

Biomasse énergie, pollution atmosphérique et santé

Biomass energy, air pollution and health

Paul MATHIS

FNAUT (Fédération Nationale des Associations d'Usagers des Transports)

Résumé

Cet article est une revue des effets qu'a sur la santé humaine l'utilisation de biomasse-énergie. Outre les émissions d'oxydes d'azote et de certains métaux, ces effets résultent essentiellement d'une combustion incomplète, source de polluants atmosphériques : particules fines, monoxyde de carbone, composés organiques volatils, hydrocarbures aromatiques polycycliques. La question est examinée sous quatre aspects : l'utilisation de combustibles solides pour la cuisson dans les pays pauvres, le chauffage au bois, l'incinération de déchets organiques, et les biocarburants. Dans tous les cas, des effets sanitaires sont établis, mais ils peuvent généralement être prévenus.

Mots-clés

Biocarburants, biomasse, bois, bpc, cancer, chauffage, combustion, cuisson, déchets, fumées, hydrocarbures aromatiques polycycliques, incinérateur, particules fines, pneumonie.

Abstract

This article reports the negative effects on human health due to the use of biomass for energy. In addition to the emission of nitrogen oxides and of metals, these effects result largely from an incomplete combustion, generating various air pollutants: fine particles, carbon monoxide, volatile organic compounds and aromatic polycyclic hydrocarbons. Four situations are discussed: indoor air pollution due to cooking in developing countries, residential wood combustion for heating, the use of biofuels, and waste incineration. In all cases, negative health effects have been demonstrated, but they can be prevented by appropriate strategies.

Keywords

Biofuels, biomass, cancer, combustion, cooking, copd, fine particles, heating, incinerators, municipal wastes, polycyclic aromatic hydrocarbons, pneumonia, smoke, wood.

1. Introduction

1.1 Rappels sur la biomasse

La biomasse est le fruit de la photosynthèse effectuée par les végétaux, plantes et algues, qui utilisent l'énergie de la lumière solaire pour synthétiser toutes leurs biomolécules (Bichat et Mathis, 2013). Dans son étymologie, le préfixe « bio » indique bien son origine biologique, tandis que « masse » signifie qu'il s'agit de produits formés en grande quantité. La biomasse a trois sources essentielles : la forêt, avec le bois, les cultures, et les déchets organiques ménagers

ou industriels. Il faut noter que la biomasse est constituée de molécules, parmi lesquelles trois classes sont particulièrement importantes : les hydrates de carbone ou sucres, les lipides, et la lignocellulose, elle-même composée de molécules complexes, cellulose, hémicellulose et lignine.

La biomasse est utilisée par les humains pour répondre à de multiples besoins :

- l'alimentation, besoin incontournable et prioritaire
- les matériaux, pour le bâtiment (bois d'œuvre, isolants thermiques), pour la fabrication d'outils,

pour l'industrie (papier, agglomérés), pour produire des textiles (coton, laine, lin...)

- l'obtention de produits chimiques (comme le latex) et pharmaceutiques. La chimie biosourcée est appelée à se développer en remplacement de produits pétroliers et du charbon

- la production d'énergie (chauffage, cuisson, biocarburants). Cet usage est très traditionnel puisque la biomasse fournissait 90 % de l'énergie mondiale jusqu'en 1800.

On perçoit donc beaucoup d'usages qui sont tous appelés à se développer, et parmi lesquels l'énergie n'est généralement pas prioritaire.

1.2 Biomasse-énergie : de nombreux aspects positifs

En matière d'énergie, la biomasse constitue l'énergie renouvelable la plus importante. Sur la planète, elle fournit environ 1,3 Gtep, soit 75 % des énergies renouvelables. Ce chiffre est difficile à préciser tant est grande la part de biomasse informelle, produite et utilisée par les paysans, surtout pour leurs besoins de cuisson. En France, la production de biomasse-énergie est de 15 Mtep, soit les deux tiers de nos énergies renouvelables.

Cette biomasse-énergie présente de nombreux aspects positifs : elle est disponible presque partout, et elle est bon marché. Pour les pays qui ont le souci du climat, la biomasse est une énergie renouvelable, et sa consommation n'augmente pas l'effet de serre car, si du CO₂ se dégage bien lors de sa combustion, une quantité égale est prise par photosynthèse pour produire la même biomasse. Cela est théorique : il est de nombreux cas où la vitesse de consommation de biomasse dépasse sa formation. Ce sont des situations où la biomasse n'est pas réellement une énergie renouvelable et où son bilan CO₂ est mauvais.

Au plan de la santé, la production de biomasse alimentaire a évidemment un intérêt majeur. Il en est de même pour l'énergie, tant est positif l'impact sanitaire de cette dernière, avec la possibilité de cuisson des aliments, de chauffage des habitations, de fonctionnement des machines qui soulagent l'effort des travailleurs, etc.

Toutefois la biomasse-énergie présente aussi des impacts sanitaires négatifs et de grande amplitude. Ils sont l'objet de cette revue.

1.3 Particules et gaz toxiques : pourquoi ces émissions ?

À l'origine des impacts négatifs sur la santé, il y a la pollution atmosphérique due aux émissions de particules et de gaz toxiques. Pourquoi ces émissions ? Notons d'emblée que la biomasse est toujours utilisée par combustion, et distinguons trois situations.

1.3.1 La combustion du bois

Il s'agit d'un processus complexe, qui dépend beaucoup de la teneur en eau du bois, de la température de combustion et de l'arrivée d'air. Le bois sec et propre brûle bien en présence de suffisamment d'air, et à température élevée, supérieure à 600 °C. Dans ce cas, les émissions seront essentiellement du CO₂, des oxydes d'azote (NOx), quelques métaux (Cr et Ni) et des cendres minérales (chlorures et sulfates), outre la vapeur d'eau évidemment. Mais les fumées contiennent toujours des molécules carbonées plus ou moins lourdes qui vont pour partie se condenser dans la cheminée (suies, goudrons) et pour partie gagner l'atmosphère.

Il est des situations qui donnent lieu à une moins bonne combustion : une température trop basse, la présence d'eau dans le bois, ou un manque d'air. On a alors un moins bon rendement énergétique et une émission importante de particules et de gaz qui peuvent être nocifs. La question des particules est très complexe (Kocbach Bolling *et al.*, 2009 ; Naeher *et al.*, 2007). Celles-ci sont des particules de carbone organique ou des particules de carbone atomique (suie), auxquelles s'associent d'autres composés. Quant aux gaz nocifs, ils comprennent le CO, divers Composés Organiques Volatils (COV), ainsi que des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), parmi lesquels le benzo-(a)-pyrène est le plus dangereux.

1.3.2 La combustion des déchets

Les déchets urbains sont brûlés dans des incinérateurs, tandis que les déchets agricoles, forestiers et industriels sont brûlés dans des chaudières. On cumule ici des polluants analogues à ceux du bois (souvent dans de mauvaises conditions) et ceux qui proviennent d'autres matières, comme les composés chlorés, qui donnent une

grande variété de polluants gazeux, les dioxines en particulier.

1.3.3 La combustion des liquides et gaz

Il s'agit des biocarburants, qu'ils soient liquides comme l'éthanol ou le biodiesel, ou gazeux comme le biométhane. Ce dernier engendre peu de polluants atmosphériques, pourvu qu'il ait été correctement purifié avant la combustion. L'éthanol est la source de polluants oxygénés (oxydes de soufre et d'azote, aldéhydes) qui sont à l'origine de la formation de O₃ par le biais d'une réaction photochimique. Quant au biodiesel, il est la source de particules fines, comme le gazole d'origine pétrolière.

1.4. Des situations complexes, mais un bilan sanitaire très lourd

Les estimations situent entre 2 et 4 millions le nombre de décès causés chaque année, au niveau mondial, par la pollution atmosphérique due à la biomasse-énergie. C'est un impact sanitaire considérable, qui est sans doute analogue à celui du charbon, mais probablement bien supérieur à celui du gazole et du fioul. Dans de nombreuses grandes agglomérations, la pollution de l'air, qui peut être extrême, n'est pas due surtout à la biomasse, mais elle résulte plutôt de la combustion de charbon et de produits pétroliers pour la production d'électricité, le chauffage et les transports. Quatre cas vont être détaillés ci-dessous : la cuisson dans les pays pauvres du Sud, le chauffage au bois dans les pays développés, les incinérateurs d'ordures ménagères, et les biocarburants.

2. La cuisson dans les pays pauvres du Sud

Dans ces pays, la majeure partie de la cuisson est effectuée avec de la biomasse. En Asie, 86 % de la biomasse-énergie est utilisée de cette façon, et 71 % en Afrique. Il s'agit le plus souvent de bois collecté dans un rayon d'une dizaine de km autour du logement, souvent par les femmes et les enfants, qui y consacrent une bonne part de leur temps. On utilise aussi du charbon de bois, plutôt dans les villes, et des déchets agricoles produits localement, comme la bouse de vache

ou de lama séchée.

Le combustible est le plus souvent brûlé en foyer ouvert, comportant trois pierres constituant un trépied, situé à l'extérieur ou à l'intérieur de l'habitation. Le rendement énergétique est toujours très faible, entre 5 et 8 %, ce qui entraîne une consommation exagérée de combustible. Il faut remarquer que, outre la cuisson, une partie de la pollution provient du chauffage, très sommaire, mais nécessaire dans certaines régions montagneuses.

2.1 Les pollutions

Pour des raisons qui sont maintenant bien comprises, à savoir des foyers ouverts et de la biomasse de mauvaise qualité, ce mode de cuisson engendre une très forte pollution de l'air, surtout à l'intérieur des habitations, mais aussi à l'extérieur, à proximité des foyers. De nombreuses études ont été effectuées dans tous les continents sous l'égide de l'OMS ou par K. R. Smith et ses collaborateurs, de l'université de Californie. À titre d'exemple, en Inde, en prenant comme référence la pollution engendrée par la cuisson d'un repas en utilisant le gaz de pétrole liquéfié (GPL), il apparaît que la cuisson au bois engendre environ 20 fois plus de polluants (particules fines, CO, COV), et que les mauvais combustibles, comme les résidus agricoles et les bouses séchées, en émettent près de 100 fois plus (Smith, 2006). À l'intérieur des logements, la pollution est particulièrement forte en saison froide, car la ventilation est très réduite. La concentration de particules atteint entre 10 et 100 fois les valeurs considérées comme des maximums admissibles. Le monoxyde de carbone est aussi très présent, de même que de nombreux COV et des HAP (Bruce *et al.*, 2000).

2.2 Les effets sanitaires

L'OMS a chiffré l'impact sanitaire à près de 2 millions de morts chaque année. Il s'agit surtout de femmes et d'enfants, qui sont exposés longuement et quotidiennement à des fumées et à des gaz toxiques, sources de maladies variées. L'impact le plus sévère est la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO), responsable de 54 % des décès, chez des adultes, alors que 44 % sont imputables aux pneumonies, surtout chez les enfants. Les autres affections concernent les voies respiratoires (asthme, tuberculose (co-facteur), cancers des voies respiratoires), le système cardio-vasculaire, la vision (cataracte),

ainsi que les allergies. La pollution par le CO est à l'origine d'un déficit pondéral à la naissance des enfants.

2.3 Comment améliorer la situation ?

L'utilisation de foyers améliorés peut faire gagner sur deux tableaux : une meilleure efficacité énergétique et une pollution réduite. Ces foyers sont maintenant proposés par divers programmes des organismes internationaux ou d'ONG¹. Citons ainsi le travail effectué par l'ONG française GERES pour l'utilisation de foyers améliorés au Cambodge. Mais le gain énergétique n'est que de 30-40 % (comme on part de 6 % de rendement, celui-ci est amené à 8 %, ce qui reste bien faible).

Une autre piste, c'est l'utilisation de meilleurs combustibles : charbon de bois, biogaz, GPL. Le problème ici, c'est le coût de ces combustibles. La question de l'accès au combustible ne peut être négligée. Pour disposer de bois de meilleure qualité, certains pays ont mis en œuvre des aires forestières protégées, ou effectué des plantations d'espèces à croissance rapide.

Notons que, en ce qui concerne les pays pauvres, la pollution et ses effets sur la santé sont pratiquement les mêmes, que l'on utilise du charbon ou de la biomasse.

3. Le chauffage au bois

Dans les pays développés, la biomasse-énergie, sous forme de bois, est essentiellement utilisée pour le chauffage (*Pollution atmosphérique*, 2009 ; *Wikipédia*, 2013). Les fumées émises par les poêles, les cuisinières à charbon ou à bois et les cheminées contiennent des particules fines d'un diamètre de l'ordre du micron, des composés non volatils comme les goudrons, et de nombreux composés volatils : NOx, CO, COV, HAP, dont certains sont cancérigènes comme le formaldéhyde et certains HAP, en particulier le benzo-a-pyrène (2, 3, 8, 10).

3.1 Chauffage domestique : chauffage au bois et pollution atmosphérique

Trois modes de chauffage au bois peuvent être distingués (*Wikipédia*, 2013) :

- la cheminée à foyer ouvert, très répandue (en France, 40 % des habitations en disposent), utilisée essentiellement comme chauffage d'appoint ou d'agrément, après avoir constitué le mode de chauffage et de cuisson quasi généralisé. Son rendement énergétique est d'environ 10 %. Ce mode de chauffage cumule la pollution associée à la mauvaise combustion du bois (particules et COV qui partent par la cheminée) et l'émission de gaz à l'intérieur de l'habitation (CO et COV) ;
- le poêle à bois, utilisé exclusivement pour le chauffage ou, sous la forme de cuisinière, pour la cuisson également. Il est souvent en fonte, parfois en pierre (stéatite). Il permet un bon rendement énergétique et une pollution réduite ;
- les chaudières permettent un chauffage collectif de logements ou d'équipements collectifs, grâce à un réseau de chaleur. Ce mode de chauffage est le moins polluant, pour plusieurs raisons : des chaudières à haut rendement, la capacité d'un entretien régulier, un fonctionnement automatisé qui évite les à-coups à faible rendement, et enfin la rentabilité de systèmes de dépollution des fumées.

La qualité de la combustion du bois, et donc la pollution atmosphérique qu'elle engendre, dépend de plusieurs facteurs : la forme du bois (bûches, plaquettes forestières, ou pellets formés de sciure agglomérée), le degré de séchage, et l'espèce d'arbre (feuillus durs ou tendres, résineux).

3.2 Bilan global

En matière de pollutions et d'effets sanitaires, la situation comporte de nombreux paramètres. Quoi qu'il en soit, à l'heure actuelle, le chauffage au bois contribue fortement à la pollution atmosphérique. Selon les chiffres du Citepa (Citepa, 2013), pour la France en 2010, la combustion du bois, toutes conditions confondues, ne contribue que pour 3,5 % à notre consommation d'énergie, mais à 69 % des émissions de HAP, à 62 % des PM1,0, à 35 % du CO, et à 22 % des COV. C'est donc une contribution très importante à la pollution de l'air extérieur, et il est probable que le chauffage au bois contribue aussi fortement à la pollution de l'air intérieur.

Le bilan sanitaire est sans doute en relation mais il est difficile à établir. Partant de données épidémiologiques et expérimentales, il faudrait évaluer le degré d'exposition de différentes catégories de population, puis en évaluer l'impact sanitaire. Or les pollutions dues à la combustion de biomasse ont des points communs avec celles dues au transport routier, aux activités agricoles et industrielles, et les maladies induites sont partiellement les mêmes. Les résultats comportent donc une grande part d'incertitude (Commissariat général du développement durable, 2012 ; INVS, 2013). Les effets concernent les voies respiratoires (à court terme, de l'asthme et des réactions inflammatoires ; à long terme, la BPCO et le cancer du poumon) et le système cardio-vasculaire (à court et long termes) (Naeher *et al.*, 2007 ; Orosco-Levi *et al.*, 2006 ; Annesi-Maesano et Dab, 2006 ; Hoek *et al.*, 2013 ; Masse et Boudène, 2013). Les effets de la pollution urbaine ont été particulièrement étudiés par le projet Aphekom (Aphekom, 2012).

Un rapport de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement (Commissariat général du développement durable, 2012) fournit une analyse complète, au niveau de la France, des relations entre la santé et la pollution de l'air. Il en chiffre les coûts sanitaires en termes de mortalité prématurée et de morbidité, c'est-à-dire des états de mauvaise santé. Il en chiffre aussi les coûts collectifs, qui sont considérables : 20 à 30 milliards € par an, toutes pollutions confondues. Une étude européenne a été effectuée sous le signe de « Clean Air For Europe » (European commission DG Environment, 2005).

3.3 Les actions à entreprendre

Deux facteurs sont déterminants pour réduire la pollution : l'utilisation de foyers efficaces et le traitement des fumées. Ces mesures sont facilement mises en oeuvre dans le cas de grosses chaufferies collectives associées à des réseaux de chaleur pour le chauffage des logements ou la chaleur industrielle. Au niveau du chauffage individuel au bois, qui est souvent de mauvaise qualité, des progrès peuvent être faits avec les inserts, les chaudières modernes, et même le traitement des fumées, bien que celui-ci soit onéreux. Des mesures réglementaires visent à interdire les feux en plein air (feux agricoles, brûlage des déchets verts) et à interdire les cheminées à foyer ouvert.

Un travail d'éducation doit viser à lutter contre l'idée simpliste que le chauffage au bois « est bon pour la planète » et faire comprendre aux habitants tout à la fois l'ampleur des risques, la raison de ceux-ci, et la nature des mesures préventives à prendre. Comme thème éducatif, il faut penser à la qualité du combustible. Il faut utiliser du bois propre et sec, et il faut que la présentation de celui-ci (bûches, plaquettes forestières, pellets) soit adaptée au foyer.

Les mesures peuvent être rassemblées dans des plans, comme le plan Particules national, les plans régionaux (PRQA, Plan Régional pour la Qualité de l'Air) ou des plans locaux, à l'exemple du Plan de protection de l'atmosphère de la vallée de l'Arve. Des mesures incitatives peuvent aussi porter sur le chauffage urbain par un réseau de chaleur provenant de chaudières efficaces, couplées à un système de dépollution des fumées.

4. Les incinérateurs

Parmi les valorisations énergétiques des déchets ménagers ou assimilés, l'incinération est une voie utile, même si elle est parfois décriée sur la base d'études anciennes. Il s'agit de faire brûler les déchets, ce qui fournit de la chaleur utilisée pour produire de l'électricité et pour approvisionner un réseau de chaleur, en cogénération. Cette solution s'intègre dans une stratégie d'ensemble qui établit des priorités dans la gestion des déchets : d'abord en réduire la quantité à la source, puis les trier, avec comme objectif prioritaire une valorisation matière, puis des valorisations énergétiques (incinération pour les déchets secs, méthanisation pour les déchets humides), production de compost, et finalement mise en décharge. En France, l'incinération valorise 37 % des déchets, comme le font de nombreux pays européens, parmi les plus soucieux de l'environnement. La production énergétique française est de 1,3 Mtep/an.

4.1 Les risques des incinérateurs anciens

Plusieurs études ont démontré que les fumées émises par les incinérateurs anciens contenaient des polluants atmosphériques, essentiellement des métaux lourds (mercure, plomb, cadmium), des polychlorobiphényles (dont de nombreuses dioxines), des HAP et des particules d'imbrûlés. Ces polluants restaient partiellement dans l'air, et ils étaient inhalés par les habitants vivant autour

de l'incinérateur. Une partie des polluants, tombant au sol, ont imprégné les sols et les végétaux, engendrant une contamination des populations, directement par la consommation de produits végétaux pollués, ou plus souvent par le biais des animaux qui se sont nourris de végétaux contaminés (lait, oeufs, viande). Des études épidémiologiques conduites autour de ces incinérateurs ont indiqué la possibilité d'un excès de certaines formes de cancers associées à ces pollutions (voir la discussion dans : Zmirou-Navier, 2009 ; Health Protection Agency, 2009).

Il faut remarquer que les incinérateurs d'ordures ménagères traitent des déchets qui relèvent de la biomasse (divers déchets alimentaires, animaux et végétaux) et environ autant de produits qui ne sont pas de la biomasse, comme des matières plastiques. Il est tout à fait probable que les émissions de métaux lourds et de composés organiques chlorés, en particulier les dioxines, proviennent de ces derniers et non pas de la biomasse (sauf les bois souillés).

4.2 Des incinérateurs modernes beaucoup moins polluants

Des directives européennes ont imposé des règles strictes pour les émissions des incinérateurs (UE), émissions de dioxines, de furannes, de particules et de mercure (Communautés européennes, 2010). Les installations créées depuis l'année 2000, approximativement, répondent à ces exigences par deux moyens techniques : une combustion plus complète, à plus haute température, qui émet moins de particules et d'hydrocarbures ; et une épuration très poussée des fumées. La combustion à haute température engendre des émissions de NOx, mais celles-ci restent inférieures à 1 % des émissions françaises. La tendance est aussi à la construction d'incinérateurs de plus grande taille, mieux à même d'effectuer une combustion efficace et d'être dotés d'un système performant de traitement des fumées.

Aux dires des experts (Zmirou-Navier, 2009 ; Health Protection Agency, 2009), il apparaît que les incinérateurs modernes émettent des polluants atmosphériques en quantité extrêmement faible, qui n'en font pas un problème de santé publique, quelle que soit leur localisation. Il convient quand même d'être prudent et de contrôler les émissions, car les chaudières et les filtres peuvent se dérégler, engendrant des émis-

sions excédentaires par rapport aux normes. Il faut aussi remarquer que les déchets, en dépit des règlements, sont fréquemment exportés vers des pays dont les normes d'émission sont bien plus laxistes que les nôtres.

Au plan énergétique, il est probable que les bois souillés constitueront une ressource importante à l'avenir (3-5 Mtep/an en France). En matière de pollution atmosphérique, leur problématique est semblable à celle des déchets ménagers, avec des émissions de métaux lourds et de composés organiques halogénés qu'il conviendra de limiter très fortement.

5. Les biocarburants

5.1. Comment se posent les problèmes ?

Comme source d'énergie, les transports utilisent presque uniquement des produits pétroliers, essence et gazole. En termes de pollution, le problème essentiel est bien entendu l'émission de CO₂, dont les transports émettent 36 % à l'échelon national. Mais les moteurs sont la source d'autres pollutions atmosphériques dont l'impact sanitaire est tout à fait sérieux. Il y a, en premier lieu, les particules fines des moteurs diesel, dont le caractère cancérigène a été reconnu. Depuis que le plomb a été banni des carburants, les polluants non particuliers dangereux sont les NOx, qui sont émis plutôt par les moteurs à essence et qui sont à l'origine de la formation d'ozone.

Le remplacement de carburants pétroliers par des biocarburants est supposé diminuer les émissions de CO₂. En fait, la question est fortement débattue et, sans entrer dans toutes les controverses, il faut dire que le bilan n'est pas merveilleux. Qu'en est-il des autres polluants atmosphériques : les biocarburants sont-ils meilleurs que les carburants pétroliers ?

5.2 Remplacement de l'essence par de l'éthanol

L'éthanol est largement employé au Brésil et aux USA. Une étude (Jacobson, 2007) a montré que l'introduction d'éthanol, en mélange avec l'essence, pouvait entraîner une émission accrue de NOx, et donc de la formation d'ozone, avec des conséquences sanitaires substantielles (mortalité, asthme). Les émissions de NOx pourraient

être réduites, mais les aldéhydes et le nitrate de peroxyacétyle, un irritant oculaire, pourraient augmenter. Ces questions auront besoin d'être mieux étudiées.

5.3 Remplacement du gazole par le biodiesel

L'importance présumée des risques sanitaires dus aux moteurs diesel pourrait faire espérer une amélioration avec le biodiesel. Les études sont encore peu nombreuses, mais il semble bien que les espoirs soient déçus. Une revue de 2012 conclut que les avantages sont équilibrés par des contreparties, sauf lorsque de l'éthanol (!) est ajouté au mélange gazole-biodiesel (Kannan et Anand, 2012). Une étude canadienne conclut que l'incorporation de 5 % ou 20 % de biodiesel dans le gazole ne mènera qu'à des bénéfices très minimes ou nuls sur la qualité de l'air et la santé, et que ceux-ci diminueront vraisemblablement dans le temps, même s'il subsiste des incertitudes importantes au niveau des données et de la modélisation (Santé Canada, 2012).

5.4 Remplacement de l'essence ou du gazole par le bio-GNV

L'utilisation de Gaz Naturel Véhicule (GNV) engendre de très faibles émissions de particules. À l'avenir, certains projets envisagent de remplacer le GNV d'origine fossile par son équivalent obtenu à partir de biomasse, le bio-GNV. Ce dernier serait produit par méthanisation de biomasse humide ou par gazéification thermo-chimique de bois, fournissant un gaz de synthèse soumis ensuite à une réaction de méthanation. L'usage de bio-GNV constituerait un progrès important en termes d'émission de particules, surtout s'il se fait en remplacement de gazole (MEDDE, 2011).

5.5 Les biocarburants de la filière ligno-cellulosique

Les biocarburants actuels, parfois appelés agrocarburants, sont produits à partir de denrées alimentaires. Des recherches sont activement poursuivies pour produire des carburants à partir de bois ou de paille, c'est-à-dire des matériaux ligno-cellulosiques. Si elles aboutissent, elles

inciteront sans doute à cultiver des arbres d'une manière intensive (saule, peuplier, etc.), suivant la méthode dite des taillis à courte rotation ou TCR, sur de grandes surfaces occupées actuellement par des graminées comme les céréales ou les herbes de prairies. Il se trouve que ces arbres sont des espèces dites « à larges feuilles » alors que les graminées sont à feuilles étroites, et qu'ils émettent plus d'un hydrocarbure gazeux, l'isoprène. Dégagé dans l'air, celui-ci est susceptible de réagir avec l'oxygène pour former de l'ozone, qui est un poison pour les animaux et pour les végétaux. Des chercheurs ont évalué quel pourrait être l'impact de larges surfaces de TCR sur la formation d'ozone troposphérique, et sur ses conséquences sur la santé humaine et sur la production des cultures (Ashworth *et al.*, 2013). Sur la base de 72 Mha de TCR, l'effet en Europe pourrait être une mortalité de 1 530 personnes/an, et la production de blé pourrait chuter de 5,5 Mt. Ces estimations sont très hypothétiques à bien des égards, mais il faut les conserver en mémoire en cas d'un fort développement des cultures de TCR.

Conclusion

En prenant connaissance de tous les impacts négatifs sur la santé des usages énergétiques de la biomasse, on pourrait souhaiter rejeter cette forme d'énergie, alors qu'elle est considérée généralement comme renouvelable et utile à la transition énergétique. Plus de deux millions de morts prématurées chaque année et une morbidité considérable, cela place cette énergie au même niveau que le charbon dans son bilan sanitaire. Et pourtant, l'examen de tous les problèmes montre que des progrès considérables peuvent être effectués. Pour cela, les mots d'ordre sont : une combustion efficace, à haute température, grâce à des foyers performants ; et un bon traitement des fumées. Cela coûtera de l'argent et prendra du temps. Des solutions pourront être trouvées assez aisément dans les régions à haut revenu. La question la plus inquiétante est certainement celle de la combustion pour la cuisson, dans les pays pauvres, là où les moyens manquent pour mettre en œuvre les deux facteurs de progrès.

1. <http://www.cleancookstoves.org/> ou <http://www.geres.eu/fr/diffusion-de-foyers-de-cuisson-domestiques-ameliores-au-cambodge>

Références

- Annesi-Maesano I., Dab W. (2006). Pollution atmosphérique et poumon. Approche épidémiologique. *Médecine/Sciences*, n° 22, p. 589-594.
- Aphekom. (2012). Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe. [En ligne]. Disponible sur : http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=5532fafa-921f-4ab1-9ed9-c0148f7da36a&groupId=10347
- Ashworth K., Wild O., Hewitt C.-N. (2013). Impacts of biofuel cultivation on mortality and crop yields. *Nature Climate Change*, n° 3, p. 492-496.
- Bichat H., Mathis P. (2013). *La biomasse, énergie d'avenir ?* Versailles, Quae, 225 p.
- Bruce N., Perez-Padilla R., Albalak R. (2000). Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bull. World Health Organization*, n° 78, p. 1078-1092.
- CITEPA. (2013). *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France*. Séries sectorielles et analyses étendues. Rapport national. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.citepa.org/fr/inventaires-etudes-et-formations/inventaires-des-emissions/secten>
- Commissariat général du développement durable. (2012). *Rapport de la commission des comptes et de l'économie de l'environnement. Santé et qualité de l'air extérieur*. Références, juillet, p. 1-100.
- Communautés européennes. (2010). Directive n° 2010/75/UE du 24/11/10 relative aux émissions industrielles. [En ligne]. Disponible sur : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:fr:PDF>
- European commission DG Environment. (2005). Cost-Benefit Analysis of Policy Option Scenarios for the Clean Air for Europe programme. [En ligne]. Disponible sur : http://www.cafe-cba.org/assets/thematic_strategy_analysis_v3.pdf
- Health Protection Agency. (2009). The impact on health of emissions to air from municipal waste incinerators. [En ligne]. Disponible sur : http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1251473372218
- Hoek G., Krishnan R.M., Beelen R. *et al.* (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, n° 12, p. 43-49.
- Institut National de Veille Sanitaire. (2013). Pollution de l'air et effets sur la santé. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Pollution-de-l-air-et-effets-sur-la-sante>
- Jacobson M.Z. (2007). Effects of Ethanol (E85) versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in the United States. *Environ. Science & Technol.*, n° 41, p. 4150-4157.
- Kannan G.R., Anand R. (2012). Biodiesel as an alternative fuel for direct injection diesel engines: a review. *J. Renew. Sustain. Energy*, n° 4, <http://dx.doi.org/10.1063/1.3687942>
- Kocbach Bolling A., Pagels J., Espen Yttri K., *et al.* (2009). Health effects of residential wood smoke particles; the importance of combustion conditions and physico-chemical particle properties. *Particle and Fibre Toxicology*, n° 6, p. 29, doi:10.1186/1743-8977-6-29.
- Lin H.-H., Murray M., Cohen T., *et al.* (2008). Effects of smoking and solid-fuel use on COPD, lung cancer, and tuberculosis in China: a time-based, multiple risk factor, modelling study. *The Lancet* n° 372, p. 1473-1483.
- Masse R., Boudène C. (2013). Des toxiques au coin du feu : données récentes sur l'impact sanitaire des fumées de bois. *Bull. Acad. Natle. Méd.*, n° 197, p. 187-190.
- MEDDE. (2011). Le développement des véhicules utilisant le gaz naturel. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Gaz-Naturel-pour-Vehicules-GNV.html>
- Naeher L.P., Brauer M., Lipsett M., *et al.* (2007). Woodsmoke health effects: a review. *Inhalation Toxicology*, n°19, p. 67-106.
- Organisation mondiale de la santé. (2011). Pollution de l'air à l'intérieur des habitations. [En ligne]. Aide-mémoire n° 292. Disponible sur : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/fr/index.html>
- Orosco-Levi M., Garcia-Aymerich J., Villar J., *et al.* (2006). Wood smoke exposure and risk of chronic obstructive pulmonary disease. *Eur. Respir. J.*, n° 27, p. 542-546.
- *Pollution atmosphérique*, Numéro spécial « Le bois énergie. Enjeux écologiques et de santé environnementale. Mars 2009.
- Santé Canada. (2012). Évaluation des risques pour la santé humaine liés à la production, la distribution et l'utilisation du biodiesel au Canada. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/biodiesel-fra.php>

- Smith K.R. (2006). Impacts sur la santé de l'utilisation domestique du bois de feu dans les pays en développement. *Unasylva*, n° 57, p. 41-44.
- Wikipédia. (2013). Bois énergie. [En ligne]. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Bois_%C3%A9nergie
- Zmirou-Navier D. (2009). Incinération des ordures ménagères en France. Numéro thématique du *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, InVS, n° 7-8, p. 57-76.

Bichat H., Mathis P. La biomasse, énergie d'avenir ? 2013, Éditions Quæ, Collection Enjeux sciences, 232 pages



Fruit de la photosynthèse des plantes, la biomasse occupe une place centrale dans les grands équilibres planétaires. Elle constitue une ressource essentielle pour les humains, leur fournissant de quoi se nourrir et contribuant à les pourvoir en matériaux et en énergie.

La biomasse-énergie est à la fois ancestrale et moderne. Avec ses trois sources (la forêt, les cultures et les déchets), elle est limitée par la capacité de production des sols et par sa compétition avec les autres usages de la biomasse (l'alimentation, la chimie et les matériaux).

La production énergétique mondiale est entrée dans une phase de transition imposant de réduire fortement dans l'avenir notre consommation d'énergies fossiles, sources de gaz à effet de serre et dont la ressource n'est pas inépuisable. Charbon, pétrole et gaz doivent progressivement être remplacés. La biomasse pourra-t-elle participer à cette transition énergétique et répondre aux besoins croissants de l'humanité en énergie ?