



Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

2005-2006

**Atelier Changement Climatique**

Pierre Matarasso, Vincent Gitz



# La Biomasse-énergie : Une solution au problème du changement climatique ?

Christian Canonico  
Sakina Faouzi  
Elsa Jacquesson  
Charles-Henri Verhaeghe

<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
<b>1. PRESENTATION DE LA BIOMASSE</b>	<b>5</b>
<b>2. LES POTENTIELS DANS LE MONDE</b>	<b>6</b>
2.1 Le bois	7
2.2 Les cultures énergétiques	9
2.3 Les déchets	10
2.4 <b>Compétition pour les terres agricoles entre alimentation et biomasse pour l'énergie</b>	<b>11</b>
2.4.1 Surfaces exploitables	11
2.4.2 En Europe et Amérique du Nord	11
2.4.3 Dans les pays en développement	12
<b>3. DEBOUCHES ECONOMIQUES ACTUELS DE LA BIOMASSE</b>	<b>12</b>
3.1 Généralités	12
3.2 Le Brésil	13
3.3 Les Etats-Unis	14
3.4 L'Union européenne	14
3.5 L'Afrique	15
<b>4. LES FILIERES TECHNOLOGIQUES</b>	<b>16</b>
4.1 La gazéification	16
4.2 La combustion	16
4.3 La digestion	17
4.4 <b>Les biocarburants</b>	<b>17</b>
4.4.1 Présentation	17
4.4.2 La filière éthanol	18
4.4.3 Les biodiesels	19
<b>5. FEUILLE DE CALCUL SUR LES POTENTIELS DE BIOMASSE POUR L'ENERGIE</b>	<b>20</b>
5.1 <b>Elaboration de la feuille</b>	<b>20</b>
5.2 <b>Scénarios</b>	<b>22</b>
5.2.1 Scénario biocarburant pessimiste	22
5.2.2 Scénario combustion optimiste	23
5.2.3 Scénario Biocarburants optimiste	23
5.2.4 Scénarios Europe	24

<b>6. CONCLUSION</b>	<b>26</b>
<b>7. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>27</b>
7.1 Articles et rapports	27
7.2 Sites Internet	28

## Introduction

La biomasse est par tradition une source d'énergie fondamentale, qui n'a perdu de son importance que récemment avec le développement au XIX<sup>e</sup> siècle de l'utilisation massive du charbon, puis surtout au XX<sup>e</sup> siècle, celle des hydrocarbures. Elle garde la première place encore aujourd'hui en tant que source d'énergie dans les pays en développement et elle pourrait être une solution (en tout cas partielle) aux problèmes du changement climatique et de la production d'énergie car c'est une énergie renouvelable et qui théoriquement possède un bilan Carbone nul puisque le carbone émis n'est autre que le carbone absorbé par la plante durant sa croissance.

Traditionnellement, depuis des générations, l'usage du bois comme source d'énergie primaire joue un rôle prépondérant pour fournir de l'énergie et de la chaleur, que ce soit pour cuisiner, chauffer un espace habitable ou chauffer de l'eau. Ainsi, l'utilisation de la biomasse issue du bois apparaît fondamentale à une échelle locale depuis les prémices de la maîtrise du feu.

De plus, on développe aujourd'hui de nouvelles technologies visant à accroître le rendement énergétique. Outre la production de chaleur, des technologies utilisent la biomasse afin de produire de l'électricité, du gaz combustible ou des biocarburants. Trois types de filières technologiques sont alors à distinguer : la combustion (qui produit de la chaleur à base de biomasse, chaleur transformable en électricité), la gazéification (qui produit des biogaz par fermentation) et les biocarburants.

Dans ce rapport, après avoir défini ce qu'est la biomasse-énergie, nous étudierons les différents aspects de son utilisation : potentiels et partage des terres, aspects économiques et techniques de transformation. Enfin, nous présenterons la 'feuille de calcul' que nous avons créée dans le cadre de ce travail, ainsi que différents scénarios envisageables pour le développement de la biomasse comme source d'énergie.

# 1. Présentation de la biomasse

La biomasse, végétale ou animale, constitue aujourd'hui 15 % de la consommation énergétique mondiale. Elle est utilisée plutôt dans les pays en voie de développement pour cuisiner. Dans ces derniers comme dans les pays industrialisés, elle est toujours exploitée bien au dessous de ce que la technologie pourrait permettre, principalement pour des questions économiques. La fraction d'énergie que la biomasse nous fournit aujourd'hui est donc disproportionnée par rapport à la place qu'elle occupe dans les potentiels énergétiques de la planète.

L'utilisation énergétique de la biomasse est aujourd'hui encouragée par des questions d'ordre social, économique et surtout environnemental. En fait, l'accentuation des problèmes causés par les émissions croissantes de gaz à effet de serre concerne de plus en plus la population. L'utilisation de la biomasse n'engendre pas une augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère parce que celui-ci avait été absorbé par le processus de photosynthèse pendant la pousse de la plante. Le bilan est donc nul. Mais les avantages ne se limitent pas au seul aspect environnemental. Par exemple la diffusion de leur exploitation pourrait réduire les problèmes d'interdépendance géographique entre zones à haute concentration de source d'énergie (pétrole...) et zones à plus faible concentration, parce que différentes espèces végétales peuvent être cultivées presque partout dans le monde. En outre l'implantation de petites usines rurales pour la production d'énergie pourrait relancer l'économie de certaines régions et, également, l'établissement de cultures de biomasse sur des terrains abandonnés ou dégradés pourrait les requalifier.

En revanche dans les pays industrialisés, où est pratiqué l'agriculture intensive, la mise en place de systèmes d'utilisation pour exploiter la biomasse des produits secondaires pourrait permettre aux exploitants de toucher une subvention de l'Etat et aussi une méthode alternative pour l'élimination d'une partie des déchets de l'activité principale. Dans ces régions il faudrait envisager un passage aux cultures extensives, avec des rotations sur plusieurs années de différentes espèces végétales, pour revitaliser les sols et pour maintenir une certaine biodiversité. En effet l'expansion de l'utilisation de la biomasse a créé, là où cela n'a pas été bien géré, des phénomènes négatifs, dont la déforestation. Et dans le cas des cultures énergétiques on ne peut pas négliger l'impact des monocultures, des fertilisants, des changements d'écosystèmes, etc.

Une condition fondamentale pour pouvoir améliorer le rôle de la biomasse dans la production énergétique est représentée par la disponibilité de technologies de conversion toujours plus à l'avant-garde en terme d'efficacité et de coûts. En fait, les combustibles ainsi obtenus sont plus exploitables sous forme de gaz ou de liquide. Par exemple cuisiner avec du gaz (et également avec un combustible liquide) produit, avec un système de conversion efficient, une demande de quantité de biomasse primaire inférieure de 50-90% par rapport à une étuve qui brûle directement du bois.

De nombreuses études doivent être faites à ce sujet pour pouvoir envisager une utilisation intelligente de la biomasse et économiquement convenable, en bref, la nécessité d'utiliser des technologies toujours plus efficaces mises au point et de faire des choix corrects s'impose.

Les technologies de transformation sont principalement de deux types : thermochimique et biochimique, selon le matériau végétal à convertir. La première est généralement plus économique car en impliquant des températures plus élevées

permet d'achever des réactions avec un plus haut rendement. La deuxième, utilisée plutôt pour les matières humides, consiste en une transformation biologique, moins flexible d'un point de vue du temps et des autres paramètres de réaction.

Avant de parler de technologies de transformation, il est peut-être plus logique de regarder plus en amont : aux sources et à la disponibilité effective de biomasse.

La photosynthèse produit tous les ans 220 milliards de tonnes de matière sèche, c'est-à-dire 10 fois l'énergie globale actuellement utilisée. Seulement 1.5% est destiné à la production d'énergie.

La production de biomasse pour l'énergie pourrait donc se développer considérablement à travers l'exploitation des ressources existantes et/ou l'agrandissement des plantations énergétiques. On a trois sources potentielles de biomasse principales : les résidus, les forêts existantes et les plantations. Deuxièmement on peut considérer la biomasse marine et la biomasse constituée par les boues résultantes des stations d'épuration EU. Mais ces sources ne constituent pas le sujet essentiel de notre travail.

## 2. Les potentiels dans le monde

**Figure : Potentiel et utilisation de la biomasse dans le monde.**

*Source* : L.F. Albright, R.T.K. Baker (Eds.), *Coke Formation on Metal Surfaces*, ACS Symposium - Series 202, American Chemical Society, Washington, DC, (1982).

Cette carte nous permet d'évaluer rapidement le potentiel de biomasse dans le monde. La première barre d'histogramme représente le potentiel durablement utilisable de la biomasse dans les différentes régions du monde, divisé en 4 secteurs : les cultures énergétiques, les déchets, les herbacés et le bois.

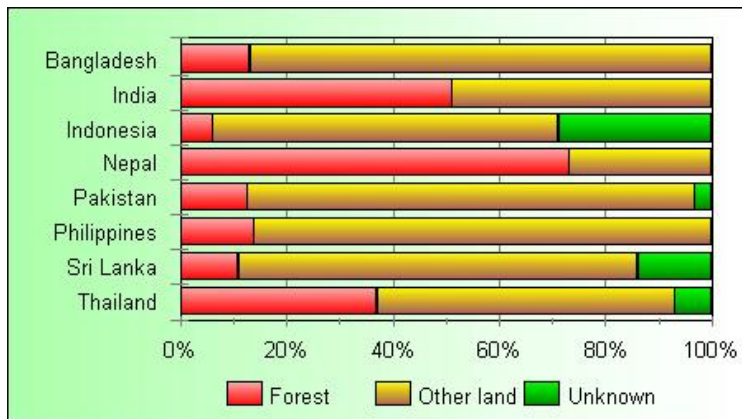
## 2.1 Le bois

Aujourd'hui, le bois et notamment les espaces forestiers sont un enjeu fondamental également à l'échelle mondiale. Les espaces boisés représentent un potentiel énergétique considérable, d'autant plus que, s'il est utilisé de manière adéquate, il s'agit d'un potentiel renouvelable et neutre concernant le problème planétaire des émissions de carbone (en effet, il est postulé que le carbone émis lors de la combustion du bois, ou toute autre forme d'exploitation de l'énergie, n'est que le carbone que l'arbre avait auparavant absorbé). La quantité de biomasse obtenue chaque année par l'abattage des forêts est plus élevée que la quantité qui est effectivement utilisée pour des raisons commerciales (pour la production de mobilier, pour la construction, pour des objets de toutes sortes, etc.). Il y a en fait toujours une surproduction de matière dont la basse qualité ne justifie pas certaines utilisations, mais qui pourrait être exploitée très convenablement pour la production d'énergie. L'amélioration des procédés d'usinage du bois devrait prévoir la mise en place de systèmes de séparation entre la matière de qualité supérieure et inférieure et l'utilisation des deux parties respectivement pour la commercialisation et la production d'énergie (ou bien évidemment la vente pour la production d'énergie). Ce double système permettrait un double avantage : un gain économique sur la totalité de la biomasse enlevée des forêts et une amélioration de la qualité des produits principaux, car les entreprises pourraient ainsi écarter sans grandes pertes une portion majeure de matière de basse qualité. Hall et al estime que la production annuelle de biomasse par les forêts naturelles atteint 105 EJ/an, soit 30% de la consommation énergétique globale actuelle. Cependant il y a plusieurs raisons pour retenir que les forêts naturelles ne peuvent pas être envisagées comme l'un des principaux « fournisseurs » de biomasse pour l'avenir : notamment la perte de biodiversité qui serait engendrée par une exploitation massive de ce genre.

Outre l'aspect 'biodiversité et milieux naturels', les forêts constituent des vrais puits de carbone. Il est estimé que les forêts du globe contiennent 50 % plus de carbone qu'il n'y en a dans l'atmosphère.

Même si l'activité humaine (déforestation massive...) met en péril cette ressource, il n'en reste pas moins que les espaces forestiers conservent un potentiel très important. En effet, près de 30 % des terres émergées (Antarctique exclue) sont des zones recouvertes de forêts, ce qui représente plus de 38 millions de km<sup>2</sup> de forêts. Environ  $\frac{3}{4}$  de la production de bois est consacrée à la bioénergie. De plus, il faut noter qu'une grande partie du bois utilisé pour l'approvisionnement en énergie n'est pas issue des forêts, mais d'arbres plus isolés, de bois recyclé, de la récupération des déchets (notamment dans les industries du bois et du papier)... En effet, 55 % du bois abattu en forêt est directement utilisé comme bois de chauffage. Pour les quelques 2 milliards de m<sup>3</sup> restants, 40% finit en déchets, copeaux de sciure... Ceci peut être vu comme une perte nette, des déchets à se débarrasser, ou comme une source potentielle d'énergie. Ainsi, par exemple, comme on peut le voir sur la figure qui suit (figure 1), dans plusieurs pays d'Asie, moins de 20 % du bois utilisé à des fins énergétiques provient des forêts.

**Figure 1: Sources de bois – combustible dans quelques pays d'Asie.**



Source: [www.rwedp.org/sources.html](http://www.rwedp.org/sources.html)

A l'heure actuelle, en Afrique, dans la plupart des pays, si l'on exclut les pays d'Afrique du Nord et l'Afrique de Sud, les gens reposent essentiellement sur l'utilisation du bois pour les besoins énergétiques basiques (chauffage, cuisine...). Dans les autres pays en développement, l'utilisation du bois continue de croître globalement au même rythme que celui de la population, mais l'important développement socio-économique fait que la part qu'il représente diminue progressivement au profit des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon).

Figure 2: Le bois en 1999.

	Total terres émergées Milliers de km <sup>2</sup>	Espaces forestiers	Fuelwood production Millions de tonnes
Afrique	29 636	6 500	428,3
Amérique du Nord	21 370	5 493	116,8
Amérique du Sud	17 530	8 742	114,4
Asie	21 410	5 130	656
Ex-URSS	21 950	9 016	23
Europe	4 724	1 615	83
Moyen Orient	5 373	110	0,7
Océanie	8 491	2 011	11,6
<b>World</b>	<b>130 484</b>	<b>38 617</b>	<b>1433,8</b>

Source: *Global Forest Resources Assessment 2000* du FAO (FRA 2000)

Figure 3: Le bois en 1999 dans les principaux pays.

	Total terres émergées Milliers de km <sup>2</sup>	Espaces forestiers	Fuelwood production Millions de tonnes
Inde	2 973	641	203,5
Chine	9 327	1 635	129,6
Indonésie	1 826	1 055	115,4
Nigeria	911	135	91,6
Brésil	8 457	5 325	69,5
Etats-Unis	9 159	2 260	59
Union-Européenne	2 998	1 148	47
R.D. Congo	2 267	1 352	36,5
Russie	16 889	8 514	14
Canada	9 221	2 446	2,2



World	130 484	38 617	1433,8
-------	---------	--------	--------

Source: *Global Forest Resources Assessment 2000* du FAO(FRA 2000)

## 2.2 Les cultures énergétiques

Les principales cultures énergétiques sont détaillées dans le tableau suivant :

Produit agricole	Utilisation pour la production d'énergie	la	Zone géographique productrice
Betterave	Gazéification Biocarburants	-	Europe – Amérique du Nord
Blé	Gazéification Biocarburants	-	Europe – Amérique du Nord
Canne à sucre	Gazéification Biocarburants	-	Amérique Latine
Colza	Biocarburants		Europe
Maïs	Gazéification Biocarburants	-	Amérique du Nord
Palme	Biocarburants		Afrique – Tropique
Soja	Gazéification Biocarburants	-	Amérique Latine
Sorgho	Gazéification Biocarburants	-	
Tournesol	Biocarburants		Europe

Les cultures énergétiques sont l'avenir de la biomasse et c'est aussi le domaine où de nouveaux pays pourraient émerger et jouer un rôle dans le contexte énergétique mondial. En effet, les plantations représentent le potentiel le plus important de biomasse pour la production d'énergie. Actuellement on estime que 100 millions d'hectares de terrains sont utilisés pour des plantations industrielles d'arbres, dont la plupart est utilisée pour des fins industrielles différentes de la production énergétique. Pour avoir des ordres de grandeur de référence il faut savoir qu'actuellement existent 1,5 milliards d'hectares de terrain occupés par l'agriculture et 4.1 milliards occupés par les forêts. La quantité d'hectares qui sera utilisée pour la production énergétique de biomasse (qui est aujourd'hui sous-exploitée) est totalement dépendante des scénarios économiques qui seront mise en place.

Aux Etats-Unis et en Europe, une grande quantité de surplus agricole est disponible (et elle le sera de plus en plus) comme conséquence naturelle de la productivité croissante des entreprises agricoles. Quelques 33 millions d'hectares de terrain abandonné et inculte, avec une vocation agricole potentielle, existent aujourd'hui aux Etats-Unis et le département de l'agriculture américain prévoit qu'en 2030 on atteindra le chiffre de 52 millions d'hectares de ce type, inutilisés. Un surplus similaire est aussi prévisible pour l'Union Européenne. Le développement des cultures énergétiques encouragerait la mise au point de systèmes de conversion énergétique toujours meilleurs qui pourraient ainsi être utilisés de façon plus avantageuse pour les surplus agricoles, en résolvant également le problème de l'élimination des

déchets de l'agriculture. En outre, une diffusion généralisée de cette technologie permettrait de réduire les coûts de gestion de toute la filière agricole. Il faut en fait considérer que l'agriculture est le secteur le plus lourd au niveau des budgets des gouvernements : il faut compter chaque année une totalité de 300 milliards de dollars de subventions dépensées par les Etats pour aider l'activité agricole. En Europe, l'utilisation des terres agricoles a trois effets positifs : elle permet de faire face aux problèmes de surplus agricoles et d'améliorer la condition de nombreux agriculteurs ; elle participe aussi à la diminution de la dépendance énergétique des pays européens, notamment la dépendance vis-à-vis des pays producteurs de pétrole ; enfin, elle peut être un des moteurs qui permettront de satisfaire les nouvelles contraintes environnementales induites par le protocole de Kyoto.

Ces aspects peuvent se retrouver dans les économies des pays d'Amérique du Nord, par contre, dans les pays en voie de développement, la priorité de l'utilisation des terres arables est à donner aux cultures alimentaires, car la consommation propre des habitants du pays n'est pas toujours assurée. Dans la mesure où la consommation alimentaire est assurée (en prenant en compte en plus l'accroissement important de la population), on peut imaginer que les terres non utilisées pour les cultures alimentaires ou pour les cultures liées aux exportations de produits agricoles tels que le café... puissent servir pour satisfaire au moins partiellement les besoins énergétiques nationaux. Si le potentiel est élevé, on peut même imaginer, comme on trouve cette volonté au Brésil, de faire de la production de produits agricoles énergétiques un débouché à l'exportation. Dans l'Amérique Latine et dans l'Afrique sub-saharienne il y a à peu près un milliard d'hectares de terrains agricoles exploitables pour des plantations énergétiques sans conflit avec la production de nourriture, malgré le haut taux de croissance de la population dans ces régions là.

Grainger estime que dans les mêmes régions et en Asie, il y a également 2 milliards d'hectares de terrain dégradé, dont 760 millions pourraient être convenablement utilisé pour des plantations énergétiques. Une estimation de Houghton porte à peu près aux mêmes valeurs. Bref ces plantations pourraient rétablir la productivité de certaines régions et surtout donner une motivation et un encouragement pour des investissements de « restauration » de ces terres.

Hall et al a considéré que d'ici en 2050, on pourra créer globalement 890 millions d'hectares de plantations énergétiques (10 % des actuelles terres agricoles, boisées, sylvicoles et de pâturage), à condition d'appliquer une politique de développement agressive et efficace partout dans le monde. (On peut se demander s'il ne s'agit pas d'une utopie.)

Il est clair toutefois que des estimations globales de ce genre sont trop génériques, une étude plus centrée sur chaque région vis-à-vis de ses caractéristiques serait nécessaire.

### ***2.3 Les déchets***

Les déchets agricoles (paille, résidus agricoles, ...) ainsi que les résidus de l'industrie, en particulier les industries du bois et du papier, peuvent représenter une source très abondante d'énergie. La combustion des déchets est à la fois bénéfique grâce à l'élimination des déchets et par l'énergie (chaleur) qu'elle produit.

Actuellement la nature et les activités humaines produisent chaque année 111 EJ de biomasse : il s'agit de sous-produits de la production de nourriture, du travail des

fibres et du surplus produit par les forêts. Par exemple, la bagasse, c'est-à-dire les fibres résultantes de l'usinage de la canne à sucre, fournit une importante quantité d'énergie. Certains types de résidus ne peuvent pas être exploités pour produire de l'énergie parce qu'économiquement désavantageux pour les frais élevés de récolte et de transport, ou parce que il y a des utilisations plus convenables (fertilisants par exemple), etc.

En considérant toutes ces possibilités Hall et al ont envisagé qu'en 2050 l'exploitation des résidus fournira 31EJ/an.

## ***2.4 Compétition pour les terres agricoles entre alimentation et biomasse pour l'énergie***

### **2.4.1 Surfaces exploitables**

D'après H.W. Kendall, la surface de terres cultivées est actuellement d'environ 3000 millions d'hectares, ce qui représente la majeure partie des terres exploitables. En effet, les terres restantes sont soit trop pentues, soit trop sèches, soit trop humides, soit trop froides pour être cultivées. Néanmoins, ils estime que la surface cultivable pourrait être augmentée en utilisant les prairies, et par la déforestation. On pourrait ainsi disposer de 500 millions d'hectares supplémentaires de terres arables, tout en notant que la productivité de ces terres supplémentaires serait certainement inférieure à la productivité moyenne actuelle.

Enfin, il est important de noter que l'effet de serre risque de faire diminuer les rendements agricoles. En effet, l'effet de serre risque d'entraîner une plus grande variabilité des températures et des précipitations, qui sont généralement la cause d'une baisse de la productivité agricole. Cet aspect est paradoxal, car une diminution des rendements agricoles pourrait remettre en cause l'utilisation de biomasse pour l'énergie, alors que justement la biomasse permet de limiter l'émission de gaz à effet de serre.

### **2.4.2 En Europe et Amérique du Nord**

Depuis la seconde guerre mondiale, les politiques agricoles européennes se sont principalement concentrées sur l'obtention d'un approvisionnement suffisant en nourriture. Ces politiques ont été très efficaces comme on peut le voir aujourd'hui : la difficulté aujourd'hui est plutôt de gérer les surplus de production agricole. D'autre part, les pays européens dépendent actuellement des pays de l'OPEP à hauteur de 40% de leurs besoins en énergie. Et ce chiffre pourrait bien augmenter jusqu'à 70% d'après A. Ignaciuk. De plus, les problèmes environnementaux, particulièrement concernant les gaz à effet de serre, sont de plus en plus pris en compte. Cela entraînera certainement dans les années à venir un usage accru de biomasse pour fournir de l'énergie. Ceci risque de modifier les schémas actuels d'usage des terres. Pour l'Europe toujours, les terres disponibles pour accroître la production agricole sont assez limitées. De ce fait, l'augmentation de l'utilisation de biomasse pourrait

faire monter considérablement le prix des terres agricoles, ainsi que le prix des céréales.

Cependant, on peut remarquer qu'en Europe et en Amérique du Nord, les récoltes ont eu tendance à diminuer depuis 1985-90. Cette tendance vient du fait que les quantités demandées dans ces 2 régions sont inférieures aux quantités produites, et pour éviter les surplus, et des risques de vente à perte, ces régions limitent volontairement leur production. On peut donc supposer que ces régions offrent de bonnes conditions pour le développement de production d'énergie par la biomasse.

### **2.4.3 Dans les pays en développement**

Dans les pays en développement, un autre aspect est à envisager. Il faut commencer par examiner si les cultures suffiront à nourrir une population en augmentation et à partir de là, se dire que si la récolte est supérieure à la demande pour l'alimentation, alors il y aura de la place pour la biomasse. Il y a pu y avoir des craintes concernant la possibilité d'arriver à nourrir la totalité de la population en 2025. En effet la population mondiale devrait alors atteindre un pic aux alentours de dix milliards d'habitants. Cependant, d'après T. Dyson, les récoltes devraient suffire à nourrir la population mondiale, étant donné l'amélioration des techniques agricoles. T. Dyson s'intéresse particulièrement au cas des céréales, et avance les valeurs suivantes : entre 1981 et 1997, les récoltes annuelles de céréales auraient augmenté, en moyenne dans le monde de 39 kg/an.

Il faut toutefois noter l'exception que constitue l'Afrique sub-saharienne où les rendements restent très faibles, d'autant plus qu'il est prévu que la population plus que double entre 1997 et 2025. Dans de telles conditions on peut se demander si la culture de biomasse a la moindre chance de se développer, tout en gardant en tête le fait que les besoins en énergie sont des facteurs clés du développement.

## **3. Débouchés économiques actuels de la biomasse**

### ***3.1 Généralités***

Actuellement, l'ensemble de la biomasse terrestre sert principalement à nourrir la population mondiale. Même si la part de biomasse servant à la culture vivrière n'est que de 2% de toute la biomasse, elle dépasse les autres usages : 1% est utilisé comme bois de chauffage et 1% dans l'industrie non alimentaire (papier, fibre,...). L'utilisation de la biomasse comme source importante d'énergie dans le futur est en enjeu important en raison de l'épuisement du pétrole et du réchauffement climatique. De nombreux Etats s'y intéressent : certains, comme le Brésil, ont d'ores et déjà intégré la biomasse pour la production de biocarburant. D'autres en sont principalement au stade de la recherche, mais prévoient déjà une plus grande utilisation de la biomasse à court et moyen termes. Intéressons-nous aux débouchés économiques de la biomasse pour quelques Etats.

### ***3.2 Le Brésil***

La principale utilisation de biomasse non alimentaire au Brésil est celle des biocarburants, en particulier de l'éthanol issu de la fermentation de la canne à sucre. L'éthanol hydraté (4% d'eau) sert dans des moteurs à alcool ou multi carburants ; l'éthanol anhydre est un additif des moteurs à essence, il permet d'oxygéner l'essence.

Cette utilisation résulte d'une politique gouvernementale visant à acquérir une indépendance économique vis-à-vis du pétrole : après le choc pétrolier des années 70, le gouvernement brésilien a mis en place le « plan-alcool ». Ce plan était constitué d'aides aux producteurs de canne à sucre et aux producteurs d'éthanol, mais aussi d'une forte incitation fiscale en direction des ménages ; l'impôt était bien moindre s'ils achetaient une voiture à alcool qu'une voiture à essence ou diesel, et l'essence et le diesel subissaient des taxes très élevées. Le plan a eu de grosses répercussions : en 1984, 95% des véhicules produits au Brésil fonctionnaient à l'alcool et jusqu'en 1991 presque toute la canne à sucre produite était transformée en éthanol. Beaucoup de ménages avaient fait le choix de l'alcool, qui leur revenait bien moins cher. Mais la qualité de l'alcool produit varie beaucoup d'un producteur à l'autre, et peut abîmer le moteur. Alors, quand les aides ont diminué, les ventes de voitures à alcool ont chuté, si bien qu'en 2001 les incitations fiscales ont repris pour refaire décoller le marché. En 1986, 92% des véhicules vendus roulaient à l'alcool ; aujourd'hui le pourcentage est de 22%, et ce sont surtout des poids lourds, les entreprises de transport cherchant à minimiser leurs coûts.

Aujourd'hui l'industrie de l'éthanol se tourne donc vers le commerce international : la demande de biocarburant promet d'augmenter, vu les sommets atteints par le prix du pétrole. Le gouvernement japonais a par exemple autorisé que l'essence soit enrichie de 3% d'alcool à l'avenir, et d'autres pays riches se tournent vers la biomasse pour échapper au poids toujours plus écrasant du pétrole.

Un nouveau moteur bicom bustible, Flexfuel, pouvant fonctionner aussi bien à l'alcool anhydre qu'à l'essence, est commercialisé depuis peu au Brésil et connaît des débuts prometteurs.

Cette politique d'incitation sur les véhicules à alcool est saluée par ceux qui n'y voient que la volonté de réduire la dépendance vis-à-vis du pétrole et de réduire l'émission de gaz à effet de serre. Mais elle a aussi des conséquences environnementales et sociales particulièrement importantes : d'une part, la production d'éthanol est une industrie qui rejette des déchets hautement polluants, au Brésil ils se retrouvent dans les cours d'eau. D'autre part, voyant qu'il y avait un bon filon dans la production de canne à sucre, les grands propriétaires terriens, aidés par le gouvernement, ont accaparé une grande partie des terres de petits paysans qui faisaient de l'agriculture vivrière, pour produire de la canne à sucre et se remplir les poches. Cette politique a donc accru les inégalités entre grands « fazendeiros » et paysans sans terres, inégalités qui constituent un problème social majeur au Brésil.

Pour redresser un peu la balance, le gouvernement de Luis Inacio da Silva a lancé un programme de production de biodiesels à partir de plantes oléagineuses, assorti d'un label social visant à protéger les petits paysans des grands industriels. Dès 2008, il sera obligatoire d'inclure 2% de biodiesels dans le gazole au Brésil.

Le Brésil se penche aussi sur les possibilités d'utiliser la biomasse pour produire de l'électricité. En effet, pour l'instant, 95% de l'énergie électrique brésilienne provient d'usines hydroélectriques, mais la construction de nouveaux barrages, dans ce pays qui en compte déjà beaucoup, est problématique, du point de vue social et environnemental. Donc la recherche se porte sur la possibilité de combustion de la biomasse, dont la vapeur actionne une turbine qui produit de l'énergie électrique.

Enfin, le Brésil a ratifié le protocole de Kyoto et espère pouvoir accéder au marché des crédits de carbone. C'est pourquoi les études sur les énergies du cycle fermé du carbone, dont la biomasse, sont fréquentes actuellement.

### ***3.3 Les Etats-Unis***

Aux Etats-Unis, la biomasse énergétique représente 3% de la consommation énergétique totale. Elle est donc très minoritaire mais a cependant dépassé l'hydroélectricité comme source d'énergie renouvelable. Actuellement il s'agit surtout de production de chaleur par combustion du bois et de sa sciure pour l'industrie du papier, mais aussi de production d'électricité à partir de sous-produits de l'industrie forestière et des ordures ménagères.

La part de biomasse dans la consommation énergétique des Etats-Unis devrait cependant s'accroître dans le futur. En 2000, le Congrès a voté une loi sur la recherche et le développement de la biomasse, visant à promouvoir la recherche technologique dans ce domaine à travers l'Initiative Nationale pour la Biomasse. Et, en 2005, dans son discours annuel sur l'état de l'union, le président Bush a déclaré que d'ici vingt ans, la dépendance des Etats-Unis vis-à-vis du pétrole du Moyen-Orient devrait avoir baissé de 75%. Pour ce faire, les Etats-Unis doivent trouver d'autres sources d'énergies avec des coûts concurrentiels, par exemple le nucléaire ou la biomasse.

La recherche américaine en biomasse s'oriente principalement vers les biocarburants. D'une part vers les biodiesels, obtenus en combinant un alcool (souvent du méthanol) à une huile végétale, ou à de la graisse animale ou végétale. Les biodiesels peuvent être utilisés purs ou comme additifs. D'autre part vers l'éthanol, obtenu par fermentation d'une biomasse riche en glucides. Les technologies sont déjà assez avancées mais le gros frein à l'utilisation massive des biocarburants aux Etats-Unis reste leurs coûts, bien supérieurs à celui du pétrole. La recherche actuelle est donc principalement dévolue à la minimisation des coûts de transformation. Ceci pourrait passer par l'installation de bioraffineries, usines associant des procédés de transformation de la biomasse et des équipements de production d'autres carburants. Elles permettraient de réduire certains coûts, notamment liés au transport, puisque l'essentiel de la production serait concentré.

Les Etats-Unis n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto, ne peuvent donc pas prétendre à la mise sur le marché de crédits de carbones, mais ils pourraient tout de même contribuer à la réduction de l'émission de gaz à effet de serre, contraints économiquement et politiquement à développer des énergies plus propres que le pétrole à l'avenir.

### ***3.4 L'Union européenne***

L'Union européenne a ratifié le protocole de Kyoto et s'est donc engagée à réduire ses émissions de gaz à effets de serre. Tous les pays n'ont pas la même politique pour atteindre ce but : la France se concentre principalement sur l'énergie nucléaire alors que l'Allemagne a renoncé à la production de cette énergie et se tourne plutôt vers les énergies renouvelables que sont l'énergie solaire ou encore l'énergie éolienne. Comme nous l'avons vu, les potentiels de l'Europe en biomasse sont importants, aussi bien en forêts qu'en terres agricoles. Actuellement, l'Union répond à 4% de ses besoins énergétiques en utilisant de la biomasse ; les cultures principales pour cet usage sont le bois, le blé, le maïs, les pois, l'orge, le colza et le seigle.

La Commission européenne a fixé un objectif pour 2010 : 8,5% de l'énergie consommée à l'intérieur de l'Union européenne devra provenir de la biomasse. Elle a donc lancé en parallèle des programmes de recherche et développement. Le projet TIME vise à permettre des avancées dans le domaine des biocarburants ; aujourd'hui, les Européens sont loin derrière les Brésiliens et les Américains, et cherchent à développer des utilisations de l'éthanol ou des biodiesels intéressantes tant sur le plan économique que du point de vue environnemental. Le projet BIOELECTRICITY a quant à lui pour objectif de développer la production d'électricité à partir de biomasse. Cela pourrait se faire en cogénération, c'est-à-dire en production simultanée d'électricité et de chaleur à partir de la biomasse ; dans cette technologie, la vapeur d'eau émise par la combustion de la biomasse est utilisée pour actionner une turbine qui intervient dans la production d'électricité.

Mais d'où viendrait la biomasse qui ferait fonctionner tout ça ? La question est importante et présente des enjeux multiples : doit-on privilégier les plantations d'espèces d'arbres tels que le peuplier, qui se renouvelle rapidement, par rapport à d'autres espèces comme le chêne ? Cette politique ne risque-t-elle pas de réduire la biodiversité des régions européennes, voire d'augmenter la déforestation ? Et si la biomasse utilisée n'est pas d'origine forestière, qu'elles sont les cultures qui peuvent être envisagées ? Aujourd'hui, grâce ou à cause de sa Politique Agricole Commune, l'UE est en situation de surproduction agricole ; cette surproduction pourrait être utilisée comme combustible. Le chauffage à grain, par exemple, se développe dans certaines régions européennes. Mais, à utiliser les cultures agricoles pour en faire de l'énergie, n'y a-t-il pas un risque de voir se développer des monocultures intensives, accompagnées d'engrais nocifs, ce qui constitue un risque environnemental majeur ?

La biomasse représente un fort potentiel énergétique pour l'Europe. Elle est une solution à la dépendance énergétique actuelle de l'Union vis-à-vis des pays exportateurs de pétrole, et son utilisation massive serait un facteur important de réduction des émissions de gaz à effet de serre. C'est donc aux peuples et aux dirigeants européens de saisir cette opportunité et de développer l'utilisation de la biomasse dans un souci de respect de l'environnement.

### ***3.5 L'Afrique***

Aujourd'hui, une des principales sources d'énergie utilisée en Afrique est le bois de chauffage. Ceci est dû à la difficulté que rencontrent beaucoup de pays du continent à se procurer des énergies, notamment fossiles, et ce, à cause du prix trop élevé de celles-ci. Les besoins en énergie se limitent souvent encore actuellement à une source de chauffage pour faire cuire la nourriture. De plus en plus de programmes d'électrification des régions rurales sont développés, mais rarement les

populations ont les moyens de payer l'énergie électrique au prix du marché. Ainsi, une grande utilisation est faite du bois et des déchets de l'agriculture et des activités humaines. Cependant cette utilisation étant spontanée et non rationalisée, elle se caractérise trop souvent par l'apparition de gros problèmes écologiques de pollution, mais aussi de déforestation et de désertification. Actuellement, dans de nombreux pays d'Afrique sont mis en place des programmes de coopération avec des organismes de pays développés pour permettre à l'Afrique de trouver des solutions aux carences énergétiques auxquelles elle doit faire face. C'est le cas notamment du projet Bepita, mené conjointement par cinq partenaires européens et africains, dont le Cirad. Ce projet vise à améliorer les compétences en matière de transformation de la biomasse ; il est caractérisé par deux études, une effectuée en zone sèche au Burkina Faso, l'autre en zone humide au Cameroun, et devrait permettre une bonne accessibilité des connaissances et un transfert de technologie vers l'Afrique, pour aider les acteurs du développement local à utiliser la grande quantité de biomasse disponible dans des conditions efficaces et durables.

## **4. Les filières technologiques**

### ***4.1 La gazéification***

Le processus de gazéification consiste à obtenir un gaz de synthèse (en général du dihydrogène ou du monoxyde de carbone, ainsi que des hydrocarbures gazeux en petite quantité) en portant la biomasse à une température assez élevée (de l'ordre de 800 – 900 °C). A cette température, la biomasse réagit avec un réactif gazeux mis en présence, tel que l'air, la vapeur d'eau ou l'oxygène. A la différence de la combustion, l'oxydation n'est que partielle car la quantité d'oxygène en présence est limitée. Un des problèmes de ce type de procédé est qu'il produit également du méthane et des goudrons.

### ***4.2 La combustion***

Utilisée directement (ex. : bois) ou après pyrolyse, la biomasse peut être simplement utilisée comme combustible, c'est-à-dire « brûlée » afin de produire de la chaleur et donc de l'énergie. Ce procédé est très utilisé depuis toujours avec le bois notamment, et on l'a aujourd'hui aussi développé plus particulièrement en Europe et en Amérique du Nord pour les résidus de forêt, de l'agriculture ou de l'industrie. Le rendement global est faible : 15 % pour des petites unités locales, 30 à 40 % pour des unités plus grandes et plus modernes (d'un point de vue technologique). De plus la chaleur produite ne peut être stockée et doit donc être utilisée immédiatement. Malgré ces contraintes, et malgré le problème des cendres produites, cette technologie permet de tirer un profit énergétique et économique des résidus et déchets de nos activités humaines.



### ***4.3 La digestion***

Il s'agit d'un processus biologique naturel, des bactéries vont produire à partir de la biomasse des gaz contenant environ 20 à 40 % de la valeur énergétique initiale présente dans la biomasse. Ce processus est déjà assez largement utilisé pour le traitement des déchets organiques. Le biogaz produit peut servir soit dans des turbines à gaz, soit dans des moteurs adaptés, qui peuvent produire de l'électricité avec un rendement de 10 à 16 %.

### ***4.4 Les biocarburants***

#### **4.4.1 Présentation**

Face aux problèmes liés aux émissions de gaz à effet de serre et à la prochaine pénurie d'hydrocarbures, les scientifiques recherchent des nouvelles sources d'énergie pour faire rouler nos voitures et autres véhicules. Un nouveau secteur voit donc le jour, et offre certainement des possibilités assez intéressantes pour le futur : les biocarburants. L'idée est d'utiliser le potentiel agricole de nos pays pour produire des substituts ou des compléments à nos carburants actuels. Sous l'incitation et les directives européennes, les pays européens commencent à développer un vrai secteur agro-industriel pour la production de biocarburants. L'objectif fixé en France est d'incorporer 5,75 % de biocarburants dans l'essence ou le gazole d'ici 2010. A l'heure actuelle, la majeure partie du chemin reste à faire puisqu'en 2004, seul 0,8 % de biocarburants était incorporé aux carburants fossiles.

Néanmoins, si les carburants issus de la biomasse semblent être une solution potentielle, de nombreux problèmes se posent et de nombreuses questions sont soulevées sans forcément trouver de réponses. En effet, si en Europe ou aux Etats-Unis, le potentiel agricole et le développement économique sont suffisants pour permettre de se consacrer à cette nouvelle forme d'agro-business, de nombreux pays doivent consacrer leurs terres agricoles à une culture vivrière et leur développement démographique permet peu d'envisager à terme la production substantielle de biocarburants. De plus, des controverses assez fondamentales peuvent apparaître, à savoir la rentabilité et la viabilité économique et environnementale des filières biocarburants sont-elles bien réelles, si l'on déduit tous les coûts (qu'ils soient économiques ou écologiques) engendrés par la production de la matière organique, son transport, son traitement...

La production de biocarburants peut se diviser en 2 branches qui sont la filière éthanol et les esters.

La filière éthanol regroupe les alcools que l'on incorpore directement à l'essence classique ou les ETBE (= éthyl tertio butyl éther) qui sont des dérivés de l'éthanol que l'on ajoute également à l'essence.

La filière des biodiesels regroupe les différents esters d'huiles végétales, principalement les EMHV (= esters méthyliques d'huiles végétales), que l'on

incorpore au diesel. Il en existe également qui sont utilisés purs dans des moteurs adaptés.

#### 4.4.2 La filière éthanol

Les produits de la filière éthanol sont issus de sucres végétaux produits à base de betterave, de blé, de maïs ou de canne à sucre. Ils sont produits par fermentation des sucres ou de l'amidon, dans des usines spécialisées éventuellement, mais plus généralement directement dans les raffineries de sucre : ils constituent ainsi un sous-produit pour la raffinerie qui augmente la rentabilité de la raffinerie et permet un éthanol à un coût moindre.

Le procédé de production du bioéthanol dépend de la nature de la biomasse : les sucres (provenant de la canne à sucre ou des betteraves) sont fermentés. Pour l'amidon et la cellulose, il faut d'abord casser les longues chaînes des molécules de polysaccharides par une hydrolyse acide ou enzymatique avant que les sucres résiduels puissent fermenter et donner de l'éthanol. La purification de l'éthanol par distillation est une étape coûteuse en énergie qui influe fortement sur le rendement global du procédé. De nouvelles technologies ont permis des progrès significatifs dans l'obtention d'éthanol, cependant, des avancées supplémentaires sont encore nécessaires pour accroître le rendement global et permettre une meilleure flexibilité des approvisionnements (résidus agricoles, déchets domestiques...).

Les bioéthanol ne sont jamais utilisés directement, ils nécessitent des traitements ou des techniques d'incorporation particulières car justement son incorporation à l'essence est assez difficile. En effet, l'éthanol possède un caractère hydrophile gênant qui entraîne une séparation en phase de l'essence et de l'éthanol et crée des dépôts. De plus, son ajout à l'essence diminue le pouvoir lubrifiant et augmente la volatilité de l'essence, ce que fait augmenter la tension de vapeur. Ainsi, notamment en Europe, le taux d'incorporation est limité (pour le moment à 5 %) car la tension de vapeur ne peut dépasser le seuil fixé par la commission européenne. En revanche, des carburants avec des taux d'éthanol très variables sont commercialisés aux USA et au Brésil, pour des véhicules adaptés, avec des moteurs acceptant des « flexible fuel ». On devrait voir prochainement en France la sortie d'un nouveau produit, l'E85, qui est un carburant principalement issu du bioéthanol puisque 85 % de ce carburant est de l'éthanol d'origine agricole. D'autres produits d'éthanol quasi-pur sont en cours de mise au point.

L'autre gamme de sous-produits de la filière éthanol est l'ETBE. C'est un mélange de 47 % d'éthanol et de 53 % d'isobutène (carburant fossile), ce n'est donc pas un « pur » biocarburant. On l'incorpore à l'essence, soit en raffinerie, soit éventuellement en dépôt. Ses caractéristiques sont très similaires à celles du MTBE (= méthyl tertio butyl éther, additif aux carburants fabriqué à partir de méthanol et d'isobutène). Le seuil maximum d'incorporation est pour le moment fixé à 15 % par les normes européennes.

Figure 1: Les principaux producteurs d'éthanol dans le monde.

	Production dans la filière éthanol (en m3)	%	Produits agricoles initiaux
Brésil	14 500 000	50,0%	Canne à sucre (mélange à

			22 %)
USA	12 700 000	43,8%	Maïs (mélange à 10 %)
Espagne	230 000	0,8%	Blé (ETBE)
France	100 000	0,3%	Blé – Betterave (ETBE)
Suède	65 000	0,2%	
Pologne	150 000	0,5%	Blé - Betterave
<b>Monde</b>	<b>29 000 000</b>	<b>100,0%</b>	

*Source:* Rapport sur l'optimisation du dispositif de soutien à la filière biocarburants du 20 Septembre 2005 (conseils généraux des Mines, des Eaux et Forêts et inspection générale des Finances) utilisant l'étude d'experts du réseau automobile des Missions Economiques à l'étranger.

On voit ainsi clairement que la filière éthanol est largement dominée par les 2 géants : le Brésil et les Etats-Unis. De plus, seules 3 régions dans le monde ont actuellement des productions significatives : le Brésil (50 %), les Etats-Unis (43,8 %) et l'Union Européenne (4 %), ce qui est certainement dû aux mesures incitatives qu'elles ont adoptées, notamment depuis 1975 avec le plan gouvernemental « Proalcool » au Brésil.

#### 4.4.3 Les biodiesels

Les biodiesels (diester et EMHV) sont des dérivés d'huiles végétales, produites à partir d'oléagineux tels que le colza, le tournesol, mais aussi le soja, la palme, le ricin... L'avantage de ce type de biocarburants est notamment que, initialement, la production de ces huiles n'est pas à vocation énergétique, mais leur fabrication se fait dans des usines à vocation alimentaire, l'huile une fois produite peut servir tant pour des besoins énergétiques (après éventuellement un traitement et l'incorporation) que pour des besoins alimentaires. De plus, parallèlement à la production de l'huile, l'usine va fabriquer du tourteau riche en protéines végétales pour l'alimentation du bétail.

Les EMHV s'incorporent au diesel, soit en raffinerie, soit en dépôt, car le mélange se fait sans difficultés particulières et le stockage et le transport se font selon les mêmes conditions que pour le diesel. Pour l'instant, les normes européennes ont fixé un seuil maximal d'incorporation à 5 %, mais celui-ci pourrait bien être revu à la hausse. Il est également possible de l'incorporer à des taux beaucoup plus élevés sous certaines conditions, notamment en France, il est permis d'aller jusqu'à 30 % dans les flottes captives de transport. En Allemagne, il est même utilisé pur avec certaines précautions préalables.

On peut également utiliser des diesters, qui se substituent totalement au diesel dans un moteur classique à gazole. Selon une étude de la société Ecobilan, le diester ne modifie pas de manière significative le rendement par rapport au diesel, et le rapport énergie renouvelable fournie / énergie fossile nécessaire est supérieur à 2. L'inconvénient possible est un pouvoir corrosif légèrement supérieur.

Actuellement la production des biodiesels est essentiellement européenne. Elle s'élève à 2,6 millions de tonnes.

**Figure 2: Les principaux producteurs d'EMHV dans le monde.**

	Production d'EMHV (en m3)	%	Produits agricoles initiaux
Allemagne	900 000	45,00%	Colza
France	460 000	23,00%	Colza - Tournesol
Italie	340 000	17,00%	
Rép. Tchèque	115 000	5,75%	
USA	125 000	6,25%	Soja
<b>Monde</b>	<b>2 000 000</b>	<b>100,00%</b>	

*Source:* Rapport sur l'optimisation du dispositif de soutien à la filière biocarburants du 20 Septembre 2005 (conseils généraux des Mines, des Eaux et Forêts et inspection générale des Finances).

Le bilan pour les biocarburants est le plus souvent controversé, mais si l'on croit les études effectuées notamment par l'ADEME (« Bilan énergétique et effet de serre des filières de production des biocarburants en France » du 3 septembre 2003) et le ministre des transports, la filière éthanol (éthanol de blé ou de betterave) en France permet de réduire de 60 % le carbone supplémentaire émis dans l'atmosphère par rapport à l'essence classique, et ce chiffre devrait s'élever à 77 % d'ici 2010. L'EMHV (à base de colza ou tournesol) permet déjà des économies de l'ordre de 72 % par rapport au diesel pour les émissions de carbone. Les chiffres comparatifs au sein d'une sous filière entre produits agricoles sont globalement les mêmes en terme de réduction d'émissions de carbone ; par contre, en terme de rendement énergétique par hectare de culture, la betterave est plus de 2 fois plus rentable que le blé pour l'éthanol, et le colza est 30 % plus rentable que le tournesol pour les compléments au gazole.

## 5. Feuille de calcul sur les potentiels de biomasse pour l'énergie

### 5.1 Elaboration de la feuille

De nombreuses informations sont disponibles sur la biomasse, et différents scénarios ont déjà été proposés par plusieurs chercheurs ou institutions internationalement reconnus. Dans le cadre du module « Atelier changement climatique », nous avons mis au point une 'feuille de calcul'. Elle permet, en fonction des différentes données disponibles, des choix politiques qui peuvent être faits, de faire un calcul sommaire des possibilités de produire de l'énergie à partir de biomasse.

Pour commencer, nous avons partitionné le monde en six régions qui nous semblaient cohérentes, tant du point de vue du climat qui conditionne les cultures, que du point de vue des données disponibles dans les différents articles parus à ce

sujet. Prendre des régions trop grandes risquait de mener à des incohérences au niveau des cultures, mais prendre des régions trop petites multipliait le nombre de données à collecter, avec le risque de ne pas les trouver dans certains cas. D'autre part un trop grand nombre de régions aurait considérablement alourdi la présentation de notre feuille de calcul. Par exemple, l'Amérique prise en totalité n'est pas soumise à un climat homogène, et les conditions sociales varient également fortement. Ceci se retrouve par exemple dans le fait que l'utilisation de biomasse à partir de canne à sucre est rentable au Brésil, mais pas au Canada ! On a donc séparé l'Amérique en 'Etats-Unis et Canada' et 'Amérique Latine'. On peut penser qu'il en est de même pour l'Afrique, qui est également un grand continent, soumis selon les régions à des conditions très différentes. Cependant, les données concernant l'Afrique sont assez rares et généralement globales pour le continent, nous avons donc considéré l'Afrique comme une seule région. Toutefois, ce choix de régions est arbitraire et ne prétend pas être le meilleur.

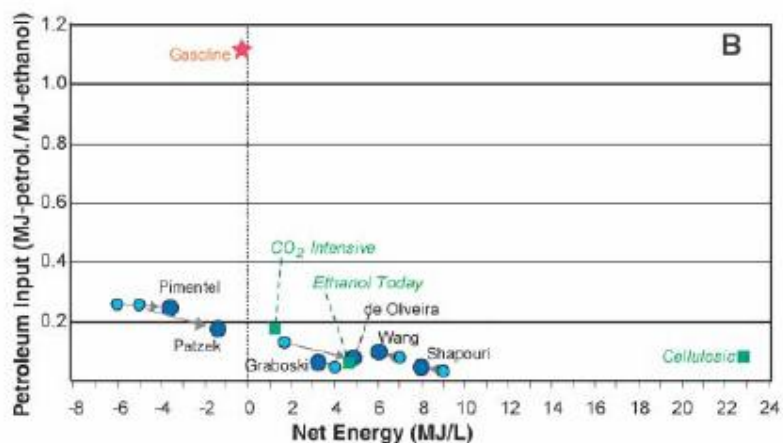
Nous avons ensuite sélectionné des cultures qui sont ou peuvent être utilisées comme biomasse pour de l'énergie. Nous avons choisi de faire figurer un nombre assez important de cultures car elles varient selon les régions et selon les utilisations. L'attribution des cultures aux différentes régions s'est faite en fonction d'informations trouvées dans nos lectures et de nos connaissances sur les climats, et en particulier sur les similitudes qu'il peut y avoir entre les climats des différentes régions. Par exemple, si une culture pousse en Europe, on estime qu'elle peut également pousser aux Etats-Unis, au Canada ou dans certaines parties de l'ex-URSS, idem pour l'Afrique et l'Amérique Latine.

Concernant les utilisations, leur évolution dépend beaucoup de l'efficacité des techniques qui pourront être mises au point dans les années à venir. Nous avons sélectionné trois types de transformation de la biomasse qui existent actuellement : combustion, gazéification ou production de biocarburant. Le partage entre ces différentes utilisations dépend beaucoup des choix politiques qui vont être faits et qui détermineront s'il est plutôt nécessaire de produire du gaz, de l'électricité ou des biocarburants.

D'un point de vue pratique, nous avons fait apparaître le même type de tableau pour chaque région. Les données concernant les surfaces sont le plus réalistes possibles, elles sont prises dans « Hoogwijk, Faaij, Eickhout, de Vries, Turkenburg, 2005, Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios p245 », ainsi que sur le site de statistiques de la FAO. En revanche, les coefficients d'exploitation peuvent être choisis assez arbitrairement, leurs différentes valeurs correspondent à différents choix politiques, et peuvent être utilisées pour essayer d'atteindre un objectif par exemple, ou pour avoir une idée des conséquences d'un certain type de politique, et ainsi observer les conséquences de différents 'scénarii'. Les surfaces doivent être exprimées en hectares, et les coefficients d'exploitations doivent être compris entre 0 et 1. Nous avons généralement considéré les coefficients suivants comme valeurs moyennes : 6% des terres cultivées, 6% des forêts et 40% des terres arables non exploitées peuvent être consacrées à la biomasse.

Les rendements agricoles sont des données connues. Cependant, ils peuvent beaucoup varier d'une région à l'autre. Nous avons donc pris des valeurs moyennes qui nous semblaient réalistes en prenant en compte d'éventuelles améliorations des techniques dans certaines régions. Ces rendements dépendent également des choix politiques qui pourront être effectués en matière d'utilisation d'engrais. Les

rendements agricoles sont exprimés en tonnes de matière sèche produite par an et par hectare. D'autre part, nous avons pris en compte l'énergie nécessaire à la production agricole. En effet, c'est un facteur qui peut faire varier énormément le rendement énergétique global de la biomasse, mais les données à ce sujet sont assez controversées. Par exemple, d'après Pimentel, l'apport d'énergie nécessaire à la culture de biomasse serait tel qu'il rendrait négatif son rendement énergétique. Mais dans un article plus récent, Farrell rassemble plusieurs données, et on peut voir dans le graphique ci-dessous à quel point elles sont éparses : l'énergie nette varie entre -6 et +9 MJ/L selon la source !



Enfin, pour chaque type de culture, nous avons besoin du rendement énergétique. Il est exprimé en exajoules (EJ) par tonne de matière sèche.

Le choix des cultures et des utilisations qui en sont faites est politique, il peut donc exprimer différentes orientations de la part des gouvernements ou des institutions internationales. Les parts de surface et les parts d'utilisations doivent être compris entre 0 et 1. Cependant, concernant les utilisations, on n'a en général qu'une seule utilisation par culture, ce qui correspond le plus souvent à la réalité technique. Les techniques de transformation de biomasse sont assez peu développées, ce qui explique qu'on ait rarement plus d'une technique réellement efficace pour chaque culture.

Le but de la feuille de calcul est ensuite de faire la somme de toutes les surfaces et de toutes les énergies qui pourraient être produites, et ainsi d'envisager quelle pourrait être la part de la biomasse dans notre consommation d'énergie future.

[Accès à la feuille de calcul](#)  
[Accès à un scénario optimiste](#)

## 5.2 Scénarios

### 5.2.1 Scénario biocarburant pessimiste

Dans ce scénario, on envisage que les choix politiques et économiques ont mené à une faible utilisation des terres pour la biomasse : 3% des terres cultivées et des forêts, et 15% des terres arables non cultivées. D'autre part, on suppose que, suite aux progrès techniques qui ont été faits, la biomasse produite est principalement utilisée sous forme de biocarburant.

On voit que le total de l'énergie produite par la biomasse est de 99 EJ, soit à peu près un quart de la consommation mondiale actuelle d'énergie (410 EJ). Ce chiffre peut sembler important, mais il est en fait assez pessimiste au vu de l'évolution probable des ressources en pétrole, en charbon, et de l'augmentation importante de la consommation d'énergie qui va avoir lieu avec le développement de certains grands pays : Chine, Inde, certains pays d'Afrique... D'autre part, ce scénario peut apparaître comme pessimiste car il n'utilise que petite proportion des terres.

D'un point de vue économique, les biocarburants deviendraient compétitifs par rapport aux carburants fossiles dès lors que le baril de pétrole atteindrait 75\$, c'est un prix qui ne semble pas aberrant dans les années à venir étant donné l'évolution récente du prix du baril de pétrole : il a atteint 70\$ en 2005. Cette conjoncture laisse donc à penser que des choix économiques orientés vers les biocarburants, tels qu'ils sont envisagés dans ce scénario sont plausibles.

[Accès au scénario biocarburant pessimiste](#)

### **5.2.2 Scénario combustion optimiste**

Ce scénario suppose que la part belle est donnée à la biomasse dans la production d'énergie. En effet, on choisit d'utiliser 10% des terres cultivées, 10% des forêts, et 60% des terres cultivables abandonnées pour produire de la biomasse. De plus, dans cette perspective on décide d'allouer la plus grande partie de ces terres aux cultures susceptibles de produire de l'énergie par combustion : le bois, mais aussi le blé et le miscanthus. Cette feuille de calcul étant un modèle simple, qui prétend donner une idée sur les possibilités et les ordres de grandeur, nous avons sélectionné deux sortes de bois uniquement : le peuplier et l'eucalyptus. Avec ces hypothèses, on arrive à une production d'énergie à partir de biomasse de 224 EJ/an. Ce résultat est assez encourageant, la consommation énergétique mondiale actuelle étant proche de 400 EJ/an, même s'il est probable que la consommation continue d'augmenter, notamment dans les pays en développement ; il confirme que les possibilités liées à l'exploitation de la biomasse comme source d'énergie sont grandes, et l'utilisation d'arbres dont la vitesse de croissance est élevée, pour la combustion, est une des techniques les plus faciles à mettre en œuvre.

[Accès au scénario combustion optimiste](#)

### **5.2.3 Scénario Biocarburants optimiste**

Ce scénario diffère du précédent car on a privilégié les biocarburants plutôt que les technologies de combustion. De cette façon, on a pu revoir à la baisse les coefficients d'exploitation des terres : de l'ordre de 10% pour les terres agricoles, 7% pour l'exploitation forestière et 30 à 40% pour l'exploitation des terres arables non cultivées. Les productions privilégiées sont les céréales et les cultures sucrières. Ainsi, on arrive à une production de l'ordre de 180 EJ/an. De même que précédemment, ce résultat est encourageant. Les coefficients d'exploitation des terres apparaissent clairement comme énormes, par contre ces scénarios ne tiennent pas compte de l'évolution technologique, qui a déjà des répercussions conséquentes aujourd'hui (sachant que les données en terme de rendement ont presque une dizaine d'années), notamment pour les biocarburants. D'ici disons 2030

ou 2050, on peut estimer que les rendements énergétiques auront au moins doublé (au moins pour les biocarburants) et on pourra, s'il y a des volontés politiques et des aides économiques, étendre l'usage des technologies de pointe à des pays en développement. Ainsi, on peut grossièrement évaluer un potentiel de production de bio-énergie de l'ordre de ce qu'on a trouvé dans ce scénario avec ce modèle, mais en ayant une utilisation des sols beaucoup plus raisonnable et probable. A ceci, il faudra ajouter le progrès des rendements agricoles. A terme, il apparaît donc que la biomasse peut jouer un rôle crucial, et en particulier la transformation de l'industrie – biomasse vers la production de biocarburants pour permettre de faire face à une crise pétrolière plus que probable, ou en tout cas, d'en limiter les conséquences.

[Accès au scénario biocarburant optimiste](#)

#### 5.2.4 Scénarios Europe

Ce scénario est un scénario à l'échelle européenne. Il vise à mesurer l'effort nécessaire pour atteindre les objectifs que s'est fixée la commission européenne. Rappelons-le, d'après ces objectifs, 8,5 % de l'énergie consommée devra provenir de la biomasse d'ici 2010, ce qui signifie dans 5 ans, ce qui correspond à près de 6,2 EJ pour l'Union Européenne. Notons aussi que l'énergie produite issue de la biomasse s'élève à environ 2,2 EJ en Europe au début des années 2000. L'effort devra donc être intense. On voit ici que les pays de l'Europe devront consacrer 7 % des terres actuellement cultivées, 5 % des espaces forestiers et 25 % terres arables actuellement non cultivées à la culture de la biomasse. Par contre, on voit que le modèle doit être amélioré : pour ce modèle, compte tenu des estimations des chercheurs qui considèrent que les technologies en matière de biocarburants sont au centre de la recherche actuelle et donc ils estiment le coefficient de valorisation énergétique de l'ordre de 5% par an pour les prochaines années en Europe (dans les pays industrialisés tout au moins) pour les biocarburants. Ceci a un effet considérable à l'échéance 2010, puisqu'il rehausse le rendement des biocarburants de 80% par rapport aux chiffres de MARKAL de 1998. Sans cela, il paraît clair que les Européens seraient très loin de pouvoir atteindre leurs objectifs (on aurait pu atteindre environ 3,5 EJ).

Néanmoins, les pays Européens devront adopter tous les équipements ou systèmes nécessaires pour traiter les sous-produits (combustion de la paille, des résidus du bois...) pour que ces chiffres correspondent à ce que le tableau suppose. C'est définitivement un scénario très optimiste si l'échéance est 2010.

Pourtant, d'un point de vue socio-économique, l'Europe a intérêt à développer ce type de cultures, puisque la majeure partie des pays européens est en surproduction. Les subventions données aux paysans pour qu'ils mettent leurs terres en jachère pourraient être transférées pour favoriser les cultures énergétiques et rendre les biocarburants un peu plus compétitifs face aux dérivés du pétrole ou au gaz. Cela permettrait aussi de réduire la dépendance énergétique aux vues du cours du pétrole flambant et aux problèmes politico-diplomatiques au Moyen-Orient. Sans les taxes imposées à l'essence, vu le cours du pétrole et avec les incitations possibles, le client – automobiliste pourrait à terme y voir aussi l'intérêt dans la gestion de son budget.

Enfin, la systématisation du traitement des déchets par leur combustion dans un but énergétique permettrait de produire de l'énergie en se débarrassant de ses déchets, problématiques.



Ce qui apparaît comme sûr, c'est que la biomasse a un grand potentiel en Europe, mais qu'il nécessite un investissement massif, tant au niveau de la recherche que des infrastructures.

[Accès au scénario Europe](#)

## 6. Conclusion

Le problème du changement climatique suscite des interrogations quant à la capacité des hommes à modifier leurs habitudes, notamment au niveau de la consommation énergétique, afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, responsables du réchauffement accéléré de la planète. L'utilisation de biomasse pourrait être une solution à ce problème car les émissions de carbones nettes sont nulles. Cette étude s'est intéressée à exposer la situation actuelle en matière d'exploitation de la biomasse, tant au niveau des différentes voies d'exploitation qui sont les cultures énergétiques, les forêts, ou encore les déchets, que sur ses utilisations possibles, des biocarburants à la production d'énergie thermique, en passant par la production d'électricité. De plus, et c'était là l'enjeu principal du travail, elle propose une feuille de calcul, présentée plus haut dans ce rapport, qui permet d'estimer pour diverses régions du monde, et a fortiori pour l'ensemble de la planète, la production d'énergie possible pour des utilisations des terres rentrées comme paramètres. Ces utilisations étant bien sûr dépendantes des choix politiques et économiques de chaque pays, notamment en matière de compétition entre cultures énergétiques et agriculture vivrière. En guise d'exemple d'utilisation, elle présente quatre scénarios, dont les paramètres ont été pris, en se basant sur les données disponibles dans des articles de la communauté scientifique, mais aussi en supposant, soit que les politiques menées sont favorables à l'utilisation de biomasse comme source d'énergie, soit qu'elles ne le sont pas, avec des finesses ajoutées, selon l'utilisation prépondérante choisie. Les résultats obtenus ne prétendent pas être exhaustif tant les estimations faites de l'utilisation des terres et des potentiels est grossière, cependant ils donnent des ordres de grandeurs de la production d'énergie imaginable à partir de la biomasse, qui permettent d'envisager l'utilisation de cette ressource naturelle comme solution, au moins partielle, au problème de l'émission de dioxyde de carbone.

## 7. Bibliographie

### 7.1 Articles et rapports

#### Articles et rapports :

- Background paper 2, Bioenergy, FAO/Netherlands conference on the multifunctional character of agriculture and land, p.43.
- “Biomass for greenhouse gas emission reduction, Task 8: Optimal emission reduction strategies for Western Europe”, 2000, Gielen, Bos, de Feber, Gerlagh.
- “Energy implications of future stabilization of atmospheric CO2 content”, I. Hoffert et al., 1998.
- “Advanced technology paths to global climate stability: energy for a green house planet”, I. Hoffert et al., Review, Nov. 2002, p.981.
- “Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: bioethanol and biodiesel”, S. Kim, B.E. Dale, 2005, Biomass & Bioenergy, disponible sur [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- “Full fuel cycle carbon balances of bioenergy and forestry options”, B. Schlamadinger, G. Marland, 1996, Energy, p.813.
- “Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels”, L. Gustavsson et al., 1995, Energy, p.1097.
- “Substituting fossil fuels with biomass”, L. Gustavsson, P. Svenningsson, 1996, Energy, p. 1211.
- “International bioenergy transport costs and energy balance”, C.N. Hamelink, R.A.A. Suurs, A.P.C. Faaij, Biomass & Bioenergy 29, 2005, disponible sur [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- “World crop residues production and implications of its use as a biofuel”, R. Lal, 2004, Environment International, disponible sur [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- “DOE analysis of fuels and coproducts from lipids”, K.S. Tyson, 2004, Fuel Processing Technology, disponible sur [www.elsevier.com/locate/fuproc](http://www.elsevier.com/locate/fuproc).
- “ER 100: Energy and society, Lectures 5: Fuel for one billion”, D. Kammen, 2001.
- “Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis”, A. Ignaciuk, F. Vöhringer, A. Ruijs, E.C. van Ierland, 2004, Energy policy, disponible sur [www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol).
- “Global and local implications of biotechnology and climate change for future food supplies”, R.E. Evenson, National Academy of Science Colloquium “Plants and population: Is there time?”, Dec.1998, p.5921.
- “Constraints on the expansion of the global food supply”, H.W. Kendall, D. Pimentel.
- “How much land can ten billion people spare for nature? Does technology make difference?”, P.E. Waggoner, 1995, Technology in Society, p. 17.
- “World food trends and prospects to 2025”, T. Dyson, National Academy of Science Colloquium “Plants and population: Is there time?”, Dec.1998, p.5929.

- “Energy can contribute to energy and environmental goals”, A.E. Farrell, R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O’Hare, D.M. Kammen., Science, Jan. 2006, p.506.
- “Technology for electricity and fuels from biomass”, E.D. Larson, Annual Review of Energy and Environment, 1993.
- “Advanced technology paths to global climate stability :energy for a greenhouse planet”, M.I Hoffert.
- “A quickscan of global bio-energy potentials to 2050 ”, report NWS-E-2004-109, ISBN 90-393-3909-0, E. Smeets, A. Faaij, I. Lewandowski, mars 2004.
- “Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios”, M. Hoogwijk, A.Faaij, B. Eickhout, B. De Vries, W. Turkenburg, 2005.
- “The long range energy alternatives planning model and wood energy planning”, Joost Siteur, RWEDP.
- “Biomass energy demand and supply for South and South-East Asia – Assessing the resource” base, A. Koopmans, 2004.
- “Global biomassfuel resources”, Matti Parikka, 2003.
- “Biomass for energy or materials?” A Western European MARKAL MATTER 1.0 model characterization, D.J. Gielen, T. Gerlagh, A.J.M. Bos, 20/10/1998.
- “Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower”, D. Pimentel, T.W. Patzek, 2005.
- “Rapport sur l’optimisation du dispositif de soutien à la filière biocarburants », H. Prévot, V. Hespel, J.-Y. Dupré, F. Baratin, D. Gagey, 20/09/2005.
- “Technology for electricity and fuels from biomass”, E. D. Larson, 1993.
- “Roles for Biomass Energy in Sustainable Development”, R. Williams.

## *7.2 Sites Internet*

- Données sur l’usage des terres dans le monde, disponible sur <http://www.sage.wisc.edu/pages/datamodels.html>
- <http://rael.berkeley.edu/EBAMM/>
- <http://www.ieiglobal.org/ESDVol1No1/brazilianalcohol.pdf>
- <http://www.ieiglobal.org/esdvol4no3%5Csugarcane.pdf>
- <http://www.treepower.org/yields/main.html>
- <http://www.thegef.org>, site de global environment facility
- <http://www.missioneco.org>, site du ministère français du commerce extérieur
- <http://www.futurinc.lautre.net>, site journalistique sur le futur, la société, les technologies
- <http://www.senat.fr>, site du Senat
- <http://www.bresilbresils.org>, site de l’année du Brésil en France
- <http://www.novethic.fr>, site d’une filiale de la caisse des dépôts, consacrée au développement durable
- <http://www.ifp.fr>, site de l’institut français du pétrole

- <http://www.rfi.fr>, site de radio France internationale
- <http://europa.eu.int>, portail de l'Union européenne
- <http://www.valbiom.be>, site d'une association pour la valorisation de la biomasse
- <http://usinfo.state.gov>, site d'information du gouvernement américain
- <http://www.nrcs.usda.gov>, site du « national resources conservation service », organe du ministère américain de l'agriculture
- <http://www.globalforestwatch.org>, site de l'observatoire mondial des forêts
- <http://www.bfs.admin.ch>, site suisse de statistiques
- <http://faostat.fao.org>, statistiques de la fao
- <http://www.fao.org>, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- <http://www.ademe.fr>, Agence pour le développement et la maîtrise de l'énergie en France.
- <http://www.agriculture.gouv.fr>, ministère français de l'agriculture.
- <http://www.industrie.gouv.fr>, ministère français de l'industrie.
- <http://www.ecologie.gouv.fr>, ministère français de l'écologie.
- <http://www.cirad.fr>, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
- <http://www.iea.org>, international energy agency.