

# INNOVER POUR RÉPONDRE À NOS BESOINS EN ÉNERGIE

Anthony Pichard, Noël Baffier, Jean-Claude Bernier

---

D'après l'article *La chimie face aux défis de la transformation du système énergétique* de Sébastien Candel publié dans l'ouvrage « Chimie et changement climatique » EDP Sciences, 2016, 978-2-7598-2035-1

Pour répondre aux besoins énergétiques de la population, il est nécessaire de recourir à des sources variées. Pour l'essentiel, ces sources restent cependant non-renouvelables. Ce n'est pas sans poser de problème. Le développement d'énergies plus durables constitue donc un défi et la chimie a un rôle décisif à jouer.

## L'ÉNERGIE AUTOUR DE NOUS

L'énergie est une notion scientifique fondamentale. Elle peut être vue comme la capacité à effectuer un travail, par exemple soulever une masse. Elle se présente sous des formes diverses : mécanique, électrique, chimique, calorifique, nucléaire...

On peut passer d'une forme d'énergie à une autre. Par exemple, l'énergie solaire est transformée en

électricité au moyen de cellules photovoltaïques présentes dans les panneaux solaires.

De même, l'énergie potentielle de l'eau stockée derrière un barrage en altitude peut être convertie en énergie cinétique au moyen d'une chute, puis transformée en énergie électrique au moyen d'une turbine hydraulique et d'un alternateur [Figure 1].

Les éoliennes permettent elles aussi de transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique grâce aux alternateurs qu'elles comportent. S'il n'y a pas beaucoup de vent, il n'y a pas beaucoup de puissance ; au contraire, s'il y a trop de vent, l'éolienne ne résistera pas à la vitesse de rotation et il faut l'arrêter.



Figure 1 – Une masse d'eau stockée derrière un barrage possède une énergie potentielle. La chute de cette eau au travers d'une turbine, qui entraîne un alternateur, produit de l'énergie électrique.  
Source : Wikipédia, licence CC-BY-SA-2.5, David Monniaux.

## LE DÉFI DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'un des grands défis que nous devons relever est celui de répondre aux besoins énergétiques mondiaux, tout en limitant l'utilisation des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon). Trouver des solutions alternatives durables va demander des efforts scientifiques, technologiques et industriels considérables [1].

### La consommation mondiale d'énergie

Les besoins énergétiques mondiaux ont doublé en quarante ans et ont tendance à croître régulièrement. Ceci est principalement dû à l'augmentation de la population mondiale et à la recherche d'un meilleur niveau de vie dans les pays émergents. En 2016, la quantité d'énergie produite était de l'ordre de 13 800 Mtep<sup>1</sup>, c'est-à-dire  $580 \times 10^{18}$  J ou encore  $160 \times 10^{12}$  kWh. À titre de comparaison, le Soleil déverse chaque année sur la planète une énergie de l'ordre de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh. Le problème est bien sûr que toute cette énergie n'est pas exploitable.

### Vers une diminution de l'émission de CO<sub>2</sub>

Un des objectifs pour l'avenir est de limiter les émissions de CO<sub>2</sub> issues de la production d'énergie pour réduire les effets de serre [2] associés et éviter un réchauffement global excessif. D'après les dernières analyses, on observe que l'Europe est en train de réduire sa consommation d'énergie, pour des raisons économiques et politiques, et que ses émissions de CO<sub>2</sub> seront en baisse pour les années à venir. Par contre, d'autres pays du monde vont augmenter leur consommation d'énergies fossiles, et donc leurs émissions de CO<sub>2</sub>.

Pour que les efforts déployés soient bénéfiques à long terme, il ne suffit donc pas de l'implication des seuls pays d'Europe.

	Population (Millions)	Émissions de CO <sub>2</sub> (Mt)	Indice d'émissions de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /habitant)
États-Unis	314	5 074,14	16,15
Chine	1 358	8 521	6,07
Allemagne	81,92	755,27	9,21
France	65,43	333,89	5,1

Figure 2 – Indice d'émission de CO<sub>2</sub> par an et par habitant. Source : d'après Key world energy statistics (2014) International Energy Agency.

1. Source : [www.iea.org](http://www.iea.org). Mtep = méga tonne d'équivalent pétrole. 1 Mtep =  $0,042 \times 10^{18}$  J = 11,6 TWh = c'est l'énergie que libérerait, sous forme de chaleur, la combustion d'une tonne de pétrole.

Pour se faire une idée plus précise, le tableau en figure 2 montre les indices d'émission de CO<sub>2</sub> de quelques pays. Par exemple, les États-Unis ont un indice élevé de plus de 15 tonnes de CO<sub>2</sub> par habitant et par an. En France, le niveau est moindre et se situe autour de 4,4 T. Cela est dû, d'une part, à l'activité industrielle qui s'est réduite, et d'autre part au fait que 75 % de l'énergie électrique est produite par le nucléaire, qui est une énergie ne produisant pas de dioxyde de carbone.

La France est aussi en bonne position par rapport à l'Allemagne. L'énergie primaire en France ne provient qu'à 53 % des énergies fossiles, alors que l'Allemagne dépend encore à plus de 80 % de ces énergies malgré l'effort qui est fait pour développer les énergies renouvelables. Les chiffres donnés en 2018 sont encore meilleurs pour la France : 47,5 % d'énergies fossiles en France contre 85 % dans le monde.

## LES DÉFIS À RELEVER POUR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, on pourrait penser immédiatement au déploiement à grande échelle d'énergies renouvelables, essentiellement éolienne et solaire, ou à un procédé de stockage du dioxyde de carbone. Cependant, leur mise en place est problématique pour plusieurs raisons.

Pour commencer, les procédés permettant de capturer le CO<sub>2</sub> produit et le transformer ne sont pour le moment appliqués qu'à une petite échelle. Les déployer sur un territoire bien plus grand nécessitera donc une évolution progressive, par conséquent beaucoup de temps et de moyens [3].

Une autre difficulté à surmonter est le problème de l'intermittence des énergies renouvelables. Pour l'énergie éolienne par exemple, le facteur de charge est de 23 %. Cela signifie que l'énergie électrique réellement obtenue grâce à une éolienne ne représente que 23 % de l'énergie qu'on devrait obtenir si elle fonctionnait toujours à pleine puissance. Pour les énergies renouvelables intermittentes, ce facteur de charge dépend essentiellement de la météorologie, du régime des vents pour l'énergie éolienne et de l'ensoleillement pour le photovoltaïque [4].

L'introduction à grande échelle des énergies renouvelables intermittentes en remplacement des systèmes actuels de production d'électricité ne va pas pouvoir se faire sans poser des difficultés majeures comme le coût ou la surface à occuper. On pourrait par exemple se fixer comme objectif de faire baisser la part d'électricité produite par des centrales nucléaires en France en la faisant passer de 75 %

à 50 %. Mais dans ce cas, Il faudrait une surface disponible de la taille de la région Île-de-France pour les éoliennes et le coût total approcherait les 300 milliards d'euros.

## LE RÔLE DE LA CHIMIE DANS LA TRANSFORMATION DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE

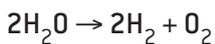
La chimie joue déjà un rôle considérable dans le domaine de l'énergie. Elle permet de :

### 1. Stocker de l'énergie ou la récupérer par diverses méthodes

Le principal procédé de stockage de l'énergie électrique utilise le principe des Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP). Ce procédé utilise deux lacs situés à des altitudes différentes mais en communication l'un avec l'autre. On fait chuter de très grandes quantités d'eau du lac supérieur sur une turbine pour récupérer de l'énergie ; du lac inférieur, on remonte l'eau par pompage dans le lac supérieur pour stocker l'énergie et l'utiliser ultérieurement. Le barrage de Grand'Maison est un exemple de ce type d'installation.

On stocke également de l'énergie grâce aux batteries. La recherche s'intéresse notamment aux batteries lithium-air qui ont pour objectif d'améliorer l'énergie produite par unité de masse [5].

Un autre procédé appelé « Power to Gas » utilise l'énergie excédentaire produite par les sources renouvelables pour produire du dihydrogène par électrolyse suivant la transformation chimique suivante :



Le dihydrogène produit peut ensuite être combiné à du CO<sub>2</sub> pour éviter que ce dernier ne rejoigne l'atmosphère ; on peut ainsi produire du méthane (CH<sub>4</sub>) qui peut être stocké pour une réutilisation ultérieure [6] (Figure 3).



Figure 3 – L'usine de Falkenhagen en Allemagne utilise l'énergie éolienne et l'électrolyse pour transformer l'eau en dihydrogène, qui est ensuite injecté dans le système existant de transport de gaz naturel régional. Source : Courtesy of Energy Storage GmbH.

### 2. Produire des biocarburants et des carburants de synthèse [7]

En partant de la biomasse (les végétaux), on étudie plusieurs procédés de synthèse d'hydrocarbures destinés à remplacer les combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon). On développe ainsi des procédés pour obtenir ces biocarburants à partir de déchets agricoles ou même d'algues (Figure 4).

### 3. Améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment et de la mobilité

La chimie participe à l'amélioration de la performance des matériaux de construction existants et

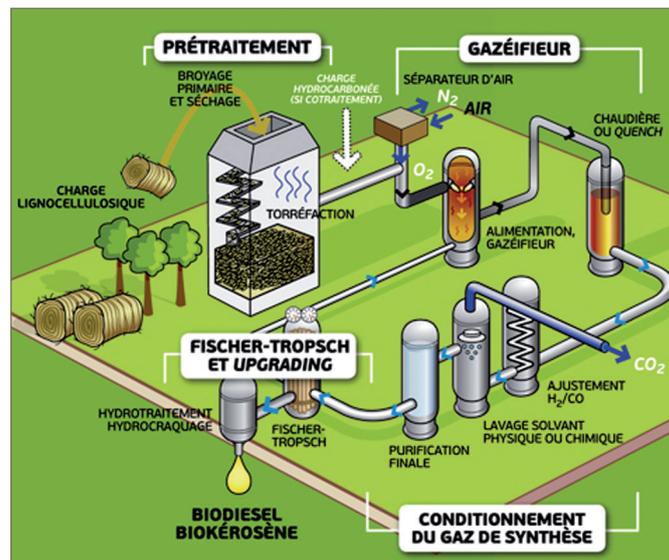


Figure 4 – Le projet BioTfuel à Dunkerque : développement d'un nouveau procédé de production de biocarburants à partir de déchets agricoles. Source : IFPEN.

à l'élaboration de nouveaux matériaux toujours plus performants. L'objectif est de réduire la demande d'énergie des bâtiments neufs et anciens, et pour cela d'assurer une meilleure isolation. Les récentes recherches ont abouti à des matériaux de résistance thermique quinze fois plus élevée que les matériaux de construction habituels (8).

Dans le domaine des transports, la chimie a également son importance : il s'agit d'économiser de l'énergie en diminuant la consommation des moteurs. Pour cela, il faut accomplir des progrès sur le poids des matériaux, l'aérodynamique et la propulsion utilisés. Parmi les progrès réalisés à ce jour, on peut citer ceux sur les avions qui consomment autant de carburant par personne qu'une voiture ou les voitures avec des moteurs hybrides (essence/électricité) (9).

## CONCLUSION

Bien gérer les ressources d'énergie qui nous entourent est indispensable pour notre confort. Que ce soit pour la production d'électricité ou l'utilisation des transports, les chimistes (10) ont également pour objectif d'anticiper les risques dus au changement climatique. En collaborant étroitement,

scientifiques, techniciens et industriels développent les améliorations qui façonneront notre monde dans quelques années.

## POUR EN SAVOIR PLUS

(1) Cette « chère » transition énergétique

<http://www.mediachimie.org/node/1163>

(2) Énergie et effet de serre

<http://www.mediachimie.org/node/2100>

(3) Une technique dévoilée : le captage de CO<sub>2</sub>

<http://www.mediachimie.org/node/1927>

(4) De la force musculaire aux énergies renouvelables (Chimie et... junior)

<http://www.mediachimie.org/node/1747>

(5) Elon Musk au secours des énergies renouvelables

<http://www.mediachimie.org/node/1794>

(6) L'hydrogène vert au secours des renouvelables

<http://www.mediachimie.org/node/1721>

(7) La biomasse, une source d'énergie d'avenir ?

<http://www.mediachimie.org/node/2586>

(8) La discrète révolution de la performance énergétique des bâtiments

<http://www.mediachimie.org/node/1614>

(9) De nouveaux véhicules automobiles pas très verts !

<http://www.mediachimie.org/node/2315>

(10) Les chimistes dans : Les énergies nouvelles face au développement durable

<http://www.mediachimie.org/node/2336>

**Noël Baffier**, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech, spécialité de recherches : science des matériaux

**Jean-Claude Bernier**, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

**Anthony Pichard**, professeur de physique chimie

**Grégory Syoën**, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie