

Jacques Vernier

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

*Dixième édition mise à jour
28^e mille*

*Que
sais-je?*

À lire également en *Que sais-je ?*

COLLECTION FONDÉE PAR PAUL ANGOULVENT

Jacqueline Morand-Deville, *Le Droit de l'environnement*, n° 2334.

Jacques Vernier, *L'Environnement*, n° 2667.

Robert Kandel, *Le Réchauffement climatique*, n° 3650.

William Dab, *Santé et environnement*, n° 3771.

Aurélien Evrard, Pierre Lascoumes, *Action publique et environnement*,
n° 3968.

Ce livre ne peut être reproduit ni utilisé à des fins
d'entraînement de systèmes d'intelligence artificielle.

La fouille de textes et de données est interdite
conformément à l'article 4(3) de la Directive (UE) 2019/790.

ISBN 978-2-7154-3987-0

ISSN 0768-0066

Dépôt légal – 1^{re} édition : 1997

10^e édition mise à jour : 2026, avril

© *Que sais-je ?*/Presses Universitaires de France, 2026
170 bis, boulevard du Montparnasse, 75014 Paris

Introduction

Une grande partie de l'énergie produite aujourd'hui dans le monde (plus de 80 %) provient de gisements de combustibles fossiles (charbon 27 %, pétrole 32 %, gaz 23 %) ou d'uranium (4 %). Ces gisements, ces stocks, constitués au fil des âges et de l'évolution géologique, sont évidemment en quantité limitée : ils sont *épuisables*.

Par opposition, les énergies fournies par le soleil, le vent, les chutes d'eau, la croissance des végétaux, les marées, la chaleur de la terre sont *renouvelables*. Toutes ces énergies renouvelables n'ont d'ailleurs, en définitive, que deux sources : le *soleil* (puisque celui-ci est à l'origine du vent, du cycle de l'eau, des marées, de la croissance des végétaux) et la *terre* (qui dégage de la chaleur).

L'utilisation de ces énergies renouvelables n'est évidemment pas nouvelle. Depuis des temps ancestraux, on a utilisé la chaleur du soleil, on a brûlé du bois, on a utilisé dans les régions volcaniques la chaleur de la terre, on a fait tourner les moulins à vent ou les moulins à eau, on a exploité la force des marées.

Seules quelques « nouveautés » sont apparues plus récemment, par exemple les biocarburants d'origine végétale ou la production d'électricité *directement* à partir du soleil, lorsque a été découvert l'effet dit « photovoltaïque ».

En 2022, la part de ces énergies renouvelables dans la fourniture d'énergie¹ mondiale était de 18 % : 11 % environ pour la biomasse², près de 3 % pour l'énergie hydraulique, et près de 4 % pour les autres énergies (soleil, vent, géothermie).

1. *Attention !* Il s'agit de la part du renouvelable dans la production d'énergie (toutes énergies confondues). La part du renouvelable dans la production d'électricité est supérieure : 32 % en 2024 à l'échelle mondiale (dont 6,9 % pour le soleil et 8,1 % pour le vent, qui étaient inexistantes en 1990 !) – cette part dépassait même 50 % dans 33 pays du monde !

2. Ce chiffre est incertain. En effet, la biomasse comprend la biomasse dite *moderne* (chaudières à bois, biocarburants, biogaz) et la biomasse *traditionnelle* (cuisson, chauffage domestique, notamment dans les pays en développement). Chacune compterait pour environ la moitié de la biomasse totale. Mais, évidemment, l'estimation de la biomasse traditionnelle est incertaine.

Les énergies renouvelables ont-elles un avenir qui aille au-delà de leur part actuelle d'un peu plus du *sixième* du marché ?

À vrai dire, la principale raison du développement des énergies renouvelables au *xxi^e* siècle ne viendra peut-être pas de l'épuisement rapide des autres énergies, comme on aurait pu le craindre à un moment, notamment lors des chocs pétroliers des années 1970.

En effet, les réserves de pétrole ou de gaz se montent à plus de 50 ans de la consommation actuelle, et les hydrocarbures *non conventionnels* (pétroles de schiste et surtout gaz de schiste) pourraient accroître ces réserves. Les réserves de charbon se montent quant à elles à plus de 110 ans. Celles d'uranium sont encore plus importantes, du moins lorsque l'on maîtrisera la technique des surgénérateurs qui permettent d'obtenir 50 fois plus d'énergie à partir d'une même quantité d'uranium.

Néanmoins, ce relatif optimisme sur les réserves doit être tempéré :

- les combustibles fossiles ne sont pas interchangeables entre eux pour tous les usages. Par exemple, les transports, qui représentent le *quart* de notre consommation d'énergie, reposent encore essentiellement sur le « tout-pétrole » et on a longtemps pensé (jusqu'à l'essor récent de la voiture électrique...) qu'il n'y aurait aucune solution de rechange (si ce n'est, marginalement, les biocarburants) ;
- le pétrole et le gaz sont très inégalement répartis dans le monde. Le Moyen-Orient détient près de 50 % des réserves connues de pétrole. Les pays de l'ex-URSS et du Moyen-Orient détiennent 70 % des réserves connues de gaz. Et les États-Unis, la Chine, l'Australie et les pays de l'ex-URSS détiennent à eux quatre près de 70 % des réserves de charbon. Il peut en résulter une insécurité d'approvisionnement et une tension sur les prix, comme on l'a vu récemment.

En fait, ce n'est pas seulement le risque d'épuisement des combustibles fossiles, ni le souci de la sécurité de l'approvisionnement, mais d'autres raisons, plus « environnementales », qui poussent désormais à l'essor des énergies renouvelables :

- la lutte toujours plus poussée contre la pollution atmosphérique favorisera les énergies peu ou pas polluantes pour l'air que sont, par exemple, le soleil, le vent, la géothermie ;

- les combustibles fossiles contribuent massivement au réchauffement progressif de la Terre (« effet de serre »)¹ à cause du gaz carbonique que leur combustion rejette dans l'atmosphère. Là aussi, le soleil, le vent, l'énergie hydraulique, la géothermie nous protégeront de ce réchauffement et de toutes ses conséquences climatiques. Même la combustion de la biomasse sera bénéfique, puisque – sous certaines conditions – le gaz carbonique rejeté par le brûlage des végétaux est recyclé par ceux-ci lors de leur croissance ;
- certes, l'énergie nucléaire ne contribue pas à l'effet de serre, mais on sait au demeurant les craintes qu'inspirent la sécurité des centrales, le sort des déchets nucléaires et les risques de prolifération des armes nucléaires.

Pour autant, toutes les énergies renouvelables ne doivent pas être béatement considérées comme ne présentant aucun risque environnemental : les risques de déforestation dus à un usage abusif du bois, les atteintes au paysage causées par certaines éoliennes, les inconvénients de certains barrages hydroélectriques, l'esthétique parfois contestable de certaines installations solaires, les critiques adressées aux biocarburants de 1^{re} génération (accusés de concurrencer les produits alimentaires), les secousses sismiques engendrées par certains forages géothermiques sont autant de freins possibles au développement de certaines énergies renouvelables.

Le principal reproche qui a souvent été fait aux énergies renouvelables serait – sauf pour la géothermie – d'être consommatrices, voire dévoreuses d'espace. Le déploiement de panneaux solaires, de batteries d'éoliennes et de cultures énergétiques nécessite certes de la place. Néanmoins, les chiffres les plus fantaisistes ont circulé. Un article paru dans un grand quotidien estimait que 80 % du territoire de l'Inde serait bientôt recouvert de panneaux solaires si l'on voulait fournir toute l'électricité de ce pays à partir du soleil : en réalité, tous calculs faits, 1 à 2 % du territoire indien suffirait au milieu du *xxi*^e siècle.

Un deuxième handicap est le caractère *intermittent* de certaines énergies renouvelables, notamment le soleil ou le vent. Mais ce handicap est souvent surestimé : un pays comme le

1. Voir le « Que sais-je ? » sur *L'Environnement*, n° 2667 et celui de R. Kandel, *Le Réchauffement climatique*, n° 3650.

Danemark a réussi à intégrer près de 60 % d'électricité éolienne dans son réseau ! En outre, le stockage de l'électricité fait des progrès considérables (voir chap. III).

Le caractère *dispersé* des sources d'énergie renouvelable peut être un avantage : c'est le cas pour le chauffage, qu'on utilise sur place, ou pour l'électricité dans toutes les régions du monde qui ne sont pas encore desservies par un réseau de distribution électrique. En revanche, dans les pays pourvus d'un réseau, le raccordement de multiples installations dispersées (éoliennes, panneaux solaires, etc.) peut nécessiter une adaptation du réseau (voir chap. III).

Le dernier handicap des énergies renouvelables a été, longtemps, leur coût. Mais les choses ont rapidement évolué ces dernières années, comme ce livre le montrera : la plupart des énergies renouvelables atteignent d'ores et déjà les seuils de la compétitivité par rapport aux énergies d'origine fossile. Cette compétitivité est évidemment renforcée lors des hausses des prix du pétrole ou du gaz. En tout état de cause, beaucoup de pays ont utilisé de nombreux outils pour alléger les coûts : subventions, incitations fiscales, tarifs d'achat préférentiels de l'électricité d'origine renouvelable, appels d'offres pour obtenir l'énergie la moins chère, obligation pour les producteurs d'électricité de respecter des quotas d'électricité « verte »... Mais la baisse impressionnante du coût de certaines énergies (solaire et éolienne notamment) rend presque inutiles, dans certains cas, ces subventions ou incitations ! Si bien que non seulement des raisons environnementales mais aussi des raisons financières peuvent désormais pousser à l'utilisation d'énergies renouvelables.

Malgré cet effondrement des coûts, les choses vont-elles assez vite ? L'Agence internationale de l'énergie renouvelable (IRENA) estime que, pour limiter le réchauffement climatique à + 1,5 °C à la fin du siècle, il faudrait que la part des énergies renouvelables dans la production mondiale d'énergie atteigne 34 % en 2030 (au lieu des 18 % de 2022) et 77 % en 2050 ! Peu de gens croient hélas à ce scénario optimiste... même si des progrès concrets ont été faits dans la lutte contre le réchauffement climatique depuis l'accord de Paris¹.

1. *Ibid.*

L'Europe, notamment, est sans doute l'une des régions du monde les plus actives. Une première directive européenne d'avril 2009 avait imposé aux pays de l'Union européenne que 20 % de l'énergie produite soit d'origine renouvelable en 2020, avec des chiffres différenciés pour chaque pays (23 % pour la France). Si l'Europe a dépassé son objectif (22 % au lieu de 20 %), la France n'a malheureusement pas atteint le sien (19,3 % au lieu de 23 %). Une nouvelle directive de novembre 2023 a fixé un objectif européen contraignant de 42,5 % en 2030. Un règlement européen de décembre 2022 a en outre décidé que, pendant une période limitée, les procédures d'autorisation de certaines installations d'énergie renouvelable devaient être raccourcies et que ces installations relevaient d'un « *intérêt public supérieur* » (notamment, sous certaines conditions, supérieur à la protection de la biodiversité et des espèces).

Pour rattraper son retard, la France, de son côté, a adopté en mars 2023 une « *loi d'accélération des énergies renouvelables* ». Celle-ci prévoit aussi que les installations d'énergie renouvelable sont présumées obéir à un intérêt public majeur. Elle permet aux maires de définir des « zones d'accélération des énergies renouvelables » (mais aussi des zones d'exclusion). Elle comprend bien d'autres dispositions, évoquées dans les différents chapitres du présent livre. En outre, depuis 2016, la France publie régulièrement une « *programmation pluriannuelle de l'énergie* » (PPE), qui assigne des objectifs chiffrés de développement à chacune des énergies renouvelables. La dernière PPE a été publiée en février 2026.

Encadré 1. – Unités d'énergie

Rappels d'abréviations :

kilo (k) = 10^3 (milliers)

Méga (M) = 10^6 (millions)

Giga (G) = 10^9 (milliards)

Téra (T) = 10^{12} .

Mesures de l'énergie :

- L'unité officielle de mesure d'une quantité d'énergie est le joule.

Mais on utilise fréquemment les unités suivantes :

- la tonne d'équivalent pétrole (TEP) ; 1 TEP = 42 GJ (gigajoules).
- le kilowattheure (kWh) ; 1 kWh = 3,6 MJ (mégajoules).
- La puissance se mesure en watts (1 watt (W) = 1 joule/seconde).

Quelques chiffres...

Consommation française d'énergie en 2023 : 217 MTEP (soit 2 520 TWh).*

Consommation mondiale d'énergie en 2023 : 14 800 MTEP.*

* Attention, certaines statistiques portent sur la consommation d'énergie, d'autres sur la consommation *finale* d'énergie : la différence entre les deux, ce sont les pertes dues à la transformation d'énergie (par exemple, quand on produit de l'électricité à partir de centrales thermiques) et les pertes dues au transport (en France, ces pertes sont de l'ordre de 36 %).

Production française d'électricité en 2024 : 536 TWh.

Production mondiale d'électricité en 2024 : 30 856 TWh.

Consommation d'un réfrigérateur ou d'un lave-linge : 500 kWh/an.

Consommation d'électricité (sans chauffage) d'une famille de quatre personnes : 3 000 à 4 000 kWh/an.

Puissance moyenne d'un lave-vaisselle : 1,5 kW ; consommation moyenne : 200 kWh/an.

Puissance moyenne d'un lave-linge : 2,5 kW ; consommation moyenne : 200 kWh/an.

Puissance d'une tranche de centrale nucléaire : 900 à 1 300 MW.

Encadré 2. – Bref rappel sur la production d'électricité : le « miracle » de Faraday

Ce rappel sera utile dans de nombreux chapitres de cet ouvrage. Rappelons cependant que l'électricité n'est pas la seule énergie : le chauffage ou les transports sont – pour l'instant – très peu électriques.

Toute la production d'électricité (sauf celle du solaire photovoltaïque) fonctionne selon le même principe : une énergie *mécanique* est transformée en *énergie électrique*. Au départ, l'énergie *mécanique* peut provenir :

- soit du vent, qui fait *tourner* une turbine d'éolienne ;
- soit de l'eau, qui fait *tourner* une turbine hydraulique (usines hydroélectriques ou marémotrices) ;
- soit de la *chaleur*, issue de la combustion d'un combustible « traditionnel » (charbon, fioul, gaz, bois), de la radioactivité d'un combustible nucléaire, du soleil, ou encore de la terre (géothermie). Dans ce cas, la transformation de la *chaleur* en *énergie mécanique* se fait par introduction de vapeur ou de gaz à la plus haute température possible et à haute pression dans une « machine », en général une turbine, qui *tourne*.

Dans tous les cas, la turbine fait tourner un générateur électrique : à l'intérieur de ce générateur, un rotor aimanté, entraîné par la turbine, a en effet la propriété, en tournant, de « générer » du courant électrique. C'est le « miracle » de la conversion d'une *énergie mécanique rotative* en *énergie électrique*. Ce « miracle » fut découvert par Faraday : un aimant qui *bouge* (en l'occurrence, il *tourne*) par rapport à une bobine de fil électrique crée (« induit ») du courant dans ce fil.