

L'ESSENTIEL

- L'hydrogène utilisé aujourd'hui est produit à partir d'hydrocarbures ou par électrolyse de l'eau, et ne constitue donc pas une source d'énergie.
- Des émissions naturelles d'hydrogène ont été découvertes récemment dans plusieurs régions continentales.
- De tels sites d'émission, où le flux d'hydrogène est important, semblent nombreux.
- Des études sont nécessaires pour évaluer la possibilité d'exploiter industriellement cet hydrogène naturel, qui pourrait constituer une source d'énergie.

Page précédente : © citius.org

LES AUTEURS



Alain PRINZHOFER est directeur scientifique de la société GE04U, au Brésil, et professeur associé à l'Institut de physique du globe de Paris et au Laboratoire interdisciplinaire des énergies de demain, à Paris.

Eric DEVILLE est géologue à l'IFPEN (Institut français du pétrole et des énergies nouvelles) et professeur à IFP School, à Rueil-Malmaison.

connaissait, avant de lancer un programme de recherche, son résultat final, la recherche n'existerait plus...).

Par ailleurs, après bientôt deux siècles de dépendance vis-à-vis des énergies fossiles (charbon et pétrole), envisager de nouvelles structures techniques et sociétales pour y intégrer l'hydrogène naturel est un défi. Il est plus aisé d'exploiter de vieilles sources d'énergie (le soleil, le vent) avec des technologies d'aujourd'hui (panneaux photovoltaïques, éoliennes)...

L'hydrogène qui nous occupe ici se réfère au composé gazeux H_2 , plus proprement nommé dihydrogène, et dont les molécules sont l'association de deux atomes d'hydrogène au sens strict, l'élément le plus abondant de l'Univers. La découverte de gisements d'hydrogène laisse-t-elle espérer un meilleur avenir énergétique pour l'humanité? Nous allons tenter de faire le point sur cette question, mais il faut bien garder à l'esprit que si l'on n'entreprend pas de recherches pour approfondir nos connaissances, l'hydrogène n'a aucune chance de devenir une source significative d'énergie.

Précisons pour commencer que le marché industriel de l'hydrogène est aujourd'hui bien plus important qu'on ne l'imagine: son chiffre d'affaires dépasse les 100 milliards de dollars par an dans le monde. Le volume d'hydrogène que nous consommons, principalement dans les raffineries et dans l'industrie de l'ammoniac, correspond à environ 22 % de la consommation de «gaz naturel» (terme qui désigne, de façon simplifiée et abusive, le méthane extrait du sous-sol).

Cependant, cet hydrogène est en totalité fabriqué par l'homme, et ce à 94 % à partir d'énergies fossiles (méthane, pétrole, charbon), le reste par hydrolyse. Son coût est très élevé, tant sur le plan financier que sur le plan environnemental: à énergie égale, il coûte environ cinq fois plus que le pétrole, et pour un kilogramme d'hydrogène fabriqué, on libère dix kilogrammes de dioxyde de carbone (CO_2). De plus, le rendement énergétique de sa production est inférieur à celui de la combustion directe des ressources hydrocarbonées fossiles servant à le fabriquer.

Par conséquent, aujourd'hui, rouler à l'hydrogène signifie polluer et consommer davantage que lorsqu'on roule aux carburants classiques, hydrocarbonés. C'est pourquoi l'emploi de l'hydrogène comme carburant reste depuis des décennies un

rêve peu développé, même si Toyota vient de lancer le premier modèle industriel de voiture à hydrogène (la *Mirai*).

Cette situation pourrait changer dans un proche avenir, pour deux raisons. D'une part, l'augmentation de la part des énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne) exige un stockage de l'électricité produite, ces sources d'énergie étant intermittentes. Or on ne sait pas stocker de grandes quantités d'électricité. En revanche, on peut facilement transformer l'électricité en hydrogène, grâce à l'électrolyse; et la transformation inverse, d'hydrogène en électricité, se fait aussi sans problème majeur avec des piles à combustible (inventées en 1842!). On envisage donc d'utiliser l'équivalence électricité-hydrogène pour suivre la demande énergétique avec la même souplesse qu'avec les énergies fossiles «de stock», sans souffrir du bon vouloir du soleil ou du vent.

D'autre part, on peut maintenant considérer l'hydrogène non simplement comme un *vecteur* d'énergie (une forme utilisable d'énergie produite par l'homme à partir d'une autre source), mais aussi comme une *source* d'énergie, produite directement par la nature. C'est tout l'enjeu de l'hydrogène naturel qui est, comme nous le verrons, produit par la Terre en quantités importantes et dans de nombreux endroits.

Des gisements qui semblent bien répartis

Cette nouvelle source d'énergie pourrait changer les structures de nos sociétés, fondées depuis les révolutions industrielles sur les énergies fossiles de stock. L'exploitation du pétrole, des hydrocarbures gazeux ou du charbon a un caractère centralisé, l'extraction de ces ressources n'étant possible qu'en un nombre limité de lieux inégalement répartis à la surface du globe. Au contraire, l'hydrogène naturel semble réparti à peu près partout, son exploitation telle qu'on l'imagine aujourd'hui pourrait se faire avec des forages peu profonds (plus proches des forages à eau que des forages pétroliers), et l'on peut envisager son utilisation sans avoir à le raffiner. Rappelons aussi que la consommation d'hydrogène n'est pas polluante, puisque sa combustion (la réaction $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$) ne produit que de l'eau.

Que sait-on de l'hydrogène naturel? Des émissions d'origine souterraine de ce gaz sont avérées depuis les années 1970 au moins. Mais il s'agissait de curiosités

géologiques : soit les émissions d'hydrogène étaient localisées au fond des océans, sur les sites hydrothermaux des rides médio-océaniques (sous des milliers de mètres d'eau et dans des contextes très hostiles et corrosifs, voir la figure ci-contre), soit leurs flux étaient trop faibles pour que l'on imagine un intérêt industriel.

Des travaux récents, encore modestes, montrent que la Terre produit et émet des quantités d'hydrogène bien plus importantes qu'on ne le pensait, et ce dans des lieux très accessibles sur les principaux continents. Sur le plan géologique, on peut décrire deux grands types de gisements : ceux des formations ophiolitiques (lambeaux de lithosphère océanique coincés dans des chaînes de montagnes, dans des zones de subduction, là où une plaque lithosphérique plonge sous une autre), et ceux situés dans des zones cratoniques, c'est-à-dire au cœur des continents anciens.

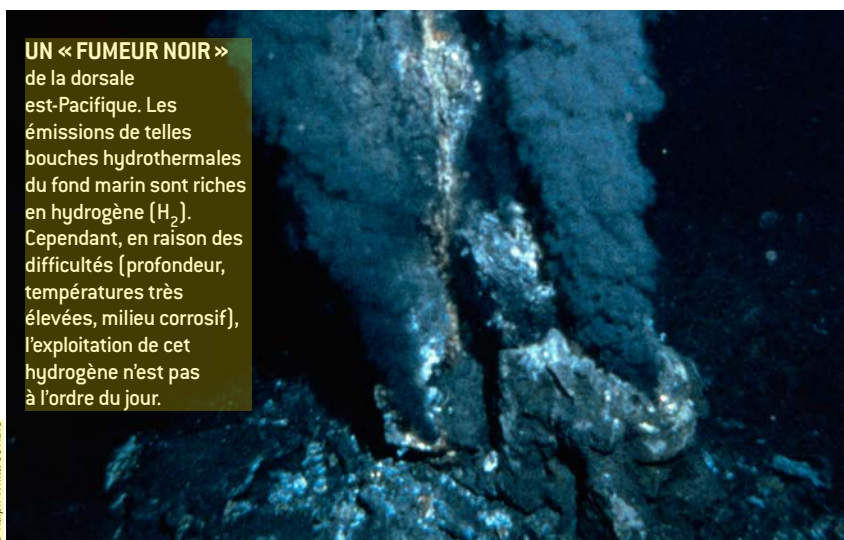
L'hydrogène émis sur les rides médio-océaniques et dans les formations ophiolitiques a déjà été beaucoup étudié, et les mécanismes de sa genèse sont assez bien cernés. En revanche, la connaissance et l'exploration de l'hydrogène continental, dont les quantités et les flux semblent plus importants, restent très préliminaires.

On peut comparer cette situation avec celle du pétrole, utilisé industriellement depuis le milieu du XIX^e siècle, alors que les premiers travaux scientifiques cohérents sur l'origine du pétrole ne datent que des années 1930. Il n'est donc pas déraisonnable d'imaginer que l'humanité sera capable de récupérer et d'utiliser l'hydrogène naturel même si les mécanismes de sa genèse et de sa migration dans le sous-sol sont encore mal compris.

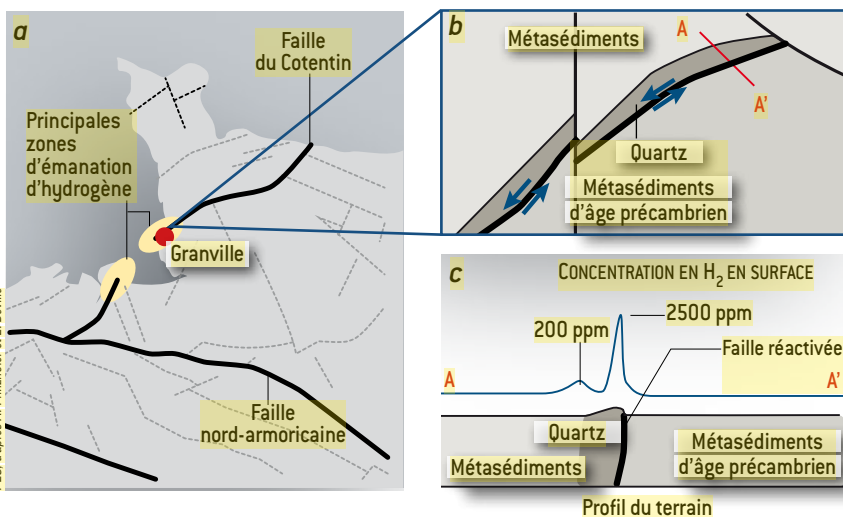
Une origine géologique encore mal identifiée

L'hydrogène océanique et ophiolitique a été étudié par le monde académique pour deux raisons. D'une part, il s'agit de comprendre les processus géochimiques dont il est issu et qui font partie du fonctionnement de la Terre, vue comme un grand réacteur chimique animé de mouvements de convection (remontées par poussée d'Archimède de matière chaude, plongées de matière froide). D'autre part, cet hydrogène est considéré comme l'une des briques essentielles à l'origine et à l'évolution initiale de la vie sur Terre. En effet, on

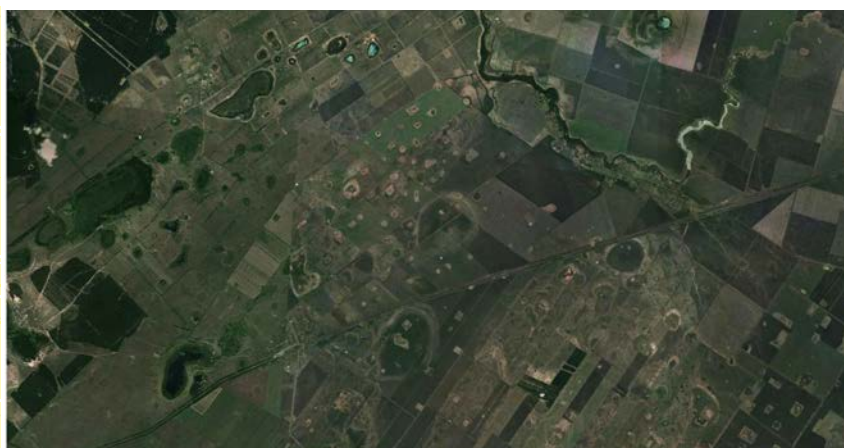
UN « FUMEUR NOIR » de la dorsale est-Pacifique. Les émissions de telles bouches hydrothermales du fond marin sont riches en hydrogène (H₂). Cependant, en raison des difficultés (profondeur, températures très élevées, milieu corrosif), l'exploitation de cet hydrogène n'est pas à l'ordre du jour.



© Ralph White/CORBIS



DES ÉMISSIONS D'HYDROGÈNE, liées à des failles, ont été repérées dans le nord-ouest de la France (a). L'étude de la faille de Granville (b et c, selon la direction AA') a montré que celle-ci, cimentée par un filon de quartz épais d'environ 50 mètres, laisse fuir de l'hydrogène aux bordures du filon. Les flux les plus importants sont associés à la bordure sud-est, probablement en raison d'une fracturation plus intense du quartz au contact des métasédiments d'âge précambrien.



UNE VUE SATELLITAIRE DE LA RÉGION DE BORISSOGLEBSK, en Russie, à environ 600 kilomètres au sud de Moscou. On distingue de nombreuses dépressions circulaires qui correspondent à des centres d'émission d'hydrogène naturel.