



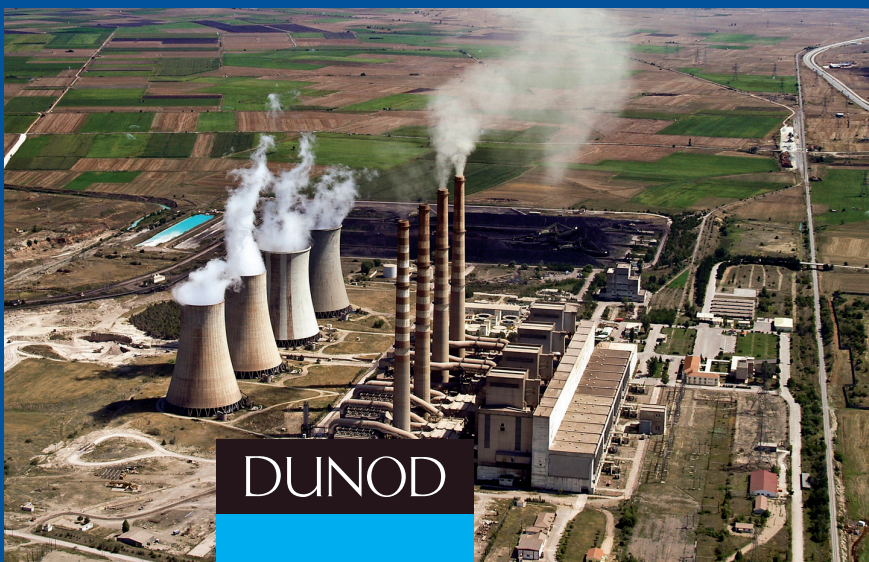
Estelle Iacona
Jean Taine
Bernard Tamain

Les enjeux de l'énergie

Après Fukushima

2^e édition

UniverSciences



DUNOD

Table des matières

Avant-propos	V
Introduction	I
I État des lieux	9
I.1 Consommation d'énergie dans le monde	10
I.1.1 Consommation d'énergie primaire par pays	10
I.1.2 Répartition par vecteurs de l'énergie	15
I.1.3 Consommation d'énergie et émission de CO ₂	20
I.1.4 Consommation finale d'électricité	22
I.1.5 Répartition par secteurs de la consommation finale en France	26
I.2 Réserves d'énergie non renouvelables	30
I.2.1 Sources d'énergie fossiles et minérales	30
I.2.2 Définition des réserves	33
I.2.3 Réserves mondiales prouvées	34
I.2.4 Répartition géographique des réserves prouvées	37
I.3 Les énergies renouvelables : ressources et limites	42
I.3.1 Le rôle clé du soleil	43
I.3.2 Répartition, dispersion et intermittence	47
I.3.3 Les gisements disponibles en théorie	50
I.3.4 Les évolutions des énergies renouvelables dans le monde	52
2 Contexte, contraintes et défis des futures décennies	57
2.1 Croissance de la consommation mondiale d'énergie	58
2.1.1 Croissance de la population mondiale	58
2.1.2 Consommation mondiale d'énergie par habitant	58
2.1.3 Croissance de la consommation d'énergie pour la fourniture d'eau	60
2.1.4 Facteurs contribuant à la diminution de la consommation d'énergie	64
2.2 Énergie et contraintes environnementales	65
2.2.1 Pollution d'origine non nucléaire	66
2.2.2 Pollution liée à un accident nucléaire	74
2.2.3 Gestion des déchets	79

2.3	Énergie et développement durable	84
2.3.1	Énergies renouvelables et territoires	85
2.3.2	Contraintes sur les matériaux clés	87
2.3.3	Coûts directs et coûts externes	91
2.3.4	Un exemple de développement durable	94
2.4	Acceptation sociale des technologies de l'énergie	97
2.4.1	Le rôle des médias	97
2.4.2	La perception des risques	98
2.4.3	L'arbitrage par les citoyens	101
2.5	La question du CO ₂	102
2.5.1	Les gaz à effet de serre	102
2.5.2	Vers une captation et une séquestration de CO ₂ ?	105
2.6	La question nucléaire	106
3	Voies futures et prospectives	115
3.1	Maîtrise de la consommation	116
3.1.1	Attitude du citoyen vertueux	116
3.1.2	Politique publique et réglementation pour le bâtiment	118
3.1.3	Transport et mobilité	120
3.2	Des sources vers les vecteurs : procédés de production	124
3.2.1	Vecteur gazeux : l'hydrogène	125
3.2.2	Vecteurs liquides	134
3.2.3	Vecteur électricité	137
3.2.4	Vecteurs chaleur	145
3.2.5	Cogénération d'électricité et de chaleur	148
3.2.6	Vers des vecteurs issus de la fusion au XXI ^e siècle ?	150
3.3	Solutions techniques futures pour l'utilisation de l'énergie	152
3.3.1	Nouvelles technologies pour le bâtiment	152
3.3.2	Éléments prospectifs sur l'automobile	170
3.3.3	Trois enjeux majeurs conditionnés par la recherche	184
	Conclusion	201
	Glossaire	209
	Annexe	215
	Bibliographie	219
	Index	225

Chapitre I

État des lieux

La consommation d'énergie, à commencer par la satisfaction des besoins élémentaires de l'Homme (chauffage, éclairage, alimentation, transport, etc.) est un droit fondamental qui, dans les faits, est loin d'être accessible à toute la population mondiale. La minorité qui en jouit peut user, pratiquement sans limites et à faible coût, des vecteurs énergétiques à sa disposition, comme si les réserves étaient illimitées. En effet, la donne énergétique est fortement liée au niveau de développement d'un pays ou à ses perspectives de développement.

Aujourd'hui, la consommation d'énergie repose de façon prépondérante sur les énergies d'origines fossile (charbon, pétrole, gaz), minérale (uranium) et marginalement sur les énergies renouvelables. Le paragraphe 1.1 traite des consommations d'énergie d'origine fossile, minérale ou renouvelable, en 2009, dernière année pour laquelle des statistiques complètes sont disponibles, dans des pays représentatifs et dans le monde. Les évolutions de ces consommations et des indicateurs clés lors de la dernière décennie sont également analysées. Comme les durées des mutations énergétiques sont longues, de quelques décennies, cette analyse servira de base à l'étude prospective de la consommation d'énergie en 2050 dans le paragraphe 2.1. Le paragraphe 1.2 aborde la question des réserves et limites des énergies fossiles

et minérales, tandis que le paragraphe 1.3 est consacré aux ressources renouvelables et à leurs limitations.

1.1 Consommation d'énergie dans le monde

Les consommations d'énergie primaire de différents pays de l'Europe¹ et du monde et leurs évolutions sur dix ans sont d'abord comparées et analysées en fonction de la croissance démographique, du niveau de développement du pays et du climat. La répartition de cette consommation primaire par types d'énergie est ensuite abordée en fonction du niveau de développement des pays. Le poids actuellement prépondérant de l'usage d'une combustion dans la consommation, principale cause d'émissions de gaz carbonique (CO₂) d'origine humaine, sera mis en évidence. Enfin, la répartition de la consommation d'énergie finale par secteurs d'activités (résidentiel et tertiaire, transports, industrie) est détaillée dans le cas d'un pays développé représentatif, la France.

1.1.1 Consommation d'énergie primaire par pays

▷ Grande disparité de la consommation d'énergie

La consommation d'énergie dans le monde est caractérisée par une très grande disparité. Pour l'illustrer, les consommations d'un certain nombre de pays de l'Europe et du monde entier

1. L'Europe est ici une entité géographique comprenant : Albanie, Allemagne, Autriche, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Gibraltar, Grèce, Hongrie, Îles Feroe, Islande, Irlande, Italie, Luxembourg, Macédoine, Malte, Monténégro, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie. Elle est à distinguer de l'Union Européenne, entité politique.

ont été rassemblées dans le tableau 1.1. La Chine et l'Inde, qui rassemblent 37 % de la population mondiale, ne consomment actuellement que 24 % de l'énergie primaire. L'Éthiopie représente un peu plus de 1 % de la population mais seulement 2,5 dix millième de la consommation mondiale. Autres cas extrêmes, les États-Unis et le Canada représentent 5 % de la population du monde et 22 % de sa consommation. Ces deux états et les pays développés utilisent massivement des réserves limitées et qui ne se trouvent généralement pas sur leurs territoires. Les consommations primaires annuelles moyennes par habitant en 2009 varient de 0,03 tep/hab./an en Éthiopie à 8,4 tep/hab./an au Canada. La moyenne de la consommation primaire mondiale annuelle par habitant de 1,8 tep est aussi celle de la Chine, qui a été multipliée par plus de 2,5 en dix ans ! La plupart des pays développés européens et le Japon ont une consommation moyenne de 4 à 5 tep/hab./an. Ces valeurs de consommation, extrêmement différentes d'un pays à l'autre, résultent du niveau de développement, mais aussi à niveau de développement comparable, du mode de vie et du climat et souvent d'une mauvaise gestion de l'énergie, contraire au développement durable.

Tableau 1.1

Données clés de l'énergie en 2009 (première colonne de chaque rubrique) et pourcentages associés de variation de 2000 à 2009 (deuxième colonne). Adaptés des données* de l'EIA [1].

	Énergie primaire/An		Énergie primaire / Hab/An		Population		Intensité énergétique		Émission de CO ₂ /Habitant	
	Mtep/An	%	tep / Hab/An	%	Millions d'hab.	%	kep/euro 2011	%	Tonne/ Habitant	%
Allemagne	336	-5	4,1	-5	82	0	0,15	-9	9	-9
Brésil	180	5	0,9	-7	199	13	0,33	-6	2	12
Canada	281	3	8,4	-4	33	8	0,37	-10	16	-11
Chine	2338	166	1,8	154	1324	5	0,85	4	6	155
États-Unis	2378	0	7,7	-8	307	9	0,24	-15	18	-12
Éthiopie	3	100	0,03	50	85	33	0,23	3	0,08	59
Europe	1961	1	3,2	-3	604	4	0,17	-10	7	-6
France	276	2	4,4	-3	63	5	0,16	-9	6	-7
Inde	530	62	0,5	41	1157	15	0,60	-16	1	44
Japon	508	-9	4,0	-9	127	0	0,15	-11	9	-5
Russie	703	6	5,0	11	140	-5	1,03	-33	11	6
Suède	44	0	4,8	-1	9	2	0,18	-20	6	-23
Suisse	28	4	3,7	-1	8	5	0,10	-13	6	-5
Turquie	97	30	1,3	14	77	14	0,25	-3	3	22
Monde	11983	26	1,8	14	6777	11	0,31	-2	4	17

* Les données sur l'énergie primaire incluent les énergies fossiles et minérales, les énergies renouvelables électriques et les agrocarburants, mais non les autres énergies renouvelables thermiques ; ce dernier point est discuté au début du paragraphe 1.1.2. Les modes de calculs de l'EIA diffèrent légèrement de ceux de l'administration française, ce qui modifie légèrement les données françaises. Seules les pertes en lignes ont ici été prises en compte pour les énergies renouvelables électriques.

▷ *Intensité énergétique*

Plus qu'à la population d'un pays, c'est au *produit intérieur brut* (PIB), qui dépend néanmoins fortement de la population, que la consommation d'énergie primaire est corrélée. L'intensité énergétique permet de mesurer l'efficacité énergétique d'un pays de produit intérieur brut donné : elle est définie comme la consommation primaire annuelle rapportée au produit intérieur brut. En d'autres termes, c'est la consommation primaire d'énergie par euro de richesse produite ; elle est exprimée ici en kep/euro constant de 2011. Dans les faits, les intensités énergétiques 2009 des pays développés, comprises dans la fourchette 0,10 à 0,25 kep/euro 2011 sont, à l'exception notable du Canada, inférieures à celles des pays du tiers monde, comme l'Éthiopie, très peu consommateurs d'énergie. Le groupe de pays dit BRIC (Brésil, Russie, Inde, Chine) qui appartiennent au G20 ont des intensités énergétiques élevées en 2009. En effet, leur croissance souvent forte est accompagnée d'une consommation d'énergie qui n'est pas encore rationalisée. Dans le cas de la Chine, qui se présente comme « l'usine du monde », la prépondérance de l'industrie de transformation par rapport aux services est une cause majeure d'augmentation de l'intensité énergétique. Inversement, l'intensité énergétique des pays en voie de désindustrialisation a tendance à baisser.

Parmi les pays développés, certains comme l'Allemagne, le Japon, la France et surtout la Suisse ont une intensité énergétique faible ; leurs dispositifs énergétiques sont plus performants que ceux des États-Unis ou du Canada, dans la mesure où les services n'y sont pas plus développés. Aux États-Unis, l'usage des trans-

ports en commun est très limité, à l'exception de l'avion. Chaque adulte utilise une voiture ; les trajets domicile-travail dans les mégapoles donnent lieu à des embouteillages permanents de véhicules à un seul occupant, comme en attestent les files destinées au covoiturage, généralement vides. D'autre part, l'usage de climatiseurs, régulés à 20 °C en période de canicule, est immodéré ; de nombreuses villes, construites en plein désert comme Dallas et Phoenix, ne doivent leur survie qu'à la climatisation. Cependant, les États-Unis ont connu, dans la dernière décennie, une forte décroissance de l'intensité énergétique alors que la croissance du PIB était importante. C'est une première manifestation de la prise de conscience des enjeux énergétiques. Il est, en effet, aisé pour un pays de diminuer l'intensité énergétique à partir d'une situation initiale correspondant à un usage immodéré de l'énergie. Le cas du Canada est proche de celui des États-Unis. L'intensité énergétique élevée du Canada est, cette fois, en partie due à des conditions climatiques rigoureuses l'hiver. Le climat est, pour un pays développé, un facteur qui affecte fortement l'intensité énergétique.

Un fait positif est que, dans la dernière décennie, la décroissance de l'intensité énergétique a été pratiquement générale, sauf en Chine dont l'économie repose sur des industries de transformation.

▷ *Une consommation mondiale d'énergie en forte croissance*

La consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 26 % de 2000 à 2009, alors que la population n'a cru dans la même période que de 14 %. Cette donnée pose de façon cru-

ciale le problème de la gestion dans l'avenir des réserves fossiles et minérales qui sont limitées (voir paragraphe 1.2).

Un fait à souligner est que 60 % de cette augmentation sont dus à la seule Chine ! Ce pays, qui rassemble moins de 20 % de la population mondiale et dont le taux de croissance de la population n'est que de 5 %, est en effet en cours d'expansion vertigineuse ! Dans ces conditions, la croissance de la consommation annuelle d'énergie par habitant est, d'ailleurs, extrêmement élevée. La Chine est devenue en 2011 le premier pays consommateur d'énergie au monde. L'Inde, ainsi que des pays en croissance comme la Turquie, contribuent aussi à l'accroissement de la consommation d'énergie. Si la consommation annuelle d'énergie primaire par habitant croît modérément en Turquie, elle croît fortement en Inde. Elle décroît, au contraire, faiblement dans tous les pays développés.

1.1.2 Répartition par vecteurs de l'énergie

La comptabilité des consommations primaires associées aux vecteurs de l'énergie d'origine fossile (pétrole, charbon, gaz) ou minérale (uranium) est clairement établie dans la mesure où ces vecteurs relèvent du commerce mondial. La comptabilité de l'ensemble des consommations d'énergie d'origine renouvelable est plus complexe. Certaines énergies renouvelables sont exploitées directement sous forme de chaleur et sont appelées thermiques : c'est le cas de la plus grande partie de la biomasse (bois et dérivés du bois) mais aussi du solaire thermique et de la géothermie, etc. ; les agrocarburants, qui dérivent de biomasse, sont également utilisés dans des moteurs thermiques. D'autres

énergies renouvelables conduisent uniquement à la production d'électricité (hydraulique, éolien, solaire photovoltaïque, énergie des mers, etc.) ou y contribuent (biomasse, déchets urbains, etc.) : elles sont appelées « énergies renouvelables électriques ». Faire un bilan précis de la production et la consommation d'énergie renouvelable électrique et des agrocarburants dans le monde est aisé, car ces formes d'énergie sont commercialisées : il n'est pas rentable de consommer sur place l'électricité produite par voie éolienne ou solaire, sauf en un site isolé. Ces énergies ne sont, à ce jour, rentables que grâce à des subventions. À l'exception des agrocarburants, les énergies renouvelables thermiques reposent toujours de façon prépondérante, dans le monde entier, sur la combustion du bois et de ses dérivés par des particuliers, usage ancestral mais le plus toxique de tous ! Cette ressource est très loin d'être entièrement commercialisée. Le bois est consommé par ses producteurs ou échangé massivement dans une économie parallèle (troc), même dans les pays développés. D'autre part, les capteurs solaires thermiques des toitures conduisent à une production délocalisée de chaleur, pour l'eau chaude sanitaire le plus souvent, qui est généralisée dans certains pays mais peut difficilement être quantifiée. Il n'existe pas, de ce fait, de statistiques fiables sur la consommation finale de chaleur issue de sources renouvelables. Les données de l'EIA, qui nous servent de référence, ne l'incluent pas. Notons cependant que dans les statistiques officielles françaises, les énergies renouvelables thermiques, dont les modes de calcul ne nous sont pas connus, représenteraient plus de la moitié du total des énergies renouvelables produites en France ! Dans ces conditions, le tableau 1.2, adapté

des données de l'EIA [1], réalisé pour l'année 2009, repose sur toutes les énergies d'origine fossile ou minérale, ainsi que sur les énergies renouvelables électriques et les agrocarburants¹. Des ordres de grandeur des consommations d'énergies renouvelables thermiques seront donnés dans le paragraphe 1.3.

▷ *Le cas des pays développés*

Dans tous les pays développés, le pétrole est prédominant (sauf en France) et représente environ 40 % de la consommation primaire. Le gaz naturel et le charbon ont généralement des poids comparables, de l'ordre de 20 % de celle-ci. Le gaz naturel est moins développé au Japon et en France. Le charbon joue un rôle minime dans l'exception française. Son usage y est essentiellement lié à la sidérurgie. La place du nucléaire, singulière en France en dépassant le pétrole, représente de 0 à 25 % de la consommation primaire dans les autres pays développés, sauf en Suède qui rivalise avec la France.

Il ressort de cette analyse que la politique énergétique française a, jusqu'à ce jour, radicalement différé de celle menée par les autres pays européens. Le rôle important joué par l'énergie nucléaire et le rôle minime du charbon ont contribué, d'une part, à limiter les pollutions de l'air par les oxydes d'azote et de soufre notamment (le charbon est le vecteur fossile qui crée le plus de pollution) et, d'autre part, à limiter les émissions de CO₂ en diminuant le recours à la combustion. Inversement, la question nucléaire est posée de façon très aigüe en France, ce qui sera discuté dans

1. Pour les mêmes raisons, les énergies renouvelables thermiques, autres que les agrocarburants, n'ont pas été intégrées dans les décomptes d'énergie primaire du tableau 1.1.

le paragraphe 2.6. Cette singularité de la politique énergétique française trouve son origine dans l'absence quasi totale de réserves fossiles, cas comparable à celui du Japon, contrairement à la situation de nombreux pays voisins qui possèdent des gisements de gaz naturel ou de charbon.

Tableau 1.2

Ventilation de la consommation primaire d'énergie en 2009 par vecteur initial* (en %). Adaptée des données de Mars 2011 de L'EIA [1].

	Pétrole	Gaz	Charbon	Électricité Nucléaire	ENR électriques	Agro-carburants
Allemagne	39	25	23	11	2	1,0
Brésil	47	10	7	2	20	13,6
Canada	41	28	10	9	12	0,4
Chine	19	3	75	1	2	0,1
Danemark	48	24	23	0	5	0,0
États-Unis	42	25	21	9	2	1,6
Éthiopie	89	0	0	0	10	0,2
Europe	42	26	16	12	4	0,6
France	36	17	4	40	2	1,1
Inde	31	10	56	1	2	0,1
Japon	47	18	21	12	2	0,0
Russie	21	56	15	6	2	0,0
Suède	42	3	3	36	16	0,6
Suisse	52	11	0	25	12	0,0
Monde	38	23	30	6	3	0,7

*De l'électricité est aussi massivement produite, comme vecteur secondaire, à partir de charbon (Chine, Inde, États-Unis,...), pétrole ou gaz (pays européens,...). Les consommations primaires du tableau 1.2 (comme celles du tableau 1.1) incluent les consommations non énergétiques d'un pays (charbon pour la sidérurgie, pétrole pour la chimie, etc.).

Hors hydraulique, le recours aux énergies renouvelables commercialisées est faible, voire marginal, dans la plupart des pays développés, en particulier la France. La Suède, la Suisse et le Canada font exception ; la contribution des énergies renouvelables électriques et des agrocarburants à la consommation d'énergie primaire y dépasse 12 %. Les énergies renouvelables électriques seront abordées en détail dans le paragraphe suivant. Notons que seuls les agrocarburants, inexistant il y a dix ans, sont en forte croissance, mais ils sont très contestables (voir paragraphe 2.3.1).

▷ *Les cas du Brésil, de la Russie, de l'Inde et de la Chine*

Les consommations d'énergie primaire de ces quatre pays du G20 diffèrent à la fois entre elles et de celles des pays développés mentionnés précédemment. En Inde et en Chine, le charbon joue un rôle prédominant devant le pétrole, et même prépondérant en Chine ; sa consommation est en forte croissance dans ces deux pays. Le Brésil est un pays producteur de pétrole, dont la production couvre un peu plus que ses besoins. Une de ses grandes originalités est d'être le pays qui a le plus investi dans les énergies renouvelables (38 % de la consommation d'énergie primaire), tant en hydraulique qu'en agrocarburants. Symétriquement, l'économie de l'énergie en Russie repose sur la domination du gaz naturel : l'entreprise Gazprom est la première entreprise énergétique au monde.

▷ *L'exemple de l'Éthiopie*

L'Éthiopie est représentative des pays du tiers monde qui consomment très peu d'énergie, si ce n'est l'énergie non commercialisée du bois et ses dérivés. Le pétrole est prépondérant dans

la consommation primaire, mais l'électricité est principalement fournie par l'hydraulique dans ce cas particulier.

1.1.3 Consommation d'énergie et émission de CO₂

En fonction du type de réserve fossile ou de ressource renouvelable utilisé, la consommation primaire d'énergie est accompagnée d'une émission de CO₂ variable. La plupart de ces émissions sont dues à une combustion. Le tableau 1.3 ne prend en compte que les émissions liées à la combustion totale de vecteurs énergétiques, à l'exclusion des émissions liées à la fabrication, à la maintenance ou bien, en fin de vie, au recyclage ou à la destruction des systèmes de production de ces vecteurs. De ce point de vue, la production de vecteurs de l'énergie à partir du nucléaire ou d'énergies renouvelables, hors les agrocarburants, est accompagnée d'émissions de CO₂ négligeables. Même si les émissions de CO₂ issues de l'utilisation des agrocarburants appartiennent au cycle naturel du carbone et ne sont pas à prendre en compte, les émissions de CO₂ « non naturel » liées à l'ensemble de la filière d'élaboration des biocarburants sont importantes (voir paragraphe 1.3.1.). Ces émissions et les inconvénients majeurs des agrocarburants actuels, qui conduisent à les rejeter dans certains pays, devraient être sensiblement réduits avec les technologies du futur. Si la combustion d'hydrogène ne produit pas de CO₂ mais uniquement de la vapeur d'eau, l'hydrogène ne présente d'intérêt que s'il est produit par électrolyse de l'eau à partir d'une électricité issue de voies renouvelables ou nucléaires, pratiquement sans émission de CO₂. Cependant, les procédés industriels les plus courants, gazéification de charbon et vaporéformage de gaz natu-

rel (voir paragraphe 3.2.), émettent des quantités considérables de CO_2 . Contrairement à une idée répandue, la combustion de gaz naturel conduit à des émissions importantes de CO_2 , 80 % de celles liées à la combustion de produits pétroliers, pour fournir la même énergie. D'autre part, l'usage du charbon conduit au taux d'émission de CO_2 le plus élevé, double de celui du gaz naturel.

Les émissions de CO_2 par habitant issues des vecteurs de l'énergie d'origine fossile sont reportées sur le tableau 1.1 pour différents pays, en 2009. Les États-Unis, qui représentent moins de 5 % de la population mondiale, sont responsables de 18 % des émissions mondiales de CO_2 , largement dépassés depuis quelques années par la Chine (26 % des émissions). De plus, la croissance des émissions en Chine est tout aussi vertigineuse que la croissance de sa consommation d'énergie (tableau 1.1). L'Europe n'est responsable que de 14 % de ces émissions. Un pays développé, hors États-Unis ou Canada, émet de façon générale, 9 à 10 tonnes de CO_2 par habitant et par an, à moins de recourir massivement aux énergies renouvelables et/ou nucléaires (6 tonnes de CO_2 par habitant et par an en Suisse, Suède et France).

Les émissions de CO_2 d'origine anthropique sont dues au fait qu'environ 87 % de la consommation d'énergie primaire dans le monde passe actuellement par la combustion de vecteurs fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel). En Suède, France et Suisse, seulement 48 %, 57 % et 63 % de l'énergie primaire consommée est issue d'une telle combustion, du fait des contributions importantes de l'électronucléaire et/ou des énergies renouvelables.

Si la réduction des émissions de CO₂ était un objectif politique majeur dans le monde, la première voie d'amélioration serait de diminuer la prépondérance absolue de la combustion. En effet, le potentiel raisonnable d'énergies renouvelables exploitable est important, surtout en partant de très bas comme en France, mais limité (paragraphe 1.3). Les alternatives à grande échelle sont une diminution de l'intensité énergétique (consommer beaucoup moins pour des services équivalents) ou le recours à l'énergie nucléaire, discuté dans le paragraphe 2.6. Cependant, le taux atmosphérique de CO₂ évolue à l'échelle mondiale ; il dépend essentiellement de la croissance économique et de l'intensité énergétique en Chine et en l'Inde, fortement des consommations aux États-Unis et au Canada, assez modérément des consommations en Europe. La conférence de Copenhague sur le réchauffement climatique a révélé l'absence de consensus mondial sur ce thème, au delà d'une communion dans la communication.

1.1.4 Consommation finale d'électricité

L'électricité est une forme noble de l'énergie et un vecteur de celle-ci, qui est transporté sur des distances moyennes (centaines de kilomètres) avec seulement quelques pourcents de pertes en ligne. Son inconvénient majeur est de ne pouvoir être stockée très massivement, sauf par voie hydraulique¹. L'électricité est un vecteur en croissance forte dans tous les pays du monde. D'autre part, c'est le vecteur quasi exclusif de l'énergie nucléaire, mais elle est aussi issue de nombreuses formes d'énergies renouvelables,

1. On peut, avec de l'électricité, remonter de l'eau derrière un barrage, eau dont le turbinage ultérieur permet de produire à nouveau de l'électricité.

y compris thermiques (énergie de combustion de déchets par exemple).

La production d'énergie électrique prend des formes très diverses dans le monde, y compris dans les pays développés. Des politiques très différentes sont suivies au sein de l'Union Européenne, en fonction des réserves fossiles et des ressources renouvelables de chaque pays, mais aussi des sensibilités de l'opinion publique à un type de risque ou de pollution. Un autre aspect est déterminant dans le cas du nucléaire : l'existence ou non dans un pays d'une politique d'indépendance nationale fondée sur la théorie de la dissuasion nucléaire (cas des États-Unis, de l'ex-URSS et de la Russie, du Royaume-Uni, de la France, mais aussi de la Chine, etc.). Les investissements et les compétences en nucléaire militaire ont des retombées dans le nucléaire civil, bien que les techniques diffèrent. L'industrie du cycle du combustible (nucléaire) est partagée entre secteurs civil et militaire ; les usines d'enrichissement de l'uranium ont des missions civiles et militaires. En France, le CEA est l'organisme de recherche dominant des secteurs nucléaires civil et militaire. Au cours de leurs carrières, nombre d'ingénieurs de haut niveau passent d'un secteur à l'autre.

Dans la plupart des pays, la production d'électricité est dominée par un vecteur : nucléaire (l'exception française), charbon (Chine, Inde, États-Unis), pétrole (Arabie Saoudite), gaz (Russie). Les énergies renouvelables dominent la production d'électricité au Canada, en Suède et en Suisse, et même de façon prépondérante au Brésil et en Éthiopie.

Tableau 1.3

Ventilation de la consommation finale d'électricité en 2009 (en %) : tableau de gauche : électricité d'origine nucléaire, conventionnelle (charbon, pétrole, gaz), renouvelable ; tableau de droite : ventilation par type d'énergie renouvelable. Adaptée des données de Mars 2011 de l'EIA [1].

	Hydr.	Géoth	Éolienne	Soleil, Mer	Biomasse
	3	0,0	6,5	1,06	6,9
	0	0,0	0,0	0,00	0,0
	84	0,0	0,3	0,00	4,6
	60	0,0	0,6	0,01	1,3
	16	0,0	0,7	0,01	0,1
	0	0,0	19,2	0,01	10,8
	7	0,4	1,8	0,02	1,7
	88	0,3	0,0	0,00	0,0
	11	0,0	1,4	0,12	1,1
	13	0,0	1,8	0,01	0,2
	8	0,3	0,3	0,22	1,6
	18	0,0	0,0	0,00	0,3
	50	0,0	1,8	0,00	8,8
	55	0,0	0,0	0,05	3,6
	2	0,0	2,3	0,00	3,5
	19	0,8	0,8	0,00	0,1
	16	0,3	3,2	0,21	3,0
	16	0,3	1,1	0,06	1,3

	Nuc.	Conv.	Ren.
Allemagne	23	60	18
Arabie Séoudite	0	100	0
Brésil	3	8	89
Canada	14	24	62
Chine	2	81	17
Danemark	0	70	30
États-Unis	20	69	11
Éthiopie	0	12	88
France	76	10	14
Inde	2	84	15
Japon	27	63	10
Russie	17	66	18
Suède	37	3	60
Suisse	41	1	59
Royaume Uni	19	74	7
Turquie	0	79	21
Europe	25	53	22
Monde	14	67	19

Estelle Iacona
Jean Taine
Bernard Tamain

LES ENJEUX DE L'ÉNERGIE

Après Fukushima

Quelles seront les ressources énergétiques utilisables dans le monde dans quelques décennies ? Quelles pourront être les contributions respectives des énergies renouvelables, fossiles et nucléaires ? Comment seront socialement acceptés tant les émissions de CO_2 que les risques liés aux rejets radioactifs ? La recherche permettra-t-elle des avancées décisives face à ces contraintes et dilemmes ?

Cette nouvelle édition tient compte des derniers bouleversements géopolitiques et répond à ces grandes interrogations. Les auteurs dressent un état des lieux de la question énergétique dans la plupart des régions du monde, ils analysent les contraintes environnementales ainsi que les risques économiques et sociaux associés. Des solutions pour maîtriser la consommation sont proposées, ainsi que des pistes pour de nouvelles techniques de l'énergie.



9 782100 566532

6942965
ISBN 978-2-10-056653-2



2^e édition

ESTELLE IACONA
est professeure de
l'École Centrale Paris.

JEAN TAINÉ
est professeur de
l'École Centrale Paris.

BERNARD TAMAIN
est professeur émérite
de l'École Supérieure
d'Ingénieur de Caen.

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE


DUNOD
www.dunod.com