LE RÔLE DE LA BIOMASSE POUR UNE MEILLEURE ÉQUITÉ ÉNERGETIQUE
QUELS ENJEUX POUR L'AGRICULTURE ?

THE ROLE OF BIOMASS FOR A BETTER ENERGY EQUITY WHAT IS AT STAKE FOR AGRICULTURE ?

par Philippe **Girard**[1] et Abigaël **Fallot**

RÉSUMÉ

La biomasse pour la production d'énergie (bois, cultures, résidus…) représente une part relativement faible de l'approvisionnement énergétique des pays de l'OCDE. Son rôle est loin d'être négligeable dans la production d'énergie des PED, mais il y concerne principalement les usages traditionnels avec une faible efficacité énergétique. Pourtant, si l'on examine les scénarios réalisés ces trente dernières années, on observe que l'émergence de la biomasse-énergie avec des filières modernes de valorisation, a toujours été anticipée à horizon de moyen terme mais n'a pas eu lieu. D'où la question du réalisme des scénarios élaborés aujourd'hui et des déclarations politiques attenantes lorsqu'ils confèrent, à l'échelle mondiale, une place significative à la biomasse-énergie "moderne" dans un futur relativement proche. La biomasse est-elle simplement évoquée pour pouvoir présenter des scénarios énergétiques rassurants parce qu'annonçant une moindre dépendance vis-à-vis du pétrole et d'autres ressources épuisables ou porteuses de risques globaux majeurs (effet de serre, nucléaire…) ? Ou bien recèle-t-elle de véritables potentiels ? Dans ce cas, quelles conditions doivent être réunies pour que ces potentiels soient exploitables durablement, des points de vue économiques, sociaux et environnementaux ? Les réponses manquent à ces questions ou pêchent par leur caractère partiel voire partial, ce qui peut contribuer à expliquer les décalages observés entre les scénarios passés et les réalisations. Il n'est en effet pas simple de se prononcer sur l'avenir d'une option qui dépend à la fois de choix énergétiques, d'usages des sols et de gestion des ressources et de l'environnement. Même si les enjeux d'un rôle croissant de l'agriculture et de la forêt dans la production d'énergie n'ont toujours pas été clarifiés, la recherche a avancé sur plusieurs thèmes centraux : génétique, technologies de valorisation énergétique de la biomasse ; évaluation agro-économique de la disponibilité en biomasse ; prise en compte socio-économique de l'environnement… Ces avancées permettent d'étudier si l'agriculture et les forêts seront, dans un avenir proche, en mesure de satisfaire une demande (très) importante en biomasse énergie sans buter sur la compétition avec une demande croissante de matières premières alimentaire et non alimentaire. Dans ce cas, les spécifications des filières de conversion, les contraintes de compétitivité économique, et la prise en compte des enjeux environnementaux amènent à reconsidérer les pratiques et les politiques agricoles. L'objet de cet article est de donner une vision des avancées en cours sur le thème de l'émergence de la biomasse-énergie avant de dégager les enjeux liés à ce développement pour l'agriculture et la forêt. Nous traiterons plus particulièrement des pays en milieu tropical qui pourraient être amenés à jouer un rôle majeur dans une « Bio-économie » et où l'énergie pourrait constituer un levier de modernisation de l'agriculture.

[1] CIRAD, UPR Biomasse-énergie. Courriel : philippe.girard@cirad.fr

SUMMARY

Biomass for energy production (wood, agricutural products and residues…) accounts for a relatively small share of energy resources of OECD countries. Its contribution to developing countries' energy production is far from negligible but often about traditional uses with low energy efficiency. However, a quick look at energy scenarios of the last three decades shows that the emergence of modern energy from biomass was always anticipated within a medium term horizon but never took place. We can hence question the realism of scenarios currently elaborated and of adjoined political declarations when they allow a significant role to modern energy from biomass in a relatively near future. Is biomass mentioned for the only sake of presenting comforting energy scenarios because they announce a lower dependency on oil and other resources either exhaustible or conveying major global risk (climate, nuclear…)? Or does biomass contain real potentials? In that case, what circumstances are required for those potentials to be workable in economically, socially and environmentally sustainable ways? If ever available, answers to these questions are incomplete see biased, which can contribute to explain observed gaps between old scenarios and observed reality. It is indeed not simple to pronounce on the future of an option depending on multiple choices in matters of energy, of land-use and of natural resources management. Although issues of a growing role of agriculture and forestry in energy production haven't been clarified yet, research has progressed on several central topics: genetics, energy technologies from biomass, agro-economic evaluation of biomass availability, socio-economic accounting of environment… These overhangs provide insights whether agriculture and forestry will in a near future be in a position to satisfy an (very) important demand of energy from biomass without stumbling on the growing demand for food resources. In that sense, conversion technical specifications, economic competitiveness and environmental concerns lead to reconsider agricultural practices and policies. The object of this article is to give a vision of the work in progress on the emergence of biomass for energy before drawing the issues at stake for agriculture and forestry. We shall more particularly deal with tropical countries which might well lead a major role in a "bioeconomy" and where energy could have a levering effect on agriculture modernisation.

INTRODUCTION

La biomasse est une source d'énergie qui offre une grande flexibilité pour satisfaire la large diversité de la demande de services énergétiques (chaleur, énergie mécanique, électricité…). Contrairement aux autres renouvelables, la biomasse peut être stockée. Elle devrait contribuer à satisfaire les besoins de l'Union Européenne dont l'objectif est de porter à 12% la part des énergies nouvelles et renouvelables (ENR) avec un enjeu phare pour la biomasse censée couvrir 20% des besoins des transports d'ici à 2020. Aujourd'hui la biomasse représente en énergie primaire environ 45% de la contribution totale des ENR des pays de l'OCDE (1), près de 84 TWh électriques ont été produits à partir de la biomasse en 2000 dont près de la moitié aux États-Unis.

Dans les pays en développement, la biomasse représente la principale source d'énergie, notamment domestique. Plusieurs pays tropicaux, en Afrique et en Asie surtout, dépendent comme le Mali, le Kenya, et le Népal à plus de 90% de la biomasse pour la satisfaction de leurs besoins en énergie primaire. La biomasse reste dans la majorité des cas cantonnée aux utilisations domestiques les plus traditionnelles (bois de chauffe, charbon de bois pour la cuisine) avec des rendements de conversion extrêmement faibles. Les chiffres cachent en outre d'autres inégalités au sein même de ces pays avec une disparité importante entre les villes et le milieu rural (4). Pourtant, l'étiquetage de

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 13 octobre 2004.

la biomasse-énergie au rang des « énergies traditionnelles » par opposition aux énergies fossiles conventionnelles qualifiées de « modernes » est à la fois peu porteur, réducteur et insatisfaisant. En effet, il semble accepté aujourd'hui que l'introduction de technologies modernes de conversion de la biomasse soit susceptible d'offrir de réelles perspectives et constitue un levier majeur pour le développement et l'environnement des pays tropicaux (3).

D'autant que plus globalement, deux phénomènes conjugués militent en faveur d'un meilleur rôle de la biomasse énergie : la prise en compte des problèmes liés aux émissions de gaz à effet de serre ; et l'accroissement de la demande en produits pétroliers associé à la hausse et l'instabilité de leurs prix.

Plusieurs scénarios de production énergétique à moyen et long termes envisagent un recours important à la biomasse pour la production d'énergie comme illustré par les analyses de prospective réalisées entre autres pour l'Europe et résumées dans le tableau 1. Or si l'on examine les scénarios réalisés ces trente dernières années, on observe que l'émergence de la biomasse-énergie, toujours anticipée à horizon de moyen terme pour dans quelques dizaines d'années, n'a pas eu lieu. D'où la question du réalisme des scénarios élaborés aujourd'hui et des déclarations politiques attenantes lorsqu'ils confèrent une place significative à la biomasse-énergie dans un futur relativement proche.

Potentiel futur (EJ/an)	**Année**		
Scenario et sources	**2025**	**2050**	**2100**
"Sustained growth sc." Shell (1996)	85	200-220	--
IPCC (1996)	72	280	320
Greenpeace (1993)	114	181	--
RIGES, de Johansson et al (1993)	145	206	--
Dessus et al. (1992)	135	--	--
Lashof and Tirpak (1991)	130	215	--
Fisher and Schrattenholzer (2001)	--	350-450	--
AIE	67		
Utilisation actuelle (2001) : 50 EJ/an pour une consommation énergétique totale mondiale de 400 EJ/an			

Tableau 1 : Utilisation actuelle et consommation potentielle en bio-énergie en Europe (1,7)
Table 1 *: Current use and potential consumption of bio-energy in Europe*

La biomasse-énergie est-elle simplement évoquée pour pouvoir présenter des scénarios énergétiques rassurants parce qu'annonçant une moindre dépendance vis-à-vis du pétrole et d'autres ressources épuisables ou porteuses de risques globaux majeurs (effet de serre, nucléaire…) ? Où recèle-t-elle de véritables potentiels ? Dans ce cas, quelles conditions doivent être réunies pour que ces potentiels soient exploitables durablement, des points de vue économiques, sociaux et environnementaux ?

Les réponses manquent à ces questions ou pêchent par leur caractère partiel voire partial, ce qui peut contribuer à expliquer les décalages observés entre les scénarios passés et les réalisations. Il n'est en effet pas simple de se prononcer sur l'avenir d'une option qui dépend à la fois de choix énergétiques, d'usages des sols (agriculture, forêts…) et de gestion des ressources et de l'environnement. D'autant moins que les décisions prises dans un secteur affectent les autres secteurs sans qu'il en soit tenu compte au sein d'une analyse d'ensemble. Même si les enjeux d'un rôle croissant de l'agriculture et de la forêt dans la production d'énergie n'ont pas été clarifiés, la recherche a réalisé des avancées significatives sur plusieurs thèmes centraux : amélioration

génétique, technologies de valorisation énergétique de la biomasse ; évaluation agro-économique de la disponibilité en biomasse ; prise en compte du long terme…

Nous examinerons ces avancées pour chaque fois tenter de dégager les enjeux pour l'agriculture du développement de la biomasse-énergie, plus particulièrement en milieu tropical où l'énergie pourrait constituer l'un des leviers de modernisation de l'agriculture.

I. LES TECHNOLOGIES DE VALORISATION ÉNERGETIQUE DE LA BIOMASSE

Toute biomasse peut être valorisée pour produire de l'énergie. Le principe est de transformer en énergie les constituants de la biomasse (cellulose, lignine, hémicellulose) ou les réserves de la plante (sucre, huile). Cette transformation présente plus ou moins d'intérêt, selon les besoins énergétiques à satisfaire notamment en milieu rural où se trouve l'essentiel de la biomasse, selon les valorisations alternatives en présence et selon sa disponibilité et ses propriétés techniques. Par exemple, une biomasse se prête d'autant mieux à une valorisation énergétique qu'elle est disponible sous une forme homogène, et que les volumes mobilisables sont importants et concentrés spatialement.

Les catégories de biomasse valorisable sont :
- les produits et sous-produits de l'agriculture : cultures annuelles et cultures pérennes ;
- les plantations : taillis à courte rotation, plantations forestières, herbes pérennes, cultures annuelles dédiées ;
- les produits et sous produits de l'exploitation forestière.

A Notions techniques et ordres de grandeur

A l'exception de procédés de type mécanique (compactage) de conditionnement de la biomasse, les procédés de valorisation énergétique sont essentiellement du ressort de la biochimie ou de la thermochimie (cf. figure 1) :
- voies biochimiques : fermentation, hydrolyse, distillation pour l'obtention de biocarburants et méthanisation pour du biogaz ;
- voies thermochimiques : pyrolyse (carbonisation et pyrolyse flash), combustion, gazéification, procédé Fischer-Tropsch… pour l'obtention de chaleur, d'énergie mécanique, ou d'électricité, de biocombustibles et de biocarburants.

En conversion thermochimique, vitesse de chauffe, température, pression et les éventuels catalyseurs utilisés orientent les réactions et déterminent les proportions des produits énergétiques obtenus. Les biomasses présentent en outre des spécificités qui jouent sur les procédés de conversion et sur leur mise en oeuvre.

Composition des biomasses : Si la composition en carbone (C), oxygène (O), hydrogène (H) et azote (N) est assez constante entre les biomasses, le pourcentage et la nature des cendres (matières minérales MM) varient parfois dans de grandes proportions, cf. les tableaux 2 et 3 ci-dessous, et peuvent être à l'origine des plus fortes contraintes, particulièrement pour des produits autres que le bois. Aux problèmes d'émissions (fumées chargées en minéraux) s'ajoutent ceux de corrosions et de dépôts dans les réacteurs voire du blocage de grille dans les foyers. Ces aspects, longtemps sous estimés, font aujourd'hui l'objet de plusieurs travaux au niveau européen et des solutions sont mises en oeuvre.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 13 octobre 2004.

Composition en % (massique)		C	H(	O	N	MM
Feuillus	Moyenne	51.0	6.07	42.5	0.37	2.5
	Ecart	4	7	6	116	175
Résineux	Moyenne	50.8	6.06	42.7	0.36	2.3
	Ecart	4	7	5	112	174
Pailles	Moyenne	48.9	5.97	43.9	0.82	7.3
	Ecart	4	8	6	69	67
Balles de riz	Moyenne	48.2	6.48	45.1	1.19	15.8
	Ecart	6	12	8	90	104
Bagasse	Moyenne	53.1	6.03	38.7	1.25	9.3
	Ecart	13	7	17	112	126
Tiges de coton	Moyenne	49.5	5.8	43.8	1.17	8.5
	Ecart	6	8	8	37	69

Tableau 2 : Composition de quelques biomasses végétales (source ECN)
Table 2 *: Composition of some vegetal biomass*

mg/MJ	Si	K	S	Cl
Pailles de céréales	50 - 800	100 – 1100	50 -100	50 - 620
Feuillus - copeaux	50 - 600	25 – 200	0 - 50	0 - 50

Tableau 3 : Comparaison des variations de concentration en principaux éléments constituants des cendres entre le bois et la paille (mg/MJ PCI)
Table 3 *: Comparison of concentration variations in main ashes constituants between wood and straw*

Humidité et pouvoir calorifique : La biomasse se caractérise par une teneur en eau extrêmement variable dans le temps. Après leur récolte, les matières végétales non ligneuses ont un taux élevé d'humidité, rapport masse d'eau par masse de produit brut, jusqu'à 95%. L'humidité fait diminuer le rendement énergétique de toute transformation thermochimique et augmenter les coûts de transport. Au-delà de 60 % la combustibilité de la biomasse est quasi nulle et le séchage est indispensable.
Fonction décroissante de son humidité, le contenu énergétique d'un corps varie peu d'une matière première à une autre pour une biomasse sèche : autour de 18 MJ/kg pour les biomasses anhydres ayant moins de 1% de cendres. Les produits très cendreux présentent un pouvoir calorifique qui chute proportionnellement au taux de matières minérales.

	Sous produits	PCI (MJ/kg)
Paddy	Paille	14,9
	Balle de riz	14
Canne à sucre	Bagasse	17,5
Coton	Tiges	17,4
	Coques	15,2
Maïs	Rafles	16
	Tiges	16,9
Palmier à huile	Coques	18
	Fibres	16
Coprah	Coques	19
	Fibres	16,7
Bois	Bûches	13

Tableau 4 : Pouvoir calorifique inférieur de sous-produits agricoles pour quelques grandes cultures
Table 4 *: Lower heating volume (LHV) of some agricultural sub-products*

Caractéristiques physiques : la masse volumique et la granulométrie de la biomasse sont importantes pour sa valorisation énergétique. De quelques dizaines de kilogrammes par mètre cube apparent pour les biomasses herbacées à plus d'une tonne pour certains bois tropicaux, la masse volumique varie également pour un même produit en fonction de la taille des particules et de leur conformation. Ainsi, sous forme de sciures, de plaquettes ou de rondins, la masse volumique d'une même espèce forestière peut varier du simple au double. Sauf à présenter une granulométrie relativement homogène et une masse volumique appropriée, le pré-conditionnement des biomasses est nécessaire.

B La biomasse pour valorisation énergétique en milieu tropical

Si toute biomasse est susceptible de produire de l'énergie, une concurrence directe entre valorisations énergétique et alimentaire n'est pas envisageable sur les terres arables des pays du Sud, contrairement aux pays du Nord lorsque les excédents agricoles facilitent la production d'éthanol de maïs, blé ou betteraves, et de diester de colza par exemple. C'est en termes de *complémentarité* des activités agricoles et plus largement rurales que se pose la question de la biomasse mobilisable pour l'énergie en zone tropicale. Les complémentarités possibles se présentent pour les résidus agricoles et le bois (plantations, produits et sous produits de l'exploitation forestière).

Résidus agricoles : La disponibilité de la biomasse résiduelle est saisonnière et limitée à quelques mois dans l'année. Les sous-produits agricoles récoltés, puis stockés doivent souvent être traités rapidement du fait des risques de développement et de prolifération de certains ravageurs. Des coûts élevés de stockage et des problèmes temporaires de disponibilité de la matière première peuvent en résulter. Ce constat pour les déchets agricoles est valable dans une moindre mesure pour les biomasses forestières quand la récolte est limitée à certaines périodes de l'année par la mauvaise portance des sols. Les résidus de *transformation* des produits agricoles présentent un énorme avantage par rapport aux produits agricoles dans la mesure où ils sont très localisés. Déjà transportés, les résidus de transformation sont présents en quantité importante, voire très importante en aval des usines. Ces produits présentent par ailleurs une granulométrie assez homogène qui facilite leur utilisation. Leur utilisation *in situ* n'implique pas de coût de transport supplémentaire. Cependant leur humidité est variable, plutôt faible pour les sous-produits de décorticage (e.g. balles de riz), elle est élevée pour les sous-produits de pressage (e.g. bagasse de canne à sucre),…

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 13 octobre 2004.

Le bois : L'utilisation énergétique du bois en milieu tropical est souvent associée au problème de la déforestation. Deux points sont importants à développer à ce niveau.

- L'exploitation forestière et la "déforestation" qui peut résulter de l'utilisation énergétique du bois ne sont pas des problèmes fondamentalement insolubles. Le CIRAD et le bureau d'études Marge l'ont démontré au Niger et au Mali, les produits forestiers constituent une source de revenu indispensable en milieu rural. Cependant, avec le développement économique des pays, la tendance est à la diminution progressive des usages traditionnels de la biomasse au profit des combustibles fossiles. Cette mutation pourrait conduire à priver le monde rural d'une part significative de ses revenus, à ainsi augmenter le déséquilibre villes/campagnes, et à diminuer la valeur du patrimoine forestier au risque de conduire les populations à en abandonner la gestion. Cet abandon de la valorisation énergétique de la biomasse se traduirait par des dégradations irréversibles des espaces naturels et aurait un impact négatif sur l'environnement et le développement. Il convient donc de maintenir l'exploitation rationnelle des forêts et d'accroître la valeur du bois sur pied, et pour ce faire, d'assurer une transition vers les usages modernes de la biomasse. Il n'est pas évident que cette transition puisse se faire spontanément, les contextes sont pourtant nombreux dans lesquels il faudrait rapidement s'y engager.

- Les expériences de plantations déjà réalisées ont permis de développer, grâce aux progrès de la génétique, des espèces plus résistantes, à plus forte croissance qui peuvent offrir un réel potentiel en milieu tropical pour autant que le type de gestion soit approprié et les plantations maîtrisées. Ainsi, dans des conditions économiques diversifiées, la production d'électricité à partir de plantations privées a démontré sa faisabilité tant technique qu'économique : 5000 ha d'eucalyptus au Nicaragua pour alimenter une centrale mixte bagasse/bois de 15 MWe avec revente sur le réseau des surplus; 10 MWe alimentés en partie à partir de plantations d'acacias en Malaisie (état du Sabah) pour l'autoproduction d'électricité dans un complexe d'industries du bois. En milieu rural à forte composante agricole, il est possible d'associer les plantations énergétiques aux cultures vivrières ou de rentes. Des systèmes agro-sylvicoles existent dans de nombreux pays tropicaux (Nicaragua, Inde, Sénégal, …). La gestion à but énergétique des ressources naturelles ou la création de plantations énergétiques permet en plus le stockage du carbone, la production d'énergie ne se réalisant qu'à partir de la production primaire nette[1]. Si les plantations énergétiques ne peuvent pas être généralisées, elles méritent cependant attention. Elles sont en mesure d'accroître significativement le revenu en milieu rural en offrant de nouveaux débouchés pour l'agriculture. En effet, la mise en place d'unités modernes de production d'énergie à partir de la biomasse devrait induire une meilleure valorisation de ces matières premières (meilleur rendement de conversion) et l'émergence d'un marché suffisamment incitatif pour favoriser l'émergence de ces plantations. N'oublions pas qu'aujourd'hui, la quasi majorité des pays tropicaux assurent l'approvisionnement en bois de feu et charbon de bois de leur ville (300.000 tonnes de charbon par an sur Abidjan correspondant à environ 2,1 Mt de bois) et cela à des coûts extrêmement faibles, toujours compétitifs par rapport aux énergies fossiles même subventionnées.

[1] La production de 1MW électrique à partir de plantations forestières nécessite la mise en culture de 750 ha de manière pérenne permettant une économie d'émissions annuelle, par substitution, de 7.000 t de carbone et un stockage de 60.000 t. En effet, 1 MWe produit à partir d'une solution classique "chaudière turbine" nécessite environ 15.000 t de bois. A raison d'une production de 20 t/ha/an et une rotation tous les 5 ans, ce sont 150 ha qui sont exploités par an. Les 600 ha restants permettent de stocker les 60.000 t de carbone.

La diversité des biomasses et la mauvaise appréhension des problèmes qui y sont liés ont largement contribué à limiter l'émergence de cette filière énergétique. Les technologies ont été développées pour s'adapter à cette diversité sachant que les tentatives de développer des matériels poly-combustibles se sont plutôt soldées par des échecs. Malheureusement, les conceptions spécifiques limitent la taille des marchés potentiels et ne permettent pas de réduire les coûts des équipements. L'autre écueil, à l'origine de nombreuses contre-performances, a été la mise en œuvre de technologies inadaptées aux contraintes inhérentes à certaines biomasses.

Ces obstacles sont surmontables quand la biomasse peut être mobilisable en volumes et qualité suffisamment réguliers pour des équipements de valorisation relativement standard. On se heurte ici au problème de la faible productivité de l'agriculture, en Afrique tout particulièrement.

C. Modernisation de l'agriculture et production durable d'énergie, une possible spirale vertueuse

Alors même qu'elle génère de la biomasse valorisable, l'agriculture peu productive manque d'énergie. La grande majorité de cette agriculture en Afrique est extensive et basée sur des pratiques culturales ancestrales (agriculture sur brûlis) qui pèsent lourdement sur les écosystèmes et sont responsables de la dégradation du milieu. Dans ces situations, la protection de l'environnement et le développement économique passe par le développement de l'agriculture. Un approvisionnement énergétique fiable et compétitif (ce dernier point restant relatif) est l'élément incontournable du développement d'activités agricoles et d'une refonte des politiques agricoles.

De plusieurs ordres, les besoins énergétiques du monde rural ou des zones périurbaines concernent le plus souvent l'accessibilité à l'eau. Si la disponibilité en eau ne constitue pas toujours le facteur limitant, sa non accessibilité et l'absence d'énergie pour le pompage et l'irrigation limitent le rendement des cultures et le nombre de rotations envisageables. Au Sénégal, l'ONG ENDA démontre que la disponibilité en eau et sa bonne gestion rendent possible une activité agricole intensive sur des sols pourtant très dégradés. Les besoins énergétiques pour le pompage (hors grandes exploitations agricoles) sont de l'ordre de quelques kW (5 à 10 kWe). Ce niveau de puissance permet également de faire fonctionner un poste à souder, d'assurer l'éclairage et la couverture de nombreux besoins des communautés villageoises (mouture, extraction,….), sans compter la mise à disposition d'eau potable.

L'intensification agricole n'a cependant de sens que si la production a accès aux marchés. Afin de pallier aux fluctuations sur ces marchés et aux problèmes d'accessibilité (transport), mais aussi pour accroître la valeur ajoutée en milieu rural, la production doit être conditionnée. Le séchage ainsi que la mise en place d'une chaîne de froid, voire la production de glace par de petites unités permettent la conservation des produits agricoles pendant le transport des zones de production vers les zones de consommation et pour l'exportation. La disponibilité en électricité contribue ainsi à l'essor de petites et moyennes entreprises créatrices de valeur ajoutée et d'emplois avec des besoins électriques restant faibles, de l'ordre de 5 à 20 kWe et pouvant s'envisager selon les activités agricoles avec la cogénération à des niveaux de puissances thermiques de l'ordre de 100 à 1000 kWth. Dans certains cas d'absence de marché local, la seule maîtrise d'une filière de séchage de produits agricoles serait en mesure d'ouvrir des débouchés à l'export pour des produits même non transformés.

Les niveaux de puissance en jeu pourraient être assurés par les solutions conventionnelles de type moteurs diesel, mais il n'existe pas de fournisseurs de moteur diesel en option cogénération

dans ces puissances. Parmi les sources d'énergie locales et renouvelables, l'hydraulique et la biomasse sont généralement les seules à pouvoir satisfaire cette demande. En effet, les surfaces nécessaires en photovoltaïque rendent cette option illusoire et la disponibilité tant spatiale que journalière de l'énergie éolienne est trop aléatoire pour des applications qui requièrent une disponibilité quasi instantanée. En couplage cependant, l'option de l'éolien peut s'avérer intéressante parce qu'elle couvre une large gamme de puissance.

II. MISE EN PERSPECTIVE DES ÉLÉMENTS PERÇUS COMME FACTEURS DE BLOCAGE

Disponibilité de la biomasse à l'amont et coûts des bioénergies à l'aval, sont généralement d'emblée perçus comme problématiques et découragent l'analyse plus approfondie du rôle de la biomasse-énergie au sein d'une dynamique locale de modernisation de l'agriculture et pour une meilleure équité énergétique. Les deux questions méritent d'être traitées, d'emblée également, afin de dégager une vision globale et de long terme des potentiels des bioénergies, vision nécessaire à saisir les enjeux de leur mobilisation.

A. A l'amont, la question de la disponibilité de la biomasse

La question de l'affectation des terres se pose dès lors que l'on considère des valorisations autres qu'alimentaires dans un monde où persistent sous-nutrition et croissance démographique. En matière d'usage des sols, la priorité à l'alimentaire n'est pas révisable. La mise en oeuvre de nouveaux itinéraires techniques plus performant et moins déprédateurs apparaît cependant essentielle, compte tenu des dégradations irréversibles déjà observées dans certaines zones, de la raréfaction des ressources disponibles, notamment en eau et des aspirations des populations pour une amélioration globale de leur environnement et de la qualité et de la sécurité des aliments issus de cette agriculture. Cette tendance lourde dans les pays industrialisés est déjà en marche en PED et ne peut être ignorée. L'indispensable amélioration de la productivité des sols et de l'agroalimentaire ne pourra se faire sans énergie. Leur devenir est intimement lié, davantage encore si l'on tient compte du renchérissement du pétrole.

Dans des situations locales de faibles rendements et de dégradation du milieu, il s'agit, nous l'avons vu, d'engager l'agriculture et l'agro-alimentaire dans la spirale vertueuse où s'enchaînent amélioration des rendements, fourniture de biomasse pour valorisation énergétique et approvisionnement énergétique de l'agriculture et l'agro-industrie. Ainsi les spécifications des filières de conversion invitent à reconsidérer les pratiques agricoles de façon à optimiser la production de biomasse, au-delà de la seule production alimentaire. A l'instar des approches d'ensemble et innovantes prônées pour l'introduction du semis direct, les problématiques biomasse-énergie englobent plusieurs types d'activités (agricoles, forestières, énergétiques…) sur plusieurs pas de temps et appellent à un décloisonnement des disciplines (agronomiques, forestières, énergétiques…).

On observe alors que, dans nombre de cas de figure, la disponibilité en terres n'est pas le premier facteur de blocage. Le tableau 5 l'illustre, le potentiel de terres cultivables n'est pas épuisé : 30% de disponibilité sur les PED auxquels s'ajoutent un considérable potentiel d'intensification. Ainsi l'Asie du Sud-Est assure la subsistance globale de sa population et reste largement exportatrice avec 10% du potentiel cultivable mondial et une densité de population au km² cultivé deux fois supérieure à celle de l'Afrique ou de l'Amérique Latine. Comme l'illustrent les tableaux 6 et 7, les sols états-uniens ou européens sont respectivement deux et quatre fois plus productifs que

ceux d'Amérique Latine et d'Afrique, les rendements rizicoles de l'Indonésie ont également plus que doublé sur les trente dernières années. De plus, une part significative des cultures énergétiques peut s'envisager sur des sols pauvres ou en reforestation sur les zones dégradées, comme par exemple au Brésil avec déjà 7 Mha de plantation d'eucalyptus.

*Millions km²	Total pays en développement	Total pays industrialisés	Afrique	Asie du Sud-Est	Amérique Latine	Total Monde
Surface totale	76,19	57,73	28,86	8,97	17,70	133,92
% surface mondiale	57	43	21	6	13	100
Population (1979)	3117	1218	427	1232	239	4335
% pop. Totale	72	28	10	28	6	100
Terres potentiellement cultivables	21,54	8,77	7,89	2,97	8,19	30,31
% surface totale	28	15	27	33	46	22
% cultivable mondiale	71	29	26	10	27	100
Terres effectivement cultivées	7,84	6,77	1,68	2,74	1,24	14,61
% surface cultivable	3,6	77	21	92	15	48
Population/km² cultivé	400	180	250	450	190	300

Tableau 5 : Utilisation des terres et population (Sundquist, 2003)
***Table 5** : Land users and populations*

Production riz (kg/ha)	1961	1980	1990
Japon	3400	4100	4500
Indonésie	1800	3300	4300

Tableau 6 : Evaluation de la productivité des rizières entre 1961 et 1990
(Chapman sité par Sundquist, 2003).
***Table 6** : Estimates of rice fields productivity between 1961 & 1990*

Rendements céréaliers	USA	Europe	Asie	Chine	Amérique latine	Moyen orient	Afrique
t/km²/an (1995)	420	420	290	420	210	170	100

Tableau 7 : Comparaison des rendements céréaliers entre différentes zones économiques en 1995
(Sundquist, 2003).
***Table 7** : Comparison of cereal yields between different economic zones*

La question de l'affectation des ressources en terre et en eau n'en demeure pas moins extrêmement difficile. Repenser la politique agricole et même l'alimentation humaine en fonction de son impact sur les ressources naturelles est fondamental pour l'avenir des pays tropicaux qui présentent généralement des sols fragiles. Les agressions dues à l'homme s'y sont multipliées avec une surexploitation des pâturages et des forêts, ou lorsque l'intensification agricole n'est conçue qu'avec une forte consommation d'intrants chimiques. L'extension des zones urbaines sature l'environnement de déchets ménagers et industriels et absorbe des terres agricoles riches. Ainsi, au Maroc, 70% de la surface agricole est soumise à une érosion dangereuse : chaque année, ce sont 22.000 hectares arables qui disparaissent (5).

L'amélioration des techniques agronomiques pourra sans doute contribuer à la résolution de ces problèmes. Il est également vraisemblable que la mise en culture de zones dégradées ou périphériques à l'agriculture pour des usages énergétiques joue un rôle important :

- offrant à l'agriculteur des perspectives de revenu pérenne et contrebalançant ainsi le problème de la saisonnalité de l'activité agricole classique,
- localisant les installations énergétiques en zones rurales, pour y générer des opportunités de développement économique (création d'emplois) et social (éducation) dans ces zones,
- redynamisant les équilibres écologiques et permettant le maintien d'une certaine biodiversité, voir une recolonisation de ces zones par des espèces menacées.

Pour ce faire, les gouvernements ne pourront pas échapper à des révisions en profondeur de leurs lois sur la propriété du foncier et de leurs politiques de subventionnement de l'agriculture.

Les énergies renouvelables et la biomasse en particulier parce qu'elles impliquent une organisation spécifique ou des investissements de départ importants, nécessitent souvent des structures et des modes de gestion collectives (contrairement à la solution diesel qui reste souvent d'initiative individuelle). Dans un contexte d'exode rural cet aspect peut revêtir un caractère fondamental, renforcer le rôle d'appartenance à un groupe social et faire jouer les solidarités.

Instaurés en collaboration avec les collectivités locales ou territoriales, les solutions biomasse peuvent jouer un rôle structurant si de nouvelles approches sont mises en place et s'inscrivent résolument dans une démarche de développement agricole intégré. Celle-ci requiert une stratégie donnant priorité aux zones rurales, restées en marge du développement et des projets d'infrastructures. La mise en œuvre de solutions bioénergies, susceptibles d'assurer la fourniture d'électricité et de chaleur à des fins industrielles et commerciales, offre l'opportunité d'inverser les tendances de déprise rurale, en localisant, via l'offre, les projets énergétiques en milieu rural. Cela suppose de ne pas se focaliser sur les seuls besoins domestiques (éclairage), mais aussi sur les besoins agricoles et pour ce faire de correctement appréhender le potentiel de développement et les besoins associés. C'est bien par une volonté délibérée de faciliter la mise à disposition d'électricité dans les zones rurales en développement ou disposant d'un potentiel d'essor d'activités agricoles ou artisanales que la bioénergie jouera à plein son rôle de développement socio-économique et trouvera un équilibre financier minimum rendant possible sa viabilité économique.

B. A l'aval, la question de l'intérêt économique des bioénergies

En dépit des besoins énergétiques non satisfaits, dans le contexte actuel d'hégémonie des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz), les énergies issues de la biomasse sont perçues comme pas assez modernes ou trop chères. Coûts de la biomasse et coûts de sa transformation s'additionnent pour aboutir à des estimations de coûts supérieurs à ceux des énergies concurrentes actuellement observables.

La question des coûts relatifs est en réalité loin d'être stabilisée faute pour les bioénergies d'avoir dépassé le stade expérimental et faute d'analyse globale du contexte de leur possible émergence.

Calculés à un stade antérieur à cette émergence qui assurerait aux bioénergies un rôle significatif dans le secteur énergétique, les coûts initiaux ne tiennent en effet pas compte des possibles réductions possibles au fur et à mesure de la progression d'une filière du fait d'effets d'échelle et d'apprentissage.

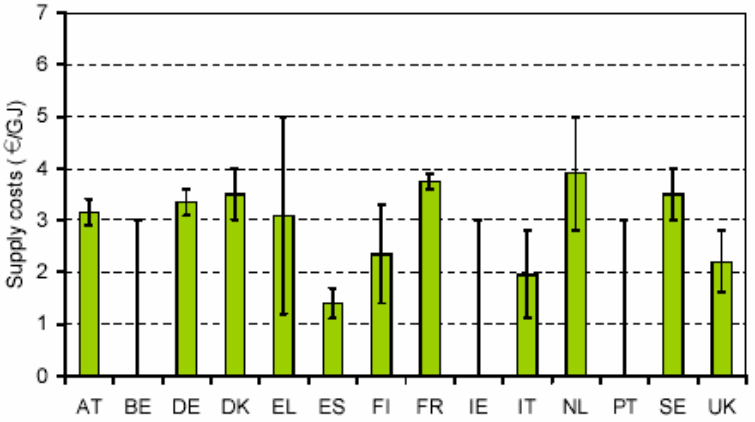

Figure 2 : Coût de mise à disposition de biomasse forestière en Europe (2)
Figure 2 *: Cost of forest biomass in Europe*

Pour être évalués dans un futur où les bioénergies contribueraient notoirement à l'approvisionnement énergétique, leurs coûts doivent intégrer non seulement les gains liés à du progrès technique et un passage à grande échelle de la valorisation de la biomasse, mais aussi, plus à l'amont et plus à l'aval les changements de contexte.

Celui-ci est perçu comme défavorable dans les situations actuelles combinant supériorité des filières énergétiques en place, prise en compte de l'environnement encore faible et biaisée, et agriculture souvent cantonnée à la production alimentaire. Ces obstacles semblent demeurer si les projections à moyen et long termes sont faites spécifiquement sur les performances des bioénergies, toutes choses étant considérées "égales par ailleurs".

Or, du fait de l'interdépendance des questions agricoles, énergétiques et environnementales, appréhender des changements dans les conditions de valorisation énergétique de la biomasse de manière globale et cohérente, suppose de conjuguer scénarios énergétiques, analyses prospectives agricole et d'usage des sols et prise en compte de l'environnement. Point de départ de ces analyses, les situations actuellement observables dans le monde sont contrastées, avec de grandes différences entre pays des points de vue de leurs rendements agricoles et de leurs niveaux de consommation énergétique, ainsi de leurs priorités pour une meilleure prise en compte de l'environnement.
A l'échelle européenne, la figure 2 illustre cette diversité et les différences de compétitivité qui en résultent et que seule une démarche volontariste pourrait gommer. Ainsi le Danemark qui présente l'un des prix de la biomasse les plus élevés d'Europe se situe parmi les pays ayant les capacités installées par habitant les plus élevées.

III. ILLUSTRATION DU RÔLE DE LA BIOMASSE POUR UNE MEILLEURE ÉQUITÉ ÉNERGÉTIQUE

Quelles technologies pour quels besoins ?

A. Dans l'immédiat et à court terme, fourniture d'énergie en milieu rural

Les situations varient en fonction du type de biomasse disponible, du niveau d'investissement acceptable, de la nature des besoins, du savoir-faire local et de la disponibilité en personnel qualifié.

Il est cependant possible de dresser une typologie générale des technologies disponibles et applicables par grand type de consommateurs.

Agro-industries et industries du bois

Leurs caractéristiques principales sont une grande disponibilité en déchets, mais saisonnière, ainsi qu'une disponibilité en main d'œuvre qualifiée et une capacité d'investissement importantes.

Les solutions le plus couramment mises en œuvre consistent à brûler les déchets dans des chaudières et à produire de la chaleur et de l'électricité, par le biais d'une turbine à vapeur. Les puissances installées peuvent varier de quelques centaines de kW (600 pour une huilerie de palme classique) à plusieurs dizaines de MW (de 5 à 50 MW pour de grosses sucreries). Ces installations sont dans leur grande majorité équipées de turbines à vapeur. Toutefois pour des installations comprises entre 300 kW et 1 MW, la solution du moteur à vapeur peut s'avérer plus attractive, du fait de coûts de fonctionnement plus faibles. Elle est à recommander dans de nombreuses configurations tropicales compte tenu de sa plus grande fiabilité et de sa robustesse.

Pour optimiser l'utilisation des déchets disponibles et la production d'électricité même hors saison de récolte, la co-combustion a été développée avec succès dans de nombreux contextes. Reposant pour la majorité des cas sur les mêmes technologies (chaudières turbines), les puissances installées sont plus importantes :

- Entre 50 et 100 MW en sucrerie avec des solutions mixtes charbon minéral/bagasse (plusieurs références dans le monde : en France, à Maurice, en Afrique du Sud…). Ces installations sont généralement couplées au réseau et sont largement excédentaires en électricité et contribuent plus à la réduction de la facture énergétique du pays qu'à l'électrification rurale. Elles n'en constituent pas moins une solution totalement adaptée.
- Entre 10 et 50 MW avec des solutions mixtes déchets d'industrie/plantations énergétiques : 15 MW en sucrerie, bagasse/eucalyptus au Nicaragua; 10 MW en scierie, déchets de bois/acacia mangium en Malaisie; 10 MW en rizerie, balles de riz/eucalyptus en Thaïlande; ….
- Entre 50 et 200 MW sur des mélanges de combustibles associant souvent des déchets industriels banaux (DIB) et autre sous-produits : 170 MW à partir de bagasse/balle de riz/écorces/ charbon minéral (20 % max) en Inde, 50 MW bagasse/ DIB en Australie, …

Pour des installations de grandes tailles il est également possible d'associer des solutions biomasse en gazéification à des centrales charbon classiques, les gaz sont injectés et brûlés dans la chaudière. Les technologies sont matures et totalement transférables.

PME et petites industries

Leurs caractéristiques principales sont : une certaine disponibilité en déchets sur site, mais pas toujours suffisante par rapport aux besoins énergétiques du fait notamment d'une conception très sommaire des process industriels, un caractère saisonnier, une disponibilité en main d'œuvre qualifiée peu évidente à mobiliser et une faible capacité d'investissement.

Leurs besoins énergétiques sont de deux ordres, électriques et thermiques. Lorsque le process génère des déchets, les besoins thermiques (vapeur, air chaud, …) sont généralement assurés par la combustion de ces déchets. C'est le cas de très nombreuses industries du bois pour le séchage, des rizeries en Malaisie ou aux Philippines, en Inde et de nombreuses décortiqueries. Dans la plupart des cas, les installations sont peu performantes, la biomasse disponible couvrant le plus souvent les besoins. La gazéification encore trop peu utilisée pour cette application est pourtant une solution

performante. Elle présente une grande souplesse d'utilisation et d'excellents rendements de conversion. Cette technologie s'est du reste développée dans de nombreux PED et en rizerie notamment (Malaisie où toutes les rizeries sont équipées, Inde, Thaïlande) et où l'on trouve plusieurs fournisseurs de matériel. La taille des installations varie de quelques dizaines de kWth à quelques MWth. Les installations ont généralement plusieurs unités fonctionnant couplées ou en parallèle.

Les besoins électriques sont le plus souvent assurés par des groupes diesel ou par le réseau (encore que cela soit éminemment variable en fonction du pays). Les solutions biomasse sont peu nombreuses, mais là encore, cela dépend des pays. Ainsi, la quasi totalité des rizeries thaïlandaises sont équipées de petits moteurs à vapeur qui fournissent la force motrice nécessaire au fonctionnement de l'ensemble de l'usine (de l'ordre de 100 à 200 kW). Quand elles sont équipées en cogénération, on retrouve les solutions classiques en cycle vapeur, pour quelques centaines de kW, en décortiquerie au Sénégal, l'essentiel des industries du bois en Malaisie, en rizerie en France et en Italie, … La gazéification devrait rapidement pouvoir faire partie des solutions adaptées compte tenu des progrès rapides que ces technologies sont en train de réaliser ces dernières années en Europe et en Inde notamment.

Mais il existe de très nombreuses autres petites industries qui ne sont pas génératrices de résidus et pour qui la fourniture d'électricité est un réel problème du fait de la faiblesse du secteur électrique national. Dans la mesure où des résidus sont disponibles à proximité, les pays concernés étant souvent très agricoles, l'utilisation de biomasse pourrait constituer dans bien des cas une solution alternative intéressante aux groupes diesel classiques.

Le secteur des PME/PMI représente le segment de marché le plus important, par le nombre d'unités et par la capacité totale installable et surtout par leur effet levier considérable sur le développement économique et social, surtout lorsque ces entreprises sont situées en zones rurales. Si le caractère capitalistique des solutions renouvelables peut constituer un frein à leur diffusion, le manque d'information de qualité et surtout de références dans les pays eux-mêmes constitue le frein majeur à la dissémination des solutions biomasses. Ainsi, même si l'on compte de nombreux échecs dans le programme indien de dissémination de petites unités de pompage via la gazéification (utilisation des moteurs en mode diesel seul), cette technologie trouve son marché. Pour le séchage, cette technologie est à ce jour complètement éprouvée et de nombreuses installations de production d'électricité se mettent en place avec un certain succès. C'est bien l'existence de réalisations dans le pays qui a permis ce développement. De même, en Thaïlande, les moteurs à vapeur se sont mis en place sans aide d'aucune sorte, simplement perçus comme partie intégrante de l'équipement de base d'une rizerie.

Les solutions techniques pour ce type d'application sont nombreuses et matures ; elles existent en Europe, mais aussi dans les pays du Sud, ce qui présente l'avantage d'une meilleure adéquation vis-à-vis des besoins, une appropriation plus facile (transfert Sud/Sud) et un coût plus accessible. Une collaboration Nord/Sud à ce niveau apparaît comme un facteur supplémentaire de réussite pour le développement des technologies biomasse en PED.

Secteur agricole et rural

Les faibles niveaux de consommation concernés, comme leur interdépendance vis-à-vis de la gestion des ressources et de la satisfaction des besoins de base, militent pour une approche systémique pour la satisfaction des besoins en milieu rural. L'électrification rurale doit ainsi s'envisager selon une approche développement agricole et être conçue de façon à être réplicable, notamment à des situations apparemment moins favorables où moyennant adaptations, des solutions

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 13 octobre 2004.

sont appropriables. L'adaptation au contexte socioculturel implique l'adoption de la forme juridique la plus pertinente sachant que cette solution satisfait un besoin collectif. L'association des collectivités territoriales est d'autant plus recommandable lorsqu' un processus de décentralisation s'est mis en place.

Les besoins énergétiques pour la production agricole se caractérisent par : une grande disponibilité en biomasse d'origine très variée avec éventuellement la plantation énergétique en complément de revenu agricole[2], une main d'œuvre qualifiée très difficile à mobiliser et une capacité d'investissement très limitée. Le gain potentiel de revenu est par contre substantiel, avec l'ouverture de possibilités de produits primeurs et de multiplication des récoltes annuelles, et la minimisation des pertes (conservation ou transformation de tomates, oignons, mangues, …).

Les solutions techniques utilisables dans ce cas sont du même type que précédemment bien que dans l'état actuel de la technologie la gazéification soit encore à proscrire car trop complexe notamment pour la génération d'électricité. Les petites installations compactes brésiliennes chaudière/turbines, bien que très simples ne paraissent pas davantage appropriées à cause du fonctionnement en vapeur saturante requerrant le contrôle de la qualité de la vapeur sous peine d'endommager la turbine du fait de la présence de gouttelettes dans la vapeur). Une bonne disponibilité en main d'œuvre les rend plus intéressantes cependant. Les moteurs à vapeur, technologie disponible et largement éprouvée, présentent la simplicité et la robustesse qui rendent possible leur mise en œuvre en milieu rural avec la souplesse nécessaire vis a vis du combustible et de la qualité de la vapeur.

Le tableau 8 résume l'ensemble des options possibles et les exemples de réalisations actuelles.

[2] Il faut environ 50 hectares de plantation d'eucalyptus pour approvisionner durablement une unité de 50 kW, besoins caractéristiques d'un village agricole moyennement développé de 2000 habitants

Services énergétiques	Type de technologie	Type de biomasse	Domaine d'application	Exemples d'application[3]	Articulation avec politiques sectorielles
Cogénération dans les industries agro-alimentaires	Chaudières turbines à vapeur	Déchets et sous produits agro industriels	1 MW -40 MW Autonomie énergétique des industries avec éventuellement 1- revente d'électricité sur le réseau 2- alimentation mini réseaux	Industries du bois Asie Sucreries Thaïlande, Cuba Industries du bois Cote d'ivoire, Huilerie	Politique de modernisation des agro industries Autonomie énergétique Privatisation de la génération électrique, développement rural
Cogénération dans les industries agro-alimentaires	Chaudières turbines à vapeur	Déchets et sous produits + Charbon ou Bois de plantations	20 MW - 100 MW Autonomie énergétique et revente sur le réseau	Sucreries la Réunion Sucrerie Nicaragua	Politique de modernisation des agro industries Autonomie énergétique Privatisation de la génération électrique
Cogénération dans les PMI	Chaudières moteurs à vapeur	Déchets des industries	0.6 MW - 1.5 MW autonomie énergétique et mini réseaux	Scieries RCA Rizeries à Madagascar et en Thaïlande	Autonomie énergétique Développement rural
Cogénération dans les PMI	Chaudières turbines à vapeur	Déchets des industries et autre sous produits	1 MW - 5 MW autonomie énergétique et mini réseaux	Rizeries Thaïlande, Inde Scieries Congo	Autonomie énergétique Développement rural
Production de chaleur dans les PMI	Chaudières gazéification	Déchets des industries et autre sous produits	0.5 MWth- 10 MWth Autonomie énergétique 0.5 MWth - 3 MWth Autonomie énergétique	Toutes industries monde Rizeries en Thaïlande, Inde	Politiques sectorielles de modernisation industrielle et environnementales,
Production électrique PMI	Gazéification/Moteurs	Bois	100 kW - 400 kW Autonomie énergétique	Rizeries, industries du bois Inde, France	Autonomie énergétique, électrification rurale
Electricité rurale	Chaudières moteurs à vapeur	Déchets des industries et autre sous produits	5 kW - 50 Kw - Besoins agricoles et électrification rurale	Non encore mise en oeuvre	Privatisation de la génération électrique, développement rural, décentralisation

[3] Liste non exhaustive

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 13 octobre 2004.

Tableau 8 : exemple de réalisations actuelles
Table 8 *: Current achievements, some examples*

B. A plus long terme, production d'énergie dans les transports ?

Le recours à la biomasse pour la production d'énergie dans les transports nécessitera une taille minimale d'installations pour des raisons économiques évidentes. A titre d'exemple, la production d'hydrogène à partir de gaz de synthèse élaboré en s'appuyant sur la gazéification de la biomasse représente une consommation annuelle minimum de l'ordre du million de tonne, compte tenu des rendements de conversion et des effets d'échelle. En fonction de la matière première envisagée, le tableau 4 met en évidence les surfaces qui seraient nécessaires pour approvisionner une telle unité dans les contextes français et brésilien. Ces surfaces sont considérables, une seule unité pourrait nécessiter la mise en culture de 10 à 100% des surfaces françaises mises en jachères en 2004 selon les cultures considérées.

On le conçoit, l'approvisionnement de bio-centrale ou de bio-raffinerie ne pourra que difficilement s'envisager à partir d'une seule matière première dans la majorité des cas. Seuls quelques pays dont certains tropicaux, comme le Brésil, devraient avoir les surfaces suffisantes pour envisager un approvisionnement monospécifique avec un rayon moyen d'approvisionnement acceptable économiquement et techniquement.
La proportion de biocombustibles standardisés et concentrés énergétiquement produit de façon décentralisée à partir d'un large éventail de matière première devient un enjeu majeur et devrait amener à reconsidérer certaines approches technologiques, éventuellement aussi agronomiques.

	Blé (paille)	**Triticale**	**Miscantus**	**TCR (7 ans) peuplier**	**Eucalyptus gunnii (9 ans)**	**Saule (3 ans)**	**Eucalyptus Brésil (5 ans)**
Production potentielle tMS/ha/an	5	6 à 11	15	10	6	12	25
Surfaces de cultures correspondantes (1000 ha)	200	100-200	70	700	1 500	250	200
Surface nécessaire en % de :							
- Surface totale arable (Fr) 18 400 000 ha	1,1	0,5 – 1,1	--	--	--	--	--
- Surface jachère (Fr) 1 489 000 ha	13,4	7 – 13	4,7	46,7	100	16,7	13.4
- Surface plantée en 2004 (Fr)	3,8	--	--	--	--	--	--

Tableau 9 : Surfaces nécessaires pour satisfaire les besoins en biomasse d'une unité de production d'hydrogène de 400 MWth dans les contextes français et brésilien (Ademe, 1998)
***Table 9** : Areas necessary ot satisfy biomass requirements for a hydrogen production unit of 400 MWth in French and Brazilian contents*

CONCLUSION

Dans de nombreux pays et particulièrement en zones rurales, même peu éloignées des centres d'approvisionnement en énergie fossile, les besoins énergétiques ne sont pas satisfaits. Au-delà des besoins de base, le problème se répercute sur les activités économiques pour lesquelles l'énergie est facteur de production.

Dans certaines conditions qui doivent être chaque fois précisées localement, l'agriculture et les forêts pourraient, dans un avenir proche, satisfaire une demande (très) importante en biomasse

énergie sans buter sur la compétition avec une demande croissante de matières premières alimentaire et non alimentaire.

Le contexte du Nord n'est pas favorable à la biomasse-énergie : rigidités technologiques, valorisation alimentaire de la biomasse. Pourtant, face aux perspectives d'épuisement des ressources fossiles et des problèmes d'environnement, les techniques de valorisation énergétique de la biomasse y sont développées et peuvent après adaptation intéresser le Sud. La prise en compte de questions globales d'environnement fournit une opportunité supplémentaire de combiner intérêts du Sud et intérêts du Nord au sein de projets de développement de la biomasse-énergie

Le marché de masse dont on sent les prémices depuis quelques années est le résultat du protocole de Kyoto qui oblige, pour l'essentiel des pays industrialisés (pays de l'annexe I), à contrôler leurs émissions de gaz à effet de serre. Ce contrôle des émissions, au premier rang desquels le dioxyde de carbone (CO_2), concerne tous les secteurs économiques à la fois dans le pays concerné mais aussi au-delà de ses frontières puisque le protocole de Kyoto offre la possibilité d'échanger des "permis d'émissions" ou de faire financer dans un pays du Sud des projets intéressants du point de vue de l'effet de serre par un pays de l'Annexe I (mécanisme de développement propre). L'avancée des négociations sur le climat confère aux ENR et notamment à la biomasse une dimension internationale.

Il a été calculé pour 1998 (5), que si on avait remplacé les biomasses traditionnelles et modernes utilisées pour produire de l'énergie par des combustibles fossiles, les émissions de CO_2, principal gaz à effet de serre, auraient augmenté, de 2,7% (substitution par du gaz) à 8,8% (par du charbon)[4]. Inversement, recourir à la biomasse énergie en substitution aux combustibles fossiles permettrait, à consommation d'énergie finale identique, de diminuer les émissions de CO_2 dans la mesure où la photosynthèse fixe le carbone atmosphérique pour de nouvelles productions en biomasse.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) AIE/IEA, 2002 – World Energy Outlook

(2) BRIDGWATER AV., 2003. – Opportunities for Bio-oil in European heat and power markets, *Altener project N° 4*,103/c/00.015.

(3) GIRARD P., BAL JL. et COURILLON M., 2002. – Le rôle particulier de la biomasse dans l'usage des ENR en PED pour lutter contre la pauvreté et améliorer l'environnement. *Revue de l'énergie* **N° 535**, pp161-170.

(4) GIROD J., 2000. – Le développement énergétique en Afrique subsaharienne : après l'ère des réformes.- Paris : Ministère des Affaires étrangères / DGCID, 190 p.

[4] Les émissions de gaz carbonique sont exprimées en tonne de carbone, 1t de carbone générant 3,66 tCO_2. Les émissions de gaz carbonique par tonne de matière sèche décomposée, s'élèvent à 1,83 tCO_2 sachant que la biomasse contient approximativement 50% en masse de carbone. Quand la biomasse est renouvelée les émissions nettes sont nulles. Les émissions brutes des combustibles fossiles renfermant la même quantité d'énergie primaire s'élèvent respectivement à 1,83, 1,28, et 0,95 tCO_2 pour le charbon, le pétrole et le gaz. Pour déterminer les réductions d'émissions de gaz à effet de serre lors de la substitution des combustibles fossiles par la biomasse il faut aussi tenir compte des rendements réels de conversion des différents combustibles, du type de combustible substitué et des énergies fossiles consommés dans le cycle de vie des filières.

(5) RIEDACKER A., 2004. – An integrated spatial and temporal approach for biomass, land use, land use change to evaluate long term benefits in combatting climate change - *2nd World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry*.
(6) SEVERINO J.M., 2004. – Fragile méditerranée – *Le Monde*
(7) SPITZER J. & HAMELINK C.N., 2004. – Outlook for advance biofuels – *Utrecht university* ISBN 90-393-3691-1.
(8) SPITZER J., – Energy from Biomass, Technology, Economy and Environment, sur www.ebd.lth.se/avd%20ebd/main/ Summerschool/Lectures/lect-m-**spitzer**.pdf
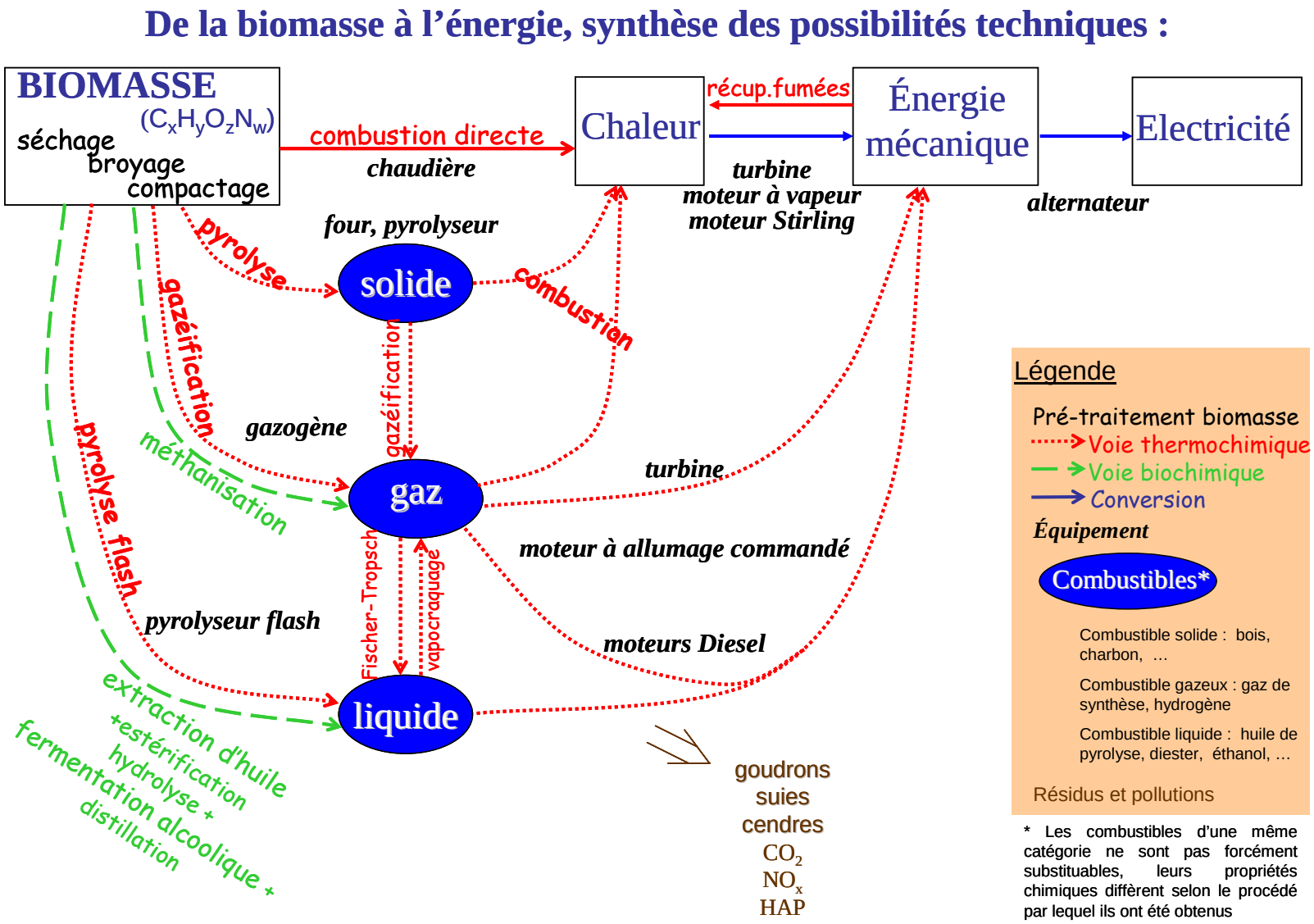
Figure 1 : *From biomass to energy*