



L'HYDROGENE NATUREL

Sommaire

1. **Introduction**
2. **Les localisations de l'hydrogène naturel**
3. **D'où provient l'hydrogène naturel ?**
4. **Conclusion**

1. Introduction

Jusqu'à ce jour, l'hydrogène à l'état moléculaire, H₂, était considéré comme n'existant pas dans la nature, si ce n'est à l'état de traces. Pour en disposer en grandes quantités, il faut le produire par les procédés décrits dans le présent chapitre 3, fiches 3.1.1 à 3.3.2. Or, depuis quelques décennies, des émanations d'hydrogène naturel ont été mises en évidence, d'abord au fond des océans et plus récemment sur terre. Un état de fait qui pourrait renforcer l'intérêt des atouts de l'hydrogène s'il est avéré qu'il est disponible dans la nature et techniquement récupérable sans trop de difficultés et à un coût acceptable.

Si le hasard avait fait découvrir un petit champ de gaz hydrogène en 1906 en France (à Vaux en Bugey dans l'Ain) en cherchant du sel, c'est dans les années 1930 que la présence d'hydrogène naturel fut révélée dans les sédiments du Middle West aux Etats-Unis. Et seulement dans les années 1970, des travaux scientifiques ont confirmé ce fait. Il a ainsi été prouvé que l'hydrogène est présent :

- dans des dorsales médio-océaniques sous forme de fluides hydrothermaux riche en H₂, ainsi que dans les systèmes hydrothermaux terrestres, notamment en Islande (36% de H₂) ;
- dans les gaz de volcans, parmi eux l'Etna en Sicile (58% de H₂), Augustin et Trident en Alaska (52% de H₂), Kliuchevskoi au Kamchatka (82% de H₂), etc.;
- dans les eaux de sources hyperalcalines de divers massifs de péridotites, notamment en Oman (jusqu'à 99% de H₂), dans les Zambales aux Philippines, dans le sud de la Turquie, etc. ;
- dans la zone de faille active majeure de San Andreas en Californie ;
- dans diverses mines, notamment en Afrique du Sud et en Russie ;
- à plusieurs kilomètres de profondeur dans des forages super-profonds de Kola en Russie ou de Kryvyi Rih en Ukraine.

En dépit de ces découvertes, cette présence d'hydrogène a été considérée, jusqu'à ces dernières années, comme une simple curiosité géologique. Compte-tenu des contextes géologiques difficiles d'accès où il a été trouvé, son exploitation paraissait de toute façon difficilement rentable. Pourtant, récemment, dans plusieurs régions continentales des flux continus d'hydrogène naturel ont été découverts, ils pourraient présenter un réel intérêt économique. En effet, ce sont plusieurs centaines de structures géologiques émettant de l'H₂ qui ont été mises en évidence dans la partie européenne de la Russie¹. Ces structures sont des dépressions de surface, de forme circulaire et peu profondes, dont la taille peut varier d'une centaine de mètres à plusieurs kilomètres de diamètre. Dans les régions cultivées, la périphérie de ces structures est souvent soulignée par une décoloration du sol associée à une végétation anormalement développée. Le centre est, lui, marécageux voire occupé par un lac. A l'intérieur de ces cercles, dans le sol, la concentration d'hydrogène moléculaire est élevée alors qu'à l'extérieur, aucune trace n'est détectée. Le débit d'hydrogène gazeux de certaines de ces structures est estimé pouvoir atteindre 27 000 m³ par jour.

¹ Natural Resources Research, 24, 369-83 (2015).

Dans une étude plus récente, des chercheurs ont démontré l'existence d'autres structures équivalentes émettant de l'H₂, cette fois à l'est des Etats-Unis à Carolina Bays². Il s'agit de dépressions peu profondes et ovoïdes. Des centaines de milliers de structures de ce type sont présentes sur la côte de l'Atlantique. Les études réalisées à Carolina Bays ont montré qu'elles sont comparables à celles observées en Russie.

2. Les localisations de l'hydrogène naturel

- Au fond des océans

Des émanations fluides chargées en hydrogène sont mis en évidence dans les années 1970 sur la dorsale océanique de l'est pacifique. Depuis, de nombreux sites océaniques émettant des mélanges de gaz en solution dans l'eau à forte proportion d'hydrogène ont été découverts sous les fonds atlantiques près des Açores et plus récemment sur la dorsale arctique.

- En montagne sur la trace des anciens océans

Dans des zones à relief montagneux on peut citer les émanations aux Philippines, en Oman et en Turquie dont certaines donnent lieu à des feux permanents connus depuis l'Antiquité comme ceux de Chiméra en Turquie ou de l'île Luzan aux Philippines.



Flammes de Chiméra en Turquie

- Dans la croûte continentale

Nombre de forages de gaz à grandes profondeurs en Amérique du Nord, en Russie et en Suède ont révélé la présence de gaz en partie constitué d'hydrogène dans des roches très anciennes au dessous des couches sédimentaires où le pétrole n'est pas recherché. C'est également dans des exploitations minières de charbon, de métaux, de diamants que des gaz contenant de l'hydrogène ont été libérés.

En Russie, en 2010, la surprenante découverte d'émanations d'hydrogène à la surface du sol d'abord accueillie avec perplexité a été confirmée. Comme il a été dit plus haut, elles apparaissent au milieu de structures circulaires, généralement en légère dépression d'un diamètre de plusieurs centaines de mètres à quelques km. Elles sont bordées d'une couronne blanchâtre due à l'altération des sols. Des mesures effectuées à 1 m de profondeur ont permis d'évaluer à près de 8 000 Nm³ par jour et par km² la quantité de gaz émise, valeur obtenue en prenant en compte la diffusion de l'hydrogène dans le sol et dans l'air. Ainsi les émanations sur 8km² de Borisoglesk au nord de Moscou seraient de 62 000 Nm³ par jour.

² Progress in Earth and Planetary Science, déc. 2015, pp2-31.



Zone d'émanations d'hydrogène en Russie

De récentes prospections ont montré que ces structures circulaires existaient en d'autres points du globe et, si toutes ne sont pas émettrices d'hydrogène il est prévisible que certaines le soient comme celles existantes au centre du Brésil.

– Sur d'autres sites

L'hydrogène peut s'échapper en des lieux où ne se trouvent pas les cercles précédents en particulier, le long de fissures de formations géologiques superficielles de roches fortement indurées : calcaire ou granit. Ainsi au Mali, au nord de Bamako, émane du sol un flux permanent d'hydrogène exploité par la compagnie Petroma qui a construit une petite station de production d'électricité avec une turbine à hydrogène, de quoi alimenter le village voisin. Au Kansas, un gisement du même type a été découvert et est en voie d'être exploité.

3. **D'où provient l'hydrogène naturel ?**

a) Hydrogène associé aux sites hydrothermaux des dorsales océaniques
 Les roches du manteau supérieur de la croûte terrestre sont principalement constituées d'olivine, silicate contenant du magnésium et du fer ferreux. Ce minéral s'altère facilement au contact de l'eau pour former d'autres minéraux associés à de la magnétite, un oxyde de fer constitué d'une partie ferreuse et d'une partie ferrique. Ce passage est lié à une oxydation du fer de l'olivine avec pour conséquence une réduction de l'eau et la formation d'hydrogène.

b) Hydrogène en montagne
 La tectonique des plaques explique que des lambeaux de plancher océanique se retrouvent sur les continents dans les chaînes de montagne, il s'en suit la présence de minéraux voisins de ceux tapissant les fonds marins. C'est en particulier la présence d'ophiolite proche de la serpentine qui a contribué à confirmer l'analogie avec la croûte océanique. Il est ainsi naturel de retrouver des émanations gazeuses contenant de l'hydrogène. Plusieurs missions scientifiques ont révélé ce type de phénomène avec la conclusion que ces émanations étaient équivalentes à celles des dorsales océaniques.

Une remarque à propos des ophiolites du Sultanat d'Oman où l'eau associée aux émanations d'hydrogène est remarquablement colorée en bleu donnant lieu à des « blue pools ». L'explication en

est le degré de pH très élevé de ces eaux en raison de la production d'ions OH^- lors de la réaction chimique qui génère l'hydrogène. Ces ions hydroxydes capturent le dioxyde de carbone atmosphérique pour former du carbonate de calcium avec les ions calcium présents dans l'eau. Les fines particules de ces carbonates en suspension dans l'eau contribuent à lui conférer sa couleur bleue.



Piscines bleues en Oman

c) Hydrogène émis par les zones cratoniques

L'origine de cet hydrogène n'est pas encore réellement établie, plusieurs explications sont possibles. Comme dans le cas des fonds océaniques, l'hydrogène continental est toujours associé à la présence de méthane et d'azote révélant à la base des réactions chimiques identiques. En milieu continental l'hélium est aussi souvent associé à ces gaz et ce en quantités non négligeables de plusieurs pour cent, un intérêt certain vu l'importance de ce gaz dans les technologies contemporaines. Cette présence d'hélium révèle que la genèse de ces gaz émis a lieu à des profondeurs de plusieurs km. Plusieurs hypothèses sont avancées :

- Le dégazage de la planète puisque celle-ci, à l'origine, a été formée de grandes quantités d'hydrogène qui piégé dans le noyau s'en échappe, peu à peu, en permanence;
- L'hydrogène proviendrait des enveloppes externes de la terre et se formerait à partir de la matière organique présente dans les dépôts sédimentaires. Cette hypothèse reste peu probable car une telle formation requiert des hautes températures qui ne sont pas celles de couches concernées. Ce pourrait alors être l'effet de microorganismes producteurs d'hydrogène de ces sédiments ;
- L'hydrogène proviendrait de l'hydrolyse de l'eau des couches externes du globe. Mais que ce processus soit d'origine mécanique (fracturation du sous-sol en présence d'eau), de radiolyse (craquage de molécules d'eau par des particules haute énergie associées à la radioactivité) ou d'électrolyse, aucun n'est suffisamment important ni même vraiment présent en milieu naturel ;
- Quant à l'oxydation du fer ferreux réduisant l'eau en hydrogène, comme cela a lieu en milieu océanique, elle est peu probable car la présence de roches riches en fer n'est pas évidente et si celles-ci existent elles sont chimiquement très stables.

d) Hydrogène biologique

La génération d'hydrogène par les algues et les bactéries se réalise par des mécanismes impliquant comme catalyseurs des enzymes tels que les hydrogénases et les nitrogénases (cf. Fiche 3.3.2). Mais la concentration en hydrogène doit rester faible pour ne pas être un poison, une régulation faite par les méthanogènes. Il n'est donc pas possible, dans de telles conditions, d'envisager l'exploitation de cet hydrogène. En revanche, dans un environnement très chaud, comme dans les aquifères profonds, de plus fortes productions sont possibles : peut être une voie intéressante à explorer ?

4. **Conclusion**

L'hydrogène naturel est-il, dans un moyen terme, exploitable en tant que combustible respectueux de l'environnement? La réponse est probablement oui. En effet, sa présence sur terre ne relève plus d'une curiosité géologique à caractère exceptionnel mais d'une certitude. Il faut prospecter, comprendre, expliquer, expérimenter, en un mot, s'investir dans une véritable discipline nouvelle dont l'aboutissement pourrait parfaitement donner lieu à l'exploitation d'une filière d'approvisionnement en énergie propre. Ce serait alors une très importante filière d'hydrogène décarboné, parfaitement complémentaire de celle qui, de nos jours, consiste à convertir en hydrogène l'électricité renouvelable.

Cette fiche rédigée en collaboration avec Viacheslav Zgonnik est fortement inspirée de l'ouvrage de Alain Prinzhofer et Eric Deville « Hydrogène naturel, La prochaine révolution énergétique ? » Belin, Paris, 2015.

Pour en savoir plus :

Natural Resources Research <http://link.springer.com/article/10.1007/s11053-014-9257-5>

Progress in Earth and Planetary Science <http://link.springer.com/article/10.1186/s40645-015-062-5>

Emission « Pourquoi s'intéresser à l'hydrogène naturel ? » <http://www.rfi.fr/emission/20150701-pourquoi-hydrogene>

Conférence de la Société Géologique de France <http://www.geosoc.fr/manifestation/agenda-des-reunions-colloques-sgf/event/230-hydrogene-naturel-procedés-geoinspires-et-valorisation-du-co2.html>