

---

# L'énergie durable – pas seulement du vent !

David J.C. MacKay

---

*Ce livre remarquable expose, avec clarté et objectivité, les différentes alternatives pauvres en carbone qui nous sont offertes*

**Sir David King**, membre de la Royal Society  
Conseiller Scientifique en Chef du Gouvernement britannique, 2000-2008

*La lecture de ce livre devrait être obligatoire pour tout acteur de la politique énergétique, qu'il appartienne au gouvernement, au monde des affaires ou aux groupes de pression.*

**Tony Juniper**  
Ancien Directeur Exécutif, les Amis de la Terre (UK)

*Enfin, un livre qui expose de façon complète les faits avérés sur les énergies renouvelables, sous une forme à la fois lisible et distrayante.*

**Robert Sansom**  
Directeur de la Stratégie et du Développement Durable, EDF Energy

## Un synopsis en dix pages

Nous sommes accros aux combustibles fossiles, et cette situation n'est pas tenable. Le monde développé tire 80% de son énergie des combustibles fossiles, 90% dans le cas de la Grande-Bretagne. Et ceci n'est pas durable pour trois raisons. Primo, les combustibles d'accès facile s'épuiseront à un moment ou un autre, et il nous faudra alors nous procurer notre énergie ailleurs. Secundo, brûler les combustibles fossiles a un effet mesurable, et très probablement dangereux, sur le climat. Tertio, même sans tenir compte du changement climatique, pour peu que l'on se préoccupe de la sécurité de l'approvisionnement de la Grande-Bretagne, une réduction drastique de la consommation de combustibles fossiles semble une sage précaution: l'utilisation rapide et continue des réserves de pétrole et de gaz naturel de la Mer du Nord conduira bientôt les Britanniques à être inféodés aux importations de combustibles fossiles en provenance de pays étrangers peu fiables. (J'espère que vous aurez noté comme une trace de sarcasme dans mes propos).

Comment nous sortir de notre addiction aux combustibles fossiles ?

Ce ne sont pas les bons conseils sur la façon de « changer les choses » qui manquent, mais le grand public reste confus et perplexe quant à savoir si ces méthodes sont de vraies solutions ou des cache-misère. Le citoyen lambda a de bonnes raisons d'être sceptique quand telle ou telle entreprise annonce qu'en achetant leur produit « vert » il a « agi concrètement ». Il est également dubitatif au sujet de la stratégie énergétique nationale. La « décentralisation » et les « chaleur et énergie combinées » sont-elles assez vertes, par exemple ? Le gouvernement aimerait nous en convaincre. Mais ces technologies dispenseraient-elles réellement la Grande-Bretagne de ses devoirs vis-à-vis du changement climatique ? Les centrales éoliennes sont-elles « uniquement un geste destiné à décerner un certificat de crédibilité environnementale à nos dirigeants » ? L'énergie nucléaire est-elle essentielle ?

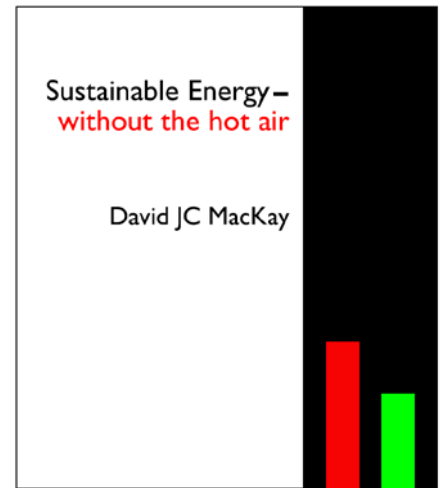


Photo : Terry Cavern

Il nous faut un programme dont le compte soit bon. La bonne nouvelle, c'est que de tels programmes peuvent être réalisés. La mauvaise nouvelle, c'est que les mettre en pratique ne sera pas facile.

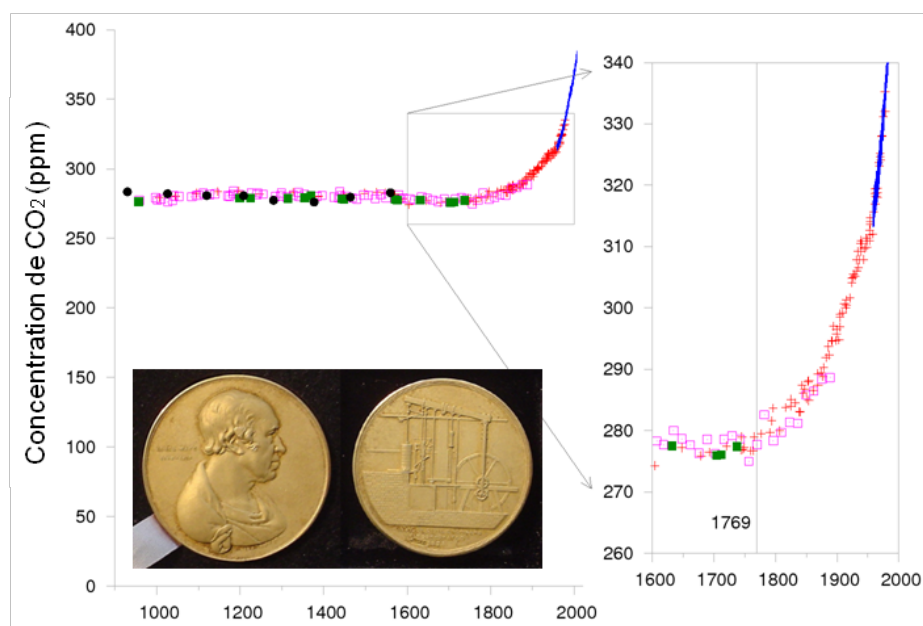


Figure 1. Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), en parties par millions, pendant les derniers 1100 ans, mesurée à partir de l'air emprisonné dans des carottes de glaces (jusqu'en 1977) puis directement à Hawaii (depuis 1958). Il me semble que quelque chose de nouveau est arrivé entre 1800 et 2000. J'ai indiqué l'année 1769, au cours de laquelle James Watt a breveté sa machine à vapeur. (La première machine à vapeur exploitable avait été inventée 70 ans plus tôt en 1698, mais celle de Watt était bien plus efficace).

### Première partie - Des chiffres, pas des adjectifs

La première partie de ce livre examine si un pays tel que la Grande-Bretagne, notoirement bien pourvu en vent, en vagues et en marées, peut vivre de ses propres ressources renouvelables. On entend souvent dire que les ressources renouvelables de la Grande-Bretagne sont « énormes ». Mais il n'est pas suffisant de savoir qu'une source d'énergie est « énorme ». Il nous faut pouvoir la comparer avec une autre quantité « énorme », en l'occurrence notre énorme consommation. Pour faire ces comparaisons, il nous faut *des chiffres, pas des adjectifs*.

Lorsque l'on emploie des chiffres, leur signification est souvent noyée par leur immensité. Ces chiffres sont choisis plus pour impressionner, pour marquer des points lors de débats, que pour informer. Au contraire, mon objectif ici est de présenter des chiffres honnêtes et vérifiables, de telle façon que ces valeurs soient compréhensibles, comparables, et que l'on puisse les retenir. Ces chiffres sont rendus abordables en les exprimant tous en unités *personnelles* quotidiennes. Les énergies sont exprimées en kilowatt-heures (kWh) par personne, c'est en effet l'unité qui figure sur notre facture d'électricité domestique; les puissances sont exprimées en kilowatt-heure par jour (kWh/j), par personne. La figure 2 illustre quelques quantités comparées dans ces unités. En rouge, par exemple, conduire une voiture moyenne 50 km par jour consomme **40 kWh/j**. En vert à droite, quelques sources d'énergies renouvelables sont représentées: la couverture de 10% du pays par des fermes éoliennes fournirait **20 kWh/j par personne** en moyenne.

Une raison pour apprécier ces unités personnelles est que cela facilite énormément la transposition de notre discussion sur le Royaume-Uni à d'autres pays ou régions. Par exemple, supposons que nous discutons de l'incinération des déchets, et nous apprenons que l'incinération des déchets en Grande-Bretagne produit 7 TWh par an, tandis que l'incinération des déchets du Danemark produit 10 TWh par an. (1 TWh [térawatt-heure] est égal à un milliard de kWh). Cela nous aide-t-il à dire que le Danemark

### CONSOMMATION PRODUCTION

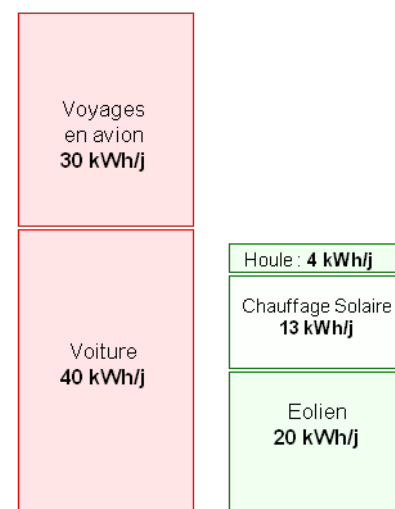


Figure 2. Comparaison de deux activités consommatrices d'énergie avec des productions d'énergies renouvelables envisageables à partir de trois sources britanniques. A gauche, conduire 50 km par jour consomme 40 kWh par jour, et prendre un vol long-courrier par an consomme 30 kWh par jour (en moyenne sur toute l'année). A droite, la couverture des 10% les plus ventés de Grande-Bretagne par des fermes éoliennes terrestres procurerait 20 kWh par jour et par personne; recouvrir chaque toit orienté au sud par des panneaux d'eau chaude solaire recueillerait 13 kWh par jour par personne; des centrales houlomotrices qui intercepteraient les vagues de l'Atlantique sur 500 km de côtes fourniraient 4kWh/j par personne.

incinère « plus » de déchets que le Royaume-Uni ? Bien que la puissance totale produite à partir de déchets dans chaque pays puisse être intéressante, je pense que ce que nous cherchons d'habitude à savoir est la quantité de déchets incinérés *par personne* (qui est, pour mémoire: au Danemark, 5 kWh/j par personne; en Grande-Bretagne, 0,3 kWh/j par personne. Donc les Danois incinèrent à peu près 13 fois plus que les Britanniques). En discutant de tout « par personne » dès le début, on obtient un livre plus transposable qui sera, espérons-le, utile au débat sur les énergies renouvelables dans le monde entier.

Avec des chiffres simples et honnêtes, on peut répondre à des questions telles que:

1. un pays tel que la Grande-Bretagne peut-il vivre de façon concevable de ses propres ressources énergétiques renouvelables ?
2. une transition vers des « technologies avancées » nous permettra-t-elle d'éliminer la pollution au dioxyde de carbone sans changer notre style de vie ?

Dans la première partie de « *L'énergie durable – pas seulement du vent !* » notre consommation est illustrée par une colonne rouge, qui énumère le coût énergétique d'une série d'activités énergivores; en parallèle, le potentiel des énergies renouvelables disponibles en Grande-Bretagne est illustré par une colonne verte.

En calculant les chiffres pour notre colonne rouge de consommation à gauche, nous mettons à mal quelques mythes. Par exemple, « laisser brancher un chargeur de téléphone portable » est souvent cité comme un comportement anti-écologique, tandis que ceux qui éteignent leur chargeur sont félicités pour avoir « agi concrètement ». En réalité, un chargeur de téléphone portable moyen ne consomme que **0,01 kWh/j**. La quantité d'énergie économisée en éteignant le chargeur, **0,01 kWh**, est exactement la même que **l'énergie consommée en conduisant une voiture moyenne pendant une seconde**. Je ne veux pas dire que vous ne devriez pas débrancher vos chargeurs. Mais ne soyez pas dupe du slogan « chaque petit geste compte ». Couper ses chargeurs de façon obsessionnelle revient à écoper le Titanic avec une petite cuillère. Eteignez-les, mais en restant conscient qu'il s'agit d'une action minuscule.

Toute l'énergie économisée en éteignant votre chargeur pendant un jour est consommée en *une seconde* de conduite.

L'énergie économisée en éteignant le chargeur pendant *un an* est égale à l'énergie d'un seul bain chaud.

Votre chargeur n'est qu'une fraction infime de votre consommation d'énergie totale. *Si tout le monde en fait un petit peu, nous n'accomplirons qu'un petit peu.*

Un autre nombre mémorable est la contribution des vols long-courriers à l'empreinte énergétique d'une personne. Si vous allez en avion au Cap et retour une fois par an, l'énergie consommée lors de ce voyage est presque aussi importante que l'énergie consommée en conduisant une voiture moyenne 50 km par jour, tous les jours, toute l'année.

Un élément significatif de l'empreinte énergétique britannique est constitué par les objets manufacturés. Les objets importés sont généralement omis de l'empreinte énergétique de la Grande-Bretagne, puisque c'est l'industrie d'un autre pays qui dépense l'énergie nécessaire à leur production; mais le coût énergétique outre-mer de la fabrication des **objets manufacturés importés** (tels que les véhicules, les machines-outils,

Flux de produits en Grande-Bretagne  
(kg par jour, par personne)

ENTREES	
Combustibles fossiles	16
Charbon	4
Pétrole	4
Gaz naturel	8
Importations totales	12,5
Nourriture	1,6
<b>Objets manufacturés</b>	<b>3,5</b>
Eau	160
SORTIES	
CO <sub>2</sub> et autres gaz à effet de serre	30
Déchets municipaux	1,6
recyclés	0,27
incinérés	0,13
mis en décharge	1,0
déchets dangereux	0,2
nourriture jetée	0,3

Table 3. Sources: DEFRA, Eurostat, Office for National Statistics, Department for Transport.

l'électroménager, l'électronique, le fer, l'acier, et les produits en vrac) est d'au moins 40 kWh/j par personne.

Cette première partie conduit à deux conclusions claires. Premièrement, toute source renouvelable, pour apporter une contribution appréciable à notre problème – une contribution qui puisse commencer à être comparée à notre consommation actuelle – doit être à l'échelle du pays. Pour couvrir un quart de notre consommation d'énergie actuelle avec des biocarburants, par exemple, il faudrait couvrir 75% de la surface du Royaume-Uni par des plantations de biomasse. Pour fournir 4% de notre consommation actuelle à partir de l'énergie des vagues, il faut occuper complètement 500 km de la côte Atlantique avec des centrales houlomotrices. Quiconque souhaite vivre uniquement d'énergies renouvelables se berce d'illusions s'il s'imagine que l'infrastructure associée aux sources d'énergie ne sera ni grande ni intrusive.

Deuxièmement, *en mettant de côté les contraintes économiques et les objections du public*, il serait possible que la consommation européenne moyenne de 125 kWh/j par personne soit fournie par ces sources renouvelables à l'échelle du pays. Les deux sources principales seraient des panneaux photovoltaïques qui, en recouvrant 5 à 10% du pays, fourniraient 50 kWh/j par personne, et des centrales éoliennes offshore, qui, en occupant une surface maritime double de celle du Pays de Galles, fourniraient 50 autres kWh/j par personne en moyenne.

Ce panneautage massif de nos campagnes et l'occupation des mers britanniques par des éoliennes (avec une capacité égale à cinq fois celle de toutes les turbines à vent du monde à ce jour) serait possible d'après les lois de la physique, mais le public accepterait-il et paierait-il des programmes aussi extrêmes ? Si nous répondons non, nous sommes obligés de conclure que *la consommation actuelle ne sera jamais couverte par des sources renouvelables britanniques*. Il faut alors soit une réduction radicale de la consommation, soit des sources significatives d'énergie supplémentaire – soit, bien sûr, les deux à la fois.

## Deuxième partie – un programme énergétique dont le compte est bon

La seconde partie de "*L'énergie durable - pas seulement du vent!*" explore six stratégies destinées à éliminer ce fossé entre consommation et production renouvelable, puis expose succinctement plusieurs programmes énergétiques pour la Grande-Bretagne, dont le compte est bon pour chacun d'eux.

Les trois premières stratégies destinées à éliminer le fossé réduisent la *demande* en énergie:

- réduction de population;
- changement du style de vie;
- passage à une *technologie* plus efficace.

Les autres stratégies pour éliminer le fossé augmentent l'*offre* en énergie:

- Les « combustibles fossiles durables » et le « charbon propre » sont des noms que l'on donne au fait de continuer à brûler du charbon, mais de façon différente, et en capturant et stockant le carbone. Quelle puissance pouvons-nous obtenir « durablement » du charbon?
- L'énergie nucléaire est une autre option controversée: n'est-ce qu'un bouche-trou?

### Puissance par unité de surface de terre ou d'eau

Vent	2 W/m <sup>2</sup>
Vent offshore	3 W/m <sup>2</sup>
Bassins marémoteurs	3 W/m <sup>2</sup>
Courant marémoteur	6 W/m <sup>2</sup>
Panneaux photovoltaïques solaires	5-20 W/m <sup>2</sup>
Plantes	0,5 W/m <sup>2</sup>
Pluies (montagnes)	0,24 W/m <sup>2</sup>
Usine hydroélectrique	11 W/m <sup>2</sup>
Géothermie	0,017 W/m <sup>2</sup>
Cheminée solaire	0,1 W/m <sup>2</sup>
Thermie océanique	5 W/m <sup>2</sup>
<b>Energie solaire concentrée (déserts)</b>	<b>15 W/m<sup>2</sup></b>

Table 4. Les installations renouvelables doivent être à la taille du pays car toutes les sources sont très diffuses. Cette table indique la puissance par unité de surface de terre ou de mer que peut procurer une panoplie de sources renouvelables.



Figure 5. Paraboles de Stirling. Ces superbes concentrateurs fournissent une puissance par unité de surface de 14 W/m<sup>2</sup>. Image gracieusement fournie par Stirling Energy Systems. [www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com)



- Une troisième façon d'obtenir de la puissance décarbonisée serait d'avoir recours aux ressources renouvelables d'autres pays – et notamment, des pays bénéficiant d'un fort ensoleillement, de vastes espaces, et de faibles densités de populations. Quel est le potentiel réaliste du désert du Sahara ?

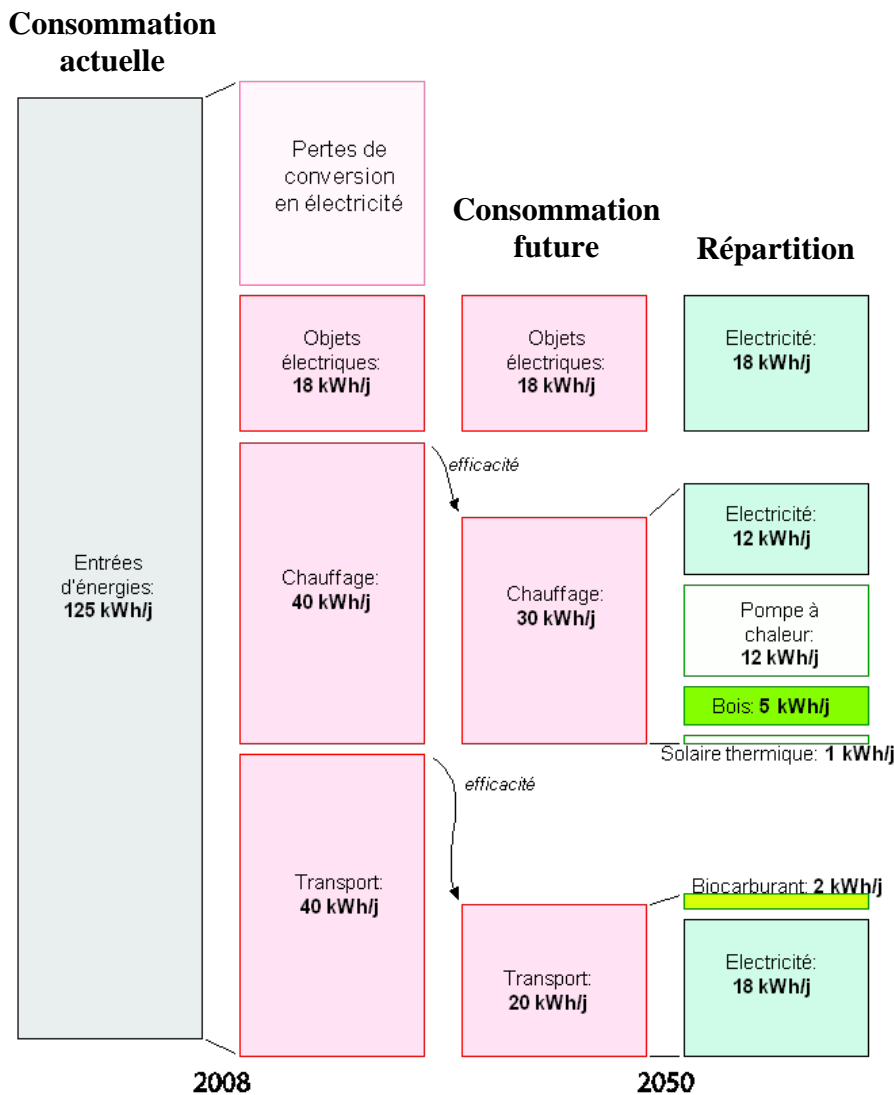


Figure 6. Schéma simplifié de la consommation de la Grande-Bretagne en 2008 (deux colonnes de gauche), et un programme de consommation future, mis en parallèle avec une répartition possible des carburants (deux colonnes de droite). Ce programme nécessite que la fourniture d'électricité augmente de 18 à 48 kWh/j par personne.

Afin de rendre la discussion plus claire, cette partie du livre simplifie la consommation de la Grande-Bretagne en un schéma qui ne comporte que trois catégories: transport, chauffage et électricité.

Cinq programmes énergétiques pour la Grande-Bretagne sont présentés, qui tous réduisent la demande en énergie en électrifiant les transports et en électrifiant le chauffage (avec des pompes à chaleur). Les véhicules électriques possèdent un autre avantage: la charge de leurs batteries représente une importante demande en électricité qu'il est facile de couper ou de remettre en marche, et par conséquent une charge intelligente aiderait à faire correspondre l'offre et la demande d'un réseau électrique fortement renouvelable ou nucléaire.

Bien sûr, l'électrification des transports et du chauffage requiert une augmentation substantielle de la production d'électricité. Les cinq programmes fournissent l'électricité requise en ayant recours à cinq assortiments différents de sources sans carbone. Ces choix sont assimilés à des colorations politiques différentes, et incluent les programmes : « National », qui vise à l'autarcie énergétique ; « Pas dans mon jardin », qui

repose fortement sur l'emploi de ressources renouvelables d'autres pays; « Anti-nucléaire », qui refuse le nucléaire mais admet le charbon propre; « Vert » qui se passe à la fois du charbon propre et de l'énergie nucléaire; « Libéral » qui se focalise sur les choix sans carbone les plus économiques: centrales éoliennes terrestres, énergie nucléaire, et une poignée de lagunes marémotrices.

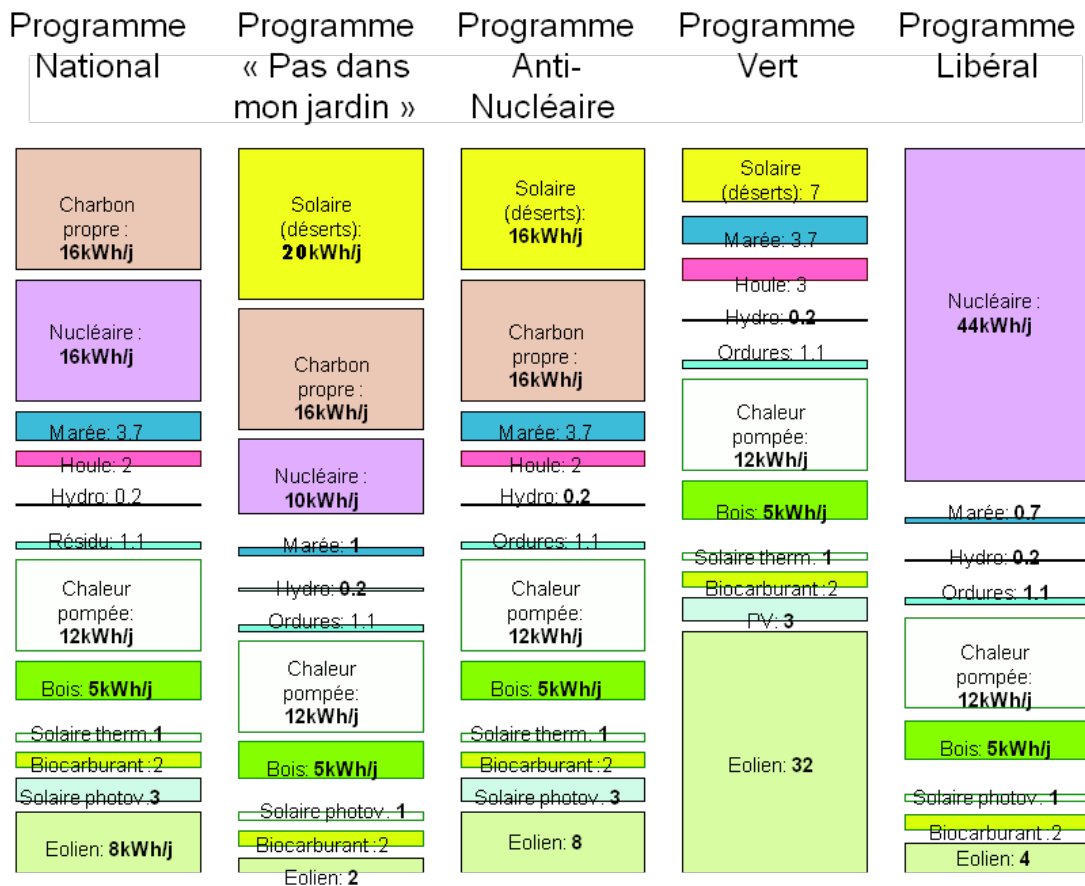


Figure 7. Cinq programmes énergétiques pour la Grande-Bretagne. Tous ces programmes d'offre présupposent que la demande a été substantiellement réduite par des améliorations de rendement pour le chauffage et les transports.

Ces programmes mettent en évidence les différents blocs à mettre en place afin de créer notre futur décarboné.

Tout programme qui ne fait pas fortement appel à l'énergie nucléaire ou au « charbon propre » doit compenser son bilan énergétique en faisant appel à de l'énergie renouvelable achetée à d'autres pays. La source renouvelable la plus prometteuse pour un développement à grande échelle consiste à concentrer l'énergie solaire dans les déserts. Concentrer l'énergie solaire repose sur diverses combinaisons de miroirs mobiles, de sels fondus, de vapeur, et de machines thermiques pour produire l'électricité.



Figure 8. Andasol : une centrale solaire de « 100 MW » en cours de construction en Espagne. L'énergie thermique produite en excès pendant le jour sera stockée dans des réservoirs de sel liquide pendant au moins sept heures, permettant une fourniture d'électricité continue et stable au réseau. La puissance par unité de surface sera **10 W/m<sup>2</sup>**. Photo: IEA SolarPACES.

Pour que l'on puisse bien se rendre compte de l'échelle des programmes énergétiques pour lesquels le compte est bon, la figure 9 décrit un sixième

programme, moyen, qui inclut toutes les sources d'énergies décarbonées possibles, et se situe à peu près à la moyenne des cinq premiers. La figure montre aussi l'impact sur la Grande-Bretagne s'il était adopté.

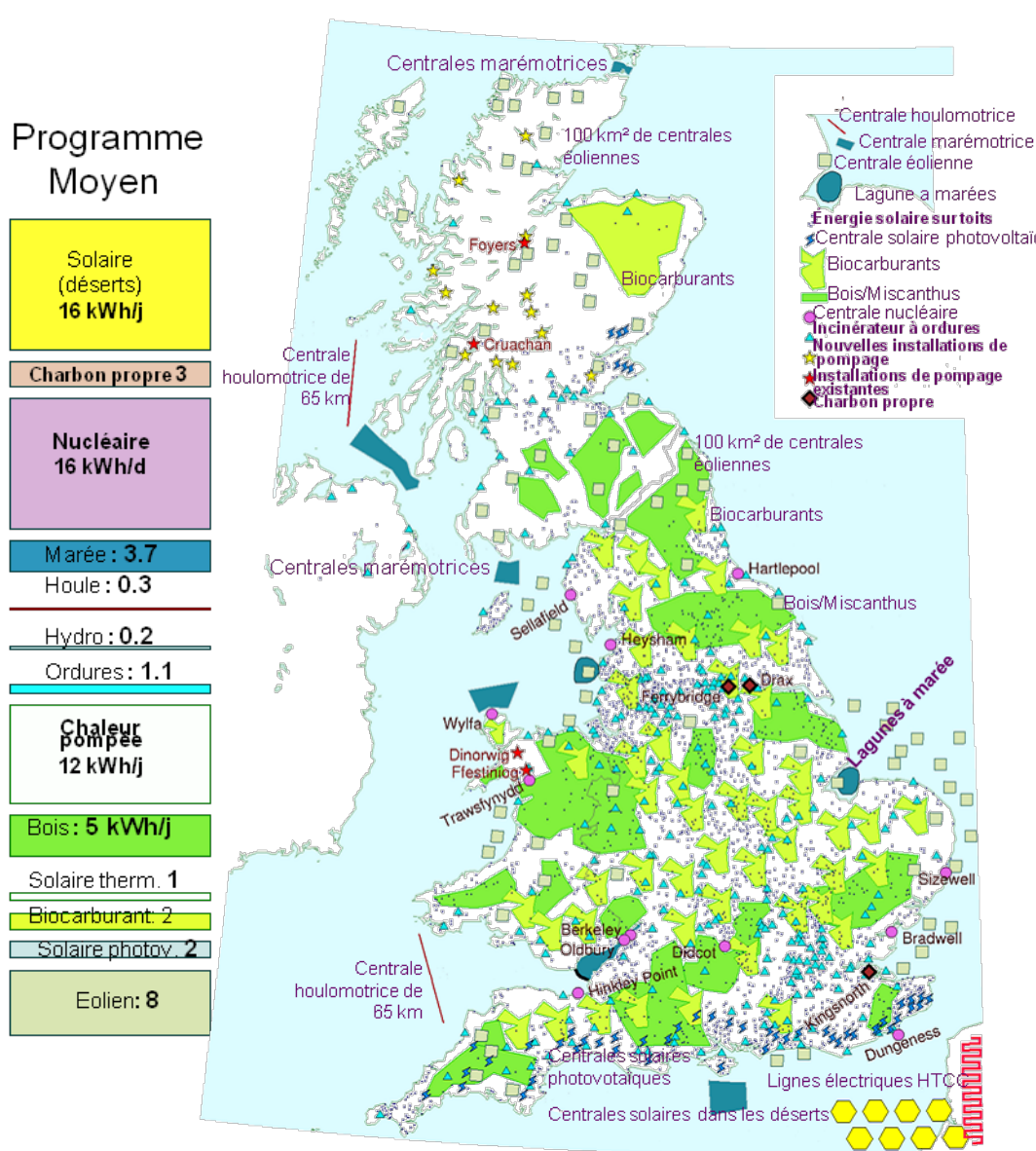


Figure 9. Programme moyen et son impact sur la Grande-Bretagne. Les carrés gris-verts sont des centrales éoliennes. Chacune fait 100 km<sup>2</sup> et est montrée à l'échelle.

Les lignes rouges dans la mer sont des centrales houlomotrices, montrées à l'échelle.

Polygones bleus clairs en forme d'éclairs : centrales solaires photovoltaïques – 20 km<sup>2</sup> chacune, à l'échelle.

Polygones bleus à coins pointus dans la mer: centrales marémotrices.

Formes arrondies bleus dans la mer (Blackpool et the Wash): lagunes marémotrices.

Zones terrestres vert clair: bois et bosquets à rotation rapide (à l'échelle).

Zones jaunes-vertes: biocarburants (à l'échelle).

Petits triangles bleus: usines d'incinération d'ordures (pas à l'échelle).

Gros diamants bruns: centrales à charbon propre, avec cocombustion de biomasse, et capture et stockage de carbone (pas à l'échelle).

Cercles pourpres: centrales nucléaires (pas à l'échelle) – en moyenne une production de 3,3 GW à chacun des 12 sites.

Hexagones jaunes au delà de la Manche: installations concentratrices d'énergie solaire dans les déserts lointains (à l'échelle, 335 km<sup>2</sup> chacune). Les lignes brisées roses en France représentent les nouvelles lignes Haute Tension Courant Continu (HTCC), longues de 2000 km, transportant 40 GW des déserts lointains jusqu'en Grande-Bretagne.

Etoiles jaunes en Ecosse: nouvelles installations de stockage par pompage.

Etoiles rouges: installations de stockage par pompage existantes.

Points bleus: panneaux solaires pour l'eau chaude sur tous les toits.

Mon objectif n'est pas de désigner les gagnants, mais de présenter des faits honnêtes et quantitatifs pour toutes les options. Ceci étant dit, je vais maintenant braquer mon projecteur sur quelques vaches sacrées qui ne s'en sortent pas trop bien lorsqu'ils sont confrontés à une analyse quantitative, et d'autres qui tirent leur épingle du jeu.

**Mauvais: les véhicules à hydrogène** sont un vrai désastre. La plupart des prototypes de véhicules alimentés à l'hydrogène consomment *plus* d'énergie que les véhicules à carburant fossile qu'ils remplacent. La BMW Hydrogen 7 consomme 254 kWh aux 100 km (alors que la voiture fossile moyenne en Grande Bretagne consomme 80 kWh aux 100 km). **Bon:** au contraire, les prototypes de véhicules électriques consomment dix fois moins d'énergie: 20 kWh aux 100 km ou même 6 kWh aux 100 km. Les véhicules électriques sont bien meilleurs que les voitures hybrides. Les voitures hybrides actuelles, qui typiquement ne font dans le meilleur des cas que 30% de mieux que les voitures fossiles, ne doivent être considérés que comme une étape bienvenue mais transitoire vers les véhicules électriques.





Figure 10. **Mauvais:** BMW Hydrogen 7. 245 kWh aux 100 km.  
Photo: BMW.



Figure 11. **Bon:** le roadster électrique Tesla. 15 kWh aux 100 km.  
[www.teslamotors.com](http://www.teslamotors.com)



Figure 12. **Bon:** l'APTERA. 6 kWh aux 100 km.  
[www.aptera.com](http://www.aptera.com)

**Mauvais:** la production décentralisée d'électricité et de chaleur est une autre erreur en puissance. Certes, la chaleur et l'électricité combinées (c'est-à-dire, installer des générateurs électriques individuels dans chaque bâtiment, fournissant une électricité locale et de la chaleur pour chauffer les bâtiments) peuvent constituer une façon légèrement plus efficace d'utiliser les combustibles fossiles que la manière classique (c'est-à-dire, ces centrales électriques d'une part, et des chaudières à condensation locales d'autre part). Mais le rendement n'est amélioré que d'environ 7%. Et cela emploie des combustibles fossiles ! L'objectif n'est-il pas de se passer des combustibles fossiles ? De fait, il y a une bien meilleure façon de produire de la chaleur localement: les  **pompes à chaleur**. **Bon:** les pompes à chaleur sont des réfrigérateurs inversés. Alimentés par de l'électricité, elles pompent de la chaleur à l'intérieur d'un bâtiment depuis l'extérieur – soit depuis l'air, soit depuis le sol. Les meilleures pompes à chaleur, développées récemment au Japon, ont un coefficient de performance de 4,9; ceci signifie qu'en utilisant 1 kWh d'électricité, la pompe fournit 4,9 kWh de chaleur sous forme d'air chaud ou d'eau chaude. C'est une façon bien plus efficace d'utiliser de l'énergie de haute qualité pour faire de la chaleur, que de simplement brûler des produits chimiques de haute qualité, ce qui ne parvient qu'à un coefficient de performance de 0,9.



Figure 13. **Bon:** les parties internes et externes d'une pompe à chaleur air/air dont le coefficient de performance est 4. Le stylobille sur la partie interne est là pour montrer l'échelle. Une de ces unités Fujitsu peut fournir 3,6 kW de chauffage en utilisant seulement 0,845 kW d'électricité. Elle peut aussi fonctionner en mode réversible, fournissant 2,6 kW de refroidissement en consommant 0,655 kW d'électricité.

**Mauvais:** les micro-turbines à vents installées sur les toits sont un parfait gâchis de ressources. **Bon:** par contre, les **panneaux solaires thermiques sur les toits** sont à choisir les yeux fermés. Ils fonctionnent vraiment: même en Grande-Bretagne, où l'ensoleillement n'est que d'environ 30%, un modeste panneau de 3 m<sup>2</sup> peut fournir la moitié de l'eau chaude d'une famille typique.





Figure 14. **Mauvais**: une microturbine Ampair « 600 W ». La puissance moyenne générée par cette micro-turbine à Leamington est de 0,037 kWh par jour (1,5W).

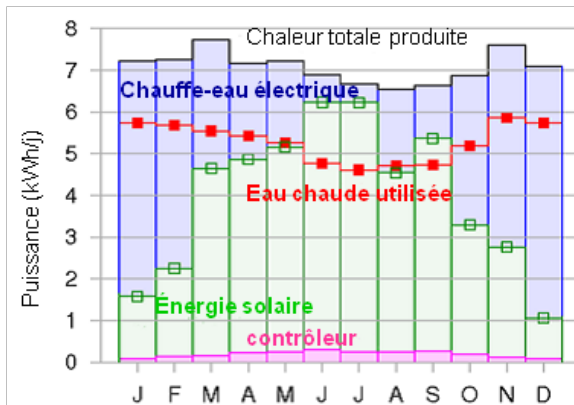


Figure 15. **Bon**: l'énergie solaire générées par un panneau solaire thermique (en vert) et la chaleur supplémentaire nécessaire (en bleu) pour produire l'eau chaude dans la maison test de Viridian Solar. (La photo montre une maison avec le même modèle de panneau sur le toit). La puissance solaire moyenne pour 3 m<sup>2</sup> était 3,8 kWh/j. Cette expérience simulait la consommation en eau chaude d'un foyer européen moyen - 100 litres d'eau chaude (60°C) par jour. Le trou de 1,5-2 kWh/j entre la chaleur totale produite (ligne noire, en haut) et l'eau chaude employée (ligne rouge) provient des pertes de chaleur. La ligne magenta indique la puissance électrique requise pour piloter le système solaire. La puissance moyenne par unité de surface de ces panneaux solaires est 53 W/m<sup>2</sup>.

**Mauvais**: éteindre les chargeurs de téléphone est un geste futile, comme écoper le Titanic avec une petite cuillère. L'inclusion habituelle « coupez vos chargeurs de téléphone » dans les listes de « 10 choses concrètes que vous pouvez faire » est une *mauvaise chose*, en ce qu'elle détourne l'attention de mesures plus efficaces que les gens pourraient entreprendre. **Bon**: **baisser le thermostat** est la technologie la plus efficace d'économie d'énergie accessible à une personne moyenne – chaque degré de baisse réduira vos coûts de chauffage de 10%; et le chauffage a de fortes chances d'être la plus importante forme de consommation d'énergie dans la plupart des bâtiments britanniques. La figure 16 montre les données pour ma maison.

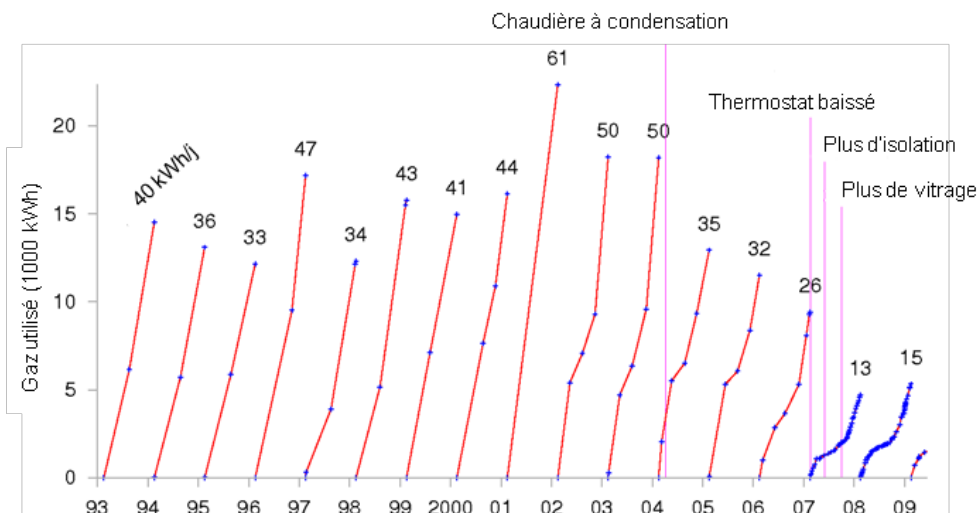


Figure 16. Ma consommation domestique de gaz naturel, tous les ans de 1993 à 2007. Chaque ligne montre la consommation cumulée pendant un an en kWh. Le nombre à la fin de l'année est ma consommation moyenne pour cette année, en kWh par jour. Les relevés du compteur sont indiqués par des points bleus. Clairement, plus je lis mon compteur fréquemment, moins je consomme de gaz !

Ce livre n'a pas pour vocation d'être un recueil définitif de chiffres ultra-précis. Son objectif est plutôt d'illustrer comment utiliser des chiffres approximatifs dans le cadre de conversations constructives et consensuelles. Ce livre ne se fait pas le chantre d'un programme énergétique ou d'une technologie particulière; simplement, il vous indique combien il y a de briques dans la boîte de lego, et quelle est la taille de chaque brique, de façon à ce que le lecteur puisse envisager par lui-même comment réaliser un programme qui fasse le bon total.

### *Partie III – Chapitres techniques*

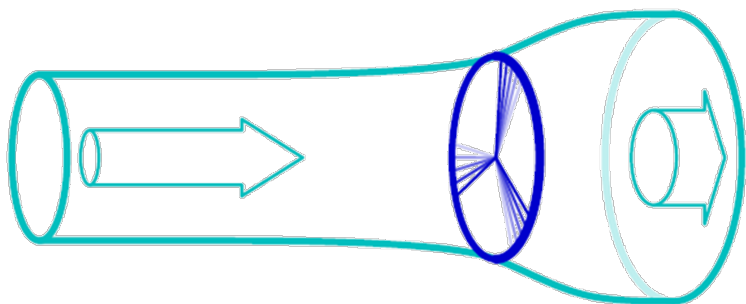


Figure 17. Le flux d'air au travers les pales d'une éolienne. L'air est ralenti et étalé par l'éolienne.

La troisième partie du livre creuse jusqu'aux fondations physiques de la consommation et de la production d'énergie. Huit appendices montrent, à partir de principes physiques fondamentaux, d'où viennent les chiffres des deux premières parties. Ces appendices expliquent, par exemple, de quelle façon les voitures pourraient être rendues nettement plus efficaces énergétiquement, et pourquoi ce n'est pas vrai pour les avions; et ils expliquent comment la puissance produite par les centrales éoliennes, marémotrices ou houlomotrices peuvent être calculées sur un coin de table. Bien que la plus grande part de ce livre ait été conçue pour être accessible à toute personne sachant additionner, multiplier et diviser, ces appendices sont destinés à des lecteurs qui sont à l'aise avec des formules telles que «  $\frac{1}{2}mv^2$  ».

### *Partie IV – Données Utiles.*

Les seize pages finales du livre contiennent d'autres données de référence et des facteurs de conversion, utiles pour appliquer les idées du livre à d'autres pays, et pour traduire en des unités utilisés par d'autres organisations.

#### Informations Supplémentaires

Ce livre est disponible gratuitement en ligne (en anglais) à

[www.witouthotair.com](http://www.witouthotair.com)

Publication par UIT Cambridge le 2 décembre 2007 au Royaume-Uni, le 1<sup>er</sup> avril 2009 en Amérique du Nord.

L'auteur David MacKay est Professeur de Philosophie Naturelle dans le Département de Physique de l'Université de Cambridge.

Traduction en Français de ce document par Jean-Pierre Levrard (Institut Pasteur) et Jean-Yves Le Boudec (EPFL) le 2 Septembre 2010. Merci à Sandou Moussa (EPFL) pour son aide à l'adaptation des images.

2 décembre 2008