **Leur rendement est globalement supérieur à 50 % sur une large plage de fonctionnement**, ce qui représente un avantage intéressant par rapport à un moteur thermique essence actuel.

Alimentée par un mélange d'air et d'hydrogène, la pile convertit l'énergie chimique de l'hydrogène en énergie électrique **suivant le principe inverse de l'électrolyse**. En faisant réagir de l'hydrogène avec de l'oxygène de l'air sur les électrodes (de fines membranes recouvertes d'un catalyseur, le platine), les piles à combustible permettent de produire de l'électricité **sans autre émission que de la vapeur d'eau**.

4.2. L'HYDROGÈNE POUR LE STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ

Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène permet de **pallier l'intermittence des énergies renouvelables** (éolien et solaire) en optimisant la capacité de production électrique (*power-to-power* – *Figure 2*).

L'hydrogène produit par électrolyse permet, quand le réseau est excédentaire (c'est-à-dire quand la production d'électricité est supérieure à sa consommation), de stocker de l'hydrogène sur un temps court ou long selon les besoins. Dans le cas contraire, l'hydrogène disponible **peut être réutilisé dans une pile à combustible (PAC) pour fabriquer de l'électricité**.

L'hydrogène peut être également injecté directement dans les réseaux de gaz (*power-to-gaz* – *Figure 2*) :

- par injection directe dans les réseaux gaziers pour combustion
- par production de méthane de synthèse (selon le **principe de méthanation**) : conversion du monoxyde (CO) ou du dioxyde de carbone (CO₂) en présence d'hydrogène, qui peut ensuite être transformé en chaleur, électricité ou carburant.

Le procédé de méthanation et le principe de fonctionnement des piles à combustible (PAC) sont décrits dans la [Fiche argumentaire GAENA "Stockage de l'énergie électrique"](#).

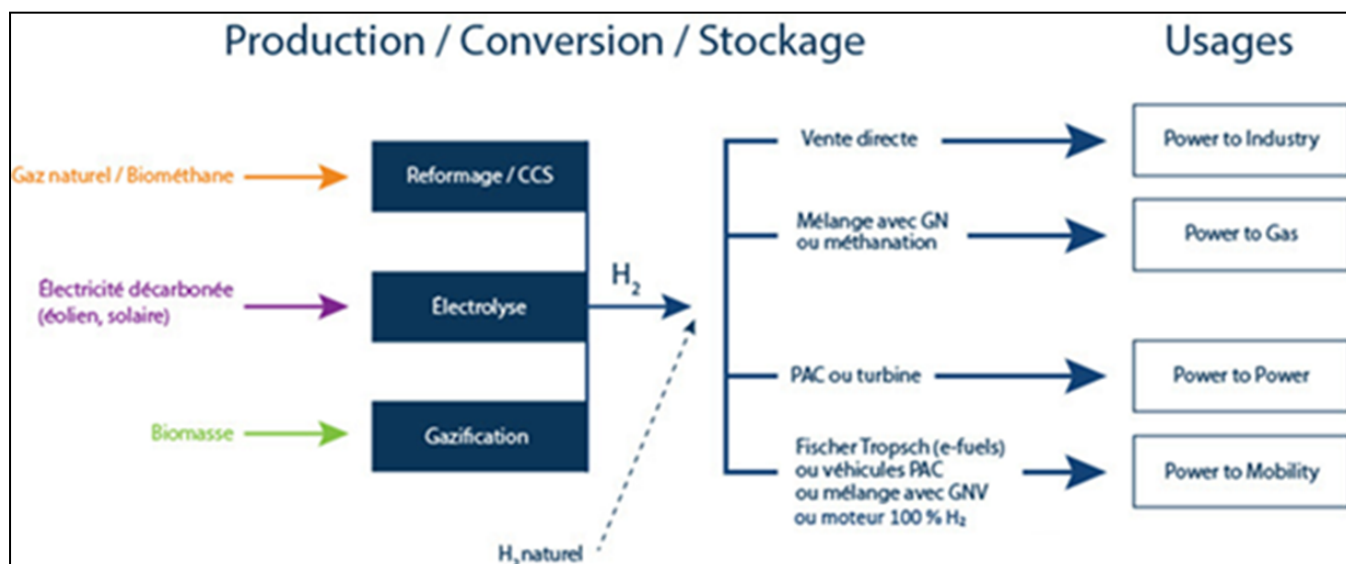


Figure 2 : La chaîne hydrogène simplifiée : de la production aux usages

4.3. L'HYDROGÈNE POUR LE SECTEUR INDUSTRIEL

L'hydrogène peut être utilisé dans le secteur industriel (*power-to-industry* – Figure 2). Les applications potentielles concernent :

- **L'industrie pétrolière et chimique pour la production de matière première** (production d'ammoniac notamment pour la fabrication d'engrais ; production de méthanol...) et pour désulfurer les carburants pétroliers. Ces usages consomment autour de 90 % de la production mondiale d'hydrogène, quasi exclusivement produite à partir d'énergies fossiles. Ce secteur, qui devra se conformer à la législation en matière de baisse des émissions de CO₂, pourrait à l'avenir intégrer de l'hydrogène bas carbone dans ses procédés, sous réserve de réaliser des investissements conséquents dans ses infrastructures.
- **La sidérurgie (production d'acier)** qui envisage d'utiliser massivement de l'hydrogène pour sa décarbonation, en remplacement du coke issu du charbon, pour la réduction du minerai de fer.(CO₂) en présence d'hydrogène, qui peut ensuite être transformé en chaleur, électricité ou carburant.
- **L'industrie traditionnelle** fortement consommatrice en électricité (**cimenteries, verreries, métallurgie**) qui pourrait également utiliser l'hydrogène en remplacement du gaz naturel, pour alimenter les brûleurs des procédés industriels, lorsque l'électrification directe n'est techniquement pas possible ou trop coûteuse.

5. LA SÉCURITÉ

Comme de nombreux combustibles, l'hydrogène peut s'enflammer ou exploser au contact de l'air. Cependant il n'est pas plus dangereux que le gaz naturel car la petite taille de sa molécule lui permet de diffuser rapidement et donc de ne pas s'accumuler. En contrepartie, son stockage est plus difficile.

Cette réputation de dangerosité est essentiellement liée à l'accident du ballon dirigeable HINDENBURG (en 1937) détruit par un incendie dont la cause n'était pas liée à l'hydrogène avec lequel il était gonflé, mais à la nature extrêmement inflammable du vernis qui recouvrait l'enveloppe du ballon.

Rappelons à ce sujet que l'hydrogène était utilisé au début du 20ème siècle dans le gaz de ville en mélange avec l'oxyde de carbone, puis ce mélange a été abandonné non à cause des risques d'explosion dus à l'hydrogène mais des empoisonnements (mortels) causés par l'extrême toxicité de l'oxyde de carbone.

Plus récemment, rappelons que les explosions des bâtiments des réacteurs de Fukushima sont dues à l'hydrogène produit par la réaction métal-eau à haute température.

L'utilisation de l'hydrogène impose donc des dispositifs de sécurité adaptés et la création de normes internationales pour garantir cette sécurité : ainsi dès 1990 l'International Standard Organization (ISO) a créé un comité technique pour élaborer des normes dans les domaines de la production, du stockage, du transport et des applications ; le projet européen (European Integrated Hydrogen Project) fait des propositions de réglementation pour les véhicules à hydrogène et les infrastructures de distribution.

6. CONCLUSION

À l'aube d'une ère énergétique prévue sans énergie carbonée, il est probable que les pays qui feront en premier les bons choix technologiques auront une avance considérable qui leur garantira un développement économique non rattrapable à court terme.

En effet, l'industrie de l'hydrogène est une industrie fortement technologique qui nécessite d'énormes capitaux. L'avance des premiers sera quasi irrattrapable.

Les études sont déjà lancées dans l'aéronautique (BOEING et AIRBUS), dans la fabrication de microprocesseurs (INTEL et AMD) qui sont ainsi pour longtemps à l'abri des nouveaux entrants.

Il en est de même dans les secteurs de l'automobile et de l'industrie pétrolière...

La France se trouve dans une des meilleures positions pour relever le défi du basculement vers la technologie de l'hydrogène. Elle possède, avec son savoir-faire nucléaire, la capacité de produire en masse de l'hydrogène.

Des grands groupes comme TOTAL, SUEZ, GDF, AIR LIQUIDE sont présents, cependant l'essentiel des recherches et applications sur les moteurs à hydrogène se fait outre - Rhin.

Il faut donc que nous favorisions l'innovation trop souvent sacrifiée au nom du principe de précaution.

À retenir

L'hydrogène bas-carbone et renouvelable représente un marché à **fort potentiel** sur lequel la France se positionne aujourd'hui au moyen d'une stratégie nationale forte et d'importants investissements.

L'hydrogène est un **vecteur d'énergie** qui requiert une chaîne de valeur complexe. Généralement, il est produit à partir d'eau et d'hydrocarbures, soit **par procédés thermochimiques avec captage du CO2** émis lors de la fabrication, soit par **électrolyse de l'eau**. Après avoir été stocké et éventuellement transporté, il est utilisé comme énergie avec **une pile à combustible** ou **par combustion directe**.

Dans le cadre de la transition énergétique, la France vise à étendre l'utilisation de l'hydrogène bas-carbone et renouvelable pour **alimenter le secteur des transports**, pallier l'intermittence des énergies renouvelables au moyen du stockage d'électricité **au moyen du stockage d'électricité**, et **décarboner le secteur industriel**.

Le déploiement des technologies hydrogène dépend en grande partie de la **réduction de leurs coûts** et de la **construction d'infrastructures**.

7. SOURCES

- [1] CEA : de la recherche à l'industrie N°12 « L'hydrogène »
- [2] CEA : Découvrir & Comprendre – L'hydrogène. 30 septembre 2024. <https://www.cea.fr>
- [3] CEA : L'Hydrogène et la pile à combustible. 30 mars 2021. <https://www.cea.fr>
- [4] Rapport H2 MTES-CEA 0106. Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique
- [5] L'hydrogène aujourd'hui et demain - Rapport de l'Académie des sciences. [academie.sciences.fr](https://www.academie.sciences.fr)
- [6] IFPEN. Tout savoir sur l'hydrogène. <https://www.ifpenenergiesnouvelles.fr>
- [7] Connaissance des énergies. Hydrogène : définition, production, applications et enjeux <https://www.connaissancedesenergies.org>
- [8] AREVA : revue Alternative N°7 / TOTAL (www.total.com) : hydrogène et piles à combustibles
- [9] La librairie de l'Ademe. Impact climatique de l'hydrogène « bleu ». <https://librairie.ademe.fr>
- [10] Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique. Ministère de la Transition Écologique <https://www.ecologie.gouv.fr>