

14578



**énergies  
renouvelables  
insolites**

pour le 21<sup>e</sup> siècle

**Denis Bonnelle**

ancien professeur de physique en lycées techniques

**Renaud de Richter**

ancien chercheur de l'industrie pharmaceutique



14578

## Avant-propos



Pourquoi écrire un livre sur des énergies renouvelables insolites ?

### Pourquoi écrire un livre ?

Parce que tout n'a pas encore été écrit, ou suffisamment popularisé, et en particulier ce qui reflète des synergies possibles entre activités voisines ou non. Un exemple entre mille . quels sont les deux équipements qu'achètent des gens assez riches pour avoir une villa, vivent sous des climats ensoleillés mais en même temps aiment bien se rafraîchir en été ? Une climatisation, et une piscine. Quel est le principe d'une climatisation ? Consommer de l'énergie (de l'électricité) pour enlever de l'énergie (de la chaleur) de l'intérieur d'une maison, et trouver ensuite une solution pour se débarrasser de la somme de ces deux énergies (en général, sous forme d'air chaud, ou chaud et humide, qu'on rejette dans l'atmosphère environnante, en faisant attention à ne pas disperser des légionnelles).

Pourquoi n'utilise-t-on pas cette chaleur perdue pour chauffer la piscine, et pourquoi n'utilise-t-on pas l'eau de la piscine pour absorber plus facilement la chaleur dont on cherche à se débarrasser ? Eh bien, parce que... Parce que les fabricants de piscines et les fabricants de climatiseurs s'ignorent. Parce que le plus sophistiqué quand on a une piscine, c'est de la chauffer par une pompe à chaleur, mais que personne n'a remarqué que celle-ci pourrait pomper sa chaleur dans la maison à côté, ce qui la climatiserait du même coup. Parce que les écolos en général et ceux qui cherchent à économiser l'énergie en particulier pensent que les propriétaires de climatiseurs et de piscines<sup>1</sup> ne méritent que leur mépris, mais surtout pas de conseils pratiques...

### Pourquoi s'intéresser à l'énergie, et pas à d'autres ressources ou à d'autres activités économiques ?

L'énergie s'oppose à la matière, c'est-à-dire aux 92 éléments chimiques et à leurs infinies combinaisons, domaine qui, dans son ensemble, traverse l'histoire sans crises particulières. Elle s'oppose aussi à l'information, qui peut être miniaturisée quasiment sans limite, ce qui a permis aux ordinateurs de voir leur puissance doubler tous les 18 mois (loi de Moore). L'énergie est un secteur plus crucial car soumis à des contraintes beaucoup plus sévères, depuis la crise de 1973, déjà appelée « crise de l'énergie », jusqu'à la crise actuelle, précédée par une hausse vertigineuse des prix du pétrole et déclenchée par l'insolvabilité de ménages pauvres américains, fortement endettés en contrepartie de maisons dont la valeur était censée croître indéfiniment

<sup>1</sup> Ce n'est le cas d'aucun de nous deux.

alors que leur dispersion dans des banlieues interminables et inaccessibles autrement qu'en voiture en faisait le symbole d'un urbanisme insoutenable en période de remise en cause du modèle énergétique américain.

L'énergie, c'est le mouvement, donc les transports, la fabrication d'objets par des machines... C'est l'électricité, donc l'éclairage, l'alimentation des ordinateurs... C'est la fabrication des métaux, du ciment, le dessalement de l'eau de mer... C'est le froid et la chaleur. Et c'est essentiellement à partir de sources de chaleur qu'elle est produite.

Or, il n'y a pas une infinité de sources de chaleur possibles : le soleil (à l'origine de toutes les énergies renouvelables à l'exception de la géothermie et de l'énergie marémotrice) ; le nucléaire ; et la combustion de corps riches en carbone : charbon (carbone quasi-pur), hydrocarbures (gaz et pétrole, dont le prix repartira à la hausse si l'économie redémarre), biomasse.

Cette combustion se traduit nécessairement par la formation de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). On sait depuis plus de 100 ans que le  $\text{CO}_2$  est un gaz qui absorbe les rayons infrarouges thermiques par lesquels la terre tente de renvoyer dans l'espace la chaleur qu'elle reçoit du soleil : c'est l'effet de serre. Des modèles de plus en plus sophistiqués, prenant notamment en compte les autres chemins que suit cette chaleur pour s'évacuer, ainsi que diverses rétroactions souvent positives, n'ont fait que confirmer ce principe de départ : en brûlant massivement des combustibles fossiles, l'homme engage la machine climatique sur un chemin inconnu, radicalement différent des alternances glaciations / interglaciaires qui rythmaient jusqu'à présent son évolution (nous partons d'un interglaciaire, donc du point haut de la fourchette normale de variation, et nous en sortons en évoluant à nouveau vers le haut).

### **Pourquoi des énergies renouvelables ?**

- Ce qui précède suffit à conclure qu'il faut sortir rapidement du recours classique aux combustibles fossiles. Peut-on espérer capturer le  $\text{CO}_2$  dans leurs fumées et l'emprisonner dans le sous-sol ? Il faut encore passer du stade actuel de démonstration sur quelques projets, à une mise en œuvre beaucoup plus massive, et dans ce cas on montrera l'intérêt qu'il y aurait à les appliquer aussi – et même en priorité – aux centrales à biomasse.

- Indépendamment de ce que, en tant que citoyen, chacun peut penser du nucléaire, le réalisme politique doit conduire à ne pas s'attendre à ce qu'il remplace 100 % du total de la consommation actuelle de combustibles fossiles et de la croissance de la demande énergétique des pays émergents tels que la Chine ou l'Inde.

- Enfin, en ce qui concerne la fusion nucléaire contrôlée (le projet Iter notamment), la question est bien résumée par le dialogue suivant (humour très anglais) :

« Il y a quarante ans, on nous la promettait pour dans quarante ans ;  
 aujourd'hui, on nous la promet encore pour dans quarante ans  
 – Ça doit être une des constantes fondamentales de la physique. »

## Pourquoi des énergies renouvelables *insolites* ?

D'abord parce que de nombreux projets apparaissent, notamment sur Internet, certains avec de beaux documents graphiques et de belles équations, d'autres sans, et que certains sont fondés sur des principes physiques erronés ou affichent des chiffres faux, tandis que d'autres, parfois d'apparence encore moins raisonnable, sont en fait assez pertinents. Il est donc utile de faire un peu de ménage.

Une autre raison est que les sept énergies renouvelables classiques, ou mises en œuvre de la manière généralement admise, sont déjà correctement étudiées<sup>2</sup> et risquent d'atteindre leurs limites avant de contribuer à remplacer 100 % des énergies fossiles :

- l'hydroélectricité est la plus rentable des énergies renouvelables, mais c'est la plus mûre (quand on parlait d'énergies « nouvelles » avant de les appeler « renouvelables », elle n'en faisait pas partie), avec peu de perspectives de développements importants dans les pays riches, tous les sites naturels les plus favorables étant déjà équipés ;
- la géothermie classique, elle aussi assez mûre et fortement dépendante de localisations précises, existe en quantités moyennes s'il s'agit de produire de la chaleur pour le chauffage central, et très limitées pour la production d'électricité ;
- l'énergie éolienne est la seconde plus rentable, la seconde plus mûre, mais surtout la plus intermittente, ce qui pose problème si son développement est envisagé, selon l'argumentaire habituel des écologistes, comme une énergie locale permettant d'éviter le recours aux lignes à haute tension ;
- les chauffe-eau solaires ont un léger problème : ils fonctionnent bien en été, quand on n'a pas trop besoin d'eau chaude, et pas du tout par temps gris et froid ;
- au-delà de la même caractéristique, le photovoltaïque dépend actuellement, pour l'électricité qu'il produit, de tarifs de rachat si généreux qu'il faudra les revoir plusieurs fois et fortement à la baisse avant d'espérer en attendre une contribution significative à la résolution de nos problèmes ; ce qui suppose autant de révolutions dans son mode de production ;
- le chauffage aux granulés de bois (sciure agglomérée), très à la mode (mais n'émet-il pas trop de fumées, en milieu urbain ?), pourrait voir son développement limité par la disponibilité de la ressource ;

<sup>2</sup> Pour un panorama très complet, voir par exemple « Renewable energy resources », J. Twidell & T. Weir, ed. Taylor & Francis, 2006 pour la seconde édition.

• et il en est de même pour les agrocarburants de première génération, qui entrent directement en concurrence avec l'alimentation humaine ou animale

Naturellement, ce n'est pas par hasard que ces énergies renouvelables classiques existent : la plupart sont simples, robustes et pertinentes en sites isolés ; le photovoltaïque est un exploit technique très séduisant. D'autres (l'exploitation de l'énergie des vagues, les différentes formes d'énergie renouvelable adaptées à un usage décentralisé dans les pays en développement telles que la cuisson solaire), que nous ne citons pas par manque de compétence pour en dire des choses intelligentes, ont aussi des avantages.

Une autre différence tient au fait que la plupart des idées de ce livre ont plus de chances de s'épanouir à l'horizon 2050 qu'à celui de 2020. Or, c'est une critique des militants les plus actifs contre le changement climatique, prompts à accuser les responsables politiques de frilosité, que de pointer leur propension à fixer des objectifs ambitieux pour 2050 (-75 % à -80 % d'émissions de gaz à effet de serre dans les pays riches) plutôt que de s'en tenir aux objectifs plus concrets de 2020 (-20 % d'émissions et 20 % d'énergies renouvelables). Serions-nous donc complices de ces ramollos qui remettent à plus tard ce qu'ils pourraient faire le jour même ?

De manière plus générale, défendre des solutions techniques, n'est-ce pas, à notre grande honte, apporter de l'eau au moulin de Claude Allègre, qui prétend incarner une « Écologie productive » (sic) et la définit comme « la démarche qui consiste à résoudre les problèmes écologiques en créant de nouveaux emplois et de nouvelles richesses »<sup>3</sup>.

Il existe effectivement un débat entre une voie qui consisterait plutôt à attendre des entreprises qu'elles mettent en œuvre de nouvelles techniques, et une qui prônerait un retour à des modes de vie plus sobres et donc l'acceptation d'une décroissance. Une première voie vers la sobriété énergétique est celle de l'amélioration de l'efficacité énergétique des process industriels, à laquelle nous sommes naturellement favorables, même si nous n'en parlons pas dans ce livre, faute d'avoir des idées originales à ce sujet.

<sup>3</sup> *Libération* du 17 juillet 2009. On peut aussi citer, comme passage recueillant notre accord, le suivant « Croit-on qu'avec un tintamarre diplomatique ou médiatique (N.B : prévu pour la conférence de Copenhague) l'Inde et la Chine vont abandonner leur développement fondé sur le charbon ? La solution n'est-elle pas dans l'innovation ? Ne faut-il pas d'abord développer les technologies de capture et de stockage du CO<sub>2</sub>, les voitures électriques, hybrides ... et les technologies alternatives pour le chauffage .. »  
Cependant, les choses se gâtent quand M. Allègre cite, au titre de ces nouvelles technologies pour le chauffage .. le photovoltaïque ! Celui-ci a sans doute quelques synergies avec la climatisation, mais son rapport avec le chauffage est des plus ténus, et sauf précision en sens contraire, on peut supposer que M. Allègre envisage de payer des fortunes pour produire un peu de courant photovoltaïque, surtout en été, pour alimenter de bêtes radiateurs électriques ! Cinq lignes plus loin, l'indium, dont la rareté est un enjeu important mais qui intervient dans une seule des cinq ou six filières photovoltaïques majeures, est qualifié de « métal indispensable à la technologie photovoltaïque » ! Nous espérons que ce livre ne contient pas d'aussi grosses âneries (si vous en trouvez, merci de nous les signaler)

Mais sur une remise en cause politique de notre modèle de développement, on pouvait lire dans *À fond contre le CO<sub>2</sub>*, écrit en 2006 par l'un d'entre nous, cette affirmation étonnamment prémonitrice (Cf. le dépôt de bilan de General Motors). « nulle entreprise, nul pays, ne pourra prendre trop longtemps le risque de ne pas y croire et de prendre un retard, mortel, sur ceux qui y auront cru à temps ». Retournée comme un gant, elle postule le droit à la survie des entreprises qui investissent dans les technologies vertes. Or, la survie d'une entreprise, c'est, a minima, le fait de réaliser du chiffre d'affaires et de la marge.

Pourtant, une certaine décroissance pourra s'avérer nécessaire, au moins pour des dépenses symboliques comme celles liées à la voiture ou à l'avion. Le changement climatique est une pollution globale, qui exige des solutions globales, acceptables par tous les pays de la planète. Les émissions annuelles de la Chine viennent (pour une population beaucoup plus nombreuse) de dépasser celles des États-Unis, mais en termes d'émissions cumulées depuis le début de l'ère industrielle, la responsabilité des pays riches, Europe comprise, est écrasante. L'exemplarité est donc une vertu indispensable pour contribuer à un consensus mondial efficace.

Elle n'est cependant pas suffisante. Dans un premier temps, l'Europe avait cru pouvoir intervenir dans le conflit yougoslave en disant : « Regardez-nous, la France et l'Allemagne, ennemis héréditaires au cœur des deux guerres mondiales, comme nous nous sommes réconciliées : imitez-nous ». On sait ce qu'il en est advenu. Être exemplaires dans nos efforts contre le changement climatique n'invalidera donc pas, par exemple, la pertinence de la revendication des pays du sud d'un transfert de technologies quasi-gratuit, comme les pays pauvres l'ont obtenu pour les médicaments contre le sida.

Il se trouve que ce livre décrit le produit de recherches que nous menons, depuis une dizaine d'années, sans que personne nous paye pour cela, ce qui nous permet de l'inscrire dans cette perspective de transfert de nos idées dans le domaine public, qu'elles soient brevetables ou non. Ce que nous avons à dire aux militants de la décroissance est donc que, quel que soit le sens dans lequel on retourne le problème, nous ne voyons aucune raison de faire la grève de la publication des résultats de nos recherches.

Pour conclure, parmi les vingt idées qui sont développées dans ce livre, un certain nombre confirmeront sans doute qu'elles n'avaient pas toutes les qualités pour figurer dans le septuor de tête. Mais nous sommes bien incapables de dire lesquelles, et c'est pourquoi elles sont toutes décrites ici. Un point commun à un grand nombre d'entre elles est la recherche de synergies entre plusieurs caractéristiques, de dispositifs permettant de faire d'une pierre deux ou trois coups, ce qui nous semble une voie de recherche très fructueuse pour continuer à progresser en matière d'énergies renouvelables. C'est pourquoi nous espérons que la lecture de ce livre provoquera chez certains lecteurs un brainstorming créatif, avec, pourquoi pas, la découverte de nouvelles variantes intéressantes.

## Table des matières

Avant-propos .....	3
Quelques notions de base sur l'énergie .....	8
1 - 200 m de chute d'eau dans chaque estuaire ?.....	14
2 - Tous troglodytes ? .....	17
3 - Changer de chauffage en fonction du vent .....	21
4 - Électrifier les transports pour favoriser les énergies renouvelables .....	24
5 - Le photovoltaïque entre fun et austérité .....	32
6 - De l'eau comme isolant thermique .....	41
7 - Une excellente recette au bromure pour refroidir certaines ardeurs.....	46
8 - Des fenêtres qui jouent avec la lumière.....	50
9 - Punaise, encore les cheminées solaires ! .....	59
10 - Renouvelables : leur intermittence est-elle si spectaculaire que ça ? ....	71
11 - Un max1-bibendum bien chaud, s'il-vous-plaît ! .....	78
12 - Opposition de phase et changement de phase .....	88
13 - Énergie des déserts, cycle de 24 h et cycle de l'eau.....	97
14 - Acheter des actions.....	102
15 - Laver l'atmosphère .....	107
16 - Un fonds de développement et des permis d'émission négociables ....	113
17 - La force centrifuge sans force de Coriolis ?.....	115
18 - Océans, énergies propres et captation des fumées d'usines .....	124
19 - Sauver les glaces arctiques à l'aide d'énergies renouvelables.....	128
20 - Quarante gigawatts en pente très douce .....	135
21 - $(-1) + (-1) = 0$ , ou comment apparier deux talons d'Achille .....	140
Annexes : détails des calculs des chapitres 11 et 20.....	143