

VERS UNE NOUVELLE SOCIÉTÉ ÉCONOME EN ÉNERGIE

Noël Baffier, Jean-Claude Bernier, Arnaud Charles

D'après l'article *Vivre en économisant cette « chère énergie »*
de Jean-Claude Bernier publié dans l'ouvrage « Chimie et enjeux énergétiques »,
EDP Sciences, 2013, ISBN : 978-2-7598-0973-8.

INTRODUCTION

L'énergie que nous dépensons n'est pas sans limites ; l'économiser est un objectif d'actualité, surtout en période de crise.

Quelques définitions. La calorie est l'énergie nécessaire pour élever d'un degré la température d'un gramme d'eau. Notre température d'équilibre fait que nos corps consomment environ 100 calories par heure, d'où une ration alimentaire normale qui ne devrait pas trop dépasser 2 400 calories par jour. Le **tableau 1** résume quelques unités énergétiques. Quelques ordres de grandeur : un enfant de 30 kg qui monte un escalier d'un étage consomme environ 1 Wh, soit 3 600 Joules, ou $3\,600/4,18 = 860$ calories ; un ouvrier qui creuse un trou dans le sol pendant 8h consomme 50 W/h, soit 43 000 calories.

Unité	Équivalents
1 calorie	4,18 joules
1 watt heure	3 600 joules
1 kWh = 1 000 Wh	3,6 giga joules
1 tWh = 1 000 gWh = 1 million de mWh	1 milliard de kWh

TABEAU 1 – UNITÉS D'ÉNERGIE.

Autres chiffres : la production d'électricité en France a été de 531 TeraWatt/heure (1 TWh = 10^{12} Watt) pour l'année 2016, dont 384 pour le nucléaire (72,3 %), 52 TWh pour les centrales thermiques (9,1 %), et 95 TWh (17,8 %) pour les énergies renouvelables (hydroélectricité 11,1 % ; éolien 3,9 % ; solaire 1,6 % ; bioénergies 1,2 %).

Par comparaison, une éolienne off-shore fournit en moyenne 0,1 TWh par an. Il faut 800 éoliennes de ce

type pour fournir autant d'énergie électrique qu'une unité de production d'une centrale nucléaire.

L'EFFET DE SERRE, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES RÉSERVES MONDIALES DE COMBUSTIBLES (1)

Une partie de l'énergie du soleil qui arrive sur la Terre est réfléchiée vers la stratosphère, laquelle contient des molécules de gaz qui ont pour effet de renvoyer une partie rayonnée vers le sol. C'est ce qu'on appelle « l'effet de serre » (cf. **Figure 1**).



Figure 1 – Effet de serre.

Sans effet de serre, la vie sur Terre serait difficile avec une température moyenne de -18 °C . Mais si cet effet devenait trop élevé, l'équilibre atmosphérique serait dérégulé, et la température moyenne de la Terre augmenterait très fortement.

Les gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau provenant des nuages, le dioxyde de carbone CO_2 , le

méthane CH_4 et les oxydes d'azote comme N_2O . La quantité de ces 3 derniers gaz a fortement augmenté depuis le début de l'ère industrielle en 1850 et plus encore depuis les 30 dernières années. On peut prévoir, qu'à ces vitesses-là, l'augmentation de la température moyenne de la Terre d'ici 2100 serait de l'ordre de 2 à 6 °C, conjuguée avec une élévation du niveau des océans de 5 à 50 cm.

Le dioxyde de carbone [2] provient de la combustion des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon), le méthane des zones humides et des fermentations (élevage d'animaux par exemple), l'oxyde d'azote des engrais azotés. En Europe, les secteurs les plus émetteurs de CO_2 sont la production d'électricité et de chaleur (32 %), les transports (23 %), le résidentiel (15 %).

Remarque importante. La consommation d'énergie issue des ressources fossiles est menacée. En effet, le pétrole, le gaz et le charbon ont mis des millions d'années à se former. Leur quantité encore exploitable est déjà passée par son maximum. Actuellement, en fonction des réserves connues et de la manière dont elles sont exploitées, on peut prévoir qu'il ne resterait qu'environ un quart des ressources exploitables dans une cinquantaine d'années. Il est donc impératif de prévoir dès maintenant « la transition énergétique » qui consiste à dépenser le moins possible d'énergie issue des ressources fossiles au profit de l'augmentation des énergies dites vertes ou renouvelables. Afin d'assurer au mieux cette transition, on s'assurera tout d'abord de ne pas gaspiller l'énergie actuelle qui provient essentiellement des énergies fossiles.

ÉNERGIE ET ISOLATION

En France, l'énergie dépensée par l'habitat et le tertiaire représente 23 % de la consommation. Pour l'économiser, il faut renforcer l'isolation [3] des habitats individuels et collectifs. Quand un bâtiment est chauffé, les échanges de température avec l'extérieur, plus froid, occasionnent des pertes de calories (voir Figure 2). On estime les pertes à 30 % par le toit, 16 % par les murs et le sol, 13 % par les fenêtres et 20 % par les ventilations. Quels matériaux isolants faut-il choisir ? Le tableau 2 montre que les métaux sont les meilleurs conducteurs de la chaleur, donc les moins bons isolants. Le verre et le béton entrent dans la moyenne. Le polystyrène expansé (PSE), la laine de verre sont de bons isolants, ainsi que les gaz rares comme l'argon. Depuis quelques années, il est obligatoire de fournir, pour chaque maison ou bâtiment, une évaluation précise de leur « capacité d'isolation », ou « diagnostic énergétique » qui permet de classer le bâtiment selon ses qualités d'isolation (voir Figure 3).

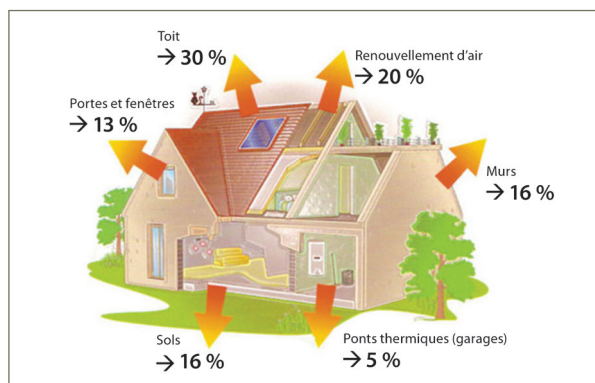


Figure 2 – Pertes de chaleur dans une habitation.

λ des métaux		λ . matériaux		λ gaz	
Argent	418	Verre	1,2-1,4	Air sec	0,026
Cuivre	390	Béton	0,9	Hélium	0,15
Aluminium	237	Bois chêne	0,16	Argon	0,017
Acier	46	Polystyrène expansé	0,036	Krypton	0,010
		Perlite expansée	0,038		
		Paille	0,04		
		Laine de verre	0,04		
		Laine	0,05		

TABLEAU 2 – CONDUCTIVITÉS THERMIQUES.

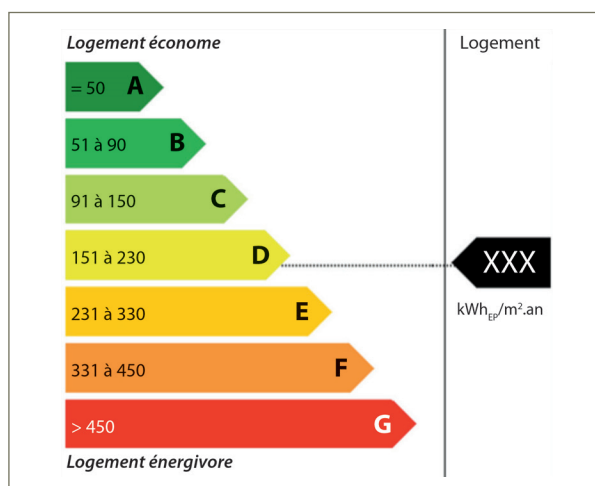


Figure 3 – Classement des habitations en fonction de leur efficacité énergétique.

ÉNERGIE ET TRANSPORTS

En France, les transports représentent 33 % des émissions de CO_2 . 70 % des voitures particulières sont à moteur Diesel, lesquels dégagent du CO_2 et des oxydes d'azote de manière plus importante. On peut estimer que l'automobiliste moyen émet 160 g de CO_2 /km, soit environ 2 tonnes par an. Comment la chimie peut-elle contribuer aux économies d'énergie et à un changement radical de comportement ?

Allègement des structures

Tout d'abord par l'allègement des structures, en remplaçant une partie de la carrosserie d'acier par des matériaux polymères en plus légers. Un allège-

ment de 100 kg se traduit en effet par une économie de carburant de l'ordre de 0,6 L/100 km.

Fabrication de biocarburants

Ensuite par la fabrication de biocarburants (voir Figure 4) qui sont de 2 types : soit l'alcool et ses dérivés provenant de la production de canne à sucre comme au Brésil ou de résidus agricoles et forestiers comme en Europe, soit les huiles végétales et leurs dérivés comme celles provenant du traitement des algues marines [4].

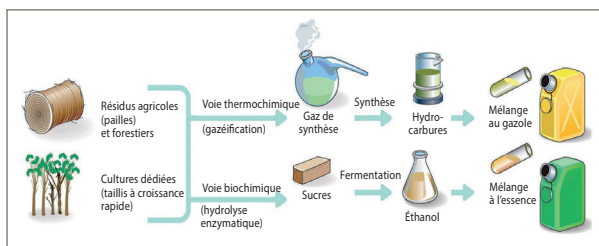


Figure 4 – Schéma de principe de fabrication des biocarburants. Source : IFPEN.

Le véhicule électrique [5]

L'idée est de remplacer le moteur thermique, consommateur d'énergies fossiles, par un moteur électrique dont le rendement est 3 fois meilleur. Le problème cependant est le stockage de l'énergie électrique dans une batterie à la place du carburant. Les réalisations actuelles utilisent des batteries à base de lithium (voir Figure 5) dont le rendement énergétique est de 72 % contre environ 20 % pour les moteurs Diesel ou à essence. De plus, un des gros avantages concerne l'émission de CO₂ qui est 14 fois moins importante, à performances égales, que pour un moteur à essence.

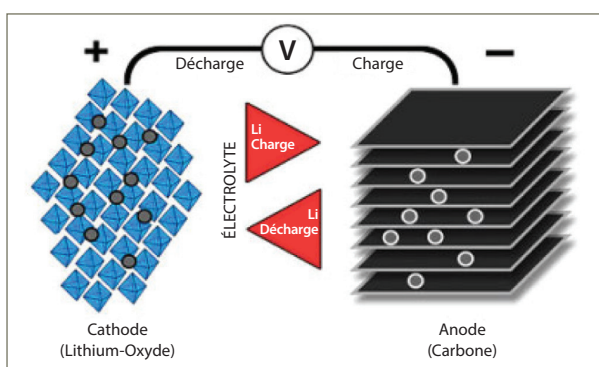


Figure 5 – Principe d'une batterie au lithium. Source : Battery University.

Conclusion

Il est clair que l'économie en France, y compris sur l'importation des carburants et le moindre impact à l'environnement, est favorable au véhicule électrique. Les progrès rapides actuels conduisant à une autonomie du véhicule de plus en plus grande (autour de 300 km en 2016) encourageront l'achat

de véhicules électriques [6], une baisse du coût de ceux-ci, et le développement sur le territoire d'une infrastructure de recharge rapide.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

L'énergie solaire

Le soleil est une source d'énergie naturelle et renouvelable à l'échelle de milliards d'années. On transforme l'énergie rayonnée en électricité grâce à des panneaux photovoltaïques [7] basés actuellement sur des semi-conducteurs tels que le silicium Si fabriqué à partir de la silice, principal constituant du sable. Les rendements sont de l'ordre de 18 % et la mise en œuvre de ces panneaux peut être réalisée sur de très grandes surfaces. En France, la part du solaire est de 1,6 % en 2016, et sa contribution ne fait qu'augmenter (voir Figure 6).



Figure 6 – Batterie de panneaux photovoltaïques.

L'énergie éolienne

De tout temps, l'énergie du vent a été exploitée, les moulins à vent ont parsemé la campagne jusqu'au XIX^e siècle. Les éoliennes modernes répondent au même principe : leur puissance étant proportionnelle à leur surface, la taille de leur diamètre varie de 70 m pour 1,5 à 2 MW à plus de 120 m pour 5 MW (voir Figure 7). En France, la part de l'éolien est de 3,9 % en 2016 et sa contribution ne fait qu'augmenter.

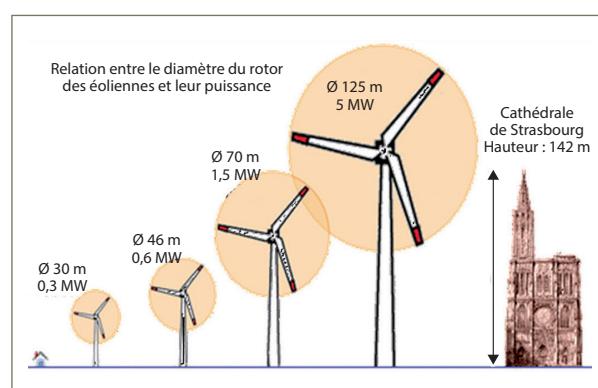


Figure 7 – Tailles respectives en fonction de la puissance.

Remarque importante. Les énergies éolienne et photovoltaïque sont intermittentes (voir Figure 8). Il faut donc pouvoir stocker l'énergie avec un réseau de raccordement intelligent pour faire face aux « à-coups de consommation » prévisibles, et créer par exemple des centrales thermiques de remplacement pouvant prendre le relais.



Figure 8 – Une énergie intermittente.
Source : INRA.

LE RECYCLAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES

Les ressources minières obéissent au même modèle que les ressources en pétrole : leur exploitation passe inévitablement par un sommet avant de redescendre. On peut rappeler par exemple que l'exploitation minière au XX^e siècle a été multipliée par 27 en 100 ans.

Le recyclage des métaux doit s'imposer inexorablement [8]. En France, le recyclage des métaux comme le fer et l'aluminium permet l'économie de 6 millions de tonnes équivalent pétrole, soit environ 3 % de la consommation totale d'énergie. Aussi, dès que l'on conçoit un nouveau produit, faut-il en compte son cycle de vie. C'est ce qu'on appelle « l'éco-conception ».

QUEL AVENIR POUR L'ÉNERGIE

Il n'est pas possible de prévoir le coût de l'énergie [9] avec précision, on peut seulement dire qu'il restera durablement élevé. Si les États émergents, la Chine, l'Inde, le Brésil, se mettent au niveau des États-Unis ou de l'Europe, ne serait-ce que pour le nombre de

véhicules pour 1000 habitants, alors on assistera à l'explosion de la demande en carburants, et on sait que ce qui est rare est cher.

Pour la demande en électricité, les énergies renouvelables viendront compléter le mix énergétique mais inévitablement elles contribueront à l'augmentation des prix pour le particulier et l'industrie qui devront investir en isolation et en efficacité énergétique pour diminuer la facture.

La transition énergétique, les économies d'énergie exigent de forts investissements. Seuls les particuliers et les pays riches et les gouvernements conscients et responsables pourront se le permettre [10].

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] Le changement climatique (chimie et ... Junior)
<http://www.mediachimie.org/ressource/le-changement-climatique>

[2] Nom de code CO₂
<http://www.mediachimie.org/ressource/nom-de-code-co2>

[3] La chimie au service de l'efficacité énergétique : comment concevoir un habitat performant ?
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-chimie-au-service-de-lefficacit%C3%A9-%C3%A9nerg%C3%A9tique-comment-concevoir-un-habitat-performant>

[4] La biomasse : un réservoir d'énergie pour demain (chimie et... Junior)
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-biomasse-un-r%C3%A9servoir-d%E2%80%99%C3%A9nergie-pour-demain>

[5] La voiture électrique : virage ou mirage
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-voiture-%C3%A9lectrique-virage-ou-mirage>

[6] Le transport ou le stockage de l'énergie électrique (chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/ressource/le-transport-ou-le-stockage-de-l%E2%80%99%C3%A9nergie-%C3%A9lectrique>

[7] Les panneaux solaires (animation)
<http://www.mediachimie.org/ressource/les-panneaux-solaires>

[8] Vie et recyclage des appareils et supports numériques (chimie et... junior)
<http://www.mediachimie.org/ressource/vie-et-recyclage-des-appareils-et-supports-num%C3%A9riques>

[9] La chimie : moteur d'une économie sobre en carbone
<http://www.mediachimie.org/actualite/la-chimie-moteur-dune-%C3%A9conomie-sobre-en-carbone>

[10] Les chimistes et l'énergie dans le monde (chimie et... Junior)
<http://www.mediachimie.org/ressource/les-chimistes-et-l%E2%80%99%C3%A9nergie-dans-le-monde>

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

Noël Baffier, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech

Arnaud Charles, professeur de physique chimie

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