

Intérêts et limites des biocarburants de première génération

Benoît Gabrielle

Unité Mixte de Recherche 1091 INRA AgroParisTech Environnement et grandes cultures,
78850 Thiverval-Grignon, France

Auteur correspondant : Benoît Gabrielle, Benoit.Gabrielle@agroparistech.fr

Reçu le 18 septembre 2008, accepté le 19 septembre 2008

Résumé – Inscrits à la marge dans le paysage agricole européen depuis une quinzaine d’années, les biocarburants sont récemment venus sur le devant de la scène sous l’effet de trois leviers : la raréfaction des ressources pétrolières et des impératifs politiques d’indépendance énergétique, les négociations internationales sur le climat, et enfin – en Europe – la refonte de la politique agricole et la nécessité de diversifier les débouchés de ce secteur. Cette volonté a débouché sur des engagements très marqués en Europe comme aux États-Unis, avec des objectifs impliquant un quasi-décuplement de la production d’ici une dizaine d’années.

Cet article introductif présente les technologies actuelles de production des biocarburants (dites de première génération), qui ont comme point commun d’utiliser les organes de réserve de plantes agricoles comme matière première. Ceci leur confère des besoins en surfaces agricoles importants et des avantages énergétiques et environnementaux intéressants mais limités par rapport aux carburants fossiles. Les filières de ‘deuxième génération’, qui utilisent une matière végétale générique (la ligno-cellulose), pourraient apporter des améliorations significatives par rapport à l’ensemble de ces points, mais ne seront pas commercialisées avant une dizaine d’années.

Mots clés : Biocarburants / bilans énergétiques / gaz à effet de serre / impacts environnementaux

Abstract – Significance and limitations of first generation biofuels.

Formerly on the margins of the European agricultural landscape, liquid biofuels for transport have recently come into sharp focus with the help of three drivers: the depletion of oil resources and the political motto of energy independence, international negotiations on climate, and finally – in Europe at least – the overhaul of the common agricultural policy underpinning the need to diversify this sector. This political purpose has led to aggressive development targets in both Europe and the United States, implying a nearly ten-fold increase of biofuel production within ten years.

This article introduces the current biofuel production technologies (so-called ‘first generation’), whose common marker is the reliance on the storage organs of agricultural plants. This implies a relatively strong demand in arable areas, along with only moderately positive energy and environmental advantages compared to fossil fuels. ‘Second generation’ biofuels, which are based on generic biomass (ligno-cellulose) are expected to overcome these limitations, but will not be deployed on the market for another ten years.

Key words: Liquid biofuels / energy balance / greenhouse gas / environmental impacts.

Introduction

Les biocarburants pour le transport sont obtenus à partir de la biomasse, que l’on peut définir

comme de la matière organique issue d’un processus de photosynthèse récent, par opposition aux hydrocarbures fossiles qui résultent de transformations anciennes de plusieurs millions d’années. Ils

composent une très large famille, tant la palette de matière première (biomasse), processus de conversion en carburants et forme d'utilisation finale dans les véhicules, est potentiellement variée. La majorité de ces filières biocarburants sont cependant encore à l'état de recherche ou de développement, et seuls les carburants de la 'première génération' sont actuellement commercialisés. Ces filières ont comme point commun de nécessiter une matière première spécifique (sucres, amidon ou huile), qui n'est obtenue qu'à partir de plantes spécifiques et majoritairement agricoles (plantes sucrières, amylacées ou oléagineuses). Les biocarburants de deuxième voire troisième génération permettront d'utiliser une matière végétale beaucoup plus générique, la lignocellulose (éléments de parois des cellules végétales).

À part quelques utilisations épisodiques dès le début du XX^{ème} siècle, les biocarburants se sont réellement développés à partir des années 1970 au Brésil et aux États-Unis, puis en Europe après la réforme de la politique agricole commune (PAC) de 1992, qui instaurait un gel des terres mais y autorisait un débouché énergétique. Dans les années récentes, la volonté politique de développer la filière s'est accentuée sous l'effet de trois leviers : la raréfaction des ressources pétrolières (notamment le mini-choc pétrolier de 2005) et des impératifs d'indépendance énergétique, les négociations internationales sur le climat et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES), et enfin – en Europe – la refonte de la politique agricole et la nécessité de diversifier les débouchés des secteurs agricoles et forestiers. Cette volonté a débouché sur des engagements très marqués en Europe comme aux États-Unis, avec des objectifs de 10 % d'incorporation d'ici 2020 (UE) ou de 20 % (USA). L'effort à fournir est colossal, puisque l'UE n'a produit que 1,4 % de sa consommation en carburants en 2006 à partir de la biomasse, ce qui était déjà un doublement par rapport à 2003. La tension récente sur les marchés alimentaires souligne les limites des filières actuelles, dont les besoins en surface agricoles sont importants et les bénéfices environnementaux contestés.

Cet article introductif aborde ces différents volets, et positionne le rôle des technologies futures dans le développement des biocarburants.

1 Les filières actuelles – et futures

Il existe aujourd'hui deux grandes filières (dites de 'première génération') dont les produits finaux sont l'éthanol (et son dérivé l'éthyl-tertio-butyl-éther, ETBE), et l'huile végétale (et son dérivé, l'ester méthylique d'huile végétale, EMHV). Ils sont fabriqués à partir de sucres simples, amidon ou huile

végétale présents dans des organes de réserve des plantes : grains de blé ou de maïs, graines de colza ou de tournesol, jus de plantes sucrières (canne à sucre, betteraves). L'éthanol est obtenu par fermentation alcoolique de sucres à 6 atomes de carbone (ou C6) qui sont directement produits par les plantes sucrières, ou obtenus par hydrolyse de l'amidon produit par les céréales. L'ETBE est ensuite obtenu par coupe avec l'isobutène, un dérivé du pétrole. L'huile est extraite des graines de plantes oléagineuses (colza, tournesol, soja, etc.), puis transformée en EMHV par estérification avec du méthanol (d'origine fossile). Le bio-éthanol et l'ETBE peuvent être incorporés dans l'essence, tandis que les huiles et EMHV s'apparentent au diesel – c'est pourquoi on parle aussi de bio-diesel pour ces derniers. Les moteurs actuels supportent sans problème des taux d'incorporation d'ETBE et l'EMHV de 10 %. Au-delà, quelques adaptations sont nécessaires. La technologie '*flexible fuel*', très développée au Brésil, permet d'utiliser indifféremment de l'éthanol ou de l'essence et donc des mélanges très concentrés en éthanol, comme l'E85 (mélange éthanol/essence contenant 85 % d'éthanol), qui commence à être distribué en France.

Les filières de deuxième génération, qui font l'objet d'efforts de recherche et développement très poussés, visent à produire de l'éthanol ou des hydrocarbures de synthèse à partir de la lignocellulose, c'est-à-dire une matière organique très générique. Elles permettent donc une valorisation de l'ensemble de la plante, et non plus seulement de ses organes de réserve, et élargissent le spectre des plantes ou matières premières candidates : cultures lignocellulosiques optimisées pour une telle valorisation énergétique (comme le miscanthus ou le sorgho), espèces ligneuses à croissance rapide (peuplier, eucalyptus), bois, mais aussi déchets agricoles, sylvicoles, ou encore urbains. Deux grands procédés sont envisagés : la thermochimie (craquage des biomolécules sous l'effet de la chaleur, puis éventuellement synthèse d'hydrocarbure par catalyse) et la voie enzymatique qui consiste à hydrolyser la cellulose et à fermenter les sucres simples résultants en éthanol. Un certain nombre de pilotes sont actuellement en projet ou en construction en Amérique et en Europe, avec un objectif de réalisation industrielle en 2015.

Les filières de troisième génération concernent la production d'hydrogène pour des piles à combustible embarquées ou des moteurs à combustion interne. Leur développement est beaucoup moins avancé que celui de la deuxième génération. Enfin, la mobilisation d'une biomasse de microalgues, qui présente sur le papier un grand nombre d'avantages reste une promesse de laboratoire et il faudra encore une décennie pour que les recherches permettent d'infléchir les coûts de production.

Tableau 1. Rendements en matière sèche et énergie des cultures utilisées pour les biocarburants première génération en France. Les rendements de la canne à sucre (éthanol 1re génération) et du miscanthus (procédés 2ème génération) sont donnés pour comparaison.

Culture	Rendement en biomasse convertible (t Matière Sèche/ha)	Production de biocarburant (tep/ha)
Colza	2,9	1,2
Blé	7,6	1,8
Betteraves	13	3,8
Maïs	9,1	2,1
Canne à sucre (Brésil) ¹	23	3,2
Miscanthus	12 / 25 ²	4 / 6,2 ²

1 : source : de Oliveira et al., 2005

2 : les chiffres correspondent respectivement à une récolte en hiver (pour une valorisation thermochimique) et en automne (valorisation par voie enzymatique). S. Cadoux, INRA Mons, comm. pers.

Disponibilité de la ressource

Les filières de la première génération font appel à des plantes spécifiques, dont elles ne valorisent qu'une partie de la matière produite (typiquement entre 30 et 50 %). Par conséquent elles se caractérisent par une productivité à l'hectare qui est assez faible par rapport à ce que pourrait produire la deuxième génération, à l'exception notable de la betterave (tableau 1). A l'inverse, le faible rendement à l'hectare du colza, principale plante énergétique en France, implique des besoins drastiques en surface pour atteindre l'objectif 2010 de la directive Européenne (Commission Européenne, 2003). Ceux-ci sont estimés à environ 2 millions d'hectares (Mha ; Sourie et al., 2005), sur un total de 17 Mha de terre arable en France. Ceci place d'emblée les cultures énergétiques en compétition avec les surfaces alimentaires, et renchérit le coût de la matière première par rapport à la situation qui prévalait avec le gel des terres (Sourie et al., 2005).

Beaucoup d'études ont été réalisées pour chiffrer les 'potentiels' de ressources et surfaces agricoles et forestières mobilisables pour l'énergie au niveau mondial (Berndes et al., 2003). Leurs résultats divergent largement, pratiquement d'un facteur 10, en fonction des hypothèses de cours des produits, de cadres politiques ou de rendements choisis. En Europe, les études régionales plus détaillées s'accordent sur le fait que le développement des biocarburants de 1ère génération pourra difficilement aller au-delà des 5,75 % d'incorporation (Wiesenthal et al., 2006). Il pourrait de plus entraîner la mise sous culture d'écosystèmes naturels (forêts, savanes) ou de prairies permanentes – des conséquences difficile à prévoir et à prévenir, mais qui grèveraient fortement le bilan des biocarburants en termes d'émissions de GES (Searchinger et al., 2008).

Bilans énergétiques et environnementaux

Les bilans environnementaux et énergétiques des filières biocarburants sont dressés grâce à la méthode de l'analyse de cycle de vie (ACV), qui intègre les impacts générés par les biocarburants « du champ à la roue », c'est-à-dire sur l'ensemble d'une filière de production et de distribution. Ces impacts sont regroupés en grandes catégories liées à différents enjeux environnementaux : épuisement des ressources non-renouvelables (comme le pétrole), réchauffement climatique, toxicité pour les êtres humains et les écosystèmes, eutrophisation des écosystèmes, etc. Ces impacts peuvent avoir lieu à l'échelle de la planète, comme le réchauffement climatique, ou à un niveau plus local, comme pour l'eutrophisation. Deux impacts sont particulièrement cruciaux pour les biocarburants : les émissions de gaz à effet de serre (GES) et le bilan énergétique, qui traduit la quantité d'énergie fossile dépensée pour produire une quantité donnée d'énergie renouvelable.

Plusieurs bilans de ce type ont été réalisées aux niveaux national et européen, ayant pour objectif une comparaison avec les carburants fossiles équivalents aux biocarburants. En France, une étude commanditée par l'ADEME et le ministère de l'industrie (ADEME/DIREM, 2002), a porté sur la première génération, tandis qu'une étude au niveau européen (EUCAR/CONCAWE/JRC, 2006) s'est intéressée également aux biocarburants de deuxième génération, obtenus à partir de différentes ressources (résidus lignocellulosiques, bois, déchets de papeterie). Pour une même filière, les résultats de ces études varient fortement en fonction des hypothèses de calcul (périmètre du système évalué, méthode d'allocation) et de la représentativité des données utilisées, ce qui est source de controverses (Farrell et al., 2006). Toutefois, les études en cycle de vie concluent en général que les biocarburants actuels permettent de limiter l'utilisation

Tableau 2. Consommation d'énergie primaire fossile et émissions de GES des principales filières biocarburants en France, comparées à leurs équivalents d'origine fossile, pour un parcours de 100 km dans une voiture individuelle (Prieur *et al.*, 2008).

Filière	Consommation d'énergie fossile (MJ/100 km)		Emissions de C fossile (kg éq. CO ₂ / 100 km)	
	Filière biomasse	Filière fossile équivalente	Filière biomasse	Filière fossile équivalente
EMHV Colza	100	245 (gazole)	8,3	17,5 (gazole)
EMHV Tournesol	85	245 (gazole)	8,3	17,5 (gazole)
Éthanol Betteraves	163	310 (essence)	9,2	20,5 (essence)
Éthanol Blé	115	310 (essence)	9,3	20,5 (essence)

d'énergie d'origine fossile et les émissions de GES par rapport aux carburants d'origine pétrolière. Par exemple, l'éthanol produit à partir de blé ou de betteraves permet une réduction de 25 % à 50 % de la consommation d'énergie fossile et d'émission de GES par rapport à une filière essence conventionnelle. La substitution du gazole par du biodiesel de colza conduit à une réduction d'environ 60 % de la consommation d'énergie fossile et de 50 % des émissions de GES (tableau 2). Parmi les autres biocarburants produits actuellement, l'éthanol de canne à sucre permet les plus fortes économies d'énergie fossile (presque 100 %) et de GES émis (environ 85 %), car les besoins énergétiques de la conversion du sucre en alcool sont assurés par les résidus de canne. Notons que, de façon symétrique, l'utilisation de pailles de céréales dans une usine d'éthanol de grains de blé permet de réduire la consommation d'énergie fossile et les émissions de GES de 75 % et 65 %, respectivement, par rapport à l'essence. Les biocarburants de la deuxième génération permettront des économies similaires, voire supérieures, avoisinant les 90 % pour certaines filières, notamment basées sur des déchets comme la liqueur noire des papeteries.

L'autre dimension du bilan des biocarburants concerne les pollutions plus locales, typiquement liées à l'activité agricole (pertes de nitrates, contamination par des pesticides, biodiversité), qui ont lieu au niveau du territoire de production de la matière première végétale. L'approche 'analyse en cycle de vie' conclut en général à un effet négatif des biocarburants par rapport aux carburants fossiles qui ne génèrent pas ce type d'impacts (Reinhardt, 2000). Néanmoins cette méthode est peu adaptée à la prise en compte de ces impacts territoriaux, car elle raisonne sur un champ agricole 'moyen' en France ou en Europe, et gomme les caractéristiques locales. Une évaluation plus fine de l'impact des biocarburants nécessite de se situer explicitement dans le bassin d'approvisionnement d'une usine de biocarburants, et de prendre en compte l'évolution des systèmes de cultures qui découle de ce nouveau débouché économique. En

France, le remplacement actuel de céréales destinées à l'alimentation par du colza énergétique aura un impact relativement mineur, sauf si le cahier des charges du bio-diesel évoluait vers des modes de conduite du colza à bas niveaux d'intrants. En revanche, la substitution des mêmes céréales par des cultures lignocellulosiques (pour les biocarburants 2ème génération) devrait permettre de réduire de façon substantielle la pression agricole sur l'environnement local. On peut toutefois craindre que la compensation nécessaire au niveau de la production alimentaire, qui aura lieu ailleurs sur la planète, risque elle d'y aggraver l'environnement local (Searchinger *et al.*, 2008). D'où la nécessité de traiter la question des impacts locaux au niveau global!

Aspects économiques et politiques d'incitation

En Europe comme en Amérique, le développement des biocarburants a été le fruit d'une volonté politique, essentiellement agricole au départ. Plus récemment, les engagements issus des négociations climatiques internationales et les mesures favorisant l'essor des énergies renouvelables ont pris le relais. Les filières ont donc bénéficié de mesures d'accompagnement diverses (exonération de taxes, subvention à la production, obligation d'incorporation) se traduisant en un important soutien financier des États. Celui-ci était nécessaire pour compenser le surcoût des biocarburants par rapport à leurs équivalents fossiles, estimé entre 9 et 20 centimes d'euros/l pour la France en 2005 (Sourie *et al.*, 2005). Ce surcoût s'amenuise avec l'augmentation du prix du pétrole, qui pourrait rendre les filières rentables en dehors de toute aide publique. Néanmoins, la conjoncture joue également de manière défavorable sur les cours des matières premières agricoles, et les incertitudes pèsent sur le marché des co-produits et leur valorisation (concentrés pour l'alimentation animale et glycérine, essentiellement). La prise en compte des externalités positives

des biocarburants (émissions de CO₂ évitées, création d'emplois et développement local) offre une alternative intéressante aux aides à la production, qui ne pourront pas s'étendre en l'état au niveau des objectifs de 2010. Les externalités environnementales sont néanmoins modestes (voir paragraphe précédent), et les conséquences en termes d'emplois difficiles à estimer. Elles devraient s'avérer plus intéressantes sur le plan environnemental avec les technologies de 2^{ème} génération (Cormeau & Gosse, 2008).

Certains pays (comme l'Allemagne) s'orientent vers un arrêt des exonérations de taxes pour imposer aux compagnies pétrolières une obligation réglementaire d'incorporation de biocarburants. Cet instrument est à double tranchant puisqu'il risque de favoriser les importations de matière brute ou transformée en provenance de pays aux coûts de production plus faibles (Brésil, Malaisie). La question de la certification de ces filières (en Europe et à l'extérieur de celle-ci) apparaît dès lors comme un enjeu majeur, dont les critères devront passer au mieux entre le Charlybde du protectionnisme et le Scylla du laxisme environnemental, économique et social.

Conclusion

Les biocarburants de première génération ont l'immense avantage de reposer sur une technologie mature et bien maîtrisée, et de s'appuyer sur des systèmes de production agricoles et des chaînes logistiques déjà en place. Ceci rend envisageable un déploiement significatif à court terme. Ils sont de plus la seule alternative actuelle aux carburants liquides d'origine pétrolière, et directement compatibles avec les motorisations existantes. Ces atouts leur ont permis d'installer les biocarburants dans le paysage agricole et énergétique, et de sensibiliser la classe politique, les différents acteurs concernés par leur développement et l'opinion publique à leur rôle potentiel dans les défis écologiques actuels.

Leurs limites et inconvénients majeurs n'ont toutefois pas tardé à apparaître : des bilans énergétiques et environnementaux modestes (surtout pour les gaz à effet de serre), une tension sur les ressources liées à des besoins en surfaces agricoles assez élevés, et des interférences probables avec les écosystèmes naturels et les systèmes alimentaires mondiaux. Les biocarburants de la deuxième génération portent une promesse d'amélioration forte de ces différents points, avec une meilleure efficacité énergétique, des émissions de GES plus faibles et des rendements/unité de surface bien supérieurs – voire hors des terres immergées ou du moins des surfaces cultivables (pour les biocarburants à base d'algues marines). Parallèlement aux développements scientifiques et technologiques

qui restent à faire pour que ces filières voient le jour, la définition de critères de performance et de durabilité sera cruciale pour opérer les choix les mieux adaptés à l'environnement local, parmi l'éventail des technologies disponibles.

Références

- ADEME/DIREM, Ecobilan, PriceWaterhouseCoopers, Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France. Note de synthèse., 2002. http://www.ademe.fr/partenaires/agriculture/publications/documents_francais/synthese_bilans_energetiques_fr.pdf
- Berndes G., Hoogwijk M. & van den Broek R., The contribution of biomass in the future global energy supply : a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 2003, 25, 1–28.
- Commission Européenne, DIRECTIVE 2003/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. Official Journal of the European Union, 17.5.2003, L 123/42.
- Cormeau J. & Gosse G., Les biocarburants de deuxième génération. *Revue Club Démeter*, 2008.
- EUCAR, CONCAWE, JRC. Well-to-wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, 2006.
- Farrell A.E., Plevin R.J., Turner B.T., Jones A.D., O'Hare M. & Kammen D.M., Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science*, 2006, 311, 506–508.
- De Oliveira M.E.A.D., Vaughan B.E. & Rykiel Jr. E.J., Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint, *BioScience*, 2005, 55, 593–602.
- Prieur A., Bouvard F., Gabrielle B. & Lehuger S., Well to Wheels Analysis of Biofuels vs. Conventional Fossil Fuels: a Proposal for Greenhouse Gases and Energy savings Accounting in the French Context. *SAE Transactions Journal of Fuels and Lubricants*, 2008 (sous presse).
- Reinhardt G.A. Bioenergy for Europe: which ones fit best? An environmental analysis for the community, 2000. FAIR V Programme, contract CT 98 3832. Ed. IFEU (Institute for Energy and Environmental Research), Heidelberg, Germany.
- Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D. & Yu T., Use of U.S. Cropland for biofuels increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science*, 2008, 319, 1238–1240.
- Sourie J.C., Tréguer D. & Rozakis S., L'ambivalence des filières biocarburants. *INRA Sciences Sociales*, 2005, 2, 1–8.
- Wiesenthal T., Mourelatou A., Petersen, J. & Taylor P., How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? *EEA Report no7*, 2006, European Environment Agency, Copenhagen.