



Idées débats, tribunes

Sébastien Candel

PHYSICIEN, VICE-PRÉSIDENT
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Quelles difficultés à surmonter pour remplacer les énergies fossiles ?

« L'HD », dans le cadre d'un partenariat avec l'Académie des sciences, publie une nouvelle tribune écrite par un de ses membres sur de grandes thématiques scientifiques touchant à des enjeux de société.

Le 30 novembre, s'ouvrira à Paris la COP21. Les buts qui lui ont été fixés sont-ils à la hauteur des enjeux ? Pour Sébastien Candel, l'objectif affiché du remplacement des énergies fossiles par des énergies renouvelables, au cœur de la lutte contre le dérèglement climatique et de la transition énergétique, sous-estime trop souvent les difficultés induites. Les exposer, comme il le fait ici, pour les prendre en compte est pourtant une condition nécessaire. Sébastien Candel, vice-président de l'Académie des sciences, est physicien, spécialiste des sciences de l'ingénieur, notamment dans les domaines de la combustion et de l'aéroacoustique et de leurs applications en énergie et en propulsion aéronautique et spatiale.

Remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables de type éolien ou photovoltaïque paraît séduisant et cette question est importante pour l'avenir dans un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les ressources théoriques sont colossales. Ainsi, par exemple, le soleil déverse chaque année sur la Terre une puissance de 122000 TW (1 terawatt = 1 milliard de kW) mais seule une partie de cette puissance, correspondant à ce qui est renvoyé vers l'espace par les terres émergées, pourrait être utilisée, soit 26000 TW. Ce chiffre considérable est à comparer aux 17 TW qui correspondent à toute l'énergie primaire consommée dans le monde en un an. La France dispose ainsi d'une puissance de 80 TW, qui est 20000 fois supérieure à toute la puissance installée sur son sol. Enfin, le prix des panneaux solaires a notablement baissé et de nouvelles solutions ont permis des progrès remarquables dans le domaine des rendements. Il y a cependant des difficultés, liées à l'intermittence des énergies renouvelables, à leur dilution (c'est-à-dire la faible densité de puissance par mètre carré) et au problème de l'intégration de quantités importantes d'énergies intermittentes dans le réseau électrique.

Il est intéressant d'étudier le cas de

l'Allemagne, où le développement des énergies renouvelables a été engagé à un rythme accéléré et où il s'est accompagné d'une sortie du nucléaire. Notre voisin avait déjà installé, en 2013, 70 GW de puissance éolienne et solaire photovoltaïque, un niveau de puissance à comparer aux 195 GW de puissance totale.

L'Allemagne dispose ainsi par moments d'excédents de puissance considérables qu'elle ne peut utiliser localement et qu'elle est obligée d'exporter vers ses voisins avec parfois des prix négatifs. Il y a aussi des moments où il n'y a ni vent ni soleil et la puissance nécessaire est alors produite par des centrales thermiques à charbon ou

**À CAUSE DE LEUR
INTERMITTENCE, IL FAUT
POUVOIR COMPENSER
LES ÉNERGIES
RENOUVELABLES
LORSQU'ELLES NE SONT
PAS DISPONIBLES.**

au lignite. Au final, on peut constater que les émissions de CO₂ n'ont pas baissé. L'intermittence des éoliennes et du photovoltaïque fait que l'énergie produite est beaucoup plus réduite que celle qu'on pourrait attendre : 53 TWh pour les éoliennes et 30 TWh pour le photovoltaïque, à comparer aux 633 TWh produits dans l'année (on parle ici de terawattheures, soit 1000 milliards de wattheures ou encore 1 milliard de kWh).

TRAITER L'IRRÉGULARITÉ

La faible production d'énergie est associée à ce qui est désigné sous le nom de facteur de charge. Ce facteur représente le rapport entre l'énergie effectivement produite et l'énergie qui pourrait être obtenue si le système fonctionnait à pleine puissance. Il est de 0,18 pour l'éolien et d'à peine 0,10 pour le solaire. Tout se passe comme si ces énergies ne fonctionnaient à pleine puissance que pendant respectivement 18 % et 10 % du temps. C'est d'ailleurs ce qui explique l'excédent de puissance, tout à fait considérable, de plus de 110 GW, qui existe déjà, puisque la puissance maximale qui permet de répondre au pic de consommation se situe aux environs de 80 GW.

À cause de leur intermittence, il faut pouvoir compenser les énergies renouvelables lorsqu'elles ne sont pas



BEYMNACADÉMIE DES SCIENCES

disponibles. Comme les capacités de stockage actuelles sont très limitées et aussi moins intéressantes sur le plan économique, le plus simple est de recourir aux centrales thermiques, mais il faut alors pouvoir disposer de ces capacités à un niveau suffisant pour remplacer les énergies manquantes. Ces centrales doivent pouvoir fonctionner de façon intermittente, ce qui peut être contraire à leur tenue dans le temps (avec des cycles courts de mise en route et de mise à l'arrêt) et se révéler peu rentable économiquement.

SUPERBE AVION SOLAIRE

Une autre difficulté du développement des énergies renouvelables est celle de leur très grande dilution, c'est-à-dire du faible niveau de puissance effective que l'on peut obtenir par mètre carré. Il est raisonnable de considérer la puissance maximale multipliée par le facteur de charge pour mesurer la production qu'on peut espérer d'un champ d'éoliennes ou d'une ferme photovoltaïque. En s'appuyant sur les productions réalisées en pratique, on trouve par exemple des valeurs

LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉOLIEN NÉCESSITERAIT UNE VÉRITABLE INDUSTRIALISATION DU PAYSAGE OU DU LITTORAL.

de 3,5 W/m² pour un champ d'éoliennes en mer (120 MW installés sur une surface de 14 km² produisant une énergie de 435 millions de kWh/an). Si on voulait produire l'énergie électrique consommée par la France en une année (soit 540 TWh) avec des champs d'éoliennes en mer, il faudrait une surface de 17379 km², ce qui conduirait à équiper la totalité du littoral français (soit 3427 km) sur une largeur de 5 km. On voit que le développement des renouvelables nécessite une vé-

ritable industrialisation du paysage ou du littoral.

Une autre illustration extrême des difficultés du remplacement des fossiles par du solaire photovoltaïque est donnée par le remarquable avion solaire imaginé par Bertrand Piccard. Cet avion, Solar Impulse, a une masse de 2300 kg, 72 m d'envergure, il emporte 633 kg de batteries et 11 000 cellules photovoltaïques. Son unique passager, le pilote, volant à une vitesse maximale de 90 km/h, est en train de réaliser l'exploit de faire un tour du monde. Il a notamment parcouru sans escale les 8 500 km séparant le Japon et Hawaï, où il est actuellement bloqué avec des batteries endommagées de façon définitive après surchauffe. Ainsi en un an, cet avion aura fait 40 000 km en transportant un passager. Pendant le même temps, l'aviation classique utilisant du kérosène aura transporté 4 000 milliards de passagers-kilomètres (le nombre de passagers multiplié par le nombre de kilomètres parcourus). On mesure l'écart qui sépare les énergies renouvelables des énergies fossiles.

FAIRE SAUTER LES VEROUS

On a vu que l'option renouvelable induisait des difficultés trop souvent sous-estimées. Alors faut-il renoncer? Bien évidemment non! Il faut au contraire travailler sur tous les verrous, rechercher des nouvelles solutions, améliorer le rendement des cellules solaires, travailler sur le stockage pour éviter que l'intermittence de ces sources d'énergie ne conduise encore à utiliser des combustibles fossiles. Par ailleurs, la croissance des énergies renouvelables intermittentes ne pourra se faire sans une extension significative du réseau de transport de l'électricité pour raccorder les lieux de production, collecter les énergies électriques produites de façon diffuse et les faire remonter vers les lieux de consommation tout en assurant la stabilité du réseau. Au-delà du problème technique, cela pose des problèmes de faisabilité sociotechnique, c'est-à-dire, au final, de compréhension par les citoyens des enjeux et des défis de l'énergie. ★

POUR EN SAVOIR PLUS

LE SITE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES :

www.academie-sciences.fr

« L'ÉNERGIE DURABLE. PAS QUE DU VENT! »,

de D. MacKay (traduction de la première édition de « Sustainable Energy Without the Hot Air », 2009).

ÉDITIONS DE BOECK, BRUXELLES, 2012.

« LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE FACE AUX DÉFIS DE L'ÉNERGIE »,

Comité de prospective en énergie de l'Académie des sciences.

EDP SCIENCES, 2012.

« L'ÉNERGIE À DÉCOUVERT »,

sous la direction de R. Mosseri et C. Jeandel.

CNRS ÉDITIONS, 2013.

« ATLAS DES ÉNERGIES. RESSOURCES, CONSOMMATION ET SCÉNARIOS D'AVENIR »,

de J.-P. Favennec et Y. Mathieu, éditions Armand Colin, 2014.

« COMMENT VIVRE SANS ÉNERGIES FOSSILES : LE RÔLE DE LA CHIMIE ET DES BATTERIES »,

conférence de Jean-Marie Tarascon, membre de l'Académie des sciences, destinée à un large public, le 3 avril 2015.

VIDÉO EN LIGNE L'ADRESSE :

<http://www.academie-sciences.fr/fr/Seances-publiques/comment-vivre-sans-energies-fossiles-le-role-de-la-chimie-et-des-batteries.html>