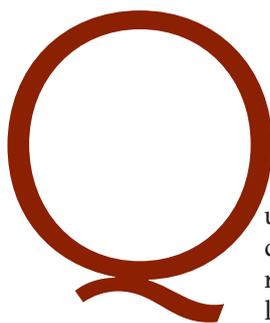


Turbomachine de Tesla:

Une technologie oubliée risque de refaire surface prochainement. Si elle tient ses promesses, elle peut même bouleverser notablement le paysage des motoristes et autres fabricants de turbines et compresseurs... Même s'il est beaucoup plus connu – et célèbre – pour ses inventions dans le domaine de l'électricité, c'est Tesla qui est à l'origine de cette approche extrêmement innovante.



Roue à eau sans aube exposée dans la ville natale de Tesla à Smiljan, en Croatie.



Qu'est-ce qui possède une simplicité enfantine doublée d'une efficacité supposée redoutable et est capable de réapparaître, après quasiment un siècle d'oubli, sous la forme d'un moteur à combustion interne totalement révolutionnaire? La turbomachine de Tesla bien sûr! Sans aucune pale et parfaitement réversible, son rendement est supérieur d'au moins 10 % aux meilleures turbines classiques et même beaucoup plus selon Tesla. Sa fiabilité est à toute épreuve, et pourtant cette turbomachine aux caractéristiques exceptionnelles n'a pas encore réussi, bizarrement, à convaincre les industriels.

Un rendement record

L'entreprise Control System Development LLC¹, dont le fondateur et ingénieur en chef est Daniel Woody, fabrique actuellement une version moderne du moteur à combustion interne de Tesla (voir historique page 104). Ainsi, ce dispositif appelé « Internal Combustion Boundary Layer Turbine Engine » (en abrégé BLTE) intègre à une simple turbine de Tesla les étapes classiques de prise d'air, compression, injection de carburant et allumage, combustion/détente et échappement d'une turbine conventionnelle. L'attrait principal – et loin d'être exclusif – de cette turbine très inhabituelle est son rendement. À partir de données expérimentales et de simulations numériques, ce dernier est estimé par l'entreprise américaine à 45 % minimum. Rappelons que les meilleurs rendements actuels avoisinent 35 % (moteurs diesel). Ils résultent pourtant, faut-il le souligner, de cent vingt années de perfectionnements... Control System Development LLC a déposé un brevet couvrant les États-Unis seulement dans un premier temps. Elle est actuellement en recherche de financements pour poursuivre la commercialisation de son moteur-turbine à couche limite (voir explications plus loin).

À propos de l'auteur

Jérôme Dangmann est enseignant en physique et passionné depuis de nombreuses années par les approches non conventionnelles.

le grand retour

Au regard de la complexité reconnue d'une turbine traditionnelle, la simplicité de la turbine de Tesla est réellement stupéfiante. Elle est en effet constituée d'un ensemble de disques identiques parfaitement lisses montés sur un même axe et séparés entre eux d'une distance de l'ordre du millimètre. Ces disques sont disposés dans une chambre hermétique qui possède des ouvertures d'entrée/sortie (figure 1).

Comment ça marche ?

Sur quel mystérieux procédé le fonctionnement de cette turbine est-il basé ? En fait, l'explication repose sur deux propriétés afférentes aux fluides. Celles-là mêmes qui entraînent un pot de yaourt en rotation lorsqu'on le brasse, nous obligeant alors à le maintenir immobile de l'autre main ! Il s'agit en fait de l'adhésion et de la viscosité de tout² fluide.

L'adhésion résulte des forces d'attraction qui existent entre des molécules différentes, en particulier ici entre les molécules de fluide et celles qui constituent la paroi. La viscosité est due par contre aux forces attractives entre les molécules du fluide et engendre une résistance à l'écoulement de ce dernier.

Le mécanisme de la turbomachine s'explique alors simplement : les molécules du fluide qui s'écoulent au voisinage de la surface d'un disque tendent à ralentir et à se coller à celui-ci. Par ailleurs, les molécules de fluide situées un peu plus loin de la paroi sont décélérées, à

cause de la viscosité, par les molécules qui adhèrent au disque. L'écoulement est alors freiné. Simultanément et de façon réciproque, les forces visqueuses agissent sur le disque en tendant à le faire tourner dans le sens de déplacement du fluide.

À la fois turbine et pompe

Ainsi est-il possible de transférer de l'énergie, dans un sens comme dans l'autre, entre le fluide et les disques du rotor. Autrement dit, le même dispositif peut agir comme une turbine (transfert fluide -> rotor) mais aussi comme une pompe/compresseur (rotor -> fluide).

La fine couche de fluide qui interagit au voisinage d'une surface est appelée « couche limite ». D'où l'appellation de « turbine à couche limite » parfois donnée à cette remarquable invention.

Une dernière remarque s'impose pour les lecteurs rendus perplexes par la présence du phénomène de viscosité dans le fonctionnement de la turbomachine.

En effet, il est bien connu que la viscosité entraîne des pertes énergétiques non négligeables par élévation de température. Ces pertes sont par conséquent incompatibles avec un rendement élevé. D'autant que celui annoncé par Tesla, au niveau des disques, est proche de 98 % ! L'explication est fort simple et résulte d'un seul paramètre : la très faible distance entre les disques, en général moins d'un millimètre. Cela assure la prédominance du phénomène d'adhésion par rapport à celui de la viscosité, qui devient alors négligeable...

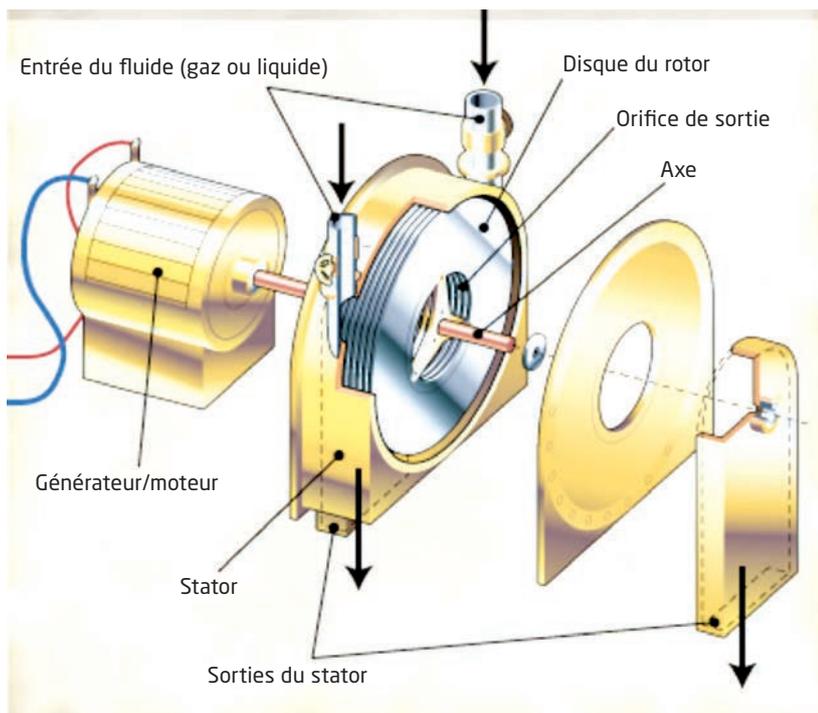


Fig. 1 : Schéma de fonctionnement de la turbine de Tesla.

Tout en douceur

Contrairement aux autres turbines qui meuvent le rotor soit par effet de choc, de pression ou encore par réaction suivant leur type, la machine de Tesla opère tout en douceur. En effet, il n'y a aucun changement brusque de vitesse ou de direction pour le fluide qui traverse la turbine selon la trajectoire indiquée par des tirets sur la figure 2 (page suivante).

L'entrée du fluide est en B ou B', suivant le sens de rotation choisi pour la turbine. La sortie est en C (voir la vue en coupe). Le fluide pénètre dans la turbine à travers l'ajutage³ B. En l'absence de rotation, la trajectoire suivie par le fluide (de la vapeur par exemple) est représentée en trait continu noir. Il suit le plus court chemin pour s'échapper, comme on peut

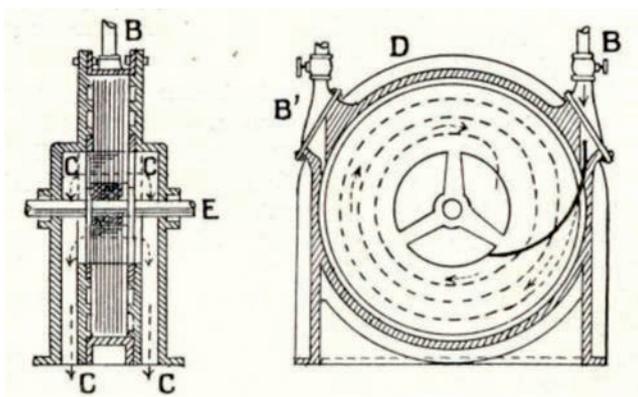


Fig. 2: Coupes latérale et transversale de la turbine de Tesla.

le voir sur la figure ci-dessus. Dans le cas de la turbine en rotation, le fluide en revanche parcourt une spirale (tirets) avant de la quitter. Le pas de cette spirale croît avec la vitesse de rotation du disque.

Grâce à cette configuration très particulière, les particules fluides perdent progressivement leur vitesse tout en continuant à entraîner le disque en rotation. En effet, à mesure que le fluide ralentit en se rapprochant du centre du disque, la vitesse locale de celui-ci diminue elle aussi! Cette situation particulièrement favorable explique le rendement très élevé du fluide au niveau du rotor: 95 % selon des simulations numériques récentes incontestées.

Dans le souci d'être le plus complet possible, notons une amélioration importante apportée par Tesla à la suite de ses diverses expérimentations. Pour pallier les faibles couples de démarrage des turbines à disques lisses, Tesla a imaginé une parade efficace. Il a ajouté une série de rondelles (12 à 24 suivant le diamètre

des disques) entre deux disques, positionnées près de la bordure de ceux-ci. Une deuxième série de rondelles (6 à 12) est ajoutée, proche cette fois de l'axe de rotation. Cette modification augmenterait – logiquement – le couple de la turbine sans pour autant altérer son rendement.

Avantages et inconvénients

Les avantages sont très nombreux:

- pas de système de refroidissement, compliqué et volumineux en général;
- processus de combustion continu qui offre une puissance de sortie constante et réduit la pollution par comparaison avec les moteurs classiques;
- large panel de carburants admissibles (essence, gazole, méthane...);
- quasi-absence de pièces réalisant une étanchéité dynamique (pas de segment, car pas de piston!);
- grande simplicité de construction avec seulement un assemblage sur l'axe du rotor;
- fiabilité exceptionnelle;
- taille réduite/faible poids;
- réversibilité totale du dispositif (turbine ou pompe/compresseur);
- possibilité d'inversion du sens de rotation de la turbine;
- absence de cavitation pour les pompes;
- échelle de fabrication très flexible: le passage des modèles de faibles puissances aux plus grosses n'introduit pas d'obstacle technologique spécifique;
- quasi-absence de vibrations;
- bruits de fonctionnement très réduits (bruit de type « bruit blanc »), conséquence de l'avantage précédent;

► Une centrale électrique dans un chapeau

C'est en septembre 1911 que Tesla présente ses travaux pour la première fois dans la presse technique. Bien qu'il n'en soit pas l'inventeur initial, c'est lui qui perfectionne ce type très particulier de turbine réversible pour lequel il dépose des brevets dès 1909¹.

Son premier prototype, fabriqué à Long Island en 1906, développait une puissance de 22 kW (30 hp²) en étant connecté à une source d'air comprimé. Le poids de cette turbine était inférieur à 4,5 kg, sa plus grande dimension était de 15 cm et la vitesse de rotation des disques pouvait atteindre jusqu'à 35 000 tours par minute³! Ces caractéristiques incroyables ont fait dire à son inventeur qu'il s'agissait d'une « centrale électrique dans un chapeau »...

Combustion interne. Pour s'affranchir de la chaudière classique, Tesla a créé et fabriqué une turbine à combustion interne. Celle-ci possède des canalisations qui agissent comme des valves (d'où le nom du brevet correspondant: « Valvular conduit ») acheminant le gaz dans une direction uniquement. En envoyant des jets pulsés sur les disques du

rotor à une fréquence suffisamment élevée (fréquence dans le domaine sonore), une rotation continue est alors obtenue. De grosses turbines à vapeur ont aussi été fabriquées. Ainsi en 1911, avec des disques de seulement 25 cm de diamètre, la turbine atteignait 82 kW (110 hp). Toutefois, une turbine beaucoup plus importante de 500 kW et possédant des disques de 1,5 m de diamètre n'a pas résisté au phénomène de fatigue subi par le métal des disques en rotation ultrarapide.

1. Brevet n° 1.061.142 (« Fluid propulsion ») pour les pompes ou compresseurs déposé le 21/10/1909 et accordé le 06/05/1913; brevet n° 1.061.206 (« Turbine ») déposé le 17/01/1911 et accordé le 06/05/1913; Brevet n° 1.329.559 (« Valvular Conduit ») pour la turbine à combustion interne déposé le 21 février 1916 et accordé le 3 février 1920.

2. hp, ou horse power, est l'unité anglaise de la puissance mécanique valant 745,7 watts.

3. Le rotor était constitué de 8 disques métalliques de 1,5 cm de diamètre, séparés entre eux de 0,8 mm, et montés sur un axe de 2,5 cm de diamètre. L'espace entre l'extérieur des disques et le carter n'était que de 0,4 mm.

- coût de fabrication minime comparé à celui des turbines classiques.

À part les trois premiers avantages qui ne concernent que les moteurs à combustion interne, les autres sont communs à toutes les utilisations de cette turbomachine: turbine à air comprimé, à vapeur, compresseur, pompe... Du côté des inconvénients, citons :

- la vitesse de rotation élevée pour l'utilisation en turbine qui nécessite l'emploi d'un réducteur de vitesse ou d'une technologie adaptée;
- le couple développé par les turbines dépend fortement des caractéristiques de montage des disques;
- la difficulté de conception de tuyères performantes d'entrée et de sortie.

Pourquoi tant d'obstacles ?

Au vu de ces fort nombreuses qualités précédemment énoncées, on pourrait s'étonner avec raison de l'absence quasi totale de la turbomachine de Tesla sur le marché. Cacherait-elle des vices rédhibitoires ?

À la lumière de ce que l'on en connaît, la réponse est... non ! Un « non » plus définitif encore qu'à l'époque de Tesla. Car la vitesse de rotation des disques pouvant atteindre des valeurs élevées (9000 à 35000 tours par minute lors des essais réalisés par Tesla), ceux-ci peuvent se déformer (voire se détruire) et réduire le rendement de l'installation. De nos jours, il est possible grâce à de nouveaux matériaux (fibre de carbone, Kevlar) de fabriquer des disques possédant la résistance et la rigidité nécessaire pour résister à la force centrifuge élevée qu'ils subissent.

Ces difficultés technologiques que connaissaient les métallurgistes du début du xx^e siècle sont généralement avancées pour justifier l'échec total de la commercialisation de la turbine à couche limite. Il est certes difficile de rejeter en bloc ces explications. Mais il serait sans doute naïf de penser qu'elles portent l'entière responsabilité de l'enterrement de la turbine de Tesla. Car lorsque cette dernière est apparue sur le marché, les industriels avaient déjà lourdement investi dans l'achat de turbines classiques. Il aurait été en effet fort coûteux pour eux de changer de technologie.

De nos jours

Après la commercialisation ratée de cette turbomachine si originale, il faut attendre les années 50 pour voir renaître un intérêt⁴ pour la technologie créée par Tesla. De surcroît, la recherche s'est même développée depuis cette période et continue encore. Qu'en ressort-il ? D'après toutes ces études théoriques, corroborées par des réalisations expérimentales, il

On pourrait imaginer un couplage de la turbine de Tesla avec un réacteur à fusion froide, afin de convertir en électricité avec un rendement élevé l'énergie thermique produite.

apparaît que le rendement global de ces turbomachines est fortement dépendant de la géométrie des tuyères d'entrée/sortie. Cette conclusion ne remet d'ailleurs pas en cause le rendement exceptionnellement élevé du fluide au voisinage des disques (au moins 95 %). Mais elle explique les rendements globaux décevants atteints jusqu'à présent tant pour les pompes que pour les turbines. Ainsi en 1991, le professeur Warren Rice de l'Arizona State University, spécialiste de la turbomachine de Tesla, conjecture un rendement maximal pour les pompes Tesla de 65 %⁵. C'est bien modeste comparé aux rendements de pompes classiques qui peuvent frôler les 80 %. Il en est de même pour le rendement de 36 % d'une turbine à air fabriquée par Rice, qui fait pâle figure devant les 55 % prétendument atteints par Tesla. Ces résultats condamnent-ils pour autant la turbomachine de Tesla ?

L'espoir renaît

Certes, il est unanimement reconnu que la technologie de Tesla reste compétitive dans tous les domaines où les machines classiques perdent leur efficacité. Ainsi, avec les fluides très visqueux, abrasifs, ou comportant des impuretés (comme dans la vapeur issue de la géothermie), la turbomachine de Tesla détient une incomparable efficacité⁶. Mais, fort heureusement, ce n'est pas tout. Cette turbomachine posséderait en effet un potentiel encore inexploité d'après un article de la revue (numéro 15) de l'association des constructeurs de la turbomachine de Tesla (Tesla Engine Builders Association)⁷. La raison avancée est incontestable: les expérimentateurs (y compris le professeur Rice qui le reconnaît lui-même) n'ont jamais suivi à la lettre les détails de fabrication de Tesla. Or, les performances de sa machine en dépendent fortement... Dans ces conditions, les rendements plafonds annoncés perdent bien évidemment toute valeur.

Conclusion

Le principe de fonctionnement de cette machine a beau présenter une simplicité biblique, il n'en reste pas moins vrai que les réglages d'optimisation sont très délicats. Cette dernière particularité permet néanmoins d'espérer des mini-révolutions technologiques, telle celle annoncée par l'entreprise américaine Control System Development LLC (moteur à explosion de nouvelle génération). Si tel est le cas, on pourrait aussi imaginer un couplage de la turbine de Tesla

► Comment fabriquer un ventilateur Tesla en carton!

Les explications qui suivent sont extraites d'un article publié dans le magazine *Popular Science* de septembre 1955 (page 230).

Les disques, de rayon 15 cm environ, sont découpés dans du carton rigide d'épaisseur 1 mm. Il faut perforer cinq ouvertures circulaires à l'identique pour chacun d'entre eux. Le trou central aura le diamètre de l'axe métallique qui va entraîner en rotation l'ensemble du rotor. Les quatre autres ouvertures permettent le passage de l'air entre les disques. Pour réaliser un travail propre, un poinçon pourra être employé avec profit.

Une bande en carton souple (dont le profil est représenté en bleu sur la figure 1, voir photo B ci-dessous) entoure les disques et laisse une ouverture pour la sortie de l'air. La largeur de cette partie du carter est légèrement supérieure à l'épaisseur des 15 disques et 14 rondelles, soit 29 mm. Les faces avant et arrière du carter sont identiques.

Des bandes d'attache sont fixées sur la face arrière du carter pour immobiliser le stator (voir photo A ci-dessous).

L'axe métallique du rotor a le profil suivant :

il est fileté à son extrémité droite. Une rondelle et un écrou (photo C) immobilisent les disques contre l'épaulement.

Alimenté par un moteur électrique de 25 W tournant à 1 500 tours par minute, on obtient un petit ventilateur silencieux et néanmoins très efficace!

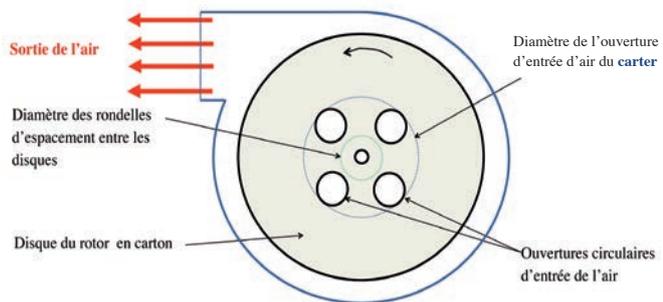


Figure 1: Détails des disques et profil du carter.

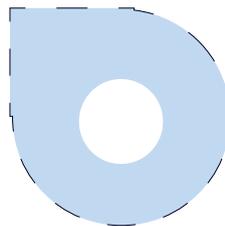


Figure 2: Face avant et arrière du carter.



Photo A

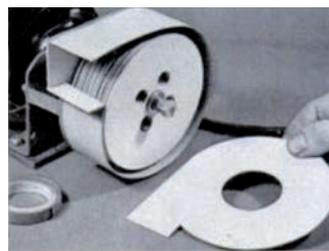


Photo B

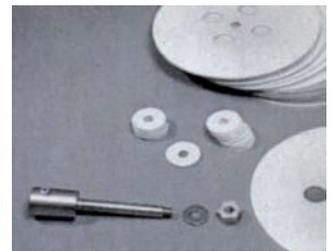


Photo C

avec un réacteur à fusion froide⁸, afin de convertir en électricité avec un rendement élevé l'énergie thermique produite.

À cause des économies importantes qu'elle est susceptible d'engendrer, cette technologie représente clairement une menace pour les lobbies énergétiques⁹. Toutefois, une technologie dont il est possible de contrôler la fabrication ne présente pas un très gros risque. C'est précisément pour cette raison que la turbomachine de Tesla constitue potentiellement un grand danger pour ces lobbies! Car son extrême simplicité de fabrication permet d'échapper aux grosses structures industrielles. Ces dernières étant bien sûr plus facilement manipulables par les grands groupes financiers que les petites entreprises.

Si donc les performances annoncées par Tesla se sont avérées exactes, sa turbomachine pourrait engendrer une révolution technologique totalement incontrôlable pour l'industrie énergétique. Au plus grand bénéfice de la société tout entière bien sûr! ●

Jérôme Dangmann

NOTES

1. <http://www.controlsystemdev.com>.
2. On ne traite pas ici des superfluides qui ne possèdent pas de viscosité.
3. Ajustage : bec de métal qu'on adapte à un tuyau destiné à déterminer le volume et la forme du jet d'eau qui s'en échappe.
4. Voir les références 8 à 17 du document du Pr Warren Rice : <http://gyroscope.com/images/teslaturbine/TeslaTurboMachinery.pdf>.
5. <http://gyroscope.com/images/teslaturbine/TeslaTurboMachinery.pdf>.
6. En 1986, la compagnie Texaco a reconnu avoir économisé 68 000 dollars par année et par pompe classique (avec pale) remplacée par une pompe Tesla.
7. <http://www.teslaengine.org/images/teba15p17.pdf>
8. Voir NEXUS n° 80, page 100.
9. On raconte qu'une grosse installation de génération d'énergie renouvelable utilisant des turbines à haute performance (la quasi-turbine pour ne pas la citer) devait voir le jour en Martinique. Dès que le rendement élevé de l'installation est parvenu à la connaissance d'un grand groupe pétrolier, celui-ci a bloqué le projet...

⚡ Bientôt une voiture électrique sans batterie ?

Un véhicule électrique autonome sans batterie : c'est le tout nouveau défi que souhaite relever très prochainement Ismaël Aviso, le « Tesla philippin ».

Dans un précédent article*, nous avons évoqué la voiture électrique développée par lui et les progrès qu'il avait effectués sur le générateur de ce véhicule. Afin de mieux appréhender l'idée qui est à l'origine de ce perfectionnement spectaculaire – qu'il reste à confirmer néanmoins – il faut rappeler l'un des principes sur lesquels son générateur actuel est conçu. Celui-ci fonctionne en effet selon des cycles de charge et de décharge entre l'ensemble des batteries associées en séries et toutes celles connectées en parallèle. Fin avril dernier, c'est au cours d'une expérimentation sur son véhicule électrique qu'il a eu une idée à la fois simple et osée : augmenter la fréquence des cycles de charge/décharge et remplacer les batteries par des condensateurs de grosses capacités.

Dans la mesure où l'énergie électrique qui alimente le moteur est gratuite (grâce à une antenne et un réacteur dont l'inventeur n'a jamais dévoilé le principe), l'intérêt de supprimer les batteries, au-delà du gain de poids, ne semble pas très apparent. Deux chiffres seulement, donnés par Ismaël Aviso, convaincront définitivement : le coût de transformation d'une berline classique (donc équipée d'un moteur thermique) en véhicule électrique comprenant aussi le moteur électrique serait de 5 000 dollars pour la nouvelle version sans batterie et de 17 000 dollars



Ismaël Aviso (chemise rouge) interviewé par une équipe de journalistes dans son atelier.

pour la variante avec les batteries au lithium !

Notons tout de même qu'une batterie sera nécessaire pour le démarrage, bien qu'elle puisse être, elle aussi, remplacée par un condensateur de grosse capacité.

Seulement, pour fabriquer un prototype, l'inventeur a besoin de moyens financiers dont il manque cruellement en ce moment. En effet, bizarrement, son partenaire financier américain fait face actuellement à des difficultés inattendues qui l'empêchent d'épauler Ismaël Aviso...

* NEXUS n° 79, page 102.

⚡ Photosynthèse artificielle : le catalyseur qui change la donne

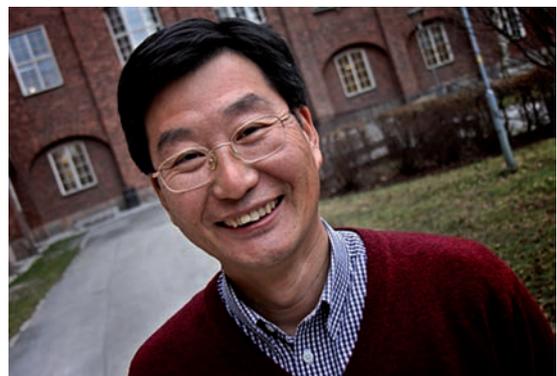
Des chercheurs du département de chimie de l'École royale polytechnique de Stockholm (KTH) ont mis au point un catalyseur moléculaire, à base de ruthénium, qui permet d'oxyder l'eau en oxygène et hydrogène à une vitesse comparable à celle de systèmes photosynthétiques naturels.

Dans le champ des énergies renouvelables, la recherche se concentre depuis plus de trente ans sur la mise au point d'un processus de photosynthèse artificielle qui permettrait de développer l'utilisation de l'énergie solaire. Le problème central dans ce système qui utilise la lumière pour produire directement de l'hydrogène est la vitesse d'oxydation de l'eau, les catalyseurs connus étant toujours trop peu efficaces.

L'équipe de KTH a produit un catalyseur $[Ru(bda)(isoq)_2]$ qui accélère l'oxydation à une vitesse jusqu'ici jamais atteinte : la fréquence de production d'oxygène est supérieure à 300 molécules par site et par seconde. Ce résultat est pour la première fois comparable à la vitesse de la réaction dans des systèmes *in vivo*, qui va de 100 à 400 molécules par seconde. Ce record mondial ouvre de nouvelles perspectives pour l'énergie solaire ainsi que d'autres sources d'énergie renouvelable. Avec ce système, la lumière du soleil peut notamment être utilisée pour convertir le dioxyde de carbone en différents carburants tels que le méthanol.

Licheng Sun, professeur de chimie organique à KTH et coauteur de l'article qui présente ce résultat, estime que la vitesse atteinte grâce à ce catalyseur rend par exemple envisageable la création de grandes infrastructures dans le Sahara pour produire de l'hydrogène. Il pourrait aussi permettre la conversion de l'énergie solaire en électricité avec une efficacité bien supérieure à celle des meilleures technologies aujourd'hui disponibles sur le marché.

La prochaine étape est de rendre cette technologie accessible et donc compétitive par rapport aux carburants d'origine fossile. L'équipe poursuit son travail dans cette direction. Les recherches sont financées par la fondation Wallenberg et l'Agence suédoise de l'énergie.



Le professeur Licheng Sun.

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/70071.htm>