UE 14 Terre et société Mini-projet Projet N°10

Le vecteur Hydrogène, une solution viable pour la transition énergétique ? Rôles du sous-sol dans sa production durable et son stockage massif.

Tanguy Aurousseau, Nils Giboureau, Paul Meddeb, Guillaume Ramos, Guillaume Rouy



Actuellement, l'hydrogène est essentiellement utilisé pour la désulfurisation des produits pétroliers et la production d'ammoniac pour les engrais. Il est néanmoins prometteur pour la transition énergétique en tant que vecteur énergétique et permettrait d'aider à la décarbonisation d'industries très polluantes comme celle des transports tout en palliant à l'intermittence des énergies renouvelables. Il peut aussi être injecté partiellement dans les réseaux de gaz pour former un mélange avec le méthane tout en gardant les mêmes usages que celui-ci.

Quels objectifs?

L'Europe se fixe comme objectif que 25% de son approvisionnement énergétique soit assuré par l'hydrogène en 2050. Cela équivaut à 681 centrales nucléaires uniquement pour cette filière, sachant qu'il y en a actuellement 126 en Europe.

	En Europe	Dans le monde
Production d'hydrogène en 2020 (en MTonnes)	8,8	70
Production d'hydrogène souhaitée en 2050 (en MTonnes)	100	X

Pour atteindre ses objectifs, l'Europe doit multiplier par 11 sa production d'hydrogène entre 2020 et 2050, et puisque seulement 4% de l'hydrogène est produit par électrolyse, il faudrait que l'Europe multiplie par 275 sa production d'hydrogène par électrolyse.

A partir de ressources fossiles : 96% de la production mondiale actuelle					
Méthode	Vaporeformage de méthane	Oxydation partielle (coupes pétrolières lourdes, charbon)			
Production mondiale	49%	29% (pétrole) + 16% (charbon)			
Etape 1	$CH_4 + H_2O \Leftrightarrow CO + 3H_2$	$C_n H_m + (n/2)O_2 \Rightarrow nCO + (m/2)H_2$			
Etape 2	$CO + H_2O \Rightarrow CO_2 + H_2$ Réaction totale qui produit du CO_2 : méthodes carbonées.				
Etape 3	Traitement nécessaire : éliminer le CO_2 et le CO résiduels				
Rendement global	82%	67%			
Prix de 1' H ₂ (2008-2014)	13,4€/GJ	13,8€/GJ			

Produire l'hydrogène

Prix du méthane : 7,25€/GJ Prix de l'électricité : 18,37€/GJ

En exploitant de l' hydrogène natif provenant du sous-sol ?		
Localisations	 Ronds de sorcières dans les bassins sédimentaires : USA, Brésil, Russie, Mali Dorsales océaniques : 50% à 70% des rejets des évents hydrothermaux 	
Origines	- Diagénèse : oxydation des ions Fe^{2+} par l'eau de pluie ou l'eau de mer - Radiolyse : désintégration des molécules d'eau par radioactivité naturelle]
Ordres de grandeur des flux à la surface	 Bourakebougou, Mali: 1300 m3/jour (1 km de diamètre) Un rond de sorcière au Brésil: 300 m3/jour (300 m²) Un évent hydrothermal: ~5-10 Mm3/an 	
Pour obtenir 70Mt d'hydrogène natif	 Soit exploiter 95000 km² de ronds de sorcières terrestres (15% France) Soit exploiter 50000 km de dorsales océaniques en offshore 	II
Points positifs	 Les flux ne baissent pas, la production souterraine semble être continue. Il existe des roches couvertures et des réservoirs, malgré les fuites importantes 	m po ur
Points négatifs	 Seule l'exploitation terrestre parait envisageable, mais reste néanmoins difficile. L'hydrogène natif est très loin de pouvoir assurer à lui seul la demande mondiale 	dé

Par électrolyse : 4% $H_2O \iff H_2 + \frac{1}{2}O_2$ Réaction Rendement 70%-85% global Si l'électricité est décarbonée, cette Remarque méthode l'est.

est impératif d'abandonner les néthodes de production carbonées our que le choix de l'hydrogène ait sens. De plus, on ne peut pas ompter sur l'hydrogène natif pour écarboner la production mondiale.

Stocker l'hydrogène

•Sous forme solide en l'associant à d'autres composés

d'absorption. Cependant seule une faible masse

d'hydrogène peut être stockée dans ces matériaux, le

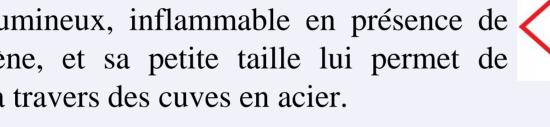
rapport du poids d'hydrogène au poids total du

des mécanismes

réservoir ne dépassant pas 2 à 3%.

spatiale.

Problèmes pour le stockage : le dihydrogène est volumineux, inflammable en présence de dioxygène, et sa petite taille lui permet de passer à travers des cuves en acier.





•Sous forme liquide : A -253 degrés, mais cette •Transformation du dihydrogène en d'autres gaz plus méthode polluante et coûteuse est surtout réservée faciles à stocker comme le méthane ou l'ammoniac pour de la technologie de pointe comme la propulsion mais cela réduit le rendement énergétique.

> •Sous forme gazeuse en le plaçant sous très haute pression jusqu'à 700 bars. C'est la solution la plus prometteuse. On peut utiliser des réservoirs adaptés ou stocker le dihydrogène en souterrain.

Aujourd'hui, l'hydrogène est principalement produit à proximité des lieux où il est utilisé, mais cela pourrait changer à l'avenir, car les volumes de production et les distances de transport devraient augmenter. Or, en raison de sa très faible densité et d'une propension à fissurer les métaux, l'étape de transport est source de complications et de pertes importantes d'énergie et présente donc un enjeu crucial pour la filière hydrogène autant du point de vue du coût des infrastructures que du rendement énergétique.

En bref, le transport de l'hydrogène est une technologie que l'on maîtrise et il existe déjà d'importants réseaux de pipelines dans le monde. En revanche, le rendement et le coût du transport resteront un frein important si la recherche ne développe pas de nouvelles solutions.

Transporter l'hydrogène

TRANSPORT PAR CAMION

TRANSPORT PAR

PIPELINE

Sous forme liquide à -253°C.

Sous forme gazeuse à

700 bars.

Hydrogène pur

Hythane: 20% d'hydrogène mélangé à du gaz naturel

700 bar, l'hydrogène possède une masse volumique de 42 kg/m³ contre 0.090 kg/m³ à pression et température normales. À cette pression, on peut stocker 5 kg d'hydrogène lans un réservoir de 125 litres. En revanche, la pressurisation nsomme 15% de l'énergie contenue.

0% du contenu énergétique. Il existe des pipelines dédiées au transport de l'hydrogène (1600 km en Europe et 1150km en Amérique du Nord). Les canalisations sont souvent souterraines, en acier d'un diamètre de l'ordre de 300 mm dans laquelle le gaz circule sous une pression de plusieurs dizaines à une centaine de bars et à une

-252.87°C et à 1,013 bar, l'hydrogène liquide possède une nasse volumique de près de 71 kg/m³. À cette pression, on peut

stocker 5 kg d'hydrogène dans un réservoir de 75 litres. Er

revanche, maintenir l'hydrogène à cette température consomme

vitesse pouvant atteindre 40 km/h. Afin de maintenir un ression optimale, des stations de compression doivent être nstallées tout au long du parcours, environ tous les 100 à 200 Il n'est pas possible de transporter de l'hydrogène pur dans les réseaux actuels car les infrastructures actuelles seraient trop

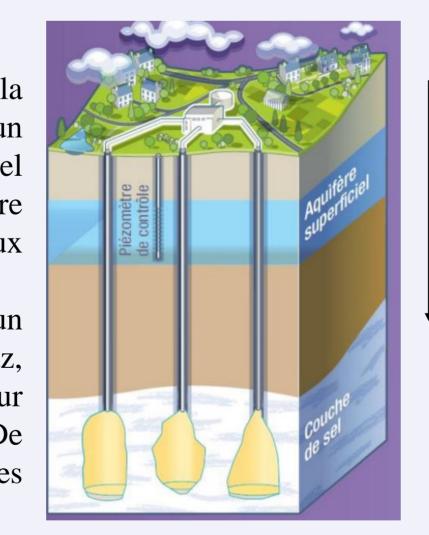
fragiles. Néanmoins, il se mélange très bien au gaz naturel et à condition d'être à une proportion inférieure à 20% dans le mélange, il est possible d'utiliser les réseaux de gaz naturel moyennant une récupération de l'hydrogène par séparation nembranaire en fin de parcours.

Stockage souterrain

d'adsorption ou

Les cavités salines sont retenues pour le stockage de l'hydrogène, car la dissolution du sel permet de créer des grandes cavités pouvant atteindre plus d'un million de mètres cubes de volume, la perméabilité pratiquement nulle du sel assure un confinement étanche du stockage, et il n'y a pas les interactions entre l'hydrogène et les minéraux ou micro-organismes présents dans les milieux poreux.

Si les caractéristiques physiques et structurales de l'hydrogène impliquent un risque de fuite plus élevé pour un stockage d'hydrogène que pour d'autres gaz, des exemples d'utilisation des cavités salines par l'industrie chimique pour stocker de l'hydrogène attestent bien du caractère viable de cette solution. De plus, les 78 cavités salines présentes en France permettraient de stocker les quantités d'hydrogène prévues par les objectifs européens.

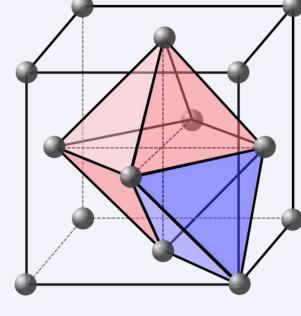


En dépit des espoirs que suscite l'hydrogène pour la décarbonation de certains secteurs d'activité tel les transports ou pour son potentiel apport aux énergies renouvelables, son déploiement à grande échelle n'est toujours pas assuré. En effet, l'hydrogène fait face à différents verrous que la recherche doit aider à surmonter.

Fragilisation

Quels verrous?

À cause de sa petite taille, la molécule de dihydrogène peut facilement se dissoudre dans les métaux, ce qui a pour effet de les rendre plus cassant, complexifiant ainsi son transport et son stockage.



Maille cubique centrée et ses sites interstitiels. Source: commons.wikimedia.org

cubique centré, l'hydrogène peut s'insérer dans des sites interstitiels. Ces derniers sont de deux types, tétraédriques ou octaédriques. Le consensus semble s'être établi en faveur de l'occupation des sites tétraédriques.

Les aciers ayant un maillage

Concurrence

300-

1500

En tant que vecteur énergétique, l'hydrogène est en concurrence avec les batteries électriques. Les batteries sont plus économiques mais leur densité énergétique les restreint à des usages limités. L'hydrogène tire son épingle du jeu pour les usages nécessitant de grands stockages.

epingie aa jea pour ies asages necessitant ae granas stockages.					
Stockage électrique	Batterie	Hydrogène			
Densité énergétique (kWh/kg)	< 0,5	33			
Rendement	supérieur à 80%	entre 30% et 50%			
Secteurs d'activité	voitures, petites à moyennes installations d'ENR	poids lourds, avions, grandes installations d'ENR			

Compétitivité

Les principaux concurrents de l'hydrogène dans le secteur du transport et celui du bâtiment sont respectivement le pétrole et le gaz naturel. On compare ici les prix de production de l'hydrogène, selon son mode de production, avec celui de ses concurrents.

Produit	Hydrogène par reformage (sans CCS)	Hydrogène par électrolyse propre	Pétrole (essence)	Gaz naturel
Prix (en ct.€/kWh)	5,0	15,0	3,0	1,5

Alors que les prix de production du pétrole et du gaz avoisinent les 2 centimes par kWh, celui de l'hydrogène atteint au mieux 5 centimes par kWh mais n'est alors plus décarboné (reformage). Les procédés de production de l'hydrogène ne sont aujourd'hui pas assez matures pour être compétitifs...