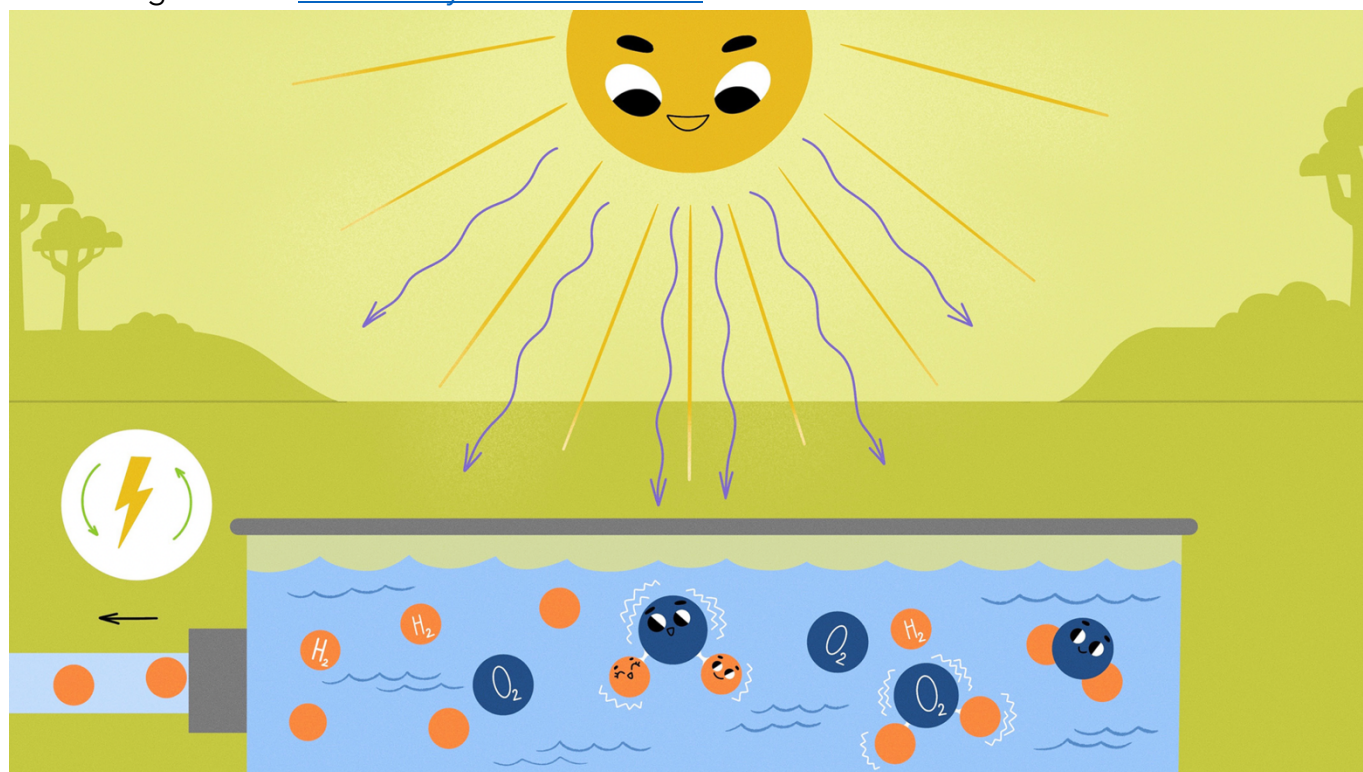




EXPLOITER LA PUISSANCE DU SOLEIL POUR TRANSFORMER L'EAU EN CARBURANT

Takashi Hisatomi ^{1,2,3} et **Kazunari Domen** ^{1,2,4,5*}

¹Institut de régénération aquatique, Université Shinshu, Nagano, Japon

²Initiative de recherche sur les supra-matériaux, Université de Shinshu, Nagano, Japon

³Recherche pour la science et la technologie embryonnaires, Agence japonaise pour la science et la technologie, Nagano, Japon

⁴Bureau des professeurs d'université, Université de Tokyo, Tokyo, Japon

⁵Département de chimie, Université Kyung Hee, Séoul, République de Corée

Aujourd'hui, presque tout le monde sait que la combustion de ressources énergétiques non renouvelables est mauvaise pour l'environnement et que de nouvelles approches sont nécessaires pour fournir de l'énergie respectueuse de l'environnement à la population mondiale croissante. Une solution prometteuse consiste à produire de l'hydrogène « vert », en utilisant des matériaux intéressants pour décomposer les molécules d'eau (H_2O) en dihydrogène (H_2) et en dioxygène (O_2), en utilisant l'énergie de la lumière du soleil. Ce processus s'appelle le craquage photocatalytique de l'eau, et c'est un domaine de recherche passionnant. Dans cet article, nous décrivons le système que nous avons mis au point, qui consiste à recouvrir de grandes feuilles de verre des matériaux nécessaires à ce processus, à les assembler en panneaux, à ajouter de l'eau, à les éclairer et à collecter le dihydrogène produit. Nos premières expériences en extérieur sont très prometteuses, mais il reste encore un travail important à faire.

INSIPIDE. Qui n'a pas de goût.

CRAQUAGE PHOTOCATALYTIQUE DE L'EAU. Réaction dans laquelle les molécules d'eau sont décomposées en molécules de dihydrogène et d'oxygène, à l'aide de l'énergie lumineuse et de **photocatalyseurs**.

PHOTOCATALYSEUR. Matériau qui absorbe la lumière et transmet l'énergie ainsi collectée à une substance réactive. Ce processus provoque une réaction chimique appelée catalyse).

VERT. Référence à laquelle s'associe le mouvement écologiste aujourd'hui et signifiant « Respectueux de l'environnement »

BIOCARBURANT. Carburant de substitution aux carburants fossiles. Ce carburant est d'origine animale ou agricole (bioéthanol).

Nous t'expliquons certains des défis qui doivent être surmontés avant que cette stratégie puisse être utilisée pour produire de l'énergie à grande échelle.

L'EAU SERAIT-ELLE LE SECRET DE L'ÉNERGIE DU FUTUR ?

Tout le monde connaît l'importance de l'eau pour s'hydrater, cuisiner et garder les plantes en vie, n'est-ce pas ? Mais nous crois-tu si nous te disons qu'à l'avenir, ce liquide apparemment simple, **insipide** et incolore pourrait être la clé pour alimenter en énergie les voitures, les maisons, les industries et peut-être même des villes entières ? Ce n'est pas une idée folle car elle est née d'une véritable percée scientifique appelée **craquage photocatalytique de l'eau**, dans laquelle les scientifiques utilisent la lumière du soleil pour transformer l'eau en un carburant propre et « vert ».

Les combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel alimentent notre monde depuis des siècles, fournissant l'énergie nécessaire pour tout, de l'éclairage et du chauffage de nos maisons au fonctionnement de nos appareils électriques et électroniques. Cependant, cette utilisation de combustibles fossiles libère dans l'atmosphère une quantité importante de dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres gaz polluants. Ces gaz emprisonnent la chaleur, entraînant le réchauffement de la planète et le **dérèglement climatique**, avec une augmentation des événements météorologiques extrêmes, l'élévation du niveau de la mer et des dommages à notre environnement... Le dérèglement climatique et la pollution de l'air peuvent même nous rendre malades (**voir** cet article) ! De plus, les combustibles fossiles ne sont pas des ressources illimitées. Au fur et à mesure que nous les extrayons de la Terre et que nous les utilisons, ils deviennent de plus en plus rares et de plus en plus chers.

Du fait de cette situation, il est urgent d'utiliser de nouvelles sources d'énergie durables et plus **vertes** qui puissent fournir un approvisionnement régulier en énergie sans nuire à l'environnement. L'énergie solaire, l'énergie éolienne et les **biocarburants** font tous partie de la solution, mais l'une des alternatives les plus prometteuses est le dihydrogène (H₂), en particulier s'il est produit de manière respectueuse de l'environnement.

LES PROMESSES DE L'HYDROGÈNE

L'hydrogène est l'élément le plus abondant dans l'univers, et il a un grand potentiel en tant que carburant propre. Pour produire de l'énergie à partir de l'hydrogène, il faut l'introduire dans un dispositif appelé pile à combustible (**Figure 1**). Tu peux considérer une pile à combustible comme une sorte de batterie qui ne s'épuise jamais tant qu'elle dispose d'une réserve de combustible, d'hydrogène dans

notre exemple. À l'intérieur de la pile, le dihydrogène réagit avec le dioxygène de l'air et cette réaction produit de l'électricité (et de l'eau). Cette réaction propre et respectueuse de l'environnement offre une excellente solution pour réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre.

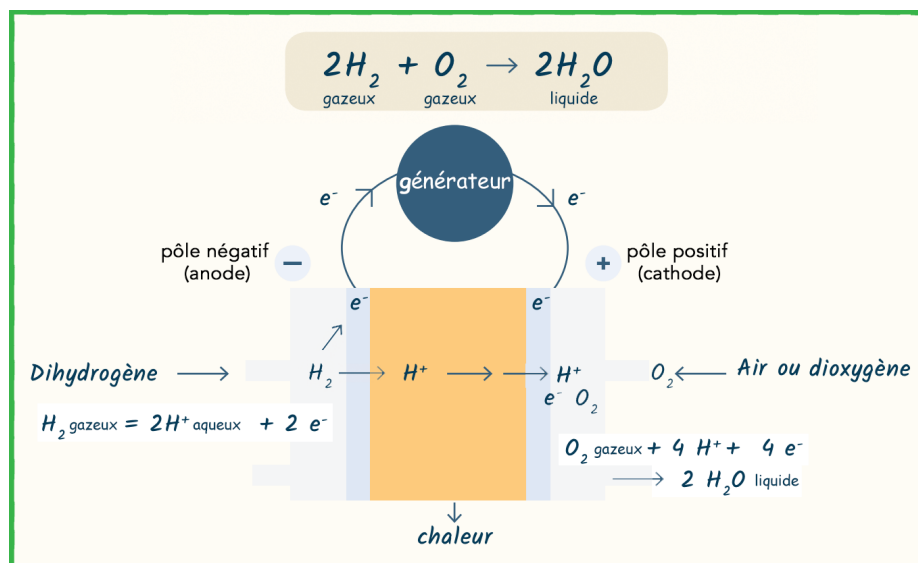


Figure 1*. Pile à hydrogène. Le dioxygène (O_2) et le dihydrogène (H_2) réagissent spontanément sans apport d'énergie ; cette réaction produit de l'eau (H_2O). Le dihydrogène (à gauche) est un réducteur, il cède des électrons (e^-). Le déplacement des électrons génère un courant électrique (générateur). Le dioxygène (à droite), lui, est un oxydant, c'est-à-dire qu'il capte des électrons. La réaction entre le dioxygène et le dihydrogène est appelée combustion du dihydrogène. Le dihydrogène est donc le combustible dans cette réaction. D'après [Universcience](#).

* Figure ajoutée à la version française de l'article.

COMBUSTIBLE FOSSILE.
Ressource énergétique naturelle non renouvelable (pétrole, gaz, charbon)

HYDROGÈNE VERT.
Dihydrogène fabriqué sans émissions de CO_2 , à partir de sources d'énergie renouvelables.

SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE.
Source d'énergie qui est toujours reconstituée par la nature et qui ne s'épuise jamais, contrairement aux combustibles fossiles. Il s'agit notamment de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne, de l'énergie des vagues, des marées, des courants d'eau, de la géothermie et des biocarburants.

Mais tout d'abord, où obtenons-nous le dihydrogène ? La majeure partie de la production actuelle de dihydrogène repose sur le gaz naturel, un combustible fossile. En plusieurs étapes, le gaz naturel est chauffé et la vapeur qui s'en échappe contient du dihydrogène et du CO_2 , de sorte que ce processus contribue encore à la consommation de **combustibles fossiles** et aux émissions de gaz à effet de serre. Pour produire de **l'hydrogène vert**, nous devons le produire en utilisant des **sources d'énergie renouvelables**, et non des combustibles fossiles. C'est là que l'eau et la lumière du soleil entrent en jeu ! En utilisant la lumière du soleil pour décomposer les molécules d'eau en dihydrogène et en dioxygène, nous pouvons produire du dihydrogène d'une manière à la fois durable et respectueuse de l'environnement. Cette méthode est appelée craquage photocatalytique de l'eau : « photo » signifie « lumière » et « catalytique » décrit une substance qui accélère une réaction chimique. Le craquage photocatalytique de l'eau pourrait un jour transformer notre système énergétique en fournissant un approvisionnement pratiquement illimité en carburant propre.

L'hydrogène vert peut être utilisé de nombreuses façons comme carburant pour alimenter les voitures et les maisons ou en tant que

* Note de la traductrice : le stockage du dihydrogène reste un défi technologique (pour plus d'informations [voir](#))

SMOG. Brouillard épais contenant des particules de suie dans des gouttes d'eau observé dans certaines régions humides et industrielles.

MATÉRIAU SEMI-CONDUCTEUR. Matériau conducteur d'électricité dans certaines conditions (contrairement aux matériaux conducteurs et aux isolants). En photocatalyse, ils absorbent la lumière du soleil ce qui favorise la décomposition de l'eau en dihydrogène et en dioxygène.

partie importante de processus industriels, par exemple. Il peut également aider à stocker l'énergie solaire sous forme de dihydrogène*. L'énergie peut être utilisée plus tard lorsque le soleil ne brille pas. Imagine un avenir dans lequel les voitures fonctionneraient à l'hydrogène, ne produisant que de l'eau comme échappement, où des villes entières seraient alimentées par de l'hydrogène produit à partir de la lumière du soleil et de l'eau, sans libérer de **smog** ou de gaz à effet de serre. C'est cet avenir que vise le craquage photocatalytique de l'eau.

MAIS COMMENT CELA FONCTIONNE-T-IL ?

Le craquage photocatalytique de l'eau utilise la lumière du soleil pour décomposer l'eau (H_2O) en ses composants de base : le dihydrogène (H_2) et le dioxygène (O_2). La clé de ce processus est l'utilisation de matériaux connus sous le nom de photocatalyseurs. Ces matériaux peuvent absorber la lumière du soleil et utiliser cette énergie pour rompre les liaisons chimiques dans les molécules d'eau. Les photocatalyseurs sont généralement fabriqués à partir de **matériaux semi-conducteurs** comme les cellules solaires qui peuvent exploiter efficacement l'énergie solaire, mais ils doivent être suffisamment stables pour fonctionner correctement dans l'eau.

Il existe plusieurs types de systèmes photocatalytiques. Une approche courante consiste à utiliser des photocatalyseurs sous forme de poudre, mélangés à de l'eau dans un grand réservoir transparent (**Figure 2A**). Lorsque la lumière du soleil frappe l'eau, les particules du photocatalyseur absorbent la lumière et génèrent l'énergie nécessaire pour diviser les molécules d'eau. Une autre approche consiste à utiliser des couches minces de photocatalyseurs déposées sur diverses surfaces (**Figure 2B**). Ces films sont généralement immergés dans des bacs peu profonds remplis d'eau et placés à la lumière directe du soleil pour produire de l'hydrogène. Dans l'un ou l'autre système, le dihydrogène produit remonte à la surface et peut être collecté à l'aide d'une série de tubes ou de chambres de collecte de gaz, et il est stocké dans des réservoirs pour une utilisation ultérieure.

Chaque système a ses propres avantages et ses propres défis. Par exemple, les photocatalyseurs en poudre peuvent être facilement mélangés à de grands volumes d'eau, ce qui permet de répartir uniformément les particules du photocatalyseur à une concentration suffisamment élevée pour absorber la lumière du soleil et libérer rapidement les gaz produits par séparation de l'eau. Cependant, la collecte et la réutilisation des catalyseurs en poudre peuvent être difficiles. Les films minces, en revanche, sont plus faciles à manipuler et à réutiliser, mais ils doivent être conçus très soigneusement pour s'assurer qu'ils reçoivent et absorbent suffisamment de lumière.

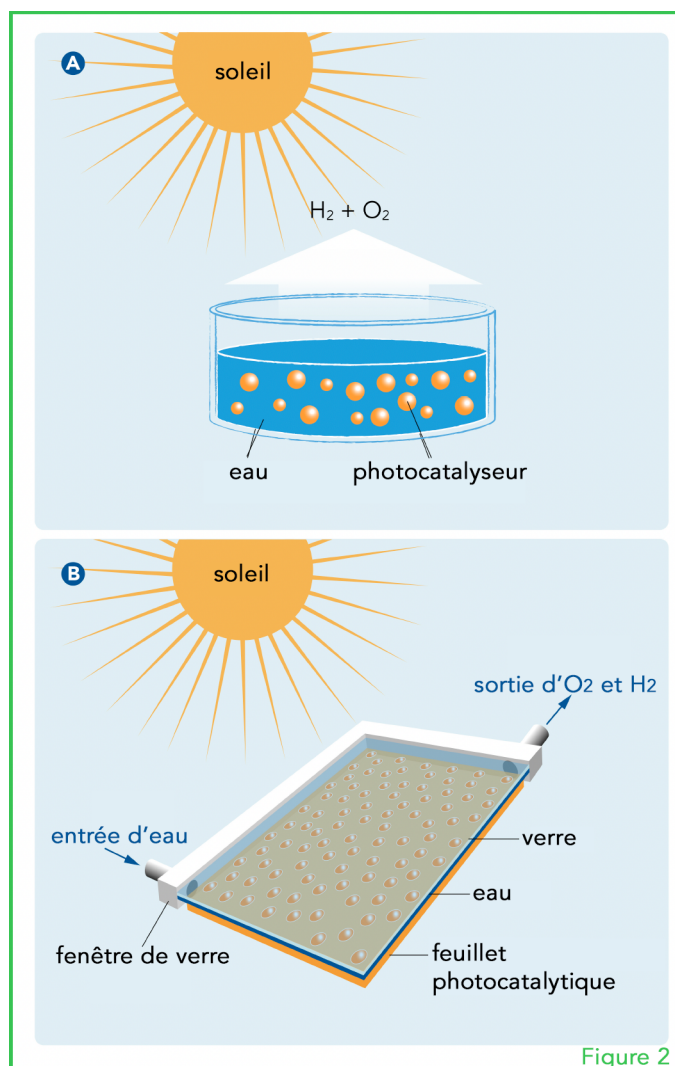


Figure 2

Figure 2. (A) Dans ce système, un photocatalyseur en poudre est mélangé à de l'eau dans un réservoir transparent. Lorsque la lumière du soleil pénètre dans le réservoir, elle donne au photocatalyseur l'énergie nécessaire pour séparer l'eau en dihydrogène et en dioxygène. (B) Dans notre système, de grandes feuilles de verre assemblées en panneaux sont enduites d'une fine couche de photocatalyseur. Les panneaux ont une entrée pour l'eau et une sortie pour le dihydrogène et le dioxygène.

CONSTRUCTION D'UN SYSTÈME PHOTOCATALYTIQUE

Nous avons décidé de créer un système basé sur les films minces, plus faciles à manipuler et à réutiliser. Nous espérons que ce système pourra fonctionner à grande échelle, et dans le monde réel, pas seulement en laboratoire (Figure 3). C'est indispensable si nous voulons des systèmes photocatalytiques produisant assez de dihydrogène pour répondre à une partie de la demande mondiale en énergie et contribuer à réduire notre dépendance aux combustibles fossiles.

Nous avons déposé des photocatalyseurs sur de grandes feuilles de verre. Ces feuilles enduites ont été assemblées en panneaux qui ressemblent un peu aux panneaux solaires que tu as probablement vus dans les champs ou sur des maisons.

Nous avons installé les panneaux de façon à ce qu'ils puissent recevoir beaucoup de soleil, et les avons alimentés en eau (Figure 2) [1]. Lorsque la lumière du soleil frappe ces panneaux, les photocatalyseurs absorbent la lumière et génèrent l'énergie nécessaire pour diviser les molécules d'eau en dihydrogène et en dioxygène (tous deux des gaz à température ambiante). Le dihydrogène gazeux est collecté dans des tubes et stocké dans des réservoirs ; le dioxygène est libéré dans l'atmosphère.



Figure 3. Photo aérienne d'un système photocatalytique de 100 mètres carrés pour la production de dihydrogène.

Il est important de s'assurer que les systèmes photocatalytiques de craquage de l'eau utilisés dans la vie réelle peuvent résister aux intempéries. D'où l'importance des expériences en plein air où les panneaux sont exposés à des conditions météorologiques variables, de la lumière du soleil intense à la pluie et au vent, et de l'été caniculaire à l'hiver glacial. Nos premières expériences ont été très prometteuses, car notre système a produit efficacement du dihydrogène dans des conditions réelles. C'est une étape clé vers une production qui puisse satisfaire la demande mondiale.

IL RESTE ENCORE BEAUCOUP À FAIRE...

Même si nos premiers résultats sont prometteurs, plusieurs défis doivent encore être relevés avant que le craquage photocatalytique de l'eau puisse être utilisé à grande échelle [2]. L'un de ces défis consiste à trouver les bons matériaux pour absorber efficacement la lumière du soleil et catalyser la réaction. Actuellement, même les meilleurs photocatalyseurs ne peuvent convertir en dihydrogène qu'environ 1 à 2 % de la lumière solaire qu'ils reçoivent.

Pour rendre cette technologie abordable, nous devons augmenter cette efficacité à au moins 10 %. Si nous atteignons cette efficacité, la surface au sol nécessaire pour répondre à la demande énergétique serait de 800 000 km². C'est beaucoup plus grand que la plus grande centrale solaire du monde, située à Sweihan aux Émirats Arabes Unis (7,8 km²), et que la superficie du Japon (378 000 km²) ou du Royaume-Uni (244 000 km²). Nous devons donc mettre au point de nouvelles technologies pour augmenter l'efficacité des panneaux, réduire la surface au sol nécessaire pour l'installation de ces grands réacteurs à panneaux photocatalytiques. Dans ce but, les scientifiques expérimentent constamment différents matériaux et testent de nouvelles méthodes, de fabrication de systèmes de craquage de l'eau [3].

La sécurité est également une chose très importante à considérer. Le processus de craquage de l'eau produit un mélange de gaz (dihydrogène et dioxygène) qui doit être séparé pour récupérer du dihydrogène pur. Ce mélange est hautement inflammable et peut être explosif s'il n'est pas manipulé correctement. Les scientifiques doivent être extrêmement attentifs à respecter les lois et les réglementations, à maintenir l'ensemble du processus aussi sûr que possible et ainsi éviter les accidents dangereux. Le dihydrogène et le dioxygène ne sont pas explosifs en eux-mêmes, une solution serait donc de concevoir des systèmes capables de les séparer en toute sécurité dès qu'ils sont produits, de sorte qu'un mélange ne se forme jamais.

Enfin, les systèmes photocatalytiques de craquage de l'eau sont encore très coûteux à construire et à entretenir. À l'heure actuelle, il est beaucoup moins coûteux de produire du dihydrogène à partir de combustibles fossiles ou de méthane. Les scientifiques doivent donc trouver un moyen de réduire les coûts, afin que ces systèmes soient compétitifs par rapport aux autres sources d'énergie, sinon les gens ne choisiront probablement pas de les utiliser.

L'AVENIR DE L'HYDROGÈNE VERT

Malgré les défis qui subsistent, le craquage photocatalytique de l'eau semble prometteur. Si nous pouvons mettre à l'échelle cette technologie en toute sécurité, elle pourrait fournir un approvisionnement pratiquement illimité en carburant propre. Cela contribuerait à réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et à réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre, protégeant ainsi notre planète et tous ses habitants. Cette vision d'un avenir plus propre et plus vert est ce qui pousse les scientifiques et les ingénieurs à continuer d'essayer de développer de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques qui amélioreront la production d'hydrogène vert. Alors, la prochaine fois que tu prendras une

gorgée d'eau, rappelle-toi que ce simple liquide pourrait bien être la clé de l'énergie de notre avenir. N'est-ce pas une perspective sympathique ?

REMERCIEMENTS

Cet article a été édité par Susan Debad, Ph.D., diplômée de la Graduate School of Biomedical Sciences de l'Université du Massachusetts (États-Unis) et rédactrice scientifique chez SJD Consulting LLC. Nous tenons à remercier les co-auteurs du manuscrit original, Qian Wang de l'Université de Nagoya, Fuxiang Zhang de l'Institut de physique chimique de Dalian, Shane Ardo de l'Université de Californie à Irvine, Erwin Reisner de l'Université de Cambridge, Hiroshi Nishiyama, Taro Yamada de l'Université de Tokyo et Akihiko Kudo de l'Université des sciences de Tokyo, pour leurs contributions et leurs discussions. KD remercie l'Organisation de développement des nouvelles énergies et technologies industrielles (NEDO, projet n° P21021) pour son soutien financier. TH remercie l'Agence japonaise pour la science et la technologie (JST, subvention n°. JPMJPR20T9) pour son soutien financier.

ARTICLE SOURCE

Hisatomi, T., Wang Q., Zhang, F., Ardo, S., Reisner, E., Nishiyama, H. et al. 2024. Photocatalytic water splitting for large-scale solar-to-chemical energy conversion and storage. *Front Sci* 2:1411644. doi: 10.3389/fsci.2024.1411644

RÉFÉRENCES

1. Nishiyama, H., Yamada, T., Nakabayashi, M., Maehara, Y., Yamaguchi, M., Kuromiya, Y., et al. 2021. Photocatalytic solar hydrogen production from water on a 100-m² scale. *Nature* 598:304–7. doi: 10.1038/s41586-021-03907-3
2. Hisatomi, T., and Domen, K. 2023. Overall water splitting: what's next? *Next Energy* 1:100006. doi: 10.1016/j.nxener.2023.100006
3. Takata, T., Jiang, J., Sakata, Y., Nakabayashi, M., Shibata, N., Nandal, V., et al. 2020. Photocatalytic water splitting with a quantum efficiency of almost unity. *Nature* 581:411–4. doi: 10.1038/s41586-020-2278-9

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par *Frontiers for Young Minds* (doi: 10.3389/frym.2024.1454034 ; Hisatomi T and Domen K (2024) Harnessing the Sun's Power to Turn Water Into Fuel. *Front. Young Minds* 12:1454034).

TRADUCTION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Frédéric Lemoigno, ICGM, Montpellier

MENTOR SCIENTIFIQUE : [Marie Péquignot](#)

REMERCIEMENTS : Merci à Fanny Chandesris pour son accueil et son implication dans l'édition de cet article par ses élèves.

JEUNES ÉDITEURS :

MAËL, RONAN, SACHA, GABRIEL, ERWAN, 11 ANS

Moi c'est Maël et j'aime avoir de bonnes notes au collège. Je suis Ronan, j'ai un chien et j'aime le ping-pong. Je m'appelle Sacha, j'aime le tennis, le foot, le rugby et le ping-pong, le sport quoi. Je m'appelle Gabriel, j'aime le sport surtout le ping-pong et la musique. Je suis Erwan, je fais de l'escalade et j'ai voyagé pendant 7 ans en Bolivie, au Guatemala, aux États-Unis et au Mexique en camping-car.

ALYSSIA, ELSA, CAROLINE, SÉLÈNE, 11-12 ANS

Nous aimons le cheddar les frites et la raclette, la danse et les animaux (en particulier les insectes) et le sport et les histoires d'horreur et on aime aussi le pain ! 😊 Plus tard, nous voudrions être dans la médecine et la recherche !

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOUMIS le 24 juin 2024 ; **ACCEPTÉ** le 31 octobre 2024

PUBLIÉ EN LIGNE le 3 décembre 2024.

ÉDITEUR : Idan Segev, Université hébraïque de Jérusalem, Israël

MENTORS SCIENTIFIQUES : Srinivasa Ramanujam Kannan et Dharani Suresh Babu

CITATION

Hisatomi T and Domen K (2024) Harnessing the Sun's Power to Turn Water Into Fuel. Front. Young Minds 12:1454034. doi: 10.3389/frym.2024.1454034

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright ©2024 Hisatomi and Domen

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATEURS

ADITYA, 14 ANS

Bonjour, je m'appelle Aditya. Je m'intéresse à la lecture, aux STIM et à la flûte. J'aime lire (principalement des histoires fantastiques et des livres documentaires) en raison de son aspect immersif et parce que cela focalise toute mon attention sur le monde et l'histoire imaginés par l'auteur. J'aime la flûte pour une raison similaire, car elle me concentre sur une activité apaisante et stimulante. En ce qui concerne les STIM (Sciences, Technologie, Ingénierie et Mathématiques), je crois que la poursuite de la connaissance est un objectif admirable et épanouissant, et je ressens une certaine satisfaction lorsque j'apprends quelque chose de nouveau.

HRDAYA, 11 ANS

J'adore lire toutes sortes de livres et je m'amuse à chercher des fautes d'orthographe ou de grammaire dans les romans. L'anglais et les sciences sont mes matières préférées. Mes passe-temps sont la lecture de livres et le jeu d'échecs. Je suis aussi curieuse d'en savoir plus sur les choses qui m'entourent. J'aime les animaux et j'adore jouer avec mes oiseaux de compagnie et les nourrir.

VANSHIKA, 14 ANS

Bonjour, je m'appelle Vanshika. Je suis une jeune fille de 14 ans qui s'intéresse à la flûte traversière et à la danse. En dehors de cela, je suis aussi une bonne oratrice et une grande lectrice. J'opte généralement pour des livres de psychologie et de philosophie car ils me permettent de mieux comprendre la vie. Je m'intéresse beaucoup à l'archéologie, à l'architecture et aux traditions culturelles, qui, je crois, devraient encore nous révéler beaucoup de choses en science. Je suis une bonne joueuse de basket et d'échecs.

AUTEURS

TAKASHI HISATOMI

Takashi Hisatomi a obtenu son doctorat en ingénierie à l'Université de Tokyo en 2010. Après 2 ans en tant que postdoc à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, il a déménagé à l'Université de Tokyo en tant que postdoc et a obtenu un poste de professeur assistant en 2012. Il a déménagé à l'Université Shinshu en tant que professeur agrégé en 2018 et a été promu professeur titulaire en 2023. Il étudie les matériaux et les systèmes semi-conducteurs depuis près de 20 ans (depuis qu'il a commencé sa carrière de chercheur en tant qu'étudiant) dans le but de développer des procédés de production de dihydrogène renouvelable par séparation de l'eau induite par la lumière du soleil.

KAZUNARI DOMEN

Kazunari Domen est professeur contractuel à l'Université de Shinshu

et professeur à l'Université de Tokyo au Japon. Il a obtenu son doctorat en sciences de l'Université de Tokyo en 1982. Il a rejoint l'Institut de technologie de Tokyo en 1982 en tant que professeur assistant et a été promu professeur associé en 1990 et professeur titulaire en 1996. Il a rejoint l'Université de Tokyo en tant que professeur en 2004 et a été nommé par l'Université Shinshu en tant que professeur sous contrat spécial en 2017. Ses recherches portent sur la façon dont différents matériaux accélèrent les réactions chimiques et sur la fabrication de nouveaux matériaux, avec un accent particulier sur la séparation photocatalytique de l'eau pour la production de dihydrogène vert. *domen@shinshu-u.ac.jp