



**HAL**  
open science

## Lhydrogène naturel, un nouveau pétrole ?

Isabelle Moretti, Angélique Dagostino, Julien Werly, Carlos Ghost, Diane Defrenne, Louis Gorintin

► **To cite this version:**

Isabelle Moretti, Angélique Dagostino, Julien Werly, Carlos Ghost, Diane Defrenne, et al.. Lhydrogène naturel, un nouveau pétrole ?. 2018. hal-02191071

**HAL Id: hal-02191071**

**<https://univ-pau.hal.science/hal-02191071>**

Submitted on 23 Jul 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# L'hydrogène naturel: un nouveau pétrole?

La découverte d'émanations naturelles d'hydrogène en divers endroits du monde relance le rêve d'une énergie propre et bon marché. Mais nous devons d'abord comprendre l'origine de ces échappements et leur évolution dans le temps.



1. Au Brésil, des dépressions d'où s'échappe de l'hydrogène sont étudiées par les chercheurs d'ENGIE.

© ENGIE

**A** Bourakébougou, au Mali, à 60 kilomètres au nord-ouest de Bamako, les habitants ont toujours entendu une sorte de bourdonnement venu du sol. L'explication est venue un jour de 1987, lorsqu'a été entrepris un forage d'eau: ce n'est pas ce liquide qui en est sorti, mais un gaz composé à 98% d'hydrogène et 2% de méthane. Ce gisement est maintenant exploité par la Petroma et a fait de Bourakébougou un pionnier dans la production d'électricité à partir de l'hydrogène naturel. Ce village restera-t-il une exception ou préfigure-t-il un changement de grande ampleur?

La situation évoque celle du pétrole. Pendant l'Antiquité, les habitants du Moyen-Orient voyaient le pétrole s'écouler comme de l'eau à la surface du sol, le plus souvent le long des failles. Ils l'ont très vite utilisé comme combustible, pour le calfatage des bateaux et dans les procédés de momification. Pourtant, il a fallu plusieurs millénaires pour comprendre l'origine de ces épanchements. Ils sont la marque d'un système pétrolier: les

hydrocarbures se forment quand des déchets organiques sont enfouis profondément et donc chauffés. Plus légers que l'eau qui remplit les pores des roches, ces produits remontent vers la surface à moins d'être bloqués par une roche moins perméable. Aujourd'hui, certains géologues s'interrogent: existe-t-il des systèmes d'hydrogène, analogues à ceux du pétrole? Et si oui, quelles sont les conditions géologiques favorables à la formation d'un gisement d'hydrogène exploitable? Pour répondre, on doit comprendre comment l'hydrogène se forme, se déplace dans le sous-sol (sous forme gazeuse ou dissoute?) et peut s'accumuler.

La découverte de Bourakébougou, ainsi que celle similaire au Kansas à l'occasion d'un forage d'hydrocarbures, ont bouleversé ce que l'on pensait savoir de l'hydrogène moléculaire (le dihydrogène  $H_2$ ). En effet, on a longtemps cru que cette molécule très petite et très réactive chimiquement ne pouvait pas s'accumuler et que les roches, à part le sel qui n'a quasiment aucune perméabilité, étaient incapables de le retenir.

Notre connaissance des sources d'hydrogène dans le sous-sol est encore empreinte

## LES AUTEURS

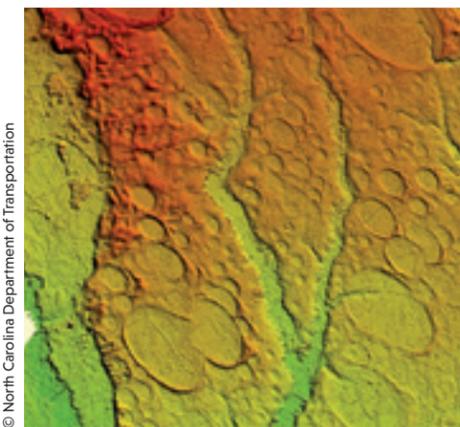
ISABELLE MORETTI,  
ANGÉLIQUE DAGOSTINO,  
JULIEN WERLY,  
CARLOS GHOST,  
DIANE DEFRENNE  
ET LOUIS GORINTIN  
ENGIE DRT,  
ENGIE Lab CRIGEN,  
ENGIE Brazil

d'incertitudes, mais certaines réactions chimiques d'oxydation nous éclairent. Les plus étudiées s'observent au niveau des rides médio-océaniques entre les roches mantelliques chaudes (de 200 à 600 °C) qui se transforment en serpentines au contact de l'eau de mer: le fer alors oxydé fixe l'oxygène de l'eau et relâche l'hydrogène selon l'équation  $Fe^{2+} + H_2O \rightarrow Fe^{3+} + \frac{1}{2} H_2 + OH$ . Le dégazage qui en résulte est souvent observé aux sources hydrothermales situées sur ces rides.

Cette serpentinisation de la croûte océanique peut également se faire au niveau des zones de subduction. Quand les températures sont basses, le pH doit être élevé. L'exploitation d'hydrogène sur les rides médio-océaniques n'est pas impossible, mais serait difficile, car elle nécessiterait des moyens marins adaptés aux grands fonds, toujours très coûteux, et dans des environnements très corrosifs.

## L'HYDROGÈNE À FLEUR DE TERRE

Cependant, on trouve de l'hydrogène natif dans des contextes géologiques moins complexes, à terre et en particulier dans des bassins intracratoniques, un craton étant une partie très ancienne d'une croûte continentale, d'au moins 500 millions d'années. Des échappements d' $H_2$  ont été observés en Russie, aux États-Unis (voir la figure 2), en France dans le Cotentin. La réaction à l'origine de ces



© North Carolina Department of Transportation

2. Les Carolina Bays (ici révélées par LIDAR), à l'est des États-Unis, sont des dépressions elliptiques dont certaines libèrent de l'hydrogène en quantité importante.

émanations serait la même, une oxydation fixant l'oxygène de l'eau et libérant l'hydrogène. Les roches anciennes, telles celles des vieux cratons, sont de bons candidats pour cette oxydation, car ces roches se sont mises en place à un moment où l'atmosphère terrestre contenait peu voire pas d'oxygène: elles n'ont donc pas été oxydées. Les premiers organismes réalisant la photosynthèse sont apparus dès 2,5 milliards d'années et ont libéré de l'oxygène, mais il fut immédiatement remobilisé justement pour des réactions d'oxydation, et ce n'est qu'ensuite que la proportion d'oxygène atmosphérique a augmenté jusqu'à la

moyenne de 21% que nous observons depuis environ un milliard d'années (avec des oscillations entre 10 et 35%). Les roches plus anciennes ont de grandes chances de ne pas avoir été oxydées et donc de pouvoir libérer beaucoup d'hydrogène au contact de l'eau.

L'autre source d'hydrogène connue est l'activité de certaines bactéries dites acétogènes qui oxydent la matière organique en libérant de l'hydrogène. À plus haute température, cette même matière organique libère aussi de l'hydrogène: par exemple, il était présent en grandes quantités dans l'ancien «gaz de ville» qui était issu du charbon et on en retrouve >

3  
QUESTIONS  
À



ALAIN PRINZHOFER  
directeur scientifique  
de la société GEO4U,  
au Brésil

### Où en sont les études, au Brésil, des émanations d'hydrogène ?

Le Brésil étant un pays immense à la géologie variée, nous avons testé divers contextes géologiques. Les six premiers mois de nos travaux ont mis en évidence les meilleures cibles. Nous pouvons confirmer que les zones les plus prometteuses se situent dans des formations sédimentaires très anciennes (protérozoïques), où la matière organique est quasi inexistante, et où les conditions d'oxydoréduction étaient à l'époque plus réductrices qu'à d'autres périodes géologiques.

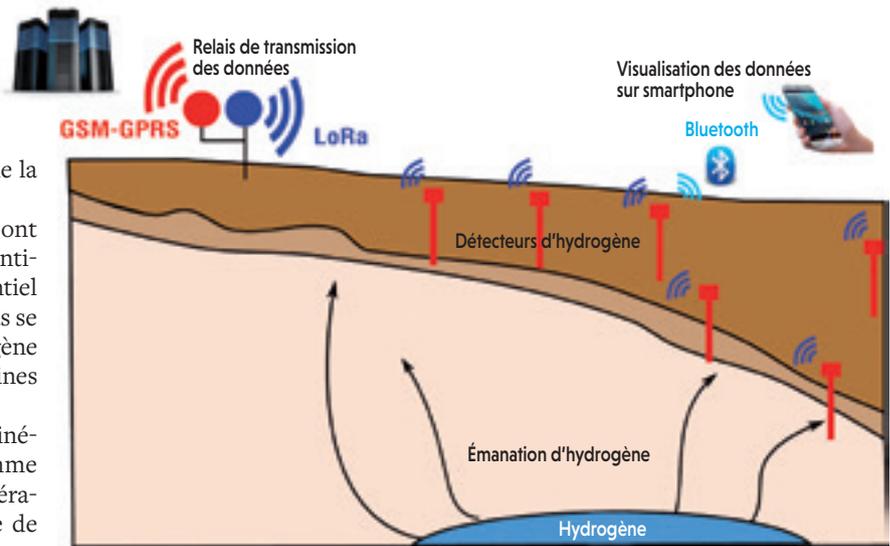
### Que vous a déjà appris le monitoring de ce « filon » ?

Les mesures d'hydrogène que nous avons effectuées auparavant dans des sols en divers endroits de la planète ont probablement été interprétées de façon trop simpliste. Avec les nouveaux capteurs d'ENGIE, nous découvrons la complexité des interactions physiques

et chimiques entre l'hydrogène et les formations géologiques lors de sa migration. En outre, nous percevons mieux que l'enjeu le plus stratégique sera non simplement de trouver de l'hydrogène, assez ubiquiste sur la planète, mais les lieux les plus adaptés à une exploitation.

### Peut-on d'ores et déjà prévoir une première exploitation ? Et quand ?

Le succès récent de quatre nouveaux puits d'exploration peu profonds d'hydrogène naturel au Mali nous semble augurer d'autres succès industriels futurs dans le monde. Mais il est trop tôt pour savoir si le Brésil représente la première opportunité, ou si d'autres régions du monde seront explorées préférentiellement grâce aux connaissances nouvellement acquises. La finalisation du projet de monitoring devrait nous apprendre bien des choses sur l'exploration future de cette nouvelle source d'énergie.



© ENGIE



© ENGIE

> aujourd'hui dans le gaz de synthèse issu de la gazéification de la biomasse.

Si les réactions chimiques globales sont assez bien comprises, il reste à mieux quantifier ces phénomènes, afin d'estimer le potentiel de cette nouvelle source d'énergie, et ne pas se contenter d'observer qu'il existe de l'hydrogène natif, formant ici et là d'anecdotes fontaines ardentes en s'enflammant.

La première question est celle de la cinétique de ces réactions d'oxydation. Comme souvent en chimie, on subodore que température et pression influent. Mais la chimie de l'eau et celle de la roche doivent également intervenir, en particulier car certains éléments peuvent jouer un rôle de catalyseur. Avec une cinétique rapide, la production d'hydrogène aurait lieu sur des échelles temporelles compatibles avec la nôtre. L'exploration n'aurait donc pas besoin de se concentrer sur des zones d'accumulation, la récupération du gaz pouvant se faire directement là où l'hydrogène se forme, au contact entre un aquifère et une roche oxydable comme cela semble être le cas au Mali par exemple.

Une autre question est celle du devenir de l'hydrogène formé. Ce composé est soluble dans l'eau à haute pression, et ne reste donc pas en phase gazeuse. En fait, dans le sous-sol où la température augmente d'environ 30 °C par kilomètre, on ne peut espérer trouver de l'hydrogène sous forme gazeuse qu'à très faible profondeur, quelques centaines de mètres tout au plus; en deçà, il se dissout entièrement dans l'eau. L'hydrogène est également très réactif et peut se combiner facilement avec d'autres éléments. Dans certaines roches, il peut être piégé quand il est adsorbé sur la matière organique et les argiles. Les échappements d'hydrogène observés très souvent en surface permettent néanmoins d'être optimistes, les quantités formées sont suffisantes pour qu'il en reste encore libre d'être émis dans l'atmosphère.

## LES DESSOUS D'UNE DYNAMIQUE

Pour répondre à ces questions ENGIE travaille à différents niveaux. D'abord, nous étudions avec l'Institut français du pétrole et des énergies nouvelles (IFPEN) les réactions entre l'hydrogène et les aquifères en fonction de leur profondeur et salinité. Ensuite, avec le CNRS à Grenoble, nous tentons de modéliser le déplacement de l'hydrogène dans les sols et son interaction avec les différents éléments. Enfin, avec la société GEO4U et la filiale brésilienne d'ENGIE, nous suivons les échappements d'hydrogène dans un bassin du Brésil (voir la figure 1). Dans ce pays, le sous-sol est constitué en partie de vieux cratons, donc de roches qui pourraient libérer de l'hydrogène au contact avec l'eau. Nous devons mieux cerner la dynamique de cet

hydrogène. Est-il émis tout au long de l'année? Est-il en quantité suffisante pour être exploité et utilisé? Pour ce faire, les chercheurs d'ENGIE Lab CRIGEN travaillent à la mise au point de capteurs permanents d'hydrogène.

Aujourd'hui, les capteurs disponibles n'enregistrent qu'un signal ponctuel dans le temps. Difficile dans ces conditions de connaître la variabilité temporelle du dégagement gazeux. D'un jour à l'autre, les chercheurs ont tous noté des variations d'un échappement, voire sa disparition, ou l'apparition d'un autre ailleurs. On doit donc mieux suivre dans la durée ces échappements d'hydrogène afin d'obtenir un signal continu que l'on pourra ensuite relier à d'autres paramètres comme la température et l'hydrométrie.

L'aspect technologique n'est pas trivial. Les dispositifs doivent aspirer un peu de gaz dans le sol sans trop le perturber, l'analyser, puis envoyer le signal à une antenne le relayant vers les opérateurs (voir la figure 3). Les capteurs doivent être autonomes pendant des mois et la transmission par voie téléphonique n'est pas toujours possible, les émanations ayant parfois lieu dans des zones très reculées.

Nous sommes en train de sélectionner, sur la foi de mesures ponctuelles, une zone propice à la mise en place d'une surveillance continue. Nous espérons ainsi comprendre dans le détail les mécanismes de la production d'hydrogène. Par la suite, tous les rêves seront permis, car les accumulations sont probablement proches de la surface et se rechargent en outre continuellement. C'est l'espoir d'une nouvelle source d'énergie propre, décarbonée et peu chère. ■

3. Un réseau de surveillance permanente des échappements d'hydrogène (en haut) est mis en place au Brésil (en bas).