



1- Biocarburants

Définition et technologies

Les biocarburants¹ couvrent l'ensemble des carburants liquides, solides ou gazeux produits à partir de la biomasse et destinés à une valorisation énergétique dans les transports. Les biocarburants sont utilisés sous forme d'additifs ou de complément aux carburants fossiles suivants : gazole (incorporation en tant que biodiesel), essence (incorporation sous forme d'éthanol ou d'ETBE² lui-même produit à partir d'éthanol), au kérosène et aux carburants gazeux. On distingue trois générations de biocarburants selon l'origine de la biomasse utilisée et les procédés de transformation associés. Aujourd'hui, seule la première génération a atteint le stade industriel.

LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES

Les biocarburants concernent deux grandes filières :

- les filières liquides : éthanol (et plus globalement la famille des « alcools ») pour une incorporation dans la filière essence, biodiesel pour une incorporation dans la filière gasoil et biogaz pour une incorporation dans la filière kérosène (et plus globalement la famille des « hydrocarbures »)
- les filières gazeuses : biométhane carburant pour une utilisation gaz naturel véhicule

En général, les biocarburants sont classés en trois générations. Les biocarburants dits de 1^{ère} génération sont essentiellement issus de ressources agricoles conventionnelles : betterave - céréales - canne à sucre pour l'éthanol, colza - tournesol - soja - palme pour le biodiesel.

Les biocarburants dits « avancés » à savoir de 2^{ème} et de 3^{ème} génération n'ont pas encore atteint le stade industriel et sont au stade de recherche et développement. Le développement de programmes de recherche relatifs aux 2^{ème} et 3^{ème} génération vise à répondre, d'une part, aux exigences

environnementales et sociétales et, d'autre part, aux besoins croissants en carburants.

Les biocarburants de 2^{ème} génération utilisent l'intégralité de la lignocellulose des plantes ou de la biomasse : bois, paille, déchets, résidus agricoles et forestiers, cultures dédiées. La culture des plantes utilisées n'entrera plus en concurrence directe avec les cultures vivrières.

Les biocarburants de 3^{ème} génération se distinguent de la 2^{ème} génération par le type de biomasse utilisée. Cette dernière est issue des algues : microalgues et également macroalgues en condition autotrophe (capacité à synthétiser de la matière organique à partir de matière minérale). Il faut noter qu'il n'y a pas encore de consensus sur la définition de la 3^e génération. Certains, en plus des microalgues, y incluent l'ensemble des microorganismes et y classent les biocarburants où la biomasse utilisée ne provient pas de surfaces terrestres.

La diversité de la biomasse utilisée, des produits de sortie (alcools, hydrocarbures...) et des voies de transformation rend parfois inadéquat le classement des biocarburants en trois générations.

C'est pourquoi, les termes génération 1,5 ou encore 2,5 sont apparus pour y classer certains biocarburants.

A titre d'exemple, les huiles végétales hydrogénées (HVO) qui subissent un hydrotraitement (ajout d'hydrogène) sont classées en 1^{ère} génération ou en génération 1,5 de par l'origine de la biomasse (huile végétale).

C'est pourquoi les biocarburants seront présentés dans cette note suivant les voies de transformation et non en termes de générations.

En termes technologiques pour aboutir à la production de biocarburants, on distingue :

- les voies biochimiques qui permettent de convertir deux macromolécules principales : les sucres et les lipides ;
- et les voies thermochimiques qui permettent de convertir deux intermédiaires principaux : le gaz de synthèse (dit syngaz) et les biobruts/biohuiles.

Enfin, la plupart de ces biocarburants de génération avancée sont au stade de recherche et développement, les verrous technico-économiques sont forts. Les productions industrielles significatives ne sont pas attendues en France avant 2020.

¹ Le préfixe « bio » des biocarburants indique que les carburants proviennent de la biomasse, par opposition aux carburants fossiles.

² ETBE : Ethyl Tertio Butyl Ether, produit à partir d'éthanol (d'origine agricole) et d'isobutylène (d'origine chimique)



Procédé de transformation	Transformation 1	Molécule plateforme	Transformation 2	Produit final
Voies Biochimiques	Hydrolyse enzymatique	Sucres	Fermentation	Ethanol (1G et 2G) Alcools lourds Isoprénoïdes
	Récolte, extraction	Lipides	Transestérification	Esters méthyliques d'acides gras (Biodiesel 1G)
			Décarboxylation	Hydrocarbures
Méthanisation	Biogaz	Méthanation	Biométhane carburant	
Voies thermochimiques	Gazéification	Syngas	Fermentation	Alcools (dont éthanol)
			Fisher-Tropsch	BtL (Biomass to Liquid)
			Méthanation	Alcools BioSNG
	Pyrolyse/Torréfaction	Biobruts/biohuiles	Raffinage	Hydrocarbures

Voies biochimiques

Les voies biochimiques permettent de convertir deux macromolécules principales : les sucres et les lipides.

Cela nécessite au préalable d'extraire ces molécules de la biomasse terrestre et aquatique : des plantes sucrières (pour la première génération : canne à sucre, betterave sucrière, maïs, blé ; pour les générations avancées : microalgues, biomasse lignocellulosique) et des plantes oléagineuses (colza, soja, microalgues). Ces voies nécessitent donc une séparation efficace de la biomasse utilisée afin de libérer des macromolécules d'intérêt (sucres et lipides) pouvant être transformées.

Voies biochimiques avancées : les sucres pour faire des alcools et hydrocarbures

Le produit attendu de ces voies est **l'éthanol**. Ce dernier est obtenu par fermentation alcoolique de sucres fermentescibles (glucose, saccharose, etc.), soit directement présents dans la plante, soit provenant d'une hydrolyse enzymatique de la macromolécule d'amidon. Les deux principales plantes exploitées pour leurs sucres fermentescibles

sont la canne à sucre et la betterave sucrière. Les principales plantes exploitées pour leurs grains contenant de l'amidon sont le maïs et le blé.

Pour produire des biocarburants de 2^{ème} génération selon ces voies, le procédé utilisé comporte les mêmes étapes principales que celui de première génération : une hydrolyse enzymatique des matières premières, suivie d'une fermentation alcoolique des sucres libérés, puis d'une distillation permettant de récupérer des alcools : éthanol mais aussi des **alcools dits « lourds »** (longueur de chaîne carbonée de plus en plus importante) comme le butanol.

La biomasse lignocellulosique contient de la cellulose (qui inclut des sucres en C6, soit à 6 atomes de carbone), un des trois constituants majeurs des parois végétales (plantes et bois) avec l'hémicellulose (sucres en C5 et C6) et la lignine (ramification de polyphénols). Tout l'enjeu consiste à rendre la cellulose et l'hémicellulose accessibles aux étapes d'hydrolyse et de fermentation. Aujourd'hui, les procédés utilisés sont l'explosion à la vapeur, la thermohydrolyse à 200°C ou encore l'utilisation d'acide dilué. **L'aspect énergivore de cette étape, la dégradation des sucres ou encore la formation de composés toxiques sont les verrous identifiés à lever.**

L'hydrolyse enzymatique

L'hydrolyse enzymatique par des enzymes spécifiques permet de fragmenter les molécules de cellulose en sucres fermentescibles, les sucres en C6. L'hydrolyse est catalysée par des acides forts ou enzymes (cellulases). Cette catalyse enzymatique est aussi efficace que l'hydrolyse acide mais bien meilleure en terme de rendement (pas de génération de déchets) et d'impact environnemental (conditions douces de température et de pression). **Le verrou majeur de cette étape est le coût des cellulases.** L'hydrolyse de l'hémicellulose, qui nécessite des enzymes différentes, est encore à l'étude car son rendement actuel est faible.

La fermentation

La fermentation des sucres en C6 par des levures est similaire à celle pour la production des biocarburants de première génération mais la présence de lignine dans la biomasse limite la concentration initiale en sucres en C6 et donc la teneur finale en éthanol. Par ailleurs, certains composés toxiques de l'étape de prétraitement peuvent être présents lors de la fermentation. Enfin, les sucres en C5 issus de l'hydrolyse de l'hémicellulose sont difficiles à convertir en éthanol et nécessitent des microorganismes fermentaires différents.



En plus des alcools, d'autres produits de sortie sont attendus de cette étape de fermentation, notamment les isoprénoides (famille des isoprènes, terpènes) et les biodiesels et biokérosènes obtenus par des voies biochimiques avancées.

Les technologies de biologie synthétique

Les technologies de biologie synthétique permettent de transformer les sucres en isoprénoides. Cette famille des isoprénoides intéresse particulièrement le secteur de l'aviation et de l'aéronautique. En effet, ces carburants (à longue chaîne carbonée donc à indice énergétique élevé) seraient compatibles avec les exigences de ce secteur.

Dans ce cas, ces développements sont essentiellement conduits par des sociétés de biotechnologies innovantes qui travaillent sur l'ingénierie métabolique, la biologie synthétique pour parvenir à fabriquer ces carburants à des coûts compétitifs.

Zoom : la valorisation de la lignine

La valorisation des co-produits est un point clé dans l'équilibre des plans d'affaires de la production de biocarburants avancés à partir de biomasse lignocellulosique.

Différentes valorisations sont envisagées, la plus courante étant la voie énergétique : production de chaleur et/ou d'électricité.

La meilleure valorisation possible, à plus haute valeur ajoutée, serait d'utiliser la lignine comme matière première pour la chimie du végétal (fabrication de colles, résines...), servant ainsi de substitut aux matières premières habituelles, d'origine fossile.

Voies biochimiques avancées : les lipides pour faire des hydrocarbures

Le produit attendu de ces voies est un **biodiesel** obtenu par une réaction de transestérification des triglycérides de l'huile végétale brute en esters méthyliques (EMHV), similaire aux biodiesels actuels.

Pour les nouvelles générations de biocarburants, les formes de biomasse utilisées sont les **microalgues** et **macroalgues** ainsi que **d'autres microorganismes** (levures...).

Pour ces voies avancées, le procédé comprend les étapes suivantes : sélection et culture de la biomasse, récolte et extraction des lipides, transformation par estérification ou décarboxylation en hydrocarbures.

De nouvelles technologies appliquées sont nécessaires pour lever les obstacles à une utilisation de ces biomasses. L'utilisation de ces microalgues/macroalgues serait cependant une alternative intéressante aux biomasses utilisées pour la production des biocarburants de la première génération de par leur rendement élevé à l'hectare et l'utilisation de surfaces non cultivables. Selon les conditions de production, leurs rendements en huile peuvent être de 10 à 30 fois supérieurs à ceux du colza (de 10 à 40 t d'huile/ha/an).

Les microalgues posent néanmoins **des problèmes de sélection**. Sur les centaines de milliers d'espèces existantes, il convient de sélectionner l'espèce au meilleur ratio lipidique.

Ensuite, le **mode de culture choisi** aura des impacts importants sur l'économie globale de la production du biocarburant ainsi que sur l'environnement. En effet, des systèmes fermés tels que des photobioréacteurs, qui impliquent des coûts d'investissement importants, ou encore ouverts tels que des lagunages ou bassins artificiels sont envisageables mais demandent une évaluation plus approfondie.

Enfin, la **récolte et l'extraction des lipides** sont cruciales. Les technologies utilisées pourraient être optimisées pour améliorer leur bilan énergétique et environnemental. Une intégration complète du procédé de production pourrait par ailleurs permettre de baisser les coûts de production de ces biocarburants. Pour cette raison, des couplages sont possibles avec :

- le traitement des eaux usées (les microalgues puisent l'azote et le phosphore pour leur croissance) ;
- le captage de CO₂ ;
- et la transformation en produits à plus haute valeur ajoutée (aquaculture, chimie du végétal).



Grâce au génie génétique, **d'autres microorganismes** sont capables de produire des lipides, c'est le cas de certaines levures, on parle alors d'huiles de levure. Ces lipides permettent ensuite d'accéder à la production de biodiesels ou biokérosènes. Par ailleurs, certaines cyanobactéries sont également capables de produire des lipides ainsi que de l'hydrogène.

Remarque : Une autre voie biochimique permet de produire du biogaz par fermentation des déchets organiques (cette partie sera détaillée dans la fiche du présent rapport intitulée « Biomasse Energie »).

Zoom : les biocarburants et l'aviation

Si le transport routier permet d'utiliser les biocarburants de première génération, le secteur de l'aviation et de l'aéronautique, qui ne peut pas faire appel à ces mêmes biocarburants pour des raisons de compatibilité moteur, s'intéresse à toutes les générations de biocarburants avancés. Cet intérêt est lié à l'inclusion du secteur à partir de janvier 2012 dans le système de plafonnement et d'échange de quotas européens (directive européenne EU-ETS - Emission Trading Scheme) qui implique une diminution des émissions de gaz à effet de serre du secteur à terme.

Voies thermochimiques

Les voies thermochimiques permettent de convertir deux intermédiaires principaux - le gaz de synthèse (dit syngaz) et les biobrut/biohuiles - en biocarburants.

Contrairement aux voies biochimiques, les voies thermochimiques ne nécessitent pas une sélectivité dans leurs procédés de transformation, c'est l'avantage principal de ces voies.

Ainsi, le gaz de synthèse (syngaz) est obtenu après **gazéification de la biomasse** (lignocellulosique, résidus, déchets organiques). Ce procédé - très énergivore (température d'environ 1000°C pour la biomasse lignocellulosique) - permet d'obtenir un mélange de gaz (hydrogène et monoxyde de carbone) qu'il est nécessaire de purifier dans les étapes ultérieures. L'un des enjeux de cette voie est d'obtenir, en sortie du gazéifieur, le mélange comportant le moins d'impuretés et de goudrons. D'autres procédés de conversion de la biomasse peuvent être utilisés : la pyrolyse pour l'obtention de l'intermédiaire biobrut/biohuile.

Voies thermochimiques avancées : le syngaz pour faire des alcools et des hydrocarbures

Le syngaz peut être utilisé pour produire de l'éthanol (ou d'autres alcools) par fermentation.

Il permet également d'accéder à des hydrocarbures grâce à la synthèse catalytique Fisher-Tropsch (FT).

L'ensemble de ce procédé permettant la production d'hydrocarbures liquides à partir de biomasse, par synthèse FT, est appelé BtL (Biomass To Liquid).

Plus généralement, tous les procédés de type (X) To Liquid sont bien connus. Ainsi les procédés CtL (Coal to Liquid) permettent de transformer le charbon en hydrocarbures liquides (Exemple de la société Sud Africaine Sasol).

Parmi ces différents procédés, le procédé BtL présente de nombreux avantages. Ce carburant de synthèse est notamment très « propre » : il ne contient ni soufre, ni composé aromatique et réduit significativement le contenu en oxyde d'azote et en particules. Il a un indice de cétane proche de celui du diesel fossile. Même s'il n'existe pas encore d'unité industrielle au niveau mondial pour ce type de carburant, le bilan environnemental de ce procédé (gazole Fisher-Tropsch à partir de déchets de bois) est considéré comme très bon : le Joint Research Centre estime que la réduction d'émissions de gaz à effet de serre peut atteindre 95%.

Ce carburant en développement intéresse le marché européen du transport routier (majoritairement diesel) mais également le secteur de l'aviation et de l'aéronautique qui sera soumis à la directive EU-ETS (voir supra l'encadré) et à la recherche de solutions permettant de faire baisser leurs émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, le procédé BtL par Fisher-Tropsch reste encore à améliorer, l'ensemble des étapes (pyrolyse, gazéification, catalyse FT) est très énergivore. Les rendements de conversion de la biomasse sont assez faibles 14 à 17% sans ajout d'énergie au procédé de combustion (procédé autothermique) avec la possibilité d'atteindre 20-25% avec ajout d'énergie (procédé allothermique).

Ce procédé permet de produire à la fois du biodiesel et du biojetfuel, en générant un certain nombre de co-produits (naphta, méthanol, paraffines) qu'il conviendra de valoriser pour diminuer les coûts de production de cette voie, encore élevés.

Voies thermochimiques avancées : le syngaz pour faire du biométhane

Les technologies de gazéification et de méthanisation sont maîtrisées mais doivent encore être optimisées afin de convertir au mieux la biomasse, notamment la biomasse lignocellulosique.

La méthanation est un procédé catalytique qui permet la conversion du syngaz en méthane. Le gaz



obtenu est appelé « BioSNG » et possède les mêmes propriétés que le gaz naturel.

Contrairement à la méthanisation qui nécessite des substrats humides, la biomasse lignocellulosique peut être transformée par ce procédé. Différentes valorisations de ce BioSNG sont envisagées :

- la production de chaleur et/ou d'électricité
- l'usage en tant que biométhane carburant.

Zoom : le biométhane carburant

Le biométhane carburant provient essentiellement d'un biogaz produit en décharge ou obtenu par méthanisation des déchets organiques fermentescibles (ordures ménagères, déchets agricoles et agroindustriels...). Il se positionne comme un substitut au Gaz Naturel Véhicule (GNV). Les réductions de GES sont au minimum de 50% et varient fortement selon le substrat utilisé. Des gains sur les émissions de particules autour de 40% ont été observés par rapport à une référence fossile.

Voies thermochimiques avancées : les biobruts/biohuiles pour faire des combustibles

Contrairement aux voies décrites précédemment, le procédé de conversion s'appuie ici sur les technologies de pyrolyse et de liquéfaction directe. Tout comme la gazéification, la pyrolyse est une décomposition de la matière carbonée en absence d'oxygène. En fonction des conditions de température et de pression des procédés, on obtient un combustible (le charbon de bois également appelé biochar), des huiles de pyrolyse (procédé de pyrolyse flash) ou encore un gaz de pyrolyse.

Ces biobruts/biohuiles peuvent ensuite être raffinés et se substituer en partie à leurs équivalents fossiles.



Chaîne de valeur

UNE CHAÎNE DE VALEUR COMPLEXE

La chaîne de valeur des biocarburants est complexe et très diversifiée. En effet, la production de biocarburants fait appel à différents acteurs :

- les fournisseurs de matières premières (ressources agricoles, forestières, déchets, résidus...) et les organismes collecteurs/stockeurs ;
- les négociants ;
- les producteurs de biocarburants et les premiers transformateurs de la biomasse ;
- les raffineurs/ distributeurs de biocarburants ;
- les utilisateurs finaux (transport routier, aérien, naval).

Les métiers créés par la production d'énergie concernent principalement les fournisseurs de matières premières et les transformateurs de la biomasse.

Les fournisseurs de matières premières

Cette première étape de la chaîne de valeur couvre l'accès à la biomasse, la gestion des récoltes (cultures) ainsi que le circuit logistique.

Les biocarburants de première génération **sont issus des ressources agricoles** à savoir, en France, le colza et le tournesol pour la filière biodiesel et la betterave, le maïs et le blé pour la filière éthanol. Ainsi, en France, pour la filière biodiesel par exemple, environ 60 000 agriculteurs cultivent du colza et du tournesol pris en charge par des organismes de collecte. La superficie agricole à mobiliser pour produire les cultures énergétiques nécessaires à l'atteinte des objectifs d'utilisation des biocarburants dans les transports à 2020 est comprise entre 2,5 et 6 millions d'hectares selon les rendements considérés soit 4,5 à 11% des surfaces agricoles et sylvicoles totales actuelles.

Puis, la biomasse oléagineuse subit une première transformation, c'est **l'étape de trituration** qui permet d'extraire l'huile des graines. La partie solide, dite tourteau riche en protéines, est récupérée et valorisée en alimentation animale.

Ainsi, grâce aux biocarburants, de nombreux emplois agricoles ont été maintenus.

Pour les biocarburants à venir, notamment **ceux issus de ressources forestières**, l'accès à la matière première transformée implique de nombreux acteurs. La gestion de l'amont forestier concerne 250 000 personnes en France qui sont en charge de

la gestion et de l'exploitation de la forêt publique ou privée ou de la première transformation du bois. Les biocarburants et plus globalement la biomasse énergie ont permis l'émergence de premiers transformateurs de bois (producteurs de plaquettes, granulés...).

Les producteurs de biocarburants et les premiers transformateurs de la biomasse

Cette deuxième étape de la chaîne de valeur implique l'accès à une biomasse qui a souvent subi une première transformation et met en œuvre les technologies des voies biochimiques et thermochimiques.

Dans le cas des biocarburants de première génération de la filière biodiesel, après trituration, l'huile est envoyée dans une usine de transestérification. Le procédé permet, à partir d'une tonne d'huile et de 100 kilogrammes de méthanol, de produire une tonne de biodiesel et 100 kilogrammes de glycérine biosourcée, intermédiaire qui peut être valorisé en chimie du végétal.

Dans le cas des biocarburants avancés, les procédés sont globalement au stade de la recherche et développement. Ainsi sur les voies biochimiques, de jeunes sociétés innovantes en biotechnologies se positionnent comme apporteur de technologies de transformation de biomasse. En France, de telles voies sont empruntées par des start-up innovantes : Deinove, Global Bionénergies, Biométhodes...

En complément et en amont des technologies nécessaires à la production, certaines sociétés se positionnent uniquement sur l'apport de microorganismes spécifiques à différentes étapes de transformation de la biomasse (déconstruction de la lignocellulose, conversion en éthanol). C'est le cas de la société danoise Novozymes.

Sur les voies thermochimiques, de nombreux acteurs se positionnent notamment sur les étapes de pyrolyse et de gazéification de la biomasse ainsi que sur la conversion du syngaz. A titre d'exemple, des instituts de recherche comme IFP Energies Nouvelles en France ou le VTT en Finlande travaillent sur les technologies de pyrolyse. Pour la gazéification de la biomasse, la société allemande Choren a mis en place un premier pilote production de BtL. Enfin, les sociétés de biotechnologies se positionnent sur la production d'alcools à partir de syngaz comme les sociétés américaines Coskata ou Syntec Biofuel.



Le contexte réglementaire

Cette partie consacrée au cadre réglementaire décrit successivement le contexte européen, le cadre réglementaire français développé pour les biocarburants de première génération reprenant pour partie la fiche n° 9 « les carburants de substitution » dans le rapport sur l'industrie pétrolière et gazière en 2009 et le cadre actuel pour les biocarburants des générations avancées.

LE CONTEXTE EUROPEEN

Quatre directives organisent la politique européenne dans le domaine des biocarburants :

- La directive 2003/96/CE qui prévoit la possibilité pour les États Membres d'appliquer un taux d'accises (impôt indirect perçu sur la consommation de certains produits) réduit sur certaines huiles minérales (carburants) qui contiennent des biocarburants et sur les biocarburants.
- La directive 2003/30/CE relative à la promotion de l'utilisation des biocarburants ou autres carburants renouvelables dans les transports, dresse la liste des produits considérés comme biocarburants et les formes sous lesquelles ils peuvent se présenter. Elle demande aux États Membres de fixer des objectifs nationaux d'incorporation des biocarburants dans les carburants, avec comme valeurs de référence : 2%_{PCI}¹ fin 2005 et 5,75%_{PCI} en 2010 (pourcentage énergétique).
- La directive 2009/28/CE (promotion des énergies renouvelables) adoptée, sous présidence française, dans le cadre du « paquet énergie-climat » en décembre 2008 qui fixe un objectif de 20 % (23 % pour la France) de la consommation finale d'énergie d'origine renouvelable à l'horizon 2020, dont 10 % dans le secteur des transports. Elle impose également le respect de critères de durabilité aux biocarburants.
- La directive 2009/30/CE (qualité des carburants) également adoptée sous présidence française, qui fixe un objectif de réduction de 10 % des émissions de gaz à effet de serre dans les carburants entre 2010 et 2020.

¹ %PCI : pourcentage énergétique

LE CADRE FRANÇAIS DE LA PREMIERE GENERATION

La France s'est engagée depuis plusieurs années dans un programme de développement des biocarburants. Ainsi l'objectif d'incorporation de 5,75 %_{PCI} de biocarburants dans les carburants, initialement prévu pour 2010 par la directive 2003/30/CE, a été avancé à 2008 et il est porté à 7 %_{PCI} en 2010.

Par ailleurs, un objectif indicatif d'incorporation de biocarburants de 10 %_{PCI} est fixé pour 2015.

Les objectifs d'incorporation français

Le tableau 1 présente les objectifs d'incorporation de biocarburants de la France.

Tableau 1 : Les objectifs français d'incorporation de biocarburants

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Objectifs (%pci)	1,20	1,75	3,5	5,75	6,25	7,00

Le développement des biocarburants est soutenu par deux dispositifs fiscaux, la défiscalisation et la TGAP.

La défiscalisation

L'exonération partielle de la taxe intérieure de consommation (TIC) dont bénéficient les biocarburants permet de compenser partiellement le surcoût de fabrication des biocarburants par rapport aux carburants d'origine fossile.

Son montant est fixé en loi de finances et ne s'applique qu'aux biocarburants issus des unités agréées. Depuis 2002, environ 3 milliards d'euros d'allègement de la TIC cumulés ont été accordés aux opérateurs qui incorporent des biocarburants dans les carburants. Ce dispositif permet également d'assurer la traçabilité de la grande majorité des biocarburants incorporés en France.

La taxe générale sur les activités polluantes (TGAP)

Depuis la loi de finances pour 2005 (article 32) et afin de promouvoir l'incorporation des biocarburants dans le gazole et les essences, les opérateurs (raffineurs, grandes surfaces et indépendants) qui mettent à la consommation des carburants contenant une proportion de



biocarburants inférieure au taux d'incorporation prévu, doivent acquitter un prélèvement supplémentaire de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP). Son taux est diminué par la part de biocarburants mis sur le marché en % PCI, et ce pour le supercarburant d'une part et le gazole de l'autre. Cette taxe, en étant très incitative, facilite le développement des biocarburants.

Des évolutions de l'encadrement national pour accompagner le développement des biocarburants

Afin d'atteindre les objectifs ambitieux d'incorporation de biocarburants qu'il s'est fixé, le gouvernement a engagé des actions volontaristes :

L'augmentation des taux d'incorporation de biocarburant

Depuis le 24 avril 2007, la teneur maximale des EMAG dans le gazole est passée de 5% à 7% en volume. La directive européenne sur la qualité des carburants, adoptée en décembre 2009, a repris cette spécification.

Depuis 1^{er} avril 2009, un nouveau supercarburant est autorisé à la vente sur le territoire national, le SP95-E10. Ce carburant peut contenir jusqu'à 22%vol d'ETBE ou 10 %v d'éthanol ou tout mélange respectant une teneur maximale en oxygène de 3,7%. Il est vendu en parallèle du supercarburant sans plomb traditionnel dont la teneur en éthanol est inférieure à 5% en volume car tous les véhicules essence qui roulent en France ne sont pas compatibles avec le nouveau carburant SP95-E10.

Des filières carburants à haute teneur en biocarburants

Le gazole B30 : depuis le 1er janvier 2007 le gazole B30, un gazole contenant 30% en volume d'EMHV (Ester Méthylique d'Huile Végétale) est autorisé pour les véhicules de flottes captives disposant d'une logistique carburant spécifique.

Le superéthanol E85 : destiné aux véhicules à carburant modulable (également appelés « flex fuel »), ce carburant est composé d'au moins 65 % d'éthanol et d'au moins 15 % de supercarburant.

Depuis son lancement, le superéthanol bénéficie de mesures fiscales avantageuses : pour le carburant, prix de vente à la pompe d'environ 0,85 €/l ; pour le véhicule, octroi d'une faculté d'amortissement exceptionnel sur 12 mois, réduction de la taxe sur les véhicules de sociétés pendant huit trimestres et exonération de 50 % de la taxe additionnelle aux certificats d'immatriculation

Enfin, depuis le 1^{er} janvier 2009, les véhicules à carburant modulable (véhicules également appelés

« flexfuel » fonctionnant au superéthanol - E85) sont exonérés du malus écologique s'ils émettent moins de 250g CO₂/km, pour tenir compte du bénéfice environnemental complet de ces véhicules.

En plus de ces mesures, l'exonération de la TIC a été étendue aux huiles végétales pures (HVP) depuis la loi n°2006-11 du 5 janvier 2006 d'orientation agricole.

La transposition du système de durabilité des biocarburants

Dans le cadre de la directive 2009/28/CE relative au système de durabilité des biocarburants et bioliquides, seuls les biocarburants durables pourront bénéficier d'aides financières pour leur production ou leur consommation et être comptabilisés pour l'atteinte des objectifs nationaux de développement des énergies renouvelables.

A cette fin, l'Etat devra notamment veiller à ce que les opérateurs économiques (organismes de collecte et de stockage des matières premières, producteurs et fournisseurs de biocarburants, opérateurs pétroliers et distributeurs) apportent la preuve que les critères de durabilité définis par la directive¹ ont été respectés. En particulier, il doit s'assurer que les opérateurs économiques collectent des informations fiables relatives à la durabilité des biocarburants et bioliquides fiables et les mettent à sa disposition, à sa demande. Il doit également s'assurer que les opérateurs économiques mettent en place un contrôle indépendant des informations qu'ils soumettent et qu'ils apportent la preuve que ce contrôle a été effectué.

D'ores et déjà, le principe de la durabilité des biocarburants a été introduit dans la législation par la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (2009), qui précise que « *la production en France des biocarburants est subordonnée à des critères de performances énergétiques et environnementales comprenant en particulier leurs effets sur les sols et la ressource en eau* ».

L'État mettra à la disposition des opérateurs économiques, par le biais d'une application informatique, les informations géographiques qui leur seront nécessaires pour mettre en œuvre les critères relatifs à l'utilisation des terres pour les productions françaises. Pour le calcul de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les opérateurs économiques pourront s'appuyer sur les

¹ Les critères obligatoires de durabilité sont de deux types : l'un relatif à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui se mesure du puits à la roue (celle-ci devra atteindre au moins 35 % par rapport aux carburants fossiles dans lesquels ils sont incorporé ; ce seuil sera porté à 50 % en 2017); l'autre, relatif aux conditions de production des matières premières agricoles.



informations d'ores et déjà collectées relatives aux émissions agricoles de gaz à effet de serre par région et par filière. Enfin, pour le système national, un dispositif de reconnaissance des organismes habilités à réaliser les contrôles indépendants sera prochainement mis en place.

LE CADRE FRANÇAIS ET ORIENTATIONS POUR LES BIOCARBURANTS AVANÇES

Le cadre existant : le double comptage

La directive 2009/28/CE relative aux énergies renouvelables indique que les biocarburants et bioliquides doivent contribuer à une réduction d'au moins 35% des émissions de gaz à effet de serre pour être pris en considération. À partir du 1^{er} janvier 2017, leur part dans la réduction des émissions doit être portée à 50%.

C'est pourquoi, les biocarburants particulièrement favorables en termes de bilans d'émissions de gaz à effet de serre, sur l'ensemble de leur cycle de vie bénéficient du double comptage. Cette mesure prévoit que ces produits comptent pour le double de leur valeur pour l'atteinte des objectifs fixés. La loi de finances rectificatives pour 2009 a introduit, pour les esters méthyliques produits à partir d'huiles usagées ou de graisses animales, cette disposition qui s'applique depuis le 1er janvier 2010.

De plus, les biocarburants avancés et notamment ceux de 2^e génération issus de biomasse lignocellulosique qui présentent a priori de très bons bilans sont également concernés.

Le système de durabilité des biocarburants

Cette même directive 2009/28/CE impose le respect des critères de durabilité. Cette conditionnalité applicable aux biocarburants de 1^{ère} génération devrait s'appliquer à ceux des générations avancées.

Les orientations possibles en matière de soutien aux biocarburants avancés

Aujourd'hui, les générations avancées de biocarburants sont au stade de recherche et développement, c'est pourquoi la fiscalité des 2^{ème} et 3^{ème} générations n'est pas encore définie. Une diminution à terme de la défiscalisation accordée aux biocarburants 1^{ère} génération produits dans des unités de production agréées est prévue. Cela permettra d'alléger la charge sur les finances publiques et d'envisager un dispositif de soutien pour les générations avancées. Par ailleurs, le maintien d'un outil comme la TGAP semble à ce stage envisageable pour les générations avancées de biocarburants. Par ailleurs, les débats sur la

concurrence avec les usages alimentaires ainsi que l'étude² Analyse de Cycle de Vie réalisée pour les pouvoirs publics sur les biocarburants de première génération ont mis en valeur l'importance des critères environnementaux et sociétaux pour les biocarburants. Ainsi, une fiscalité avantageuse aux biocarburants les plus vertueux suivant ces critères fait partie des pistes envisageables pour un soutien de la filière. Enfin, sur certains types de biomasse, comme la biomasse lignocellulosique, essentielle pour le développement de la 2^e génération, des réflexions devront être menées sur l'instrument efficace pour permettre une mobilisation de la biomasse issue de la forêt.

² « Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de 1^{ère} génération consommés en France », février 2010, BIO Intelligence Service.



Les marchés

LE MARCHÉ MONDIAL

Production mondiale

Au niveau mondial, le marché des biocarburants est essentiellement dominé par la filière éthanol qui totalise aujourd'hui une production de 74 milliards de litres.

Les Etats-Unis et le Brésil sont les plus gros producteurs, totalisant à eux seuls environ 80% de la production d'éthanol dans le monde. Les biomasses utilisées, les cycles de culture, les modes d'intensification de production et leurs marchés carburants orientés « essence » expliquent en partie leurs positions dominantes.

Les Etats-Unis sont passés en 2010 devant le Brésil pour devenir le premier producteur d'éthanol au niveau mondial avec des capacités de production de 51 milliards de litres². Entre 2009 et 2010, le nombre d'unités de production d'éthanol est passé de 170 à 187 installations. Le Brésil arrive second du classement avec une production de 27 milliards de litres environ. Les pays émergents s'intéressent de plus en plus à ce marché. La Chine est le troisième producteur, devant la France, avec 2,7 milliards de litres.

La filière biodiesel qui totalise une production mondiale d'environ 21 milliards de litres en 2009 est dominée par l'Union Européenne. Les Etats-Unis sont également très présents, avec une capacité de production de 5,9 milliards de litres, juste devant l'Allemagne avec ses 5 milliards de litres. L'Espagne et l'Indonésie sont respectivement en troisième et quatrième position. Cinquième, le Brésil devrait, compte tenu de ses orientations en matière de politique biocarburants, devenir un producteur de biodiesel de plus en plus important dans les années à venir.

LE MARCHÉ EUROPEEN

Au niveau européen, le marché des biocarburants est dominé par la filière gazole, avec 12 milliards de litres de gazole produit contre 3,7 milliards de litres environ pour l'éthanol. Cette différence s'explique par l'équilibre du parc automobile majoritairement diesel (2/3 diesel, 1/3 essence).

Pour la filière biodiesel, d'après l'European Biodiesel Board, le premier producteur est l'Allemagne, suivie de la France puis de l'Espagne. Pour la filière éthanol, le premier producteur est la France suivie de l'Allemagne puis de l'Espagne.

LE MARCHÉ FRANÇAIS

Les capacités de la France

La France s'est largement impliquée dans le développement des biocarburants de première génération en mettant en place une politique ambitieuse et d'importants soutiens fiscaux. En 2009, la France a produit 1,25 milliard de litres d'éthanol avec des acteurs comme Tereos et 2,7 milliards de litres de biodiesel avec des acteurs comme Diester Industrie.

² Source : étude du Global Fuel Center,(2010)



Les acteurs de la filière

La filière est composée de cinq catégories d'acteurs :

- les fournisseurs de matière première et les premiers transformateurs de la biomasse (ressources agricoles, forestières, déchets, résidus...);
- les négociants ;
- les producteurs de biocarburants ;
- les raffineurs/ distributeurs de biocarburants ;

- les utilisateurs finaux (transport routier, aérien, naval).

Selon la génération de biocarburants, les acteurs impliqués dans la production diffèrent, notamment en fonction des types de biomasse utilisés et des compétences nécessaires.

Tableau 2 : Les principaux acteurs

	International	Français
Fournisseurs et négociants de matières premières	<ul style="list-style-type: none"> - Agriculteurs, - coopératives agricoles <u>Développement de semences :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Monsanto (E-U) - Syngenta (Suisse) - Mendel Biotechnologies (E-U) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coopératives agricoles - Coopératives forestières - ONF - Négociants de matières premières
Prétraitement et procédé de transformation (Voie Biologique/Voie Chimique)	<u>Ethanol</u> <ul style="list-style-type: none"> - Cosan (Brésil) - Santelisa Vale (Brésil) - San Martinho (Brésil) - POET (E-U) - VeraSun (E-U) <u>Ethanol et Biodiesel :</u> <ul style="list-style-type: none"> - ADM (E-U) - Cargill (E-U) - Abengoa (ESP) <u>Biométhane carburant :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Eon (All.) <u>Technologues des voies thermochimiques</u> Choren (All), Andritz (Autriche), Repotec (Autriche), Syntec Biofuel (E-U), Coskata (E-U) <u>Technologues des voies biochimiques des biosciences :</u> Logen (E-U), Novozymes (DAN), Gevo (E-U), Virent (E-U), Solazyme (E-U), Amyris (E-U), Verenum (E-U), L69 (E-U)	<u>Ethanol :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Tereos - Roquette - Ethanol Union <u>Biodiesel :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Diester Industrie - Saria - France Ester - Ineos - Veolia <u>Biométhane carburant:</u> <ul style="list-style-type: none"> - GDF Suez <u>Technologues des voies thermochimiques:</u> <ul style="list-style-type: none"> - IFP EN <u>Technologues des voies biochimiques:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Axens (IFP EN) - Deinove - Global Bioénergies - Biométhodes
Transaction/Mélange /Marketing/ Distribution	Exxon, BP, Shell, Chevron, Petrobras,	Total, Siplec (groupe Leclerc), Carfuel (groupe Carrefour)
Constructeurs / Motoristes/ Utilisateurs Finaux	<u>Transport routier :</u> <ul style="list-style-type: none"> - BMW - General Motors <u>Transport aérien:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Boeing 	<u>Constructeurs automobiles:</u> <ul style="list-style-type: none"> - RENAULT - PSA <u>Constructeurs et compagnies aériennes :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Air France - EADS - Airbus - Dassault



LES PROJETS DE BIOCARBURANTS

AVANCES

Dans le prolongement du Grenelle de l'environnement, le gouvernement soutient les recherches engagées dans les différents procédés de production des biocarburants avancés à savoir les voies biochimiques et les voies thermochimiques.

Sur les voies biochimiques

Projet DEINOL, 2008-2016 (coût 20 M€, aide OSEO: 9 M€)

- Production de bioéthanol par des microorganismes (dénococques)
- Les partenaires : Deinove, Tereos, CNRS, INSA Toulouse

Projet FUTUROL, 2008-2016 (coût 76,4 M€; aide OSEO: 29,9 M€)

- Production de bioéthanol à partir de lignocellulose issue de co-produits agricoles, forestiers ou de biomasse dédiée.
- Les partenaires : Agro industrie recherche et développement (ARD), Confédération générale des betteraviers (CGB), Champagne céréales, IFP EN, Institut national de la recherche agronomique (Inra), Lesaffre Group, Office national des forêts (ONF), Tereos, Total, Unigrains et le Crédit agricole du Nord-Est.

Projet SHAMASH, 2006 (coût 2,8 M€, aide ANR: 0,8 M€)

- Production de biocarburants à partir de microalgues autotrophes
- Les partenaires : INRIA CNRS IFREMER, CIRAD, Valcobio, PSA, EADS IW...

Projet SALINALGUE (coût 6,7 M€, aide FUI 3,4 M€)

- Culture d'une microalgue native à grande échelle en milieu ouvert sur des salines inexploitées en mode « bioraffinerie » (multivalorisation : chimie, énergie)
- Les partenaires : Compagnie du Vent GDF-Suez, IFREMER, Air Liquide...

Sur les voies thermochimiques

Les projets de BtL

Projet BioTFuel à Compiègne 2010-2017, 7 ans, budget 112,7 M€; aides: 33,3 M€

- biodiesel et kérosène de synthèse à partir de résidus agricoles
- Partenaires : CEA, IFP EN, Sofiprotéol, Total

Projet SYNDIESE à partir de biomasse lignocellulosique à Bure-Saudron (Meuse/Haute-Marne) avec utilisation d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau

- Partenaires : CEA, AIR LIQUIDE, CNIM

Projet BTL STRACEL à partir de biomasse lignocellulosique avec le papetier UPM KYMENNE à Strasbourg présenté en mai 2010 au programme européen NER300 (New Entrance Reserve)

Projets bioSNG, biométhane carburant

Projet GAYA (2010, 7 ans, coût 46,5 M€, aides: 18,9 M€)

- Biométhane carburant bioSNG à partir de la gazéification de la biomasse
- Partenaires : GDF-SUEZ et 13 partenaires français (UCFF, CEA, CIRAD,...) et autrichien REPOTEC

Projet Biométhane carburant LILLE-SEQUEDIN (une centaine de bus)

LES CENTRES DE COMPETENCE

Le réseau scientifique et technologique français dans le domaine des biocarburants avancés est important et est complété depuis peu par des Instituts d'Excellence en Energie Décarbonée (IEED).

Deux projets d'IEED ont été récemment déclarés lauréats du premier appel à projet lancé en 2010 dans le cadre des investissements d'avenir : les instituts P.I.V.E.R.T. (Picardie Innovation Enseignement et recherches technologiques) et I.N.D.E.E.D (Institut National pour le Développement des Ecotechnologies et des Energies Décarbonées)

P.I.V.E.R.T. est installé à Compiègne (Picardie), sur le Parc Technologique des rives de l'Oise. Il permettra de mettre en œuvre la recherche, l'expérimentation et la formation dédiée la chimie



du végétal à base de biomasse oléagineuse (colza, tournesol, etc.) et permettra par certains volets notamment sur le prétraitement de la biomasse d'enrichir la connaissance pour la filière biocarburants. Il est notamment porté par l'Université de Technologie de Compiègne (UTC), des industriels et acteurs privés, Sofiprotéol et le pôle IAR (Industries et agro-ressources).

I.N.D.E.E.D est quant à lui installé à Lyon au cœur de la vallée de la chimie et vise notamment à développer de nouveaux procédés pour substituer aux énergies fossiles des énergies renouvelables, notamment à partir de biomasse ainsi qu'à créer de nouveaux produits à partir de matières premières renouvelables. Il est porté par IFP Énergies Nouvelles, Arkema, Rhodia, GDF-Suez, le CNRS, l'Université de Lyon, avec le soutien actif du Grand Lyon et de la Région Rhône-Alpes.

Les autres acteurs positionnés sur recherche et l'innovation, en plus de l'industrie sont :

- Des centres de recherche : IFP EN, INRA, CEA, IFREMER, INRIA, INSA ...
- Des pôles de compétitivité : Tenerrdis, Derbi, Trimatec, IAR (Industries et agro-ressources), Xylofutur, Mer PACA, Capenergies...

Contributeurs : Nadia Boukhetaia, Pascal Blanquet