Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

Un facteur important pour garantir la réussite des différentes filières biocarburants, appelées à une forte croissance, est la disponibilité des ressources en biomasse. Si les objectifs de substitution des produits pétroliers dans les transports, fixés en Europe et en France d'ici à 2010, sont réalisables par la conversion en biocarburants des surplus agricoles, il faudra, pour aller au-delà, mobiliser une ressource plus abondante et potentiellement moins chère : la matière lignocellulosique (c'est-à-dire le bois ou la paille). L'avenir des biocarburants repose ainsi sur la mise en place très attendue des filières biocarburants dites de 2e génération, capables de convertir la lignocellulose en éthanol, en biogazole et biokérosène.

Quatrième source d'énergie primaire consommée dans le monde après le pétrole, le charbon et le gaz, la biomasse représente aujourd'hui la première forme d'énergie renouvelable. Les gisements disponibles sont plus importants encore et une part non négligeable de ce potentiel pourrait être convertie en énergie et tout particulièrement en carburants.

Rappel des différentes ressources en biomasse pour la production de biocarburants

L'essentiel des matières premières valorisables en biocarburants est aujourd'hui issu de produits ou résidus agricoles et forestiers.

Les matières végétales dédiées aux filières biocarburants actuellement commercialisées, dites de 1re génération (c'est-à-dire le biodiesel ou Esters méthyliques d'huiles végétales, et l'éthanol, qui se substituent respectivement aux gazole et à l'essence), se distinguent des matières végétales utilisées pour des filières dites de 2e génération qui sont en cours de développement.

Les premières regroupent l'ensemble des produits dont il est possible d'extraire de l'huile végétale pour la production de biodiesel, à savoir le colza, le tournesol, le soja, le palmier à huile, etc., ainsi que les produits dont il est possible de fermenter les sucres pour la production d'éthanol, à savoir la betterave sucrière, la canne à sucre, les céréales riches en amidon (blé, maïs).

Les secondes, désignées sous le terme matières lignocellulosiques (bois, paille), correspondent à l'ensemble des produits composés de cellulose, hémicellulose et lignine transformables en substitut au gazole et au kérosène (filière Biomass-to-Liquid) ou à l'essence (éthanol).

Tableau 1
Les différentes ressources et produits de conversion

Types de biomasse	Produits valorisés	Produits finis
Produits agricoles	colza, tournesol, soja, palme, jatropha	biodiesel
	betterave, canne à sucre, blé, maïs	éthanol
Lignocellulose	pailles ou céréales, plante entière, bois, rémanents, rebuts	éthanol et BTL*

*BTL : Biomass-to-Liquid

Source IFP

En France, comme en Europe, le biodiesel actuel est essentiellement produit à partir d'huile de colza. L'huile de soja est surtout utilisée sur le continent américain alors que l'Asie valorise surtout l'huile de palme.

En Europe, l'éthanol est produit à partir de betterave et de blé. Aux États-unis, c'est essentiellement le maïs qui est utilisé. La canne à sucre est, quant à elle, mobilisée pour la production d'éthanol sous les climats tropicaux favorables comme au Brésil ou en Inde.

Lorsque les procédés de conversion de la lignocellulose seront techniquement au point et économiquement compétitifs (au cours de la prochaine décennie), les pailles et les produits issus du bois non valorisés aujourd'hui pourront servir à une production complémentaire de biocarburants.

Enfin, de nouvelles cultures dites à croissance rapide, comme le Miscanthus ou les taillis à courte rotation, pourront également être mises en place et devenir une ressource supplémentaire de matières premières lignocellulosiques disponibles.

Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

L'éventail des matières premières végétales valorisables en biocarburants est donc large et le potentiel de production important.

La valorisation de telles cultures en carburants devra cependant répondre à une condition majeure qui est la disponibilité en terres cultivables face à la concurrence du marché de l'alimentaire et des autres utilisations, énergétiques ou non, de la biomasse.

Le potentiel de biomasse énergétique dans le monde

Aujourd'hui dans le monde, on estime que 5 %[1] de la production totale de biomasse pourraient être mobilisables pour la production d'énergie soit un total de 13,5 milliards (Mds) de tonnes de matières premières disponibles. Ceci représente en équivalent énergétique près de 6 Mds de tonnes équivalent pétrole d'énergie primaire, soit 26 % de la consommation mondiale d'énergie. Seul 1/3 de ce potentiel est actuellement exploité, dont la majeure partie sous la forme de bois énergie (80 %) et une part minime pour le transport (1 % en 2005).

Tableau 2
Quantités de biomasse énergétique dans le Monde

	Quantités de biomasse
Produits forestiers	2,36 Gt
Produits agricoles non alimentaires	5,33 Gt
Résidus de culture	3,5 Gt
Résidus d'industrie du bois	2,1 Gt
Autres résidus (graisses animales, etc.)	0,19 Gt
Total	**13,5 Gt**

Source IFP d'après World Energy Council

Grâce à la mise en culture des terres à potentialités agricoles, l'exploitation des résidus ainsi que l'augmentation attendue des rendements dans les pays en voie de développement, ce potentiel pourrait croître pour atteindre environ 18 Mds de tonnes de biomasse en 2050[2].

L'ensemble de cette biomasse ne pourra être convertie en biocarburant. En extrapolant en 2050 le taux de substitution de 30 % de biocarburants envisagé en Europe[3], à l'échelle mondiale, on aboutirait à la production d'environ un Mds de tep de biocarburants, soit 23 % du potentiel de biomasse énergétique à cet horizon. Cette estimation paraît ambitieuse en termes de développement mais reste cohérente avec les gisements de biomasse mobilisables. Dans ces dernières estimations, l'AIE[4] n'envisage quant à elle qu'un taux de substitution de 3 et 6 % ("reference scenario" et "alternative policy scenario") de carburants pétroliers par des carburants d'origine végétale à l'horizon 2030 : la mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants demeure ainsi un défi.

Les ressources pour la production de biocarburants en Europe et en France

Les surfaces et productions actuelles

- *En Europe*

En Europe (EU 25), les terres arables s'étendent sur 115 millions d'ha dont 8,3 millions d'ha de jachères. Le reste des terres agricoles exploitées correspond aux prairies permanentes et cultures pérennes ; des surfaces entièrement consacrées à l'alimentation animale et humaine.

Les terres boisées représentent 148 millions d'ha dont 103 millions d'ha commercialement exploitables.

Ainsi, c'est sur un total de 218 millions d'ha (115 + 103 Mha) que les matières premières agricoles et forestières sont actuellement produites. L'ensemble de ces surfaces ne sera bien entendu pas valorisable en énergie en intégralité.

En 2005, sur les 115 millions d'ha de terres arables, 61 millions d'ha ont été cultivés en céréales, oléagineux et betteraves sucrières, cultures valorisables en biocarburants de 1re génération. Cette même année, seuls 4 % de ces surfaces ont été utilisés à cette fin.

Tableau 3
Les produits agricoles européens dédiés à la production de biocarburants en 2005

Type de biomasse ($x10^6$ ha)	Superficie cultivée	Productions ($x10^6$ t)	Part dédiée aux biocarburants
Céréales	52	260,5	0,2 %
Oléagineux	7,2	19,9	37 %
Betteraves	2,2	126,3	4,3 %
Total	**61,4**	**406,7**	**4 %**

Source FAOSTAT/FAPRI 2005

Ce sont donc 2,6 Mha qui ont été exploités en 2005 pour la production de biocarburants, en mobilisant 15 % de la surface totale de jachères cultivables.

À noter qu'en plus de ces productions, environ 100 000 t d'huile de palme et 50 000 t d'huile de soja ont été importées en 2005 pour la production de biodiesel (EMHV) ainsi que 160 000 t de colza australien et 1 000 t de colza canadien.

(1) Source: World Energy Council
(2) José Goldenberg: World Energy Assessment
(3) IFP, d'après EEA, Biofrac
(4) World Energy Outlook 2006, the outlook for biofuels

Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

• *En France*

Les terres arables s'étendent en France sur 18,4 millions d'ha dont 1,6 million d'ha de jachères. Quant aux surfaces boisées, elles représentent un total de 15 millions d'ha (soit 27 % du territoire), dont 14 millions d'ha de forêts de production. Ainsi, la surface totale de production agricole et forestière, à potentialités énergétiques, s'étend sur 33,4 millions d'ha (18,4 + 15 Mha).

Tableau 4

Les produits agricoles français dédiés en 2005

Type de biomasse ($x10^6$ ha)	Superficie cultivée	Productions ($x10^6$ t)	Part dédiée aux biocarburants
Céréales	8,87	62,3	0,2 %
Oléagineux	1,99	5,9	22 %
Betteraves	0,37	29,3	1,4 %
Total	**11,23**	**97,5**	**2 %**

Source FAOSTAT/ONIC 2005

En 2005, ce sont 2 % des cultures valorisables (céréales, oléagineux, betteraves) qui ont été récoltés à destination des biocarburants.

Ces cultures ont mobilisé 410 000 ha de terres dont 275 000 ha de jachères (soit 17 % de la surface totale de jachères) et 135 000 ha de cultures dites énergétiques (c'est-à-dire bénéficiant de la nouvelle aide aux cultures énergétiques hors jachères mise en place lors de la dernière réforme de la PAC de 2003 et entrée en vigueur en France en 2004).

Les besoins en biomasse pour la réalisation des objectifs 2010

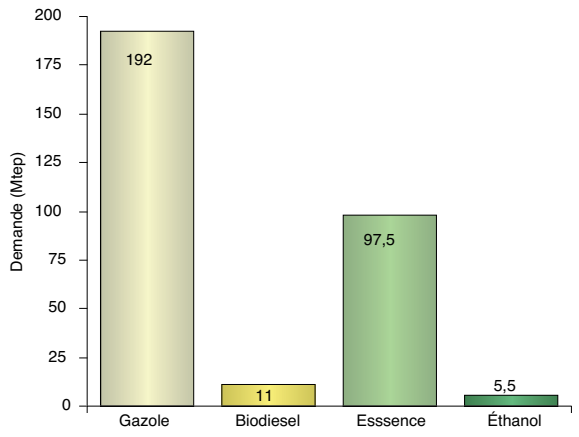
• *En Europe*

La directive européenne 2003/30/EC a fixé l'évolution du taux de substitution des produits pétroliers dans le transport routier par des biocarburants à 2 % en 2005 et 5,75 % en 2010 (pourcentage en énergie). À ce jour, ces objectifs sont indicatifs et n'ont pas de caractère obligatoire. De plus, aucune indication sur la répartition de l'effort de production à fournir entre les filières de substitution à l'essence ou au gazole n'est donnée. Autrement dit, une production plus importante de biocarburants sur une des deux filières peut tout à fait venir compenser une sous-production de l'autre filière.

Ainsi en 2005, c'est environ 4,6 millions d'ha qui auraient dû être mobilisés pour une production de 5,76 Mtep de biocarburants. La production a dans les faits été moins importante, l'Europe affichant un premier retard de 2,4 Mtep sur ces objectifs.

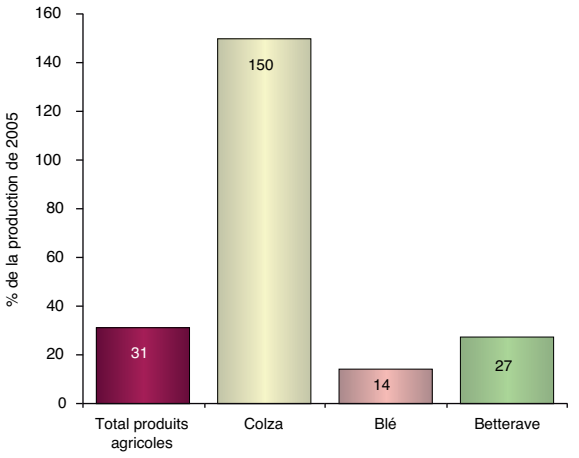
En 2010, si l'on considère que les 5,75 % de substitution représentent les quantités de diesel et d'essence à substituer, en équivalent énergétique, par respectivement du biodiesel et de l'éthanol, ce sont près de 14 millions d'ha qui seront nécessaires.

Fig. 1 Demande en carburants prévue pour 2010 (en Mtep)



Source IFP

Fig. 2 Part de la production agricole actuelle à mobiliser pour atteindre l'objectif 2010



Source IFP d'après FAO

On peut noter d'après la figure 2 l'importance de la surface de colza nécessaire. Elle apparaît en fait, à elle seule, supérieure à la surface totale de jachères en Europe (10 Mha contre 8,2 Mha). L'INRA estime par ailleurs qu'en France 70 % des surfaces de jachères sont cultivables. Si l'on applique ce pourcentage à l'Europe, seuls 5,7 Mha seraient alors disponibles.

Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

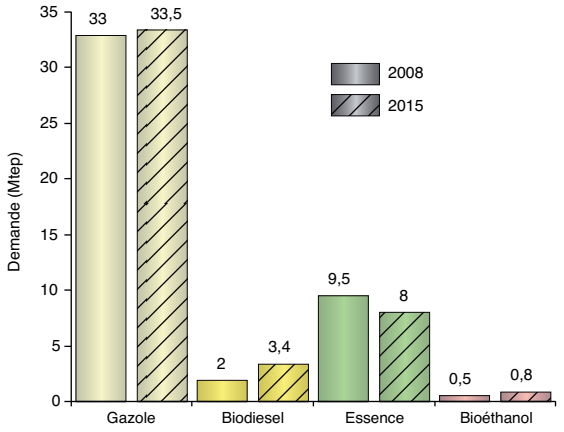
Il apparaît donc clairement que d'autres types de surfaces agricoles ou de ressources devront être mobilisés pour la réalisation de l'objectif 2010. La Commission européenne a d'ailleurs anticipé ce besoin supplémentaire en terres pour la production de biocarburants en créant une incitation à la culture énergétique hors jachères fixée à 45 €/ha. Cette incitation plafonnée à 1,5 Mha devrait passer rapidement à 2 Mha.

• *En France*

C'est pour 2008 que le gouvernement français s'est fixé pour objectif d'intégrer 5,75 % de biocarburants sur le marché des carburants routiers, puis 7 % en 2010, suivi de 10 % en 2015.

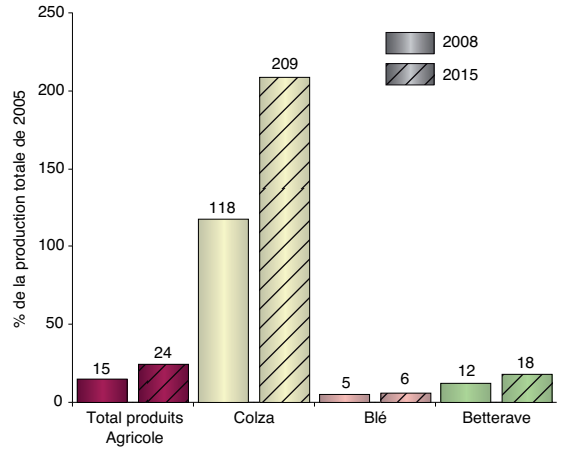
Les demandes en carburants et biocarburants correspondant à ces objectifs ambitieux d'incorporations sont données dans les figures 3 et 4, en considérant une répartition égale de ces pourcentages pour les filières essence et gazole.

Fig. 3 Demande en carburants pour 2008 et 2015 (en Mtep)



Source IFP

Fig. 4 Part de la production agricole actuelle à mobiliser pour atteindre les objectifs 2008 et 2015



Source IFP

De même que pour le cas européen, les 1,05 Mha de jachères cultivables (70 % de la surface totale selon l'INRA) apparaissent insuffisants dès 2008. Des terres hors jachères sont d'ores et déjà mobilisées par les agriculteurs français qui convertissent certaines parcelles hors jachères en cultures énergétiques, bénéficiant des incitations européennes issues de la réforme 2003 de la PAC.

Les autres types de ressources en biomasse

Pour contribuer à l'apport de biomasse nécessaire, de nombreuses solutions sont envisageables, trois d'entre elles sont présentées ici :

• *Le surplus agricole*

Il représente la part de produits qui ne contribue pas à l'autosuffisance alimentaire européenne. Il s'agit des produits agricoles à usage non alimentaire ainsi que des produits dédiés à l'export hors UE.

En Europe, ce surplus représente 3,5 Mha de terres à vocation non alimentaire hors jachères (lin textile, cosmétique, arômes, etc.) et 4,7 Mha de terres destinées à l'export hors UE. Ainsi, ajouté aux surfaces de jachères existantes, un total de 14 Mha serait théoriquement mobilisable. En organisant l'assolement de ces terres de manière à répondre à la demande prépondérante en gazole et donc en oléagineux, on aboutirait à un maximum de production de 16 Mtep (12,2 Mt) de biocarburants de 1re génération, dont 7 Mtep de biodiesel et 9 Mtep d'éthanol.

En France, ce surplus permettrait de produire sur 3,4 Mha jusqu'à 6 Mtep de biocarburants (d'éthanol et d'EMHV produits en proportion de la demande de substitution en gazole et essence).

Ce potentiel ne sera cependant pas entièrement exploitable, du fait de l'importance des exports européens sur le marché international des produits agricoles. Un manque de céréales sur le marché mondial est dans les années à venir à prévoir en lien avec le développement des biocarburants aux États-Unis qui devraient utiliser une part importante de la production de maïs (20 % de la production américaine de maïs sont déjà "brûlés" en éthanol).

• *L'import d'huile végétale*

En 2005, l'Europe a importé 150 000 t d'huile de palme et de soja pour la production de biodiesel. En effet, le différentiel de prix entre l'huile de colza et les huiles de soja et de palme rend leur utilisation particulièrement attrayante. Cependant, ces deux dernières, ayant des spécificités différentes de l'huile de colza, ne peuvent être incorporées à plus de 10 % (estimation) des volumes d'huile estérifiés pour des raisons techniques liées au respect des normes européennes sur l'EMHV.

Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

En Europe, sans modifier la sole dédiée à l'alimentation intra-européenne, compte tenu du manque de surfaces agricoles potentiellement mobilisables pour la culture du colza, c'est un minimum de 4 Mt d'huile qu'il sera nécessaire d'importer pour atteindre la quantité d'huile nécessaire à la production de biodiesel pour l'objectif de 2010.

En France, les ressources en colza semblent juste suffisantes pour les besoins de 2008. Dès 2010, le colza devra s'étendre sur des surfaces de colza alimentaire et/ou des surfaces dédiées à l'export pour limiter les imports d'huiles végétales à destination du biodiesel[5]. À l'horizon 2015, si l'on souhaite atteindre pour le biodiesel l'objectif de substitution global fixé par le gouvernement, il pourrait devoir importer 44 % des besoins en huile, soit 1,7 Mt.

- *La biomasse lignocellulosique*

Les procédés de conversion de la lignocellulose en bioéthanol ou biogazole (BTL) sont supposés être industrialisables au-delà de 2010. En Europe comme en France, d'importantes quantités de pailles et de bois non valorisées pourraient alors être mobilisées, en apportant près du double du tonnage de la biomasse agricole de 1re génération.

En Europe, 41,3 Mt de pailles de céréales et d'oléagineux ainsi que 164 Mt de bois permettraient la production de 33 Mtep de biocarburants supplémentaires par an.

En France, c'est 7,5 Mtep de bioéthanol et de biogazole issus de la filière BTL qui pourraient être produits grâce aux 13 Mt de pailles et 34 Mt de bois non valorisés aujourd'hui.

En effet, en tenant compte de l'utilisation des pailles de céréales et d'oléagineux pour l'amendement et des pailles de céréales pour l'élevage, 30 % des pailles de céréales et 83 % de pailles d'oléagineux seraient disponibles pour la production d'énergie.

Concernant le bois, la ressource mobilisable comprend les rémanents, éclaircies et les fins brins non commercialisés (environ 31 Mt) ainsi que les bois de rebuts (cageots, palettes, voire certains bois traités selon le cas, environ 3 Mt).

Les cultures dites à croissance rapide (Miscanthus, taillis à croissance rapide, etc.), présentent également un potentiel intéressant du point de vue de leur productivité et de leurs faibles exigences en fertilisants et produits phytosanitaires. Elles requièrent cependant des surfaces de culture supplémentaires dont la mobilisation reste pour le moment difficile à estimer.

Les taux de substitution de carburants réalisables à terme

À partir de ces différentes ressources en biomasse, il est alors possible d'estimer les volumes de biocarburants de 1re et 2e générations qui pourraient à terme être produits. Il faut néanmoins préciser qu'à l'image du surplus agricole, la biomasse lignocellulosique constitue seulement un potentiel *en partie* valorisable. La concurrence avec les filières existantes (bois d'œuvre, pâte à papier, etc.), avec les autres types de valorisations énergétiques (chaleur et électricité) ainsi que les contraintes d'ordre logistique (dispersion des sources de pailles et de bois sur le territoire) devraient réduire ce potentiel théorique.

Tableau 5
Récapitulatif des ressources mobilisables

	Europe	France
Potentiel de surfaces agricoles	5,74 Mha jachères 8,2 Mha de surplus **14 Mha**	1,05 Mha jachères 2,3 Mha de surplus **3,35 Mha**
Quantités de biomasse	50 Mt sur jachères 132 Mt sur surplus 214,5 Mt ligno-cellulosiques **396 Mt/an**	11,2 Mt sur jachères 46 Mt sur surplus 47 Mt ligno-cellulosiques **104 Mt/an**
Quantités max. biocarburants	**49 Mtep/an**	**13 Mtep/an**
Quantités avec contraintes logistiques	**32 Mtep/an**	**9 Mtep/an**

En Europe, 3,4 Mtep (dont 2,86 Mtep de biodiesel et 0,47 Mtep de bioéthanol) ont été produits en 2005. D'ici 2010, le maximum de 16 Mtep de biocarburants de 1re génération annoncé précédemment permettrait de substituer 5,7 % des carburants pétroliers, soit l'objectif attendu pour 2010. Cependant une telle production reste difficile à réaliser. En effet, cela impliquerait de mobiliser la totalité des exports extra-européens de colza et de blé. En outre, du fait des contraintes de rotations des parcelles de cultures, ce surplus agricole est majoritairement constitué de produits valorisables en éthanol. Ainsi, un peu plus de 10 Mt de colza (ou 4 Mtep de biodiesel) viendront à manquer pour assurer les 11 Mtep de biodiesel attendus.

Une répartition homogène des 5,75 % dans chacune des deux filière (pourcentage de substitution identique pour le gazole et l'essence) sera donc difficile à partir des filières de 1re génération uniquement avec les surfaces agricoles européennes. Pour atteindre un taux de substitution global de 5,75 %, l'Europe peut avoir recours aux importations (huile ou biodiesel) ou privilégier un pourcentage plus élevé pour la filière éthanol. **Dans cette dernière option, la production d'un maximum de**

(5) Agreste Primeur n°185, novembre 2006 "Quelles surfaces pour les carburants verts ?"

Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

biodiesel reste néanmoins incontournable : ce produit répond en effet à une réelle demande (rappelons que l'Europe est aujourd'hui importatrice nette de gazole et non d'essence). Cette limite atteinte (3 à 4 % de substitution de gazole), l'objectif européen de 5,75 % se traduirait par une incorporation d'éthanol au "pool" essence de 10 %. À noter que ce taux nécessiterait l'acceptation de l'E10 par tous les véhicules essence et /ou le développement du FFV.

Une fois les procédés de 2e génération développés, ce sont de 29 à 46 Mtep de biocarburants, se substituant aussi bien cette fois au gazole qu'à l'essence, qui pourront être produits, faisant potentiellement passer le taux de substitution des carburants routiers de 5 à 15 % autour de 2015.

En France, 0,4 Mtep (dont 0,34 Mtep de biodiesel et 0,06 Mtep de bioéthanol) a été produit en 2005. Dans le cas peu probable de la mobilisation de l'ensemble des exports hors UE, un maximum de 5,3 % du gazole et 45 % de l'essence pourrait être substitué, avec les seuls produits de 1re génération. Mais cela implique, il faut le rappeler, la suppression des exports de blé et de sucre et une substitution massive sur un carburant comme l'essence dont la consommation n'est que de 10 Mt et en déclin.

À la différence de l'Europe, la France s'est fixée comme objectif d'appliquer le même taux de substitution pour les deux filières essence et gazole (TGAP[6]). Ainsi, même si l'objectif de 2008 est largement atteint (avec un taux de substitution globale de 11 %), le potentiel de production d'éthanol reste bien supérieur à celui du biodiesel dont le développement à partir de colza deviendra difficile au-delà de l'objectif 2008.

Par la suite, la production de biocarburants pourra atteindre entre 8 et 12 Mtep grâce à la lignocellulose. Le taux de substitution des carburants pourrait ainsi passer de 11 à 30 % à terme.

L'évaluation du potentiel de biomasse mobilisable pour la production de carburant d'origine végétale montre que si les biocarburants ne remplaceront probablement jamais l'ensemble des produits pétroliers utilisés dans les transports, ils se révèlent être une alternative qui ne peut être négligée. En effet, jusqu'à près de 30 % des consommations de carburants routiers pourraient être substitués. Néanmoins, la réalisation de ces scénarios optimistes ne pourra se faire sans un soutien public à ces filières aujourd'hui plus chères que les produits pétroliers. En particulier, des travaux de recherche et développement sont encore aujourd'hui indispensables pour optimiser les filières de 1re génération ainsi que pour faire émerger les filières de 2e génération, incontournables pour l'avenir des biocarburants, et sur lesquelles l'IFP est fortement impliqué.

Daphné Lorne
daphne.lorne@ifp.fr

Manuscrit remis le 8 novembre 2006

(6) TGAP : Taxe générale sur les activités polluantes

IFP
1 et 4, avenue de Bois-Préau - 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France
Tél. : +33 1 47 52 60 00 - Fax : +33 1 47 52 70 00
IFP-Lyon
BP 3 - 69390 Vernaison - France
Tél. : +33 4 78 02 20 20 - Fax : +33 4 78 02 20 13
www.ifp.fr