

Bonjour,

Les informations que nous avons recueillies sur l'**hydrogène** montrent que ce vecteur énergétique intéressant pour la mobilité doit être examiné dans le cadre d'une chaîne complète allant d'une source d'énergie jusqu'à un usage dans un certain contexte de déplacement.

Cette évaluation ne va pas de soi et peut être très différente selon le point de vue où se placent les personnes qui en discutent. Au-delà des intérêts commerciaux des uns et des autres, il est possible que les contextes d'**investissements déjà réalisés** ou de **périmètres d'intérêts** ou de **priorités** soient très différents.

Nous vous avons déjà présenté l'**ammoniac** comme un vecteur énergétique qui pourrait jouer un rôle dans la décarbonation de la mobilité. Cette molécule est produite de plusieurs manières et en grande quantité pour la fabrication des engrais. L'utilisation pour la propulsion des navires est déjà d'actualité, d'autant que son transport et son stockage à l'état liquide par des bateaux est plus efficace sur le plan énergétique que l'hydrogène. [Article \(urba2000.com\)](http://urba2000.com)

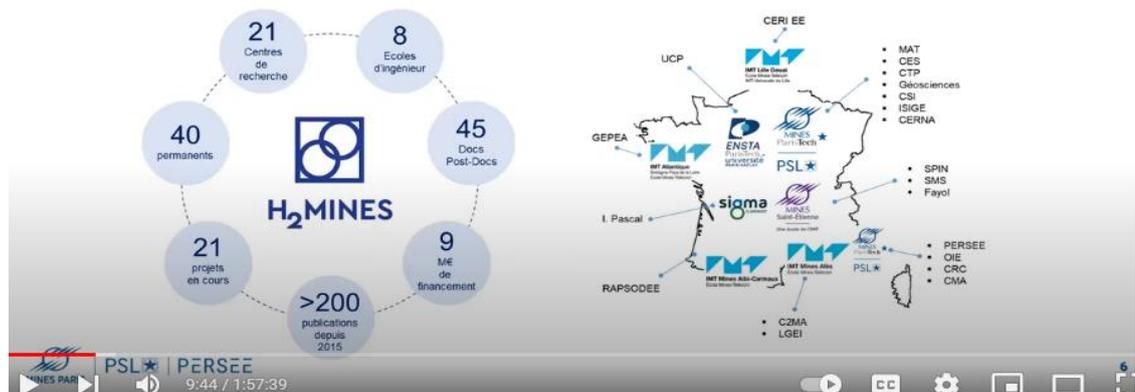
Un séminaire du 19 janvier 2023 des Ecoles des Mines (Institut TTI.5) sur l'**utilisation énergétique de l'hydrogène** (replay [Séminaire TTI.5 | Séance 3 : Hydrogène - Énergie – YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...)) présente les acteurs de recherche et développement fédérés depuis 2016 :

Acteurs du réseau dans les territoires :

H₂MINES, R&D, INNOVATION ET FORMATION POUR LA FILIÈRE HYDROGÈNE

Créé en 2016, H₂MINES fédère

les enseignants-chercheurs du Carnot M.I.N.E.S. actifs sur la filière hydrogène



Le séminaire a porté sur les points suivants :

- Panorama des activités du groupe H2, rappel des spécificités de l'hydrogène qui doivent être prises en compte dans tous ses usages, notamment en ce qui concerne la sécurité : **Christian Beauger**.
- Production d'hydrogène turquoise par pyrolyse du méthane : **Laurent Fulcheri (centre PERSE)**
- Sureté des structures métalliques vis-à-vis de l'hydrogène: **Yazid Madi (chaire Matériaux)**
- Empreinte environnementale des filières H2 par Analyse du cycle de vie : par **Joanna Schlesinger (Mines Paris)**

Rappels sur les propriétés de l'hydrogène :

En tant qu'élément c'est le plus abondant de l'univers.

Sur terre on le trouve lié à l'oxygène (eau) et au carbone (Gaz naturel, biomasse) .

Pour pouvoir l'utiliser dans une réaction chimique ou énergétique il faut d'abord le produire, ce qui en fait un vecteur énergétique et non pas une source d'énergie.

En tant que molécule H₂, c' est un gaz très léger, qui se diffuse très rapidement, très inflammable, (flamme invisible) sans odeur, ni couleur, ni saveur , qui nécessite des détecteurs spécifiques.

L'HYDROGÈNE – RAPPELS?

- H : élément le plus abondant de l'univers
- Sur Terre : lié à O (Eau), + C (GN, biomasse...), ...
- **H₂ : CNTP = gaz**
 - ✓ léger, diffusion rapide (0,61 cm²/s)
 - ✓ Inflammable ([4-75%vol./air], 20 µJ, 858 K, flamme invisible)
 - ✓ Sans odeur, ni couleur, ni saveur
- Vecteur énergétique à fort PCI (120 MJ/kg vs 50 pour le GN)

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O_g \quad \Delta H = -242 \text{ kJ/mol}$$
- **Déjà très utilisé dans l'industrie** : raffineries, synthèse NH₃ et MeOH, atmosphère protectrice...
- **Peu d'usage énergétique** : espace < 1% de la production mondiale
- **90 Mt produit/an**
- **95% de la prod. à partir de ressources fossiles** (GN, pétrole, charbon) → # 10 kg CO₂ / kg H₂!
 - $CH_4 + H_2O = 3H_2 + CO \quad \Delta H = 205 \text{ kJ/mol}$
 - $CO + H_2O = H_2 + CO_2 \quad \Delta H = -41 \text{ kJ/mol}$

Son pouvoir calorifique est très élevé (PCI 120 MJ/kg près de 3 fois plus que le gaz naturel) . Il est très utilisé par l'industrie pour la préparation de l'ammoniac (et des engrais) et le méthanol (chimie organique). Actuellement il est produit à partir de ressources fossiles et très peu pour l'énergie. On produit actuellement **10kg de C02 par Kg d'H2** avec les processus actuels.

Il faut développer de nouveaux processus de production, stockage et distribution adaptés aux conditions d'usage :

- fabrication décarbonnée : **électrolyse** de l'eau par électricité renouvelable, **pyrogazéification** ou **réformage** de la biomasse, **pyrolyse** du méthane.
- Stockage sous pression (700 bars), NH₃, produits organiques, stockage dans le sous-sol
- distribution : gazoducs, bateau, camions citernes, stations service

Les exposés suivants vont préciser les réponses actuelles et les recherches en cours sur ces défis.

La pyrolyse du méthane (Hydrogène Turquoise)

Actuellement la fabrication de l'hydrogène est un problème environnemental. Elle représente 1 à 2 % des émissions mondiales de CO₂.

Le **crackage du CH₄** à haute température a une moindre intensité énergétique que l'hydrolyse (75 kJ/mole contre 285 kJ/mole)

Métal liquide	Décomposition Thermo Catalytique	Plasma
<ul style="list-style-type: none"> • Hazer (Australia) • Czero (CA, USA) • Ember-TNO (The Netherlands) • KIT (Karlsruhe) • IASS (Posdam) • TNO (The Netherlands) • BNL (USA) • TRL = 5 	<ul style="list-style-type: none"> • BASF • Linde Group • ThyssenKrupp • TUD (Dortmund) • TU Bergakademie (Freiberg) • RUB (Bochum) • TRL = 6 	<ul style="list-style-type: none"> • MONOLITH Materials (US) • MPT (FR) <p>LEADERSHIP POSITION TRL = 8-9</p>

Parmi les trois technologies actuellement en développement, la plus avancée est la **torche à plasma** sur laquelle travaille Laurent Fulcheri et qui est mise en œuvre aux USA.

Le **plasma** sur lequel travaille l'Ecole des mines depuis 30 ans est provoqué par trois arcs électriques entre des électrodes en graphite.

Le **pilote de SeaPort** a été réalisé pour convaincre les investisseurs de l'utilité d'un projet qui est en construction actuellement dans le Nebraska, où il y a de l'énergie éolienne et un débouché pour l'hydrogène directement produit en NH₃ (ammoniac) dans un état utilisateur d'engrais.

La phase suivante sera une usine d'une capacité 12 fois supérieure.

Il faut penser au débouché du Carbone solide. La fabrication des pneumatiques est un enjeu (consommation 12MT dans le monde) et d'autres usages sont possibles pour les routes ou le béton.

Pilote Seaport (CA): 2012-2018



Si on parvient à appliquer la technologie plasma à du biogaz et à réduire les fuites de méthane entre son extraction et l'usine, il y a un intérêt pour le réchauffement climatique. Il faut seulement 25 kwh par kg de H₂ (et 50 kwh pour l'électrolyse de l'eau). Les USA peuvent l'utiliser pour valoriser leurs ressources en gaz de schiste, avec un financement encouragé par le plan Inflation Reduction Act. En France ce serait indiqué pour le biogaz.

Question sur la cohérence de la comparaison avec l'électrolyse, le CH₄ étant une source d'énergie et l'eau ne l'étant pas. Le carbone dans le sol ne se retrouve pas dans l'arbre, il favorise la photosynthèse qui fixe le Carbone atmosphérique, mais le cycle de vie de la pyrolyse du biogaz et des produits qui en découlent n'a pas encore été analysé.

La **sureté des structures métalliques**, en particulier des pipelines (40 000km) ont été construits pour le transport de gaz naturel. Le **centre des matériaux** étudie les phénomènes qui se produisent lorsque de l'hydrogène circule dans des enceintes métalliques.

On prélève de petits coupons (3cm) pour faire des éprouvettes (tests de ténacité et d'élasticité entaillée) qui soient représentatives des propriétés du matériau soumis à la fragilisation par l'hydrogène. Le projet MESSIAH (**Mini-Eprouvettes pour le Suivi en Service des structures avec Application au transport d'Hydrogène**) regroupe des industriels qui transportent des gaz, un métallurgiste et un éditeur de logiciel pour calculer (par éléments finis) et si

Projet MESSIAH

anr[®] MESSIAH
Chaire ANR Industrielle

Mini-Eprouvettes pour le Suivi en Service des structures avec Application au transport d'Hydrogène
Mini-samples for in-service monitoring of structure with application to hydrogen transportation

edf RICE MANNESMANN AIR LIQUIDE

Objectifs :

- ✓ Développer une procédure de caractérisation mécanique du comportement plastique et à rupture à partir de coupons millimétriques prélevés in situ
- ✓ Étendre cette procédure pour étudier la fragilisation des structures par l'hydrogène

possible normaliser les méthodes d'analyse des résultats des mini-éprouvettes pour remplacer les éprouvettes standard. Deux thèses ont été soutenues, sur les outils numériques et expérimentaux, 4 thèses sont en cours. Trois phénomènes peuvent interagir sur la plasticité et la rupture : la structure du matériau, les contraintes mécaniques qui peuvent s'accumuler dans les zones de fissures et l'environnement (température, teneur en impuretés...) . L'hydrogène peut s'introduire dans le matériau avec des phénomènes spécifiques de transport et de piégeage. Il peut y avoir des phénomènes d'inhibition par des couches protectrices du matériau, dont on pourra mesurer l'efficacité.

Evaluation des **impacts environnementaux** de la production hydrogène par **Analyse de cycle de vie** : Joanna Schlesinger (Centre d'Observation Impacts Energie)

L'affirmation publicitaire qui est faite pour une voiture à hydrogène ne prend en compte que l'émission de carbone sur un périmètre limité (de la pompe à la roue)

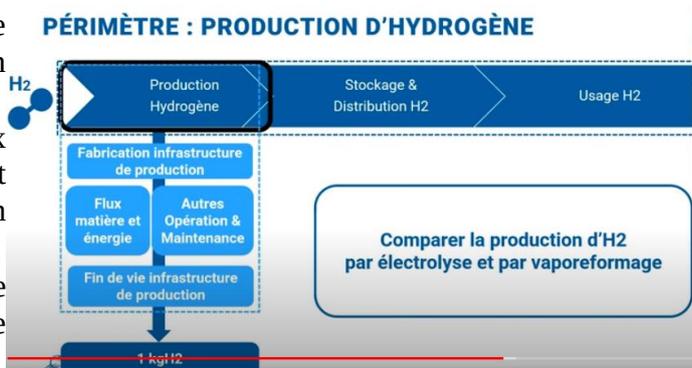
En fait le **périmètre** de la filière est beaucoup plus vaste, puisque la pompe n'existe que dans un système qui a de forts impacts climatiques.

Par ailleurs les impacts peuvent être de nature différente et le réchauffement climatique n'est que l'un de ces impacts.



L'exposé présente des analyses ACV (Norme ISO 14040 et 14044) sur la production d'hydrogène en France. On compare

- **L'électrolyse** (avec un mix énergétique où la part du nucléaire est importante dans la production d'électricité) ou H2 vert
- Le **vaporéformage** (SteamMethane reforming SMR avec Carbon Capture and Storage), appelé Blue H2.



Les travaux en cours portent sur les scénarios de mix énergétique français dans les prochaines années.

Le groupe H2 travaille sur :

- des projets de recherche appliquée avec l'industrie (ex société SYMBIO) pour une intégration dans les véhicules **Symbio** (gamme de piles à combustible hydrogène répondant aux besoins de l'industrie automobile).
- L'intégration de ces filières dans les territoires
- la formation dans des mastères spécialisés

https://s3.production.france-hydrogene.org/uploads/sites/5/formidable/2/H2MINES-Flyer_2021.pdf

Bien à vous

Jean-François JANIN et Philippe DELCOURT

Commenter cette lettre ou une lettre précédente



Commenter une information d'un bulletin d'URBA 2000 ou rechercher un article de la veille

Proposer une autre personne pour recevoir les bulletins d'information hebdomadaires

Se désinscrire pour ne plus recevoir de bulletins d'information.