



ENJEUX SCIENCES

# LA BIOMASSE, ÉNERGIE D'AVENIR ?

HERVÉ BICHAT ET PAUL MATHIS

éditions  
**Quæ**



# LA BIOMASSE, ÉNERGIE D'AVENIR ?



# LA BIOMASSE, ÉNERGIE D'AVENIR ?

HERVÉ BICHAT ET PAUL MATHIS

Éditions Quæ

Éditions Quæ  
RD 10  
F – 78026 Versailles Cedex

© Éditions Quæ, 2013  
eISBN : 978-2-7592-1913-1

Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation des éditeurs ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

# Sommaire

Préface : le carbone à tout faire.....	5
Introduction : l'énergie, un vrai problème pour l'humanité ?.....	7
<b>Énergie et biomasse</b> .....	15
La biomasse, qu'est-ce que c'est ? À quoi ça sert ? .....	17
La biomasse, une énergie nouvelle ? .....	27
La biomasse a-t-elle sa place dans la transition énergétique ? .....	33
<b>À quoi sert la biomasse-énergie ?</b> .....	43
Brûler le bois, est-ce toujours une bonne chose ? .....	45
Dans les transports, les biocarburants pourront-ils remplacer le pétrole ? .....	53
Les biocarburants sont-ils bons pour l'environnement ? .....	67
La biomasse peut-elle aussi répondre aux besoins du bâtiment et de la chimie ? .....	77
Faut-il produire de l'électricité à partir de biomasse ? .....	85
Le biométhane, vecteur énergétique d'avenir ? .....	91
<b>La forêt, source de biomasse-énergie</b> .....	99
Comment la France pourrait-elle tirer un meilleur parti de ses forêts ? .....	101
Vaut-il mieux planter des arbres ou exploiter les forêts ? .....	111
<b>L'agriculture, source de biomasse-énergie</b> .....	119
La France a-t-elle pour mission de nourrir le monde ? .....	121
Betterave ou canne à sucre : faut-il être jaloux du Brésil ? .....	129
Combien produit-on vraiment de tonnes équivalent pétrole par hectare ? .....	137
<b>Les déchets, source de biomasse-énergie</b> .....	145
Les déchets : un nouveau pétrole vert ? .....	147
Vaut-il mieux brûler ou méthaniser les déchets ménagers ? .....	159
Lisier plus maïs, est-ce le bon choix pour des énergies locales ? .....	167
<b>La biomasse-énergie demain</b> .....	173
Y a-t-il assez de terres (et d'eau) pour nourrir les humains et produire de l'énergie ? .....	175
Alimentation, énergie, matériaux, chimie : comment arbitrer ? .....	185
La science ouvre-t-elle des perspectives ? .....	193
<b>Conclusions générales : « Penser globalement, agir localement »</b> .....	203
<b>Bibliographie</b> .....	209
<b>Glossaire</b> .....	215
<b>Abréviations</b> .....	223
<b>Équivalences énergétiques</b> .....	225



# Préface : le carbone à tout faire

Énergie, alimentation, matériaux : le carbone renouvelable produit par la photosynthèse des plantes, des arbres ou des algues, est sollicité de toutes parts pour satisfaire les besoins à venir d'une humanité de 9 milliards de personnes.

De quoi parle-t-on ? À quelle échéance ? Comment progresser ?

En quoi les perspectives futures d'utilisation de cette source de carbone comme alternative partielle à l'utilisation de carbone fossile font-elles bouger la situation de la faim dans le monde ?

Les promesses sont importantes, les potentialités réelles, la situation actuelle très controversée : les dernières remises en cause datent, en France, du rapport de la Cour des Comptes de 2012 ; en Europe, de la révision des objectifs d'incorporation de biocarburant ; et dans le monde, des tensions sur le prix du maïs en Amérique ou des discussions sur la culture des palmiers pour l'huile.

Parallèlement, la recherche et l'innovation ouvrent la porte à des voies plus efficaces de transformation du carbone de la biomasse en énergie, alors que les méthodes agronomiques proposent des systèmes plus durables.

Du côté des spécialistes de l'énergie, la raréfaction du pétrole, mais aussi désormais la prise en compte de la nécessité de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, conduisent à s'intéresser de nouveau aux énergies nouvelles issues de la biomasse terrestre ou aquatique. Mais les prospectives établies par ces spécialistes, au niveau de l'Agence internationale de l'énergie par exemple, posent des hypothèses ambitieuses sur la productivité agronomique, hypothèses parfois contestables.

Dès lors, il devenait essentiel de remettre en perspective les enjeux et les données de base, vus à partir de points de vue croisés pour construire une vision partagée du futur de la biomasse-énergie. C'est tout l'intérêt de cet ouvrage très documenté, rédigé par deux éminents spécialistes.



Hervé Bichat est agronome, il joint l'expérience du terrain, en Afrique notamment, et le regard de l'expert accoutumé à la recherche des équilibres globaux.

Paul Mathis connaît très bien l'énergie et la photosynthèse.

Ils ont produit ensemble un ouvrage simple et clair qui donne des ordres de grandeur et aide à comprendre en quoi et comment la valorisation de la biomasse participera de la nécessaire transition énergétique.

Sa lecture, aisée et passionnante, vous éclairera dans ce débat complexe.

Marion Guillou  
Présidente d'Agreenium



# INTRODUCTION : L'ÉNERGIE, UN VRAI PROBLÈME POUR L'HUMANITÉ ?

## L'ÉNERGIE, EST-CE IMPORTANT ?

Sans qu'on s'en rende compte, notre civilisation dépend d'une énorme consommation d'énergie. Celle-ci a toujours été nécessaire à la vie des humains et à leur développement social et économique. Mais un tournant décisif a été marqué par l'avènement du charbon, au XVIII<sup>e</sup> siècle, qui a permis le vrai démarrage d'une civilisation industrielle. Par la suite, l'importance de l'énergie a été fortement accentuée par la maîtrise de l'usage du pétrole. Celui-ci, relayé partiellement par le gaz naturel, l'hydroélectricité et le nucléaire, demeure essentiel aux activités humaines, au point que nos consommations d'énergie sont souvent mesurées en « tonnes équivalent-pétrole », ou tep<sup>1</sup>. Chaque année, l'Américain moyen consomme en énergies diverses l'équivalent de 8 tep, l'Européen 4 tep, alors que la moyenne mondiale est de 1 tep par personne. Nous savons maintenant que cette situation pose de nombreux problèmes planétaires. Ceux-ci n'étaient pas visibles tant que la consommation d'énergie était faible. Mais avec l'augmentation continue de la population mondiale et surtout l'amélioration des niveaux de vie, les problèmes énergétiques actuels tournent autour de deux questions essentielles : le climat de demain sera-t-il soutenable ? Et y aura-t-il de quoi nourrir tous les humains correctement ?

Les relations entre énergie et climat sont assez claires. Le réchauffement à l'œuvre sur toute la planète trouve sa source essentielle dans les émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub> ou dioxyde

---

1. tep : tonne équivalent pétrole (unité d'énergie). Les unités supérieures sont notées ktep (milliers), Mtep (millions), Gtep (milliards). Les mêmes symboles sont utilisés pour l'énergie électrique (kWh, MWh, GWh), pour les hectares (ha, kha, Mha), pour les masses (t, kt, Mt, Gt) et pour les volumes (Mm<sup>3</sup>).



de carbone) provenant de notre consommation d'énergie<sup>2</sup>. Aujourd'hui, 82 % des besoins énergétiques sont satisfaits par l'utilisation des « combustibles fossiles » : charbon, pétrole et gaz. Dans tous les cas, le combustible est brûlé, par réaction avec l'oxygène de l'air. Du CO<sub>2</sub> est alors émis et s'accumule dans l'atmosphère. Les modèles d'évolution du climat font craindre une forte élévation de la température moyenne de l'atmosphère, ce qui aurait des conséquences catastrophiques pour l'humanité et la planète entière. Deux degrés de plus et les conséquences seraient déjà graves : canicules, inondations, fusion des glaces, évènements climatiques extrêmes, fortes pertes de biodiversité, etc. Pourtant l'extrapolation des tendances actuelles prévoit une augmentation de température moyenne de 4 à 6 °C d'ici l'an 2100. On observerait alors une forte élévation du niveau des mers et un risque d'emballement dû à la perturbation des sols dans les régions polaires.

Face à ces perspectives, les responsables politiques s'accordent sur la nécessité de diviser par deux les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2050. Des efforts plus importants devront être accomplis par les pays riches, gros émetteurs de GES par habitant. Pour un pays développé comme la France, les pouvoirs publics visent l'objectif de diviser par quatre les émissions. Pour toute la planète, il faut en finir rapidement avec une situation où l'on consomme beaucoup d'énergie, et où celle-ci provient presque uniquement des combustibles fossiles. Ce changement à accomplir a pris le nom de transition énergétique. Il s'agit de sortir rapidement de notre dépendance au pétrole, pris comme l'archétype des combustibles fossiles.

Les relations entre énergie et alimentation sont moins évidentes mais elles n'en sont pas moins essentielles. En premier lieu, il faut de l'énergie pour produire des aliments. Il en faut pour faire marcher les machines agricoles, dont les moteurs démultiplient la

---

2. Ceci est une approximation car du CO<sub>2</sub> est émis par d'autres activités humaines comme la fabrication du ciment et les déforestations. Et d'autres GES (gaz à effet de serre), en particulier le méthane CH<sub>4</sub> et le protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O, contribuent également à augmenter l'effet de serre.

force de travail des humains. Il en faut pour produire les engrais, pour transporter les produits, pour les conserver, pour les transformer jusqu'au contenu de nos assiettes. L'incapacité qu'ont certaines régions du globe à nourrir leurs habitants provient en grande part de leur manque d'énergie. Sans énergie, la production agricole est limitée par la force physique des paysans. Dans ces mêmes régions, avec peu d'énergie disponible, il est impossible de transformer et de conserver correctement les produits, ce qui entraîne d'importantes pertes de production.

La concurrence pour les terres est un autre aspect de cette question. Avec la perspective d'un pétrole plus rare et plus cher, les pays les plus riches, les plus demandeurs de pétrole, ont imaginé de le remplacer par des biocarburants. Ceux-ci sont produits à partir de matière végétale, appelée « biomasse » d'une manière générale. Cette biomasse peut elle-même servir à l'alimentation des humains, ou bien pousser sur des sols sur lesquels des aliments pourraient être produits. Comme les sols fertiles sont en quantité limitée, on voit ici que l'énergie, sous la forme des carburants, et l'alimentation sont en concurrence. Comme on le dit parfois d'une façon très schématique, « manger ou conduire, il faut choisir. »

## LA NÉCESSITÉ D'UNE « TRANSITION ÉNERGÉTIQUE »

Nous venons de le voir, deux des grandes questions planétaires que pose l'énergie sont le réchauffement climatique et sa concurrence avec l'alimentation. Il s'agit de deux facettes d'un même problème : d'importants besoins en énergie nous poussent à utiliser beaucoup trop de combustibles fossiles. Pour y faire face, il faut faire des choix politiques, entamer une réelle transition énergétique. Il s'agit là d'un concept qui s'est imposé récemment, même si sa signification n'est pas encore très précise. Transition, cela veut dire que l'on passe d'un état de départ à un état d'arrivée. L'état de départ, c'est la situation actuelle caractérisée par le poids prépondérant des combustibles fossiles dans le bouquet énergétique : ils en représentent plus de 80 % (figure 1). La situation est d'autant plus préoccupante que ce

poids relatif ne change guère. Mais la consommation globale d'énergie ne fait qu'augmenter. Elle s'accroît à vive allure du fait du développement économique des pays du Sud qui représentent plus de la moitié de l'humanité, avec la Chine et l'Inde comme pays dominants. Du fait aussi de l'augmentation de la population mondiale et du souhait de chacun de bénéficier des bienfaits de l'énergie. En moyenne planétaire, il semble normal que les besoins énergétiques par habitant augmentent. Mais il faudrait ralentir le rythme afin que la consommation soit mieux répartie. Il faut surtout diminuer la part des combustibles fossiles, responsables des émissions de GES.

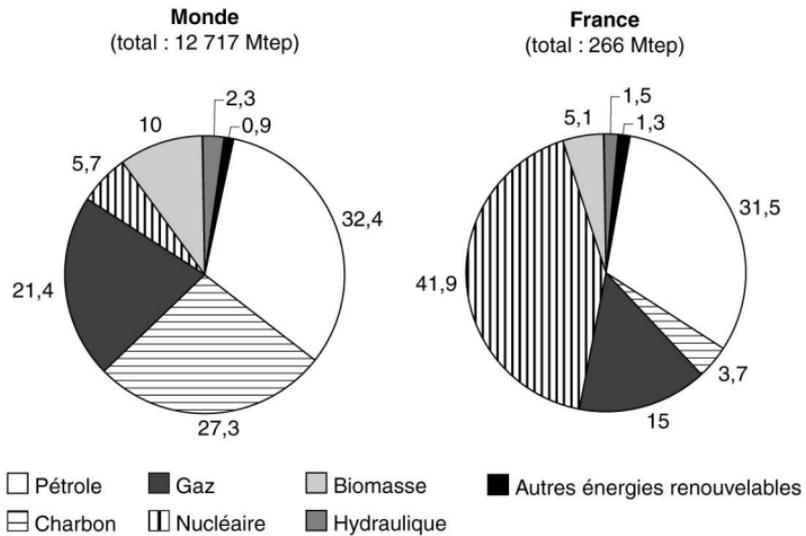


Figure 1. Consommations d'énergies primaires, en % du total, dans le monde (données 2010) et en France (données 2011) (sources : IEA, 2012 ; CGDD, 2012b).

La transition énergétique, c'est donc diminuer la consommation mondiale de charbon, de pétrole et de gaz, ce qu'on appelle souvent « décarboner l'énergie ». Pour les pays de l'Union européenne, il faut diminuer cette consommation de manière importante et rapide.

Passage d'un état de départ à un état d'arrivée, où va nous conduire la transition énergétique ? Une vision raisonnable, largement partagée, fait reposer cette transition sur trois outils,

trois « piliers » comme on dit parfois. Il y a d'abord l'efficacité énergétique, c'est-à-dire la mise en œuvre de changements qui permettent d'obtenir les mêmes services, le même confort, avec moins d'énergie : des moteurs plus efficaces, l'isolation thermique des bâtiments, des appareils électroménagers à basse consommation, etc. Il faut y ajouter, au moins pour les très gros consommateurs que nous sommes, la sobriété, c'est-à-dire le fait de vivre d'une manière moins dispendieuse, en acceptant de diminuer un petit peu notre confort. Les scénarios de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) montrent bien que ce premier pilier est le plus important. Il pourrait contribuer pour la moitié à décarboner l'énergie consommée.

Le second pilier, c'est utiliser l'énergie nucléaire. Sa contribution globale ne sera peut-être pas énorme, mais il s'agit bien d'une énergie décarbonée, source d'électricité à des prix compétitifs. Son importance relative diminue actuellement, mais beaucoup de grands pays ont relancé d'importants programmes nucléaires, même si la question des déchets n'a pas encore de solution à long terme. Le troisième pilier, le seul qui sera abordé ici, s'appelle les énergies renouvelables. C'est l'appel à des énergies provenant du soleil (biomasse, hydroélectricité, électricité éolienne ou solaire, etc.) ou des profondeurs terrestres (géothermie). Leur utilisation n'engendre pas d'émission de GES, en principe du moins, et leur quantité disponible est importante. Les énergies renouvelables sont souvent anciennes, mais leurs technologies sont en développement.

La transition énergétique ne consiste pas à atteindre un état indéfiniment stable. Des choix devront toujours être effectués, en fonction de l'évolution de nombreux paramètres : évolution des consommations, réussite de la politique d'efficacité énergétique, capacité à mettre en œuvre un nucléaire durable, capacité à stocker l'énergie électrique provenant de l'éolien et du solaire électrique, développement des pays pauvres, etc. En matière d'énergies, les remises en question seront donc permanentes.

Le succès de la transition énergétique nécessite que les énergies répondent bien aux besoins des humains, et que leur coût reste raisonnable. Trop chères, elles apparaîtront comme des solutions

merveilleuses, mais inaccessibles. Et la transition ne se fera pas, ou trop tard. En effet, les combustibles fossiles sont présents en quantité limitée, mais quand même très importante. Ils restent les favoris des humains car ils ont de nombreuses qualités : gisements concentrés, emploi très facile et prix imbattables. S'il est probable que la fin du pétrole approche à l'échelle de quelques décennies, le gaz naturel prend la relève, avec les gaz de schiste. Et les stocks mondiaux de charbon sont considérables. De tout cela, il y a bien assez pour faire griller la planète : comme l'écrivait Henri Prévot, « il y a trop de pétrole... »

## IL FAUT UNE VOLONTÉ POLITIQUE

L'ère des combustibles fossiles est donc loin d'être révolue, et leur prépondérance diminue surtout dans les discours. Ainsi faut-il noter que les subventions qui encouragent leur surconsommation dépassent 400 milliards de dollars par an. L'AIE prévoit que le secteur de l'énergie aura besoin de 1 000 milliards d'euros par an d'investissements d'ici 2035, dont la moitié pour les énergies fossiles, qui resteront dominantes. L'autre moitié ira au secteur de l'électricité, dont plus de 40 % pour les réseaux de transport et de distribution. Comment financer la transition énergétique quand de telles sommes sont en jeu ?

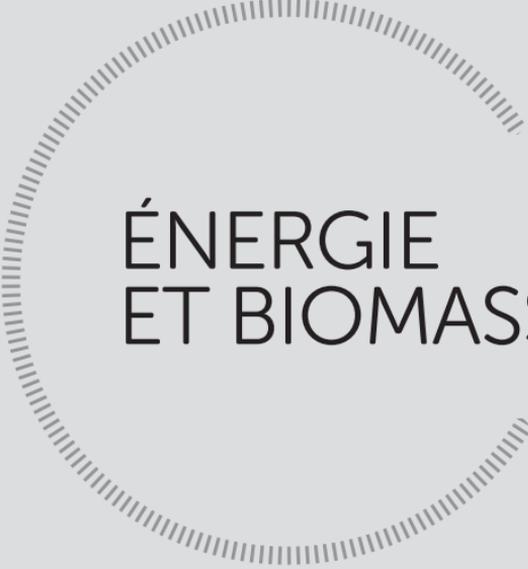
L'Union européenne fait preuve de bonne volonté, comme avec son paquet 3x20 pour 2020 (20 % d'économie d'énergie, 20 % de GES en moins, 20 % d'énergie renouvelable) ou avec sa feuille de route intitulée « décarboner la production d'énergie d'ici 2050 ». La France aussi, avec les accords dits de Grenelle. Dans les deux cas, pourtant, décarboner la consommation d'énergie est loin d'entrer dans les faits. Par ailleurs, la dynamique des marchés de l'énergie est de plus en plus déterminée par les pays hors OCDE, à l'origine, selon l'AIE, de 70 % de la croissance économique mondiale et de 90 % de la croissance de la demande d'énergie. On imagine donc que la transition énergétique, pavée de bonnes intentions, l'est aussi de difficultés économiques. Elle ne se fera pas toute seule, suivant les lois du marché. Il faudra

une volonté politique, agissant avec force, tout de suite et sur le long terme.

Cette volonté n'est pas évidente car la transition énergétique est l'objet de multiples conflits d'intérêt ou de vision sur les risques et sur les bonnes solutions. Elle est aussi l'objet d'incertitudes, dans la mesure où il faut s'engager sur des voies nouvelles, incertaines et exigeantes. Pour nous, dans les pays riches, elle exigera aussi des sacrifices de confort. Ceux-ci arriveront tôt ou tard, du fait du réchauffement climatique et du coût croissant de nos importations de combustibles fossiles. Il vaudrait mieux anticiper ces difficultés, mais cela nécessite que la majorité de nos concitoyens en soient convaincus.

L'objectif de ce livre est de tenter de contribuer à la prise de conscience des citoyens, de répondre aux questions qu'ils se posent sur une part essentielle des énergies renouvelables, la biomasse-énergie. De quoi s'agit-il ? À quoi peut-elle servir ? Dans quelles conditions ? Nous souhaitons que les citoyens soient ainsi mieux armés pour participer aux débats qui ne manqueront pas d'avoir lieu. Cela leur permettra de mener les actions les plus judicieuses, chacun à son niveau, comme consommateur, militant associatif, militant politique, éducatif, ou responsable d'entreprise. En s'appuyant sur le fruit de nos expériences et de nos réflexions.





ÉNERGIE  
ET BIOMASSE

