



Un article issu du N° 1273 de Science & Vie

Retrouvez le dernier numéro S&V

[LIRE LE MAGAZINE](#)

[ABONNEZ-VOUS](#)

TOUS LES ARTICLES DE CE

NUMÉRO

1. ACCUEIL

On a découvert des sources d'hydrogène ! Et si c'était la solution énergétique ?

PUBLIÉ LE 16 OCT 2023 À 09H00 MODIFIÉ LE 16 OCTOBRE 2023 PAR HUGO LEROUX



Une énergie propre, puissante, naturelle, renouvelable, qui reposerait en abondance sous nos pieds ? L'annonce paraît trop belle pour être vraie... Mais voilà, l'hydrogène naturel - ou “blanc” - existe bien : des sources ont été identifiées dans le monde entier. Fébriles, de nouveaux prospecteurs décortiquent alors les cartes géologiques, sondent les sols, ciblent les gisements potentiels... Certains ont même déjà commencé à

forer. La ruée vers l'or blanc est lancée, et elle pourrait bouleverser la transition énergétique.

La scène se déroule en 1987, lors d'une banale opération de forage pour chercher de l'eau près du village de Bourakébougou, à 60 km de la capitale Bamako, au Mali. Lorsqu'un ouvrier allume une cigarette à côté du puits, l'explosion est immédiate, le laissant blessé. Stupeur : les sous-sols de la région ne sont pourtant pas connus pour abriter du gaz naturel, ce combustible fossile constitué principalement de méthane. Des investigations sont menées, elles montrent que c'est un autre gaz inflammable, auquel on s'attendait encore moins, qui émane du forage : de l'hydrogène pur à 98 %. Le puits est scellé, et l'histoire aurait pu en rester là. Mais en 2011, la société Hydroma se lance dans son exploitation. Depuis, le village tire son électricité d'un moteur de 7 kW alimenté par cet hydrogène naturel providentiel...

Non seulement cet hydrogène enfoui sous terre est naturel, mais il serait en outre renouvelable ! Une révélation qui donne le tournis...

Cette histoire, publiée dans la revue *International Journal of Hydrogen Energy* en 2018, n'est pas seulement heureuse pour les habitants de Bourakébougou, qui jouissent désormais de l'éclairage nocturne et de congélateurs. Elle pourrait faire date car elle remet en cause une idée largement répandue : l'hydrogène n'existerait pas à l'état naturel – du moins pas en quantités suffisantes pour présenter un intérêt énergétique. Le très sérieux Commissariat à l'énergie atomique affiche ainsi encore ces quelques lignes sur son site : *“L'hydrogène est très abondant à la surface de la Terre mais n'existe pas à l'état pur. Il est toujours lié à d'autres éléments chimiques, dans des molécules comme l'eau, les hydrocarbures.”* Sauf que non, l'hydrogène naturel existe bien, preuve en est à Bourakébougou. Or l'enjeu est majeur : l'hydrogène est un maillon essentiel de la transition énergétique – il pourrait contribuer à décarboner les transports ou l'industrie -, mais le produire sans émettre de gaz à effet de serre reste laborieux. Les technologies les plus vertueuses se révèlent coûteuses et peu matures (*voir ci-contre*). Ainsi, l'hydrogène dit “bleu” – produit à partir d'une ressource fossile, le méthane, mais avec un captage de carbone associé -souffre de fuites de gaz inévitables lors de l'acheminement et de l'utilisation du gaz naturel. L'hydrogène “vert” – qui s'appuie sur l'électrolyse de l'eau – affiche un rendement très faible : pour être

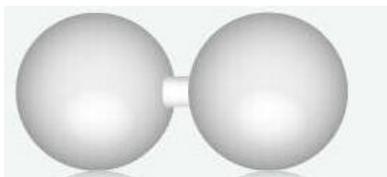
utilisé à grande échelle, il faudrait construire d'immenses infrastructures d'énergies renouvelables.

Généré en continu

C'est dans ce contexte qu'apparaît cette nouvelle variante : l'hydrogène "blanc". *"Pouvoir puiser cet hydrogène directement dans le sous-sol pourrait chambouler la transition énergétique"*, avance Isabelle Moretti, chercheuse à l'université de Pau. *"C'est une nouvelle forme d'énergie... et ce n'est pas tous les jours que l'on en découvre"*, s'enthousiasme Éric Gaucher, ancien chercheur à l'université de Berne, président de la société de conseil Lavoisier H2 Geoconsult. Mieux : cet hydrogène enfoui sous terre n'est pas seulement naturel... il serait renouvelable ! *"Le puits de Bourakébougou produit depuis plus de dix ans sans baisse de pression, ce qui montre que l'hydrogène est généré en continu et à un rythme soutenu dans le sous-sol. C'est tout à fait différent du gaz naturel qui s'est accumulé dans le passé mais ne se renouvelle plus à un rythme significatif"*, observe Alain Prinzhofer, professeur à l'Institut de physique du globe de Paris et directeur scientifique de la société de conseil GEO4U, qui dirige actuellement une thèse sur le sujet.

La révélation donne le tournis... Et pose question : comment la communauté scientifique a-t-elle pu passer à côté si longtemps ? Car les indices étaient là : *"Depuis plus de cent ans, de nombreuses publications documentent des émanations d'hydrogène naturel partout dans le monde"*, souligne Viacheslav Zgonnik, PDG de Natural Hydrogen Energy LLC.

H2 – Le nouvel espoir énergétique



L'énergie que l'on nomme communément "hydrogène" est en fait composée de molécules de dihydrogène pur sous forme de gaz, que l'on brûle ou consomme dans une pile à combustible, et qui ne dégage pas de CO2.

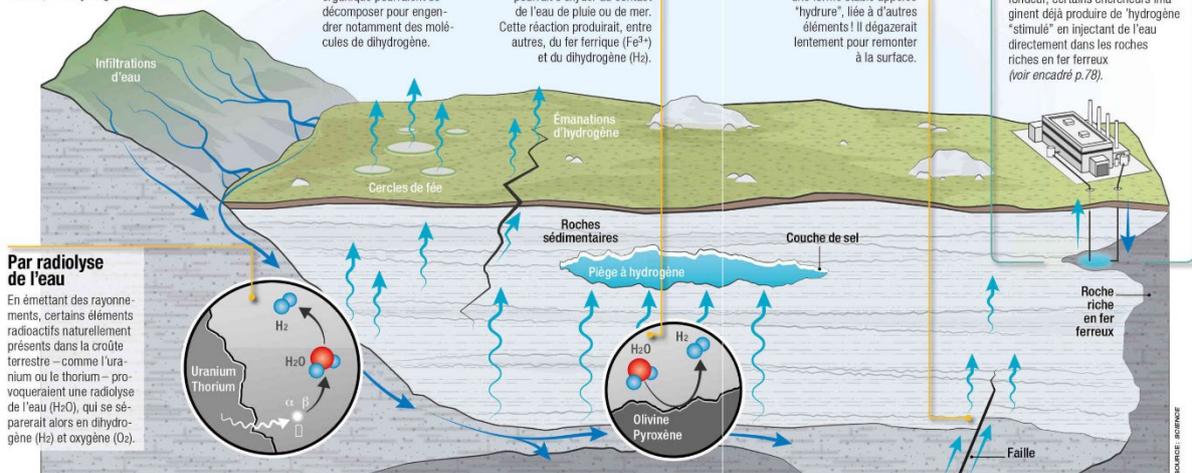
Une énergie puissante...

À masse égale, l'hydrogène produit 3 fois plus d'énergie que l'essence raffinée mais occupe 7 fois plus de place.



Des usines naturelles dans nos sous-sols

Selon les experts, divers processus géologiques pourraient être à l'origine d'une production, continue ou non, de dihydrogène sous la surface.



... mais peut-être demain récoltée, avec

l'hydrogène blanc

C'est là que l'hydrogène blanc intervient! Cette nouvelle forme d'énergie qu'il suffit de récolter promet des émissions de CO₂ et un coût de production très réduits.

Blanc
0,5 kgCO₂
1 €

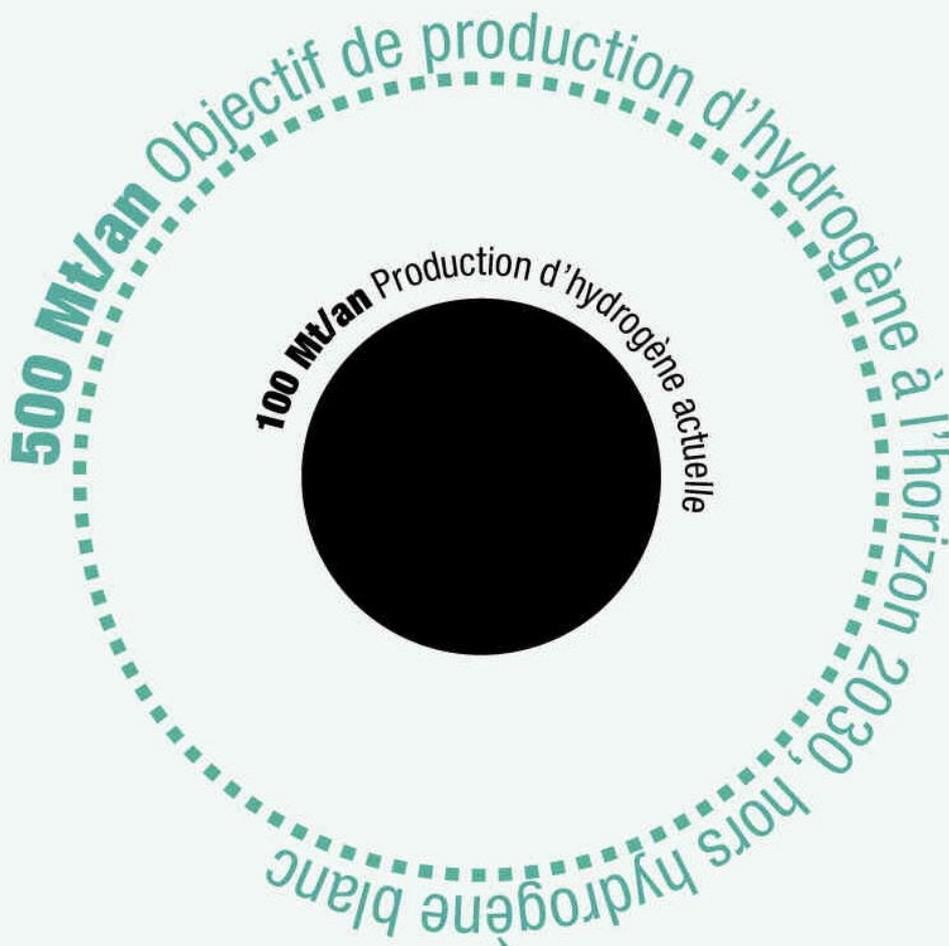
Les stocks souterrains d'hydrogène blanc seraient massifs...

10 000 000 : C'est, en millions de tonnes, la quantité d'hydrogène blanc qui serait stockée dans les profondeurs de la Terre, selon les estimations les plus optimistes. Il se renouvelerait même en partie.

23 à 70 millions de tonnes d'hydrogène blanc seraient générées naturellement chaque année dans les profondeurs de la planète.

... et boosterait la filière hydrogène dans le monde

Avec cette nouvelle énergie, les objectifs de production d'hydrogène pourraient être revus à la hausse.



SOURCES: L'ACTUALITÉ CHIMIQUE, AVRIL 2023 - OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Si seulement 5 % de cet hydrogène nous était accessible, cela suffirait à assurer la demande pour des milliers d'années – Geoffrey Ellis, chercheur à l'Institut d'études géologiques des États-Unis.

Dans une synthèse publiée en 2021, cet ancien doctorant de l'Institut français du pétrole (Ifpen) en a recensé près de 500 (voir carte) . *“Cela suggère que l'hydrogène naturel est bien plus répandu qu'on ne le pensait Dès ”* . 1888, le père du tableau périodique des éléments, Dmitri Mendeleïev, avait noté la présence d'hydrogène dans des mines de charbon russes. Et en 1910, le gaz a été mesuré à haute concentration dans deux forages pétroliers au sud de l'Australie.

Curiosités géologiques

Las, ces découvertes sont demeurées au rang de curiosités géologiques.

“Au XXe siècle, en matière d'énergie, on ne cherchait que le pétrole, puis le gaz naturel” , rappelle Laurent Truche, chercheur à l'université Grenoble Alpes. La découverte, dans les années 1970, de fumerolles contenant de l'hydrogène au niveau des dorsales océaniques n'a pas eu plus d'effet. *“On les a étudiées comme origine possible du vivant, car tout un écosystème y prospérait, mais personne n'imaginait exploiter une source d'énergie à 5 km au fond de l'océan.*

” Rebelote dans les années 1980, lorsque des géologues se sont penchés sur les ophiolites. Ces morceaux de manteau océanique charriés sur les continents à la faveur du chevauchement des plaques tectoniques génèrent, au contact des eaux de surface, d'importants dégagements d'hydrogène. “Ce phénomène a commencé à intéresser des géologues comme moi sous l'angle énergétique au début des années 2010 seulement, lorsque le sujet de la transition énergétique est devenu incontournable”, raconte Éric Gaucher, qui a investigué ce sujet pour Total.

De l'hydrogène naturel partout dans le monde

Des émanations de surface ont été détectées sur les différents continents : des projets sont déjà lancés pour en identifier les sources profondes et les exploiter.

Les États-Unis ont commencé à forer

Les sociétés Natural Hydrogen Energy LLC et HyTerra ont achevé, en 2019, le premier forage au monde dédié à la recherche d'hydrogène naturel dans l'État du Nebraska. Elles prospectent aussi dans le Kansas, où de l'hydrogène a été repéré dans des forages anciens.

Le Mali a montré la voie

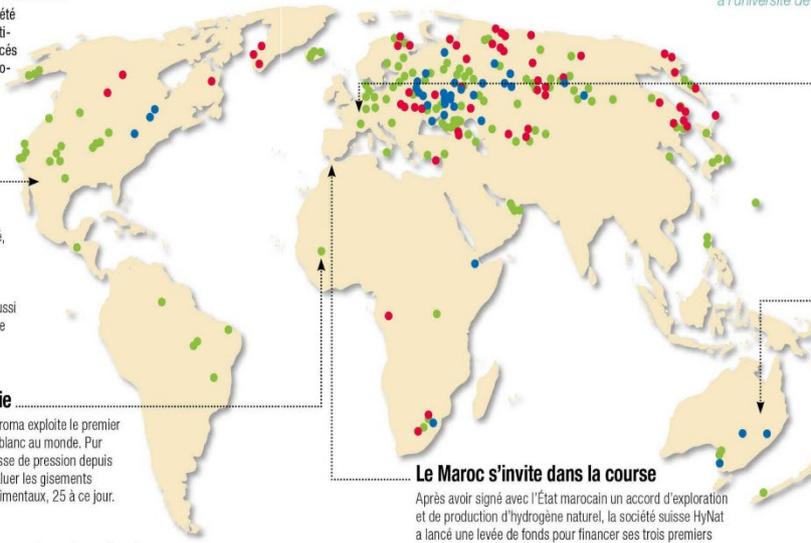
À Bourakébougou, la société Hydroma exploite le premier puits de production d'hydrogène blanc au monde. Pur à 98 %, le gaz est puisé sans baisse de pression depuis 2012. L'entreprise continue d'évaluer les gisements disponibles via des forages expérimentaux, 25 à ce jour.

Hydrogène naturel sous forme...

● de gaz libre ● d'inclusions de gaz ● de gaz dissous dans l'eau

"C'est une nouvelle forme d'énergie... et ce n'est pas tous les jours que l'on en découvre!"

Éric Gaucher, ancien chercheur à l'université de Berne et consultant



La France démarre tout juste

Deux demandes de permis de recherche d'hydrogène ont été déposées dans l'Hexagone : la première par l'entreprise TBH2, dans les Pyrénées orientales, la seconde en Lorraine, par la Française de l'énergie.

L'Australie prospecte

De nombreuses entreprises comme Gold Hydrogen et H2EX explorent la péninsule de Yorke et l'île Kangourou, où des émanations d'hydrogène pur à 70-80 % ont été détectées il y a des décennies. Les sous-sols de la région reposent sur des roches susceptibles de générer le précieux gaz.

Le Maroc s'invite dans la course

Après avoir signé avec l'État marocain un accord d'exploration et de production d'hydrogène naturel, la société suisse HyNat a lancé une levée de fonds pour financer ses trois premiers forages dans les provinces du sud du royaume.

"Depuis plus de cent ans, de nombreuses publications documentent des émanations d'hydrogène naturel partout dans le monde" –

Viacheslav Zgonnik, PDG de Natural Hydrogen Energy LLC

Très récemment encore, avant la publication décrivant le site de Bourakébougou, le sujet n'était toujours pas pris au sérieux – en dehors d'un petit cercle de convaincus. *"Dans la communauté des géologues, beaucoup doutaient encore qu'il existe des flux d'hydrogène assez concentrés pour être exploités"*, confie Isabelle Moretti, qui a défendu le sujet chez Engie, dont elle était directrice scientifique jusqu'en 2019. Les sceptiques avançaient ainsi que l'hydrogène présent dans la croûte terrestre doit être en grande partie dévoré par des bactéries, se dégrader avant d'atteindre la surface, se diffuser sans s'accumuler... *"Mais ces arguments ont volé en éclats avec la description du puits de Bourakébougou, qui montre qu'il existe des sources, mais aussi des réservoirs qui permettent une accumulation de l'hydrogène dans le sous-sol"*, assure l'experte.

La description du puits de Bourakébougou montre qu'il existe des sources, mais aussi des réservoirs qui permettent une accumulation de l'hydrogène dans le sous-sol – Isabelle Moretti, chercheuse à l'université de Pau.

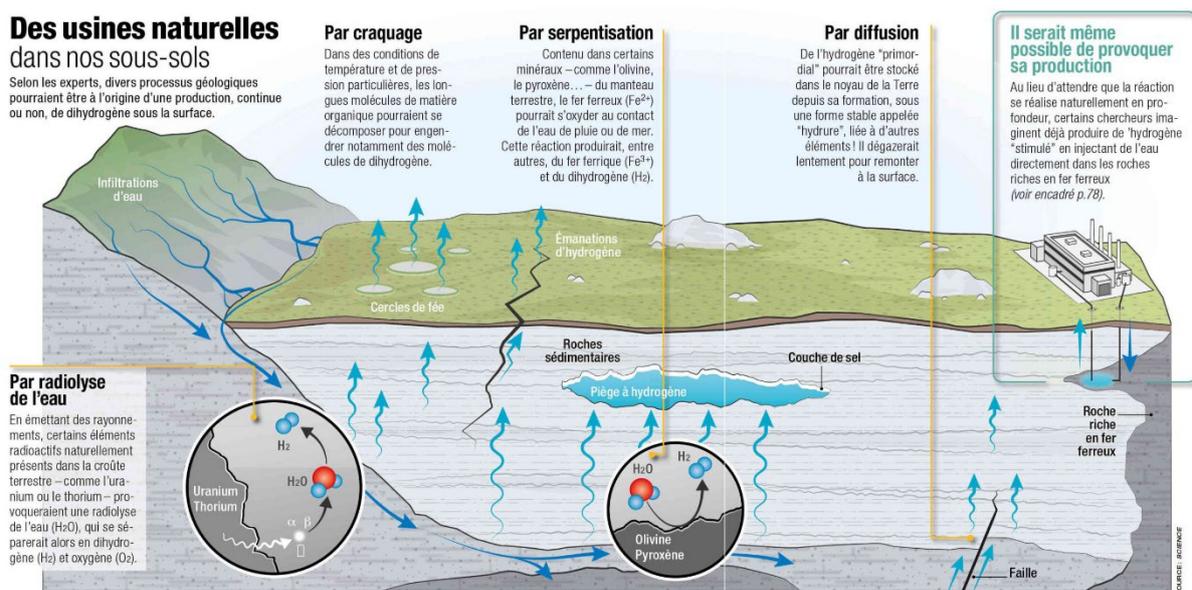
Résultat, la recherche embrasse enfin la possibilité d'une exploitation de l'hydrogène blanc, et s'attaque aux interrogations en suspens. Pour

commencer, l'une des plus importantes : comment se forme-t-il ? (*Voir infographie, page suivante*) Deux pistes sont généralement évoquées. La première est l'oxydation en profondeur de certains minéraux riches en fer ferreux (Fe^{2+}) au contact de l'eau (de mer ou de pluie). L'autre mécanisme, appelé "radiolyse", est la dissociation de la molécule d'eau sous l'effet de rayonnements produits par des éléments radioactifs présents naturellement dans la croûte continentale.

"Ces phénomènes sont bien étudiés, mais cela ne veut pas dire qu'ils sont responsables de toute la production de l'hydrogène, tempère Alain Prinzhofer. De nombreux autres mécanismes sont à l'étude. "

Hydrogène : des réserves difficiles à évaluer

Parmi ceux-ci figurent la maturation de la matière organique en profondeur, ou encore – hypothèse plus controversée – la présence de quantités titanesques d'hydrogène "primordial", accumulées dans le noyau de la Terre à l'époque de sa formation. Tout aussi débattus sont les mécanismes par lesquels l'hydrogène pourrait s'accumuler dans le sous-sol, et les échelles de temps correspondantes. *"La science de l'hydrogène est encore jeune, il nous reste beaucoup à apprendre sur sa génération, sa migration, sa consommation ou son accumulation potentielle"*, résume Laurent Truche.



Ces inconnues empêchent encore les géologues d'évaluer précisément les quantités d'hydrogène naturel disponibles au niveau mondial... Une question pourtant cruciale ! Certains chercheurs y vont de leurs estimations : en additionnant les émanations documentées à ce jour, Viacheslav Zgonnik considère qu'au moins 23 millions de tonnes d'hydrogène sont générées dans les sous-sols de la Terre chaque année. Par rapport aux besoins mondiaux, estimés à 500 millions de tonnes d'hydrogène à l'horizon 2050, cela semble peu... d'autant plus que ces flux ne pourront sans doute pas être intégralement récoltés : *“Les océans contiennent d'immenses quantités d'or mais celui-ci est tellement dilué qu'il est en pratique impossible de le récolter. Ce pourrait être la même chose avec l'hydrogène”*, résume Alain Prinzhofer. Mais tout n'est pas figé : *“Mon estimation ne reflète que les sources découvertes à ce jour.*

Les prévisions d'il y a dix ans étaient dix fois moindres ; dans dix ans, la situation pourrait être bien différente”, note Viacheslav Zgonnik.

Surtout, *“la ressource ne se réduit pas seulement à ce qui est généré, mais aussi à ce qui s'est potentiellement accumulé dans le sous-sol”*, rappelle Geoffrey Ellis, de l'Institut d'études géologiques des États-Unis. Pour estimer les réserves, ce géologue a adapté une approche statistique issue de l'industrie pétrolière. Son modèle intègre différentes hypothèses pour la génération d'hydrogène, son taux de diffusion dans la croûte, son taux de consommation par des micro-organismes, la présence de réservoirs, etc. Il évalue ainsi une masse mondiale potentielle d'environ 10 000 milliards de tonnes... *“Si seulement 5 % de cet hydrogène nous était accessible, cela suffirait à assurer la demande pour des milliers d'années”*, avance l'expert. L'hydrogène pourrait alors endosser une place bien plus importante que prévu dans le parc énergétique futur... Un optimisme que tous les chercheurs ne partagent pas : *“Tout cela est très théorique. Comme dans tout domaine qui commence à faire le buzz, il faut faire attention aux estimations hâtives et ne pas créer de faux espoirs”*, tempère Laurent Truche.

Un forage indispensable

Pour faire avancer le débat, une seule solution : acquérir plus de données de terrain. *“Les académiques peuvent spéculer sur les mécanismes de formation de*

l'hydrogène naturel, on n'en comprendra pas le potentiel réel sans aller explorer et forer , prône Alain Prinzhofer. La formation du pétrole dans les roches sédimentaires n'a été bien comprise que 60 ans après les débuts de son exploitation !" "Étant donné les nombreuses occurrences d'hydrogène naturel recensées autour du monde, il serait statistiquement improbable que le champ malien soit unique" , surenchérit Viacheslav Zgonnik. Aux quatre coins du globe, ce prospecteur d'un nouveau genre et d'autres enthousiastes ont déjà créé leurs entreprises d'exploration dans l'espoir de dénicher le prochain Bourakébougou. La ruée vers l'or blanc a commencé.

Crédits : MIKO KONTENTE / BRUNO BOURGEOIS / SOURCE : SCIENCE