



Christian Ngô

L'énergie

Ressources,
technologies
et environnement

3^e édition

Préface de Bernard Bigot

UniverSciences



DUNOD

L'énergie

Ressources, technologies
et environnement

Christian Ngô

Docteur ès sciences - Agrégé de l'université

3^e édition

DUNOD

DU MÊME AUTEUR

Physique quantique, introduction, Dunod

Physique statistique, introduction, Dunod

Les semi-conducteurs, Dunod

Déchets et pollution, Dunod

Le Soleil, Fayard

Consultez nos parutions sur dunod.com



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2002, 2008

ISBN 978-2-10-053941-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Préface

L'énergie est, au même titre que l'eau et la nourriture, une ressource indispensable à la vie. Son abondance relative a contribué de façon décisive au développement économique et technique au cours des âges. Celui-ci s'est accéléré dans des proportions exceptionnelles au cours du xx^{e} siècle, en premier lieu grâce à la découverte de sources d'énergies concentrées et aisément récupérables. L'apparition de l'électricité au xix^{e} siècle, et plus encore son développement au xx^{e} , a révolutionné l'usage de l'énergie dans de nombreux domaines : habitat et vie domestique, circulation et traitement de l'information, transports... Cependant, malgré les progrès considérables accomplis, les besoins élémentaires en énergie d'une part encore trop importante de l'humanité ne sont pas satisfaits.

Cette période d'énergie facile et peu coûteuse pour nos pays développés pourrait avoir une fin prochaine si nous ne savons pas nous projeter dans l'avenir et préparer la nouvelle génération de ressources énergétiques. En effet, alors que quelque 80 % de la production d'énergie primaire mondiale repose sur la combustion massive des combustibles fossiles, nous savons désormais qu'au rythme où nous les consommons, sauf changement radical de nos comportements, nous allons bouleverser le fonctionnement de la planète à une vitesse et dans des proportions qu'elle n'avait jamais connu sous le jeu des phénomènes

nes naturels. Et nous rapprocher dangereusement du moment de l'épuisement de ces ressources. Il nous faut réagir sans délai.

On focalise souvent l'attention du public sur des sources d'énergie qui ont un potentiel marginal de contribution au bilan énergétique, et qui plus est sans respecter suffisamment l'environnement, alors qu'on parle moins de celles qui peuvent dominer ce bilan et offrir des perspectives à long terme. En fait, le problème est complexe et aucun mode de production d'énergie ne peut répondre seul à tous les besoins. Les solutions dépendent de nombreux paramètres dont l'importance relative évolue au cours du temps.

Sachant ces enjeux, c'est pour moi un plaisir que de préfacier ce livre, car il représente une excellente introduction aux questions que l'on se pose naturellement sur l'énergie. Il donne les bases nécessaires pour comprendre ce sujet complexe sans privilégier une source plutôt qu'une autre. Cet ouvrage fournit de nombreux ordres de grandeur utiles et pertinents pour l'analyse des problèmes énergétiques. Il offre de manière simple, claire et fiable les éléments nécessaires pour que le lecteur se forge une opinion en fonction de ses propres critères et valeurs.

Après avoir présenté le contexte énergétique et les principales sources d'énergies (fossiles, renouvelables et nucléaire), ce livre décrit quelques utilisations de l'énergie et insiste sur son stockage qui est le point le plus difficile à résoudre. Le problème de l'impact de l'utilisation de l'énergie sur l'environnement et la santé est ensuite développé avant de conclure sur quelques perspectives. Cet ouvrage montre de manière précise que chaque source énergétique a ses avantages et ses inconvénients, et qu'il n'existe pas d'énergie parfaite permettant de satisfaire à tous nos besoins, à bas coût et sans impact sur l'environnement et la santé.

Il faut se garder de tout dogmatisme et essayer d'aborder les problèmes de la façon la plus objective possible. Cet ouvrage va dans ce sens et j'espère qu'il sera utile à tous ceux intéressés par ce domaine complexe, mais passionnant.

Bernard Bigot

Haut commissaire à l'énergie atomique

Table des matières

AVANT-PROPOS	XI
CHAPITRE 1 • NOTIONS DE BASE	1
1.1 Qu'est-ce que l'énergie ?	2
1.1.1 Unités	4
1.1.2 Équivalences	5
1.2 Énergie et développement	6
1.3 Le soleil	9
1.4 Consommation énergétique	12
1.5 L'effet de serre	15
1.6 Conclusion	17
CHAPITRE 2 • LES ÉNERGIES FOSSILES	19
2.1 Le Charbon	20
2.2 Le Pétrole	23
2.3 Le Gaz	26
2.4 L'Effet de serre	28
2.5 Les Réserves de combustibles fossiles	29
2.5.1 Réserves de pétrole	29
2.5.2 Réserves de gaz	33
2.5.3 Réserves de charbon	35
2.6 Conclusion	37

CHAPITRE 3 • LES ÉNERGIES RENOUVELABLES	39
3.1 L'énergie hydraulique	41
3.2 L'énergie solaire	45
3.2.1 Le solaire thermique	46
3.2.2 Le solaire photovoltaïque	48
3.3 L'énergie éolienne	52
3.4 La biomasse	57
3.5 L'énergie géothermale	61
3.6 L'énergie des déchets	64
3.7 Conclusion	66
CHAPITRE 4 • L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE	71
4.1 Atomes et noyaux	72
4.2 La Radioactivité	73
4.3 Masse et énergie	76
4.4 La fission	78
4.5 Les Réactions en chaîne	79
4.6 Les Réacteurs nucléaires	80
4.7 Les Réacteurs naturels	82
4.8 Les réacteurs électrogènes	83
4.9 Le combustible	86
4.10 Production d'électricité	88
4.11 Les réacteurs à neutrons rapides	90
4.12 Les déchets	92
4.13 Que faire des déchets ?	94
4.14 Les réserves d'uranium	97
4.15 Conclusion	99
CHAPITRE 5 • UTILISATION ET STOCKAGE	101
5.1 L'électricité	101
5.1.1 Évolution de la consommation	102
5.1.2 Production	102
5.1.3 Courant alternatif ou continu ?	103
5.1.4 Production centralisée ou décentralisée ?	103
5.1.5 Transport	104
5.2 La chaleur	105
5.3 Cogénération et trigénération	106
5.4 Les transports	107
5.5 Le stockage de l'énergie	108
5.5.1 Hydraulique	108
5.5.2 Batteries	108
5.5.3 Supercondensateurs	109

5.5.4	Volants d'inertie	110
5.5.5	Air comprimé	110
5.5.6	Stockage de la chaleur	111
5.6	L'hydrogène	112
5.6.1	Production	113
5.6.2	Transport	114
5.6.3	Stockage	115
5.6.4	Utilisations	115
5.6.5	Les dangers	116
5.7	Les piles à combustible	117
5.8	Conclusion	120

CHAPITRE 6 • ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT 123

6.1	L'Effet de serre	124
6.1.1	Un climat toujours en évolution	124
6.1.2	L'environnement	125
6.1.3	L'effet de serre	127
6.2	Les Combustibles fossiles	130
6.3	Les transports	131
6.4	Les énergies renouvelables	133
6.5	L'énergie nucléaire	135
6.5.1	Unités de radioactivité	135
6.5.2	Radioactivité naturelle et artificielle	136
6.5.3	Incidents et accidents	138
6.6	La radioactivité et le vivant	140
6.7	Conclusion	142

CHAPITRE 7 • PERSPECTIVES 145

7.1	Les combustibles fossiles	146
7.2	Les Énergies renouvelables	147
7.3	Le nucléaire du futur	149
7.4	L'habitat	152
7.5	Les transports	153
7.6	La fusion thermonucléaire	156
7.7	Le stockage de l'énergie	160
7.8	Les négawattheures	162
7.9	Conclusion	164

BIBLIOGRAPHIE 145

INDEX 151

Unités de mesure de l'énergie et facteurs de conversion

Unités	
1 calorie	4,186 joules
1 kWh	$3,6 \times 10^6$ joules
1 thermie	$4,186 \times 10^6$ joules
1 Btu (<i>British thermal unit</i>)	$1,055 \times 10^3$ joules
1 quad	10^{15} Btu
1 baril de pétrole	159 litres
1 U.S. gallon	3,785 litres
Facteurs de conversion [1]	
1 tep (PCI)	42×10^9 joules
1 tec (PCI)	$29,3 \times 10^9$ joules
1 000 m ³ gaz naturel (PCI)	36×10^9 joules
1 tonne gaz naturel liquide	46×10^9 joules
1 000 kWh (primaire)	0,0857 tep (hydraulique)
1 000 kWh (primaire)	0,26 tep (nucléaire)
1 tonne uranium naturel (REP)	$4,2 \times 10^{14}$ joules