

LES GEOSCIENCES ET L'ECONOMIE DE L'HYDROGENE

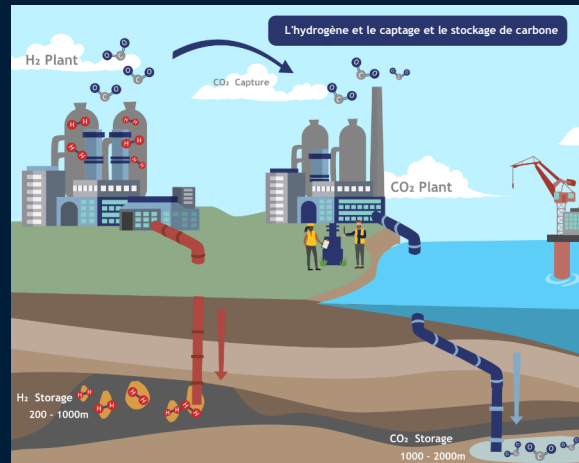
Explication de la politique et de la technologie dans le contexte Européen
Présentation de cas d'études au Royaume Uni, en France et en Suisse



L'hydrogène et la décarbonation

La décarbonation de la production d'électricité, de l'industrie, des transports et du chauffage pour atteindre les objectifs européens et internationaux en matière de changement climatique est un défi majeur, et les géosciences ont un rôle important à y jouer. Les compétences et les connaissances géologiques sont particulièrement pertinentes en ce qui concerne l'utilisation de l'hydrogène, qui offre une alternative intéressante aux hydrocarbures, avec le potentiel de réduire les émissions de l'industrie lourde (comme la fabrication de l'acier), du chauffage domestique et du transport, y compris le fret.

L'hydrogène est un élément important de la stratégie de décarbonation de l'Europe car il peut fournir ou stocker de grandes quantités d'énergie. Il peut être utilisé dans des piles à combustible pour produire de l'électricité et il peut être brûlé pour fournir de la chaleur domestique et industrielle. Alors que les carburants à base de carbone libèrent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère lorsqu'ils sont brûlés (contribuant ainsi au réchauffement climatique anthropique), l'hydrogène produit de l'eau et des oxydes d'azote. L'hydrogène peut remplacer les carburants à base de carbone (par exemple, le pétrole, le gaz et le charbon) pour décarboner certains secteurs de notre économie, tels que le transport, la production d'électricité, la production chimique, les raffineries et le chauffage. Dans les applications de transport, l'hydrogène est actuellement mieux adapté à la route et au rail. Toutefois, les progrès technologiques pourraient permettre son utilisation commerciale dans l'aviation et la navigation à l'avenir.



Le captage et le stockage du carbone permet de séparer le dioxyde de carbone (CO_2) des sources industrielles, de le transporter vers un lieu de stockage approprié et de l'isoler de l'atmosphère par un stockage à long terme. Le CO_2 est stocké dans le sous-sol au sein de formations géologiques - à plus de 800 m de profondeur - qui contiennent de l'eau salée (saumure) ou qui contenaient auparavant du pétrole et du gaz, mais qui ont été épuisées par la production. À court terme, il est probable que le captage et le stockage du carbone soit nécessaire pour stocker le CO_2 produit lors de la production d'hydrogène par reformage du méthane. La capacité de réduire toute émission de CO_2 générée permet à l'hydrogène produit par reformage du méthane de soutenir la transition vers une économie à faible teneur en carbone. Un grand nombre des compétences, connaissances, données et infrastructures géologiques qui ont été développées dans l'industrie pétrolière et gazière depuis la révolution industrielle seront au cœur de la recherche, de la modélisation, de l'évaluation et de l'utilisation des sites de stockage géologique du CO_2 .

Actuellement, la majorité de l'hydrogène utilisé dans l'industrie est issu du charbon ou du gaz naturel, et sa production génère d'importantes émissions de CO_2 . Pour produire de l'hydrogène à faible teneur en carbone, nous devons passer à des méthodes de production alternatives, soit l'électrolyse alimentée par des énergies renouvelables (parfois appelé hydrogène vert), soit le reformage du méthane avec captage et stockage du carbone (parfois appelé hydrogène bleu). L'hydrogène produit par l'un ou l'autre de ces moyens à faible émission de carbone pourrait favoriser la transition de l'Europe vers une économie décarbonée.

Parmi les pays Européens, la France vise la neutralité carbone à l'horizon 2050. Atteindre cet objectif nécessite une transition énergétique massive qui va mobiliser différentes technologies et sources d'énergie. L'hydrogène actuellement utilisé comme matière première dans l'industrie, présente des propriétés qui peuvent contribuer à l'ensemble de la transition énergétique. L'enjeu est aujourd'hui de décarboner sa production en tant que matière première et de développer ses applications énergétiques dans l'industrie, la mobilité et l'énergie. La filière française de l'hydrogène s'appuie sur des décennies d'expérience et s'inscrit dans une dynamique européenne et mondiale porteuse. Présente sur l'ensemble de la chaîne de valeur, elle est en mesure de devenir compétitive sur un grand nombre de segments.

En Suisse, la mobilité hydrogène offre toutes les conditions nécessaires pour réduire durablement les émissions de CO₂ et appuyer les objectifs de la transition énergétique. La mobilité grâce au cycle de l'eau, solution internationalement reconnue, fonctionne en Suisse avec succès depuis 2016. L'étape suivante consiste à étendre à l'échelle nationale cette technologie qui concilie tous les avantages des véhicules électriques à zéro émission avec le confort de la mobilité routière actuelle.

Les sources d'hydrogène

L'hydrogène peut être présent dans la nature sous forme de gaz pur. Cependant, il se lie facilement à d'autres atomes et se trouve donc le plus souvent dans les molécules d'eau (H₂O) et de méthane (CH₄). Il existe deux principales façons d'extraire l'hydrogène de ces sources : l'électrolyse - qui utilise l'électricité pour séparer les ions hydrogène et oxygène de l'eau - et le reformage du méthane, dans lequel la vapeur et le méthane, et parfois l'oxygène, réagissent à des températures et des pressions élevées (figure 1). L'utilisation d'énergie renouvelable pour l'électrolyse offre une voie simple pour obtenir de l'hydrogène à faibles émissions de carbone. Cependant, en 2019, les trois quarts de la production mondiale d'hydrogène ont été réalisés par reformage du méthane, représentant 6 % de l'utilisation mondiale de méthane, tandis que seulement 0,1 % a été produit par électrolyse.

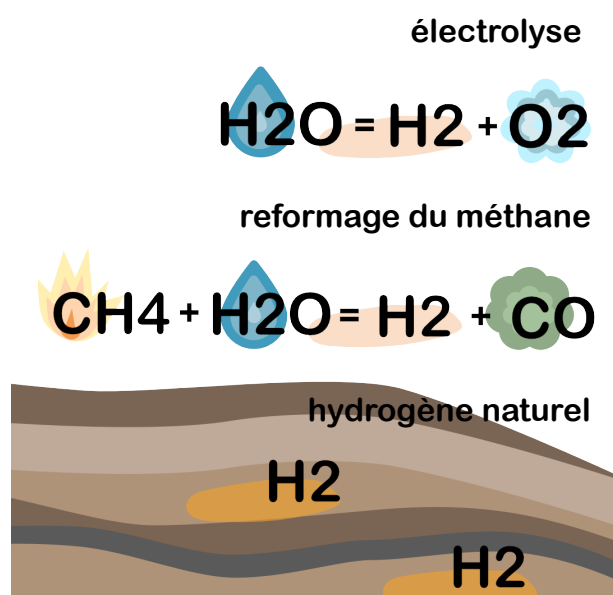


Figure 1 - Sources d'hydrogène

L'hydrogène est un gaz naturel, mais on le trouve également lié à d'autres atomes dans l'eau et le méthane. Il est séparé de ces molécules par électrolyse ou par reformage du méthane. Remarque : ce schéma illustre des réactions chimiques simplifiées.

La nécessité du captage et du stockage de carbone

Une économie de l'hydrogène à faibles émissions de carbone nécessitera très probablement une combinaison des deux moyens de production d'hydrogène, en fonction de la disponibilité et du coût de l'électricité renouvelable ou du méthane. Le faible coût du méthane et sa grande disponibilité, par rapport à la disponibilité actuelle de l'électricité renouvelable, signifient que le captage et le stockage du carbone seront nécessaires pour mettre en place un système énergétique décarboné à base d'hydrogène jusqu'à ce que des sources d'électricité renouvelables abondantes et compétitives soient disponibles en quantité suffisante. Pour passer à la production d'hydrogène en utilisant uniquement des sources d'énergie renouvelables, il faudra disposer de sources d'électricité renouvelables abondantes et compétitives.

À mesure que plus de sources d'énergie renouvelables seront disponibles au cours des prochaines décennies, leur utilisation pour la production d'hydrogène représentera une part plus importante du secteur. Néanmoins, les deux technologies seront nécessaires comme tremplin vers une économie de l'hydrogène entièrement décarbonée.

La nécessité de stockage de l'hydrogène

Le stockage souterrain de l'hydrogène est d'une importance capitale pour la décarbonation, car il permet de stocker l'énergie à très grande échelle et sur de longues périodes à un coût raisonnable. Jusqu'à présent, le stockage de l'énergie était assuré par les hydrocarbures, mais à mesure que nous les abandonnons au profit de l'énergie provenant de sources renouvelables, comme le vent et le soleil, nous devons trouver d'autres moyens de gérer le décalage entre la disponibilité de l'énergie et la demande d'électricité (figure 2).

Ce décalage est dû à deux raisons :

- Les ressources énergétiques renouvelables telles que le vent, le soleil, les vagues et les marées sont toutes intermittentes, même lorsqu'elles sont combinées.
- La demande d'électricité est variable, et cette variabilité ne correspond pas à la variabilité de la production d'électricité renouvelable.

L'inadéquation entre l'offre et la demande se produit à de nombreuses échelles de temps différentes, allant de quelques secondes à plusieurs années, et nécessitera une combinaison d'options de stockage de l'énergie à plusieurs échelles. Nous aurons probablement besoin de plusieurs TWh de stockage d'énergie à l'échelle du réseau électrique pour décarboner le système énergétique britannique, ce qui peut être réalisé par le stockage souterrain de l'hydrogène.

LES GEOSCIENCES ET L'ECONOMIE DE L'HYDROGENE

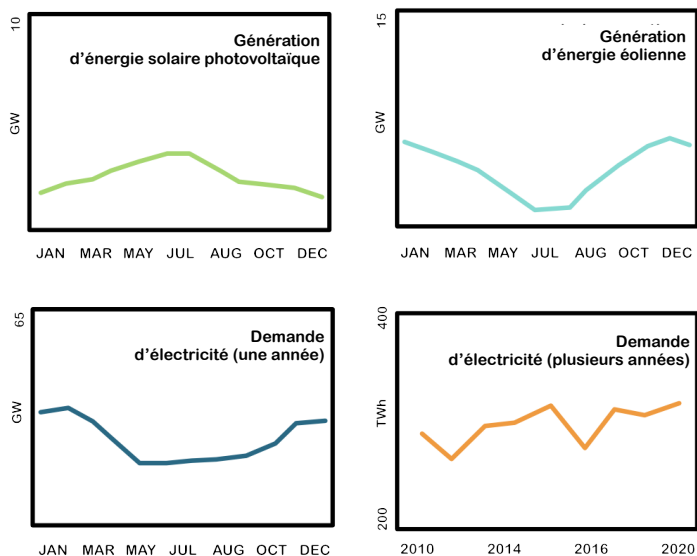


Figure 2 – Pourquoi stocker l'hydrogène?

L'énergie renouvelable varie à la fois en phase (vent) et hors phase (soleil) avec la demande énergétique nationale. L'énergie excédentaire peut être stockée sous forme d'hydrogène dans le sous-sol et utilisée lorsque la demande le nécessite.

Où et comment peut-on stocker l'hydrogène ?

L'hydrogène peut être stocké dans des roches où il y a de grands vides ouverts (les cavernes de sel par exemple) ou dans des formations rocheuses poreuses (comme les aquifères sédimentaires ou les réservoirs de pétrole et de gaz réutilisés) (figure 3). Actuellement, les cavernes exploitées par dissolution (qui sont utilisées depuis plusieurs décennies pour le stockage du gaz) constituent la seule option commercialement viable. Toutefois, des recherches sont en cours sur la viabilité du stockage dans les réservoirs et les aquifères, ce qui permettra l'utilisation de l'hydrogène dans toute l'Europe. L'Europe dispose d'une abondance de réservoirs pétroliers et gaziers offshore (en mer) épuisés, ainsi que d'une multitude de données sur leurs propriétés et caractéristiques, en raison de l'héritage de l'industrie pétrolière et gazière de la mer du Nord. Ces réservoirs pourraient être utilisés pour du stockage à grande échelle s'ils étaient convertis pour permettre le stockage de l'hydrogène.

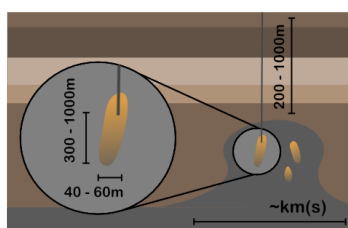
Le stockage de l'hydrogène est utilisé par l'industrie pétrochimique depuis les années 1960, avec des sites de stockage existants au Royaume-Uni (27 sites en 2009 situés dans le Cheshire, à Stafford, dans le Yorkshire et à Teesside) et aux États-Unis - la plupart dans des cavernes de sel souterraines (halite). Le coût du stockage souterrain de l'hydrogène est inférieur de plus de moitié à celui du stockage en surface, mais le stockage souterrain est limité par la fréquence et la répartition des formations rocheuses aux propriétés physiques appropriées disponibles.

LES SOURCES GÉOLOGIQUES DE L'HYDROGÈNE

L'hydrogène d'origine naturelle a deux sources géologiques connues: l'oxydation des minéraux contenant du fer par l'eau et la décomposition de l'eau à la suite d'une désintégration radioactive (radiolyse).

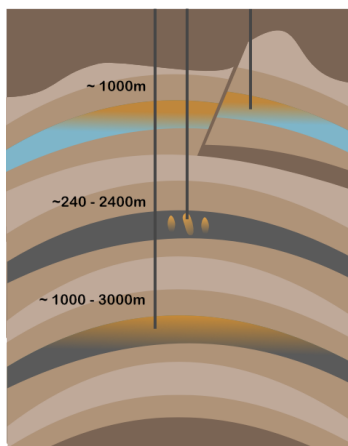
Les conditions géologiques favorables à la production d'hydrogène se trouvent généralement dans les roches ignées à faible teneur en silice, dans les roches continentales riches en fer et dans les roches riches en uranium.

Les gisements naturels d'hydrogène se trouvent dans des contextes géologiques qui ne font généralement pas l'objet de forages ou de surveillance des gaz à l'heure actuelle en raison de l'intérêt relativement récent pour l'hydrogène en tant que ressource. Par conséquent, l'abondance géologique mondiale n'est pas encore connue avec précision.



Cavernes de sel

Généralement à terre



Aquifères salins

Généralement moins profonds à terre et plus profonds en mer (eau non potable)

Couches de sel

À la fois sur terre et en mer

Réservoirs de pétrole et de gaz épuisés

Généralement en mer

PAS À L'ÉCHELLE

Figure 3 - Où peut-on stocker l'hydrogène?

L'hydrogène peut être stocké dans les pores des roches, tout comme l'eau peut être stockée dans une éponge. En revanche, les cavernes de sel offrent de grands espaces de stockage ouverts et sont plus viables commercialement pour le stockage de l'hydrogène.

La production et le stockage de l'hydrogène : l'état actuel

Le principal avantage de l'hydrogène est sa flexibilité. Il peut être utilisé à la fois comme carburant de remplacement dans les transports, mais aussi comme batterie pour stocker l'énergie produite par d'autres sources. Ces deux utilisations requièrent une capacité de stockage importante, et un certain nombre d'initiatives différentes explorent la production et le stockage à grande échelle de l'hydrogène, associé au captage et au stockage du carbone :

En France, des start-up, PME ou grands groupes se mobilisent souvent dans le cadre de partenariats pour déployer des projets de R&D sur toute la chaîne de valeur. Sont listés ci après quelques projets français d'innovation emblématiques

- **Electrolyse haute température:** La société GENVIA va porter une technologie pour produire de l'hydrogène vert à moindre coût, destiné au marché mondial de l'industrie et de la mobilité, au sein du site de production d'équipements pétroliers et gaziers de Schlumberger à Béziers. Sous l'impulsion de l'Agence régionale énergie climat, elle réunit des partenaires multiples : Schlumberger New Energy, le CEA, le cimentier Vicat, Vinci Construction...
- **Injection d'hydrogène dans le réseau gazier:** GRTgaz est partenaire de la société CATALYSE dans le cadre d'un projet destiné à maximiser l'injection d'hydrogène dans le réseau et préserver la durabilité des canalisations en acier existantes. Des tests de perméabilité sont en cours avant la généralisation de la mise à disposition du revêtement innovant développé par CATALYSE.
- **Piles à combustible et réservoirs:** HYCCO est une jeune start-up spécialisée dans les plaques bipolaires, composant essentiel des piles à combustible de type PEM utilisées dans les transports. (PEM -proton exchange membrane). Abrisée par l'incubateur de l'Ecole des Mines d'Albi, elle a mis au point une innovation portant à la fois sur les matériaux et le procédé de production.
- **La plateforme CANOE** a pour objectif est de produire une fibre de carbone "économique". Plus légère et plus résistante que les matériaux actuels des composants automobiles, elle pourrait être généralisée dans la fabrication des réservoirs destinés à stocker l'hydrogène à haute pression (700 bars vs 350).

En Suisse, l'association Mobilité H2 s'engage pour la mise en place d'un réseau de stations-service à hydrogène couvrant l'intégralité du territoire national. Fondée en 2018, l'association est pensée comme une plateforme commune pour la promotion et l'accélération du développement de la mobilité hydrogène en Suisse. Par le soutien à cette forme durable de mobilité électrique, les membres apportent une contribution notable à la réalisation des objectifs d'émission de CO2 dans la circulation routière.

Source d'information : L'hydrogène en France, Edition 020, rapport annuel de l'AFHYPC, www.france-hydrogene.org.

Les compétences en géosciences pour une économie de l'hydrogène

Afin de stocker l'hydrogène en toute sécurité dans le sous-sol, les experts en géosciences devront étudier les propriétés et les caractéristiques des roches de stockage proposées. Il est important que tout site de stockage soit bien caractérisé, afin que les experts puissent prédire avec précision comment les roches se comporteront lorsque les pores ou les cavernes seront remplis d'hydrogène. Les scientifiques devront notamment prévoir les effets que les variations de pression rapides auront sur la stabilité du site sur de très longues périodes d'exploitation. La compréhension du comportement des fluides dans le sous-sol est un domaine dans lequel les professionnels en géosciences possèdent une vaste expérience grâce à l'étude de ressources telles que les eaux souterraines et le pétrole et le gaz, qui existent naturellement dans les roches du sous-sol. De nombreuses compétences, données et leçons tirées de l'industrie pétrolière et gazière seront essentielles pour le développement du stockage souterrain de l'hydrogène et du dioxyde de carbone. Il reste également beaucoup à apprendre sur la présence, l'abondance et le potentiel d'extraction de l'hydrogène naturel. Comme dans le cas de l'industrie pétrolière et gazière, les experts en géosciences joueront un rôle central dans les avancées pour localiser et extraire l'hydrogène naturel.

A propos de la Société géologique de Londres

La Société géologique de Londres (GSL) est la société nationale du Royaume-Uni pour les géosciences. Elle apporte son soutien à plus de 12 000 membres au Royaume-Uni et à l'étranger. Fondée en 1807, elle est la plus ancienne société géologique du monde. Elle apporte un soutien professionnel à ses membres, ainsi que des informations et des preuves scientifiques impartiales aux décideurs politiques et au public.

A propos d'EFG

La Fédération européenne des géologues (EFG) est une organisation professionnelle non gouvernementale qui représente, par le biais de ses associations nationales, plus de 45 000 professionnels en géosciences. L'EFG a pour objectif de contribuer à une utilisation plus sûre et plus durable de l'environnement naturel, de protéger et d'informer le public et de promouvoir une exploitation plus responsable des ressources naturelles.

Le contenu et l'exactitude scientifique de ce document ont été vérifiés par le groupe de travail sur la décarbonation de GSL.

Remerciements

Nous remercions Ivan Van Bever pour la traduction et Philippe Kister (SGF) et Laurent Scheurer (CHGEOL) pour avoir contribué à la rédaction de ce document.