

## Biocarburants : développement et perspectives

Jean-Luc GURTLE

ONIGC,  
12 Rue Henri Rol Tanguy,  
92355 Montreuil-sous-bois  
<jl.gurtler@onigc.fr>

Les biocarburants sont désormais une composante à part entière du bouquet énergétique<sup>1</sup>. À ce jour, les biocarburants de première génération représentent une solution immédiatement opérationnelle pour limiter les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des transports. D'ici 2020, les biocarburants de deuxième génération viendront compléter la gamme des énergies renouvelables pour atteindre les objectifs d'incorporation que propose l'Union européenne<sup>2</sup>.

En attendant les innovations technologiques de la deuxième génération, les biocarburants de première génération sont d'ores et déjà engagés dans une démarche de progrès qui concerne à la fois les stades agricole et industriel.

### Introduction

#### *Un changement de contexte*

Par le passé, les politiques en faveur des biocarburants ont été inspirées par la hausse du prix du pétrole, ou conçues comme des mesures de politiques agricoles. Ainsi, le plan brésilien PROALCOOL visait autant à sécuriser l'approvisionnement énergétique du pays suite au choc pétrolier de 1973, qu'à réguler le marché du

<sup>1</sup> Rappel : la proposition de directive communautaire relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables prévoit pour 2020 un objectif global contraignant de 20 % pour la part des sources d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie au niveau de l'UE et un objectif contraignant minimum de 10 % de biocarburants dans les transports, ceci pour chaque Etat membre. La France, quant à elle, s'est donnée un objectif d'incorporation de 7 % à l'horizon 2010.

<sup>2</sup> Selon une évaluation de la Commission, les biocarburants de deuxième génération pourraient représenter 3 % des carburants utilisés dans le secteur des transports.

**Abstract:** *Biofuels are now an integral part of the energy mix. Today the first generation biofuels represent an immediate operational solution to limit emissions of greenhouse gases in the transport sector. By 2020, second-generation biofuels will complement the range of renewable energies to achieve the objectives of incorporation as proposed by the European Union.*

**Key words:** *biofuels, greenhouse gase, European Union*

sucre qui connaissait alors une période de surproduction.

En Europe, la réforme de la PAC du début des années 90 instaure la jachère obligatoire et prévoit, comme mesure d'accompagnement, la possibilité d'en cultiver une fraction à des fins non alimentaires (la jachère industrielle).

Plus récemment, les politiques de développement des biocarburants ont été amplifiées pour des raisons d'indépendance énergétique et de lutte contre le changement climatique.

Dans ce contexte nouveau, les biocarburants apparaissent désormais comme une composante à part entière du bouquet énergétique, avec les énergies solaire, éolienne, hydraulique, thermique, etc.

#### *La biomasse au cœur du bouquet énergétique*

De toutes les sources d'énergies renouvelables, la biomasse présente un statut particulier car elle est à la fois source d'énergie et source de molécules carbonées.

Cette particularité lui assure des débouchés diversifiés au-delà des applications purement énergétiques dans les secteurs de la chimie du végétal, des biomatériaux, des textiles ou de la pâte à papier.

Cette ressource, qui a pour seule source énergétique la photosynthèse des plantes, confère de ce fait à l'agriculture et à la sylviculture un rôle stratégique pour la contribution au bouquet énergétique.

L'agriculture doit pouvoir assumer son nouveau statut de source d'approvisionnement en carbone renouvelable, tout en assurant sa mission principale qui est de nourrir la planète.

Les besoins alimentaires sont eux-mêmes soumis à la double dynamique de la croissance démographique mondiale et de l'augmentation de la ration alimentaire dans les pays émergents comme la Chine ou l'Inde.

L'expansion des biocarburants devra donc reposer sur la progression de la performance énergétique par unité de surface. Les carburants de deuxième génération pourraient à terme contribuer à cette évolution.

### Les procédés de fabrication

#### *Biocarburants G1 : valorisation des organes de réserve des plantes*

Les biocarburants disponibles actuellement dits de « première génération » (G1), sont obtenus à partir des organes de réserve de plantes cultivées, caractérisées par une teneur élevée en molécules d'intérêt technologique.

L'éthanol est ainsi obtenu à partir de ressources sucrières (betterave et canne à sucre) et amyliées (blé, maïs, manioc). Il trouve ses débouchés dans les motorisations de type essence.

Les esters méthyliques d'huiles végétales sont destinés aux motorisations de type diesel et sont obtenus par transformation chimique d'huiles végétales ou de graisses animales.

Déjà performante sur le plan du bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES), la production de biocarburants G1 dispose encore de marges de progrès dans ce domaine, ainsi que dans celui des performances énergétiques, par l'amélioration des rendements agronomiques, des pratiques culturales, mais aussi par l'optimisation des procédés industriels, notamment en intégrant aux process, des chaudières alimentées par la biomasse ou en utilisant du biogaz de méthanisation.

Par ailleurs, les biocarburants de première génération ont des avantages que n'auront pas les futurs biocarburants de deuxième génération : ils génèrent des co-produits qui sont utilisés en alimentation animale. En outre, ils offrent un débouché supplémentaire aux grandes cultures, permettant ainsi une diversification du risque de prix.

Néanmoins, la concurrence entre les différents usages possibles des matières premières agricoles et la limite physique des surfaces cultivables, constituera, à terme, une limitation au développement de cette génération de biocarburants.

### *Biocarburants G2 : utilisation de la plante entière*

Les carburants de « deuxième génération » (G2) seront produits à partir de la lignocellulose qui est le principal constituant des tissus de soutien des plantes (branches, tiges troncs...), il s'agit par conséquent, d'une ressource plus abondante et plus diversifiée que pour la première génération.

Les avantages attendus de la seconde génération : réduction des concurrences d'usages avec les filières alimentaires, amélioration des bilans énergétiques et environnementaux, ainsi que des rendements, et coûts de production plus faibles. En revanche, leur développement entraînera un regain de concurrence pour les usages de la ressource lignocellulosique.

Plusieurs technologies sont à l'étude. Deux d'entre elles se distinguent par l'intensité des recherches en cours dans le monde. Il s'agit de la production d'éthanol de cellulose par voie biochimique et la production de biodiesel de synthèse par gazéification de la biomasse.

### *L'éthanol de cellulose par la voie biochimique*

Il s'agit d'obtenir de l'éthanol à partir de la biomasse lignocellulosique, grâce à l'action successive d'enzymes et de levures. La voie biochimique comporte quatre étapes visant à extraire de la matière première des sucres simples, qui seront ensuite transformés en alcool (séparation des constituants de la biomasse en cellulose, hémicellulose et lignine ; hydrolyse enzymatique de la cellulose ; fermentation des sucres ; distillation).

Avant de passer au stade industriel, plusieurs avancées technologiques sont nécessaires. L'une concerne la première étape du processus, avec le développement d'enzymes à haut rendement capables de fractionner tous types de biomasse, à un coût qui soit compétitif. Par ailleurs, il est nécessaire d'optimiser l'étape de la fermentation<sup>3</sup>.

La production d'éthanol par voie biochimique permettra aussi de produire toute une gamme de co-produits qui pourra être valorisée soit dans la production d'énergie soit dans le secteur de la chimie du végétal.

<sup>3</sup> Voir Michael J. O'Donohue, La production de carburants à partir de biomasse lignocellulosique par voie biologique : état de l'art et perspectives. OCL 2008 ; 15 (3) : 172-7.

### *Le biodiesel G2 par la voie thermochimique*

La voie thermochimique est une technologie commune aux filières biomasse, charbon ou gaz qui vise à obtenir des carburants liquides mélangés au gazole, à partir de matières premières solides ou gazeuses. Ces carburants sont appelés BTL (*biomass to liquid*), CTL (*coal to liquid*) ou GTL (*gaz to liquid*).

Cette technologie consiste à gazéifier la matière première sous l'action de la chaleur, de la pression et d'un agent gazéifiant (eau, air, oxygène). Le gaz ainsi obtenu est appelé gaz de synthèse. Une fois épuré, le gaz de synthèse permet de réaliser des synthèses catalytiques par le procédé appelé Fisher-Tropsch. Les produits obtenus sont ensuite retraités pour obtenir un carburant liquide gazole de haute qualité.

En amont, s'ajoute une étape de collecte et de prétraitement de la biomasse. En effet, la qualité des sources de biomasse lignocellulosique constitue un critère important pour leur conversion thermochimique. Des améliorations technologiques sont à réaliser dans ce domaine, ainsi que dans celui de la purification des gaz à la sortie du gazéificateur. Enfin, cette technologie doit être optimisée techniquement, et validée économiquement sur l'ensemble du processus, par la mise en place de pilotes et d'unités de démonstration.

## **Ressources en matières premières pour les biocarburants G2**

### *La biomasse contributeur significatif au bouquet énergétique*

En France, la consommation d'énergie primaire est aujourd'hui de 273 millions de Tep<sup>4</sup>. Le gisement potentiel de biomasse est estimé à environ 40 millions de tep/an<sup>5</sup>. D'ici 2020, 10 Mtep/an supplémentaires pourraient être exploitées pour la valorisation énergétique sans déstabiliser les secteurs traditionnels (industrie du bois et de la pâte à papier, agro-industrie, élevage...).

Pour l'UE à 25, l'offre potentielle se situe entre 240 et 320 Mtep à l'horizon 2030, pour une consommation actuelle en énergie finale de 330 millions de tep pour le seul secteur des transports<sup>6</sup>.

La valorisation de la biomasse ne saurait donc être la seule réponse à l'enjeu énergétique,

<sup>4</sup> Ministère de l'Industrie, DIREM, Bilan énergétiques de la France (2006) ; TEP : tonne équivalent pétrole.

<sup>5</sup> C. Roy. Coordination de la valorisation de la biomasse (2005).

<sup>6</sup> Commission européenne, Final report of biofuel Research Advisory Council (2006).

mais elle représente une contribution importante au bouquet énergétique. Cela illustre l'obligation d'optimiser les choix dans les utilisations potentielles (production de chaleur/électricité, carburant liquide, chimie verte...) et la nécessité d'augmenter les rendements de conversion pour les applications énergétiques.

### *Les ressources issues des résidus lignocellulosiques*

Ces gisements existent déjà mais la difficulté principale est la mise en œuvre d'une collecte économiquement optimisée :

– Les résidus agricoles : paille de céréales, rafles de maïs et tiges de colza, ainsi que les pulpes de betterave. Ces matières peuvent être converties en éthanol à l'aide de la technologie G2 au prix d'une optimisation du procédé. Mais cette ressource est limitée par les autres usages : alimentation ou litière pour animaux, production de chaleur par combustion, retour de matière organique au sol.

– Les résidus sylvicoles : le secteur sylvicole génère de grandes quantités de résidus mobilisables pour des usages énergétiques (branchages, souches, petits bois). Cette ressource, qui pourrait représenter 3 Mtep supplémentaires d'ici 2020, nécessite néanmoins le développement de procédés de collecte, transport et stockage de la matière.

– Le bois issu de la forêt : développer l'exploitation des forêts à des fins bioénergétiques est techniquement possible à partir des technologies G2. Mais de nouveaux systèmes de production devront être élaborés, prenant en compte la concurrence du débouché biocarburant avec les autres usages (bois matériaux), l'efficacité économique et les enjeux environnementaux.

– Les résidus industriels et commerciaux : certains résidus industriels sont valorisables dans les filières biocarburants G2 ; comme par exemple les liqueurs noires de l'industrie papetière, avec l'avantage d'être regroupés sur des sites parfaitement identifiés. En revanche, les autres types de résidus de bois sont plus dispersés. Il s'agit essentiellement de palettes, caquettes, résidus de chantier etc.

### *Les productions celluloses dédiées*

En France, le projet REGIX financé dans le cadre du Programme national de recherche sur les bioénergies associe différents partenaires des secteurs agricole et forestier de l'industrie et de la recherche. L'un des objectifs de ce programme est de créer un réseau expérimental national pour étudier les cultures énergétiques sur le plan de techniques culturales et du point de vue de leur propension à la transformation.

– Les plantes annuelles : ces plantes présentent l'avantage d'être adaptées aux conditions pédoclimatiques du pays et de s'intégrer faci-

Critères	De la biomasse sèche aux carburants liquides	Biodiesel
Matières premières utilisables	Large éventail de ressources carbonées sèches : biomasse (notamment bois, résidus de bois). La biomasse fera l'objet de prétraitements significatifs tels que la pyrolyse ou la torréfaction.	Huiles d'origine végétale, issues de la trituration ou du recyclage des huiles usagées. Graisses animales.
Procédés	Voie thermochimique : – Rupture des chaînes carbonées de la biomasse sous l'action de la chaleur, de la pression et d'un agent gazéifiant (O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O ou air). – Obtention d'un gaz de synthèse composé majoritairement de monoxyde de carbone et d'hydrogène. – Purification de ce mélange gazeux. Transformation en carburants liquides par la synthèse catalytique Fisher-Tropsch. – Raffinage.	Procédés chimiques d'estérification d'acides gras par réaction d'un alcool (méthanol ou éthanol) sur des huiles végétales ou corps gras animaux.
Taille des unités récentes	Pour des raisons d'économie d'échelle rendues nécessaires par le niveau élevé de l'investissement dans l'infrastructure des unités de production, le volume annuel de biomasse traité sera de l'ordre 1,5 à 7 millions de tonnes, pour une production de biocarburant de 0,2 à 1 million de tonne	250 000 t/an de biodiesel soit 580 000 tonnes de graines de colza.
Produits finis	Gaz de synthèse pouvant donner du gazole	Biodiesel
Co-produits	Chaleur pour production électrique et industrie (54 % du contenu énergétique de la biomasse). Cendres vitrifiées non valorisables en agronomie Éventuellement composés minéraux (et organiques) provenant de l'épuration du gaz de synthèse.	Tourteaux (alimentation animale), glycérine (chimie, alimentation animale)
Localisation des unités	Sites industriels de grande capacité (industrie pétrolière...) qui permettent de valoriser la chaleur produite. Importance de la logistique d'approvisionnement.	Proche des zones d'approvisionnement de matières premières et/ou des raffineries pétrolières. Importance de la logistique d'approvisionnement.
Acteurs industriels	Secteur de la pétrochimie, industriels des matières grasses, industriels de la pâte à papier.	Industriels des matières grasses, organismes interprofessionnels
Enjeux technologiques	Lever les verrous technologiques à chaque étape du procédé industriel, pour maximiser les Tep/ha Mise au point de schémas d'approvisionnement et de prétraitement de la biomasse Évolution des procédés (voie allothermique, voie autothermique)	Valorisation de la glycérine Optimisation de l'efficacité énergétique des unités industrielles, Évolution des procédés de transformation
Rendement brut tep/ha	À partir de 12 tonnes de matières sèches par hectare : – environ 1,7 tep/ha pour les technologies autothermiques ; – 5 tep/ha pour les technologies allothermiques avec ajout d'hydrogène et recyclage des produits de synthèse dans le process. Il s'agit d'une valeur théorique en l'absence d'unité de production opérationnelle (source MAP d'après IFP, CEA).	de 1,0 tep/ha brute à 1,4 tep/ha brute pour le biodiesel d'huiles végétales (source : ONIGC)
Bilan GES (économies CO <sub>2</sub> attendues par rapport au carburant d'origine fossile)	95 % (gazole Fisher-Tropsch produit à partir de déchets de bois) (source : valeur typique retenue dans la proposition de directive énergies renouvelables)	44 % pour le biodiesel de colza, 58 % pour le biodiesel de tournesol. (source : valeurs typiques retenues dans la proposition de directive énergies renouvelables)
Concurrence entre filières	Concurrence partielle en terme de surfaces. Pas de co-produits autres que la chaleur. Unités de grosses capacités, impact potentiel sur les bassins d'approvisionnement, y compris pour les filières bois traditionnelles.	Concurrence sur les surfaces et les débouchés. Mais production simultanée de tourteaux oléagineux (et glycérine) valorisables en alimentation animale. Développement de la valorisation chimique de la glycérine.

Critères	Éthanol de cellulose	Éthanol première génération
Matières premières utilisables	Matières lignocellulosiques agricoles (paille, pulpe de betterave, autres cultures ou résidus de cultures), forestières, fraction cellulosique de déchets et coproduits de l'agro-industrie. Ces matières seront plutôt fraîches ou humides.	Sucre, betterave, canne à sucre, amidon de céréales, et manioc...
Procédés	Voie biochimique (procédés proches de ceux de la première génération) : Prétraitement de la matière première lignocellulosique (séparation de la cellulose, hémicellulose, lignine) Hydrolyse enzymatique de la cellulose Fermentation des sucres, distillation	Hydrolyse de l'amidon Fermentation du glucose Distillation
Taille des unités récentes	Taille comparable à la première génération pour la production d'éthanol, plus de 450 000 tonnes de paille ou autres matières lignocellulosiques sèches par an.	Environ 100 000 t/an à 250 000 t/an d'éthanol c'est-à-dire 400 000 à 900 000 tonnes de blé ou 1 250 000 à 3 150 000 t/an de betteraves.
Co-produits	Lignine (valorisation en combustible en co-génération ou éventuellement en chimie du végétal) Hydrogène (chimie, énergie) Sucres spéciaux et produits dérivés, enzymes. Vinasses (pour méthanisation et épandage),	Drèche (alimentation animale), pulpe (alimentation animale), CO2 renouvelable (industrie de la boisson, transport frigorifique)
Localisation des unités	Sur les sites des unités industrielles de première génération et à proximité des bassins de production.	Proximité des bassins de production.
Acteurs industriels	Industrie de la première génération Industrie papetière Industrie de la chimie du végétal	Industriels du sucre et de l'amidon
Enjeux technologiques	Lever les verrous technologiques : prétraitement de la biomasse, production d'enzymes, optimisation et intégration des procédés, valorisation de la chimie du végétal	Optimisation des procédés industriels sur le plan de l'efficacité énergétique et des émissions de GES
Rendement brut tep/ha	Environ 1,8 à 2,5 tep/ha à partir de 12 tonnes de matière sèche produite par ha (suivant le degré de valorisation des hémicelluloses). (source : MAP)	de 1,4 tep/ha brute à 4,2 tep/ha brutes pour l'éthanol de céréales, et de betteraves (source : ONIGC)
Bilan GES (économies CO2 attendues par rapport au carburant d'origine fossile)	87 % éthanol de paille de blé (source : valeur typique retenue dans la proposition de la directive énergies renouvelables)	45 % pour éthanol de blé 69 % pour éthanol de blé en cogénération paille 56 % pour éthanol de maïs, 48 % pour éthanol de betterave, (source : valeurs typiques retenues dans la proposition de la directive énergies renouvelables)
Concurrence entre filières	Concurrence partielle sur les surfaces (la production d'éthanol de cellulose fera en partie appel aux cultures énergétiques).	Concurrence sur les surfaces et les débouchés. Mais production simultanée de drèches et pulpes valorisables en alimentation animale.

lement dans les systèmes de culture existants. Des progrès sont envisagés par la sélection génomique visant à accroître la productivité et réduire la sensibilité aux parasites et au stress.

– Les plantes pluriannuelles ou pérennes : dans la diversification nécessaire des sources lignocellulosiques destinées à la production de bio-carburants G2, les plantes pérennes, qu'elles soient fourragères (luzerne, ray-grass...), herbacées (miscanthus, switchgrass...) ou arbustives (taillis à courtes ou très courtes rotations), peuvent présenter à la fois des avantages en terme de rendement en biomasse et en terme de réduction de coûts de production, ainsi que

des avantages environnementaux (meilleure résistance à la sécheresse, plus faibles exigences en intrants). Mais, s'agissant d'implantation sur plusieurs années, ces plantes réduisent la marge de manœuvre au sein de la rotation, et la capacité d'adaptation de l'agriculteur.

La production de biomasse représente un sujet nouveau pour les acteurs de la sélection variétale. À cet égard, l'amélioration des rendements en matière sèche et sa composition, constituent autant de voies d'amélioration de l'efficacité énergétiques des procédés de seconde génération.

## Quelles unités industrielles pour la 2<sup>e</sup> génération ?

### *Le bassin d'approvisionnement en lien avec la voie technologique*

Compte tenu des coûts de production élevés, notamment sur le plan de l'énergie, la voie thermo-chimique nécessite des infrastructures de grandes capacités, de façon à bénéficier d'économies d'échelles indispensables à la rentabilité du process. Le développement des bio-carburants par cette voie technologique exigera des unités capables de traiter plus d'un

million de tonnes de biomasse par an. Ces unités devront s'appuyer sur des bassins d'approvisionnement de grandes dimensions (plusieurs centaines de km de diamètre), entraînant des coûts logistiques importants. Une des voies possibles de réduction des coûts est le développement de techniques de prétraitement et de conditionnement visant à densifier la biomasse pour faciliter son transport. Le traitement par torréfaction en amont, est une des solutions de prétraitement prometteuses. En raison de différentes synergies avec le secteur pétrolier (savoir-faire sur le raffinage et le fonctionnement d'unités industrielles de grande capacité, valorisation des produits de synthèse), il est possible que les unités de BTL se développent en lien étroit avec ce secteur. Cependant, l'agro-industrie est aussi capable de gérer une telle logistique d'approvisionnement, ce qui peut l'amener également à jouer un rôle dans le développement de cette filière. Les biocarburants de seconde génération obtenus par la voie biochimique pourront, quant à eux, se développer sur des sites d'éthanol G1, en raison de la similitude des technologies employées. C'est ainsi que les amidonniers et sucriers seront des acteurs de premier plan dans le développement de cette nouvelle génération de biocarburants.

Outre l'utilisation des structures industrielles existantes, les futures unités d'éthanol G2, pourront s'appuyer sur les bassins de production actuels et bénéficier ainsi du savoir faire sur le plan de la production agricole (céréales et

betterave), mais également sur le plan de la logistique de collecte et des relations commerciales entre acteurs de la filière (contractualisation). Par ailleurs, la voie biochimique ouvre le débouché de la chimie du végétal, marché à forte valeur ajoutée.

## **Chimie du végétal et bioraffineries**

### *Chimie du végétal : un débouché pour les productions végétales*

Outre la production de biocarburant, la voie biochimique est un vecteur de premier plan pour le développement de la chimie du végétal (production de produits chimiques renouvelables d'origine végétale).

La directive REACH concernant les exigences de l'UE en termes d'évaluation des risques des produits chimiques vis-à-vis de la santé des consommateurs et de l'environnement, incite à la recherche de solutions alternatives à la pétrochimie classique. La raréfaction du pétrole renforce cette nécessité.

La chimie du végétal représente à terme un débouché à forte valeur ajoutée pour le carbone renouvelable à condition de concevoir des unités de production adaptées.

### *Les bioraffineries pour répondre aux enjeux de l'avenir*

La production de biocarburants et de produits chimiques d'origine renouvelable pourrait se

développer au sein de complexes industriels intégrés appelés bioraffineries. Ce concept industriel, qu'il reste à préciser, valorise selon différents procédés, une gamme étendue de matières pour produire une variété de produits et co-produits. Le fonctionnement de ces complexes industriels est ajusté en permanence suivant des paramètres économiques et techniques, de façon à optimiser l'efficacité de l'ensemble.

## **Conclusion**

Après plus d'un siècle de domination de l'énergie fossile, le développement des biocarburants de première génération marque le début d'un changement de stratégie pour notre approvisionnement en énergie, offrant ainsi des opportunités pour l'innovation et la recherche. Les biocarburants de deuxième génération se situent dans le prolongement de cet élan.

Les unités de première génération en fonctionnement ou en construction, utilisent des techniques déjà éprouvées. Ces unités sont engagées dans une démarche de progrès. Des synergies industrielles existeront entre les unités de première et de deuxième génération lorsque ces dernières technologies seront arrivées à maturité industrielle, à l'horizon 2020. Néanmoins, il est probable qu'à cette date les carburants de première génération représenteront encore une part non négligeable de la production communautaire de biocarburants. ■