

Les nouvelles filières biocarburants

Dans le sillage du marché des biocarburants aujourd'hui en plein essor, de nouvelles filières émergent. Les principaux moteurs de leur développement sont l'amélioration de la qualité des produits et l'usage d'un éventail plus large de ressources végétales. Les compagnies pétrolières s'intéressent à ces nouvelles filières qui leur permettent de se différencier sur ce marché à l'avenir très concurrentiel marquant ainsi une évolution importante dans le secteur historiquement dominé par des sociétés issues du monde de l'agroalimentaire.

Il existe aujourd'hui deux grands types de biocarburants (figure 1) : l'éthanol qui est utilisé dans des moteurs de type « essence » et les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) destinés à un usage dans les moteurs de type « diesel ». L'éthanol est le biocarburant dont l'usage est le plus répandu à l'échelle mondiale (cf. fiche « *les biocarburants dans le monde* »). Sa production est pratiquement dix fois plus importante que celle du biodiesel (en 2005, 36 Mt dont 80 % utilisé en tant que carburant contre un peu moins de 4 Mt de biodiesel).

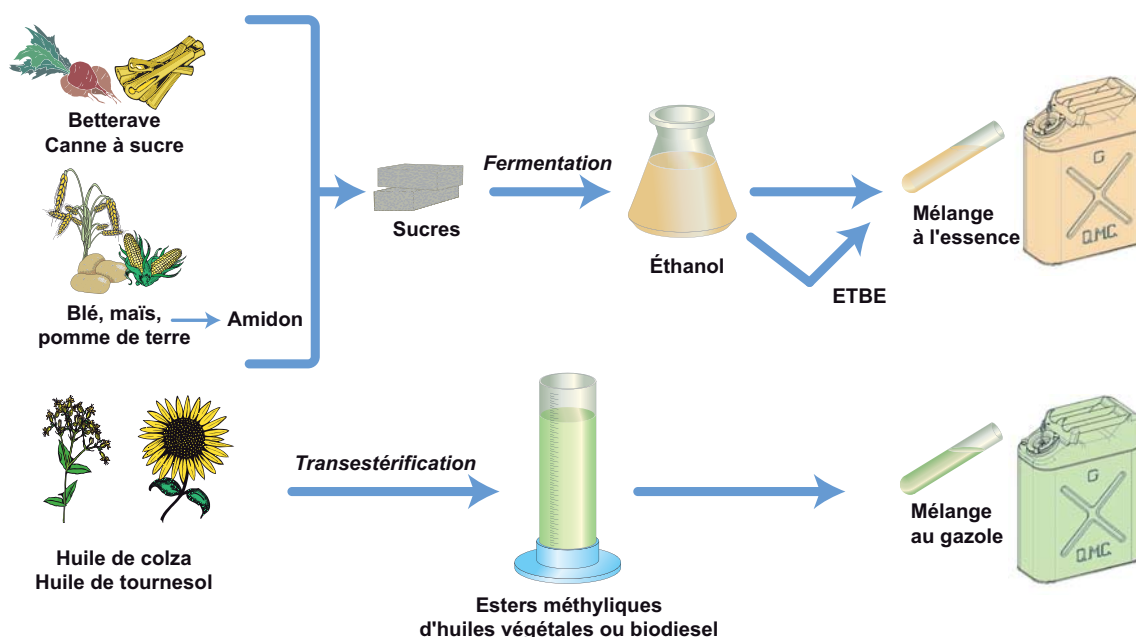
L'éthanol est aujourd'hui produit à partir de deux grands types de cultures (figure 1) : les plantes sucrières (cannes à sucre, betteraves) et les plantes amylacées (blé, maïs). Ces différentes filières passent toutes par une étape de fermentation, qui transforme les sucres en éthanol, et une étape plus ou moins poussée de distillation qui sépare l'alcool de l'eau. Sont également générés des coproduits dont la valorisation

est souvent importante pour la rentabilité des projets. À titre d'exemple, la filière ex-maïs ou blé produit des quantités importantes de drêches (de l'ordre d'un peu plus d'une tonne de drêches par tonne d'éthanol) valorisées sur le marché de l'alimentation animale.

L'éthanol peut être utilisé pur, en mélange ou bien encore sous sa forme d'éther (ETBE), produit par réaction avec de l'isobutène issu des raffineries ou de la pétrochimie. Son usage pur ou à de très fortes concentrations (par exemple 85 % ou E85) nécessite une adaptation spécifique du véhicule (systèmes d'injection, réglages moteur, compatibilité des plastiques et des joints, dispositions spécifiques pour le démarrage à froid pour l'éthanol pur).

Il est plus généralement utilisé à des teneurs plus faibles, comprises entre 5 et 10 %. À ces teneurs, aucune adaptation du moteur n'est nécessaire, même si cet usage peut impliquer certaines difficultés techniques impliquant des adaptations de

Fig. 1

Filières biocarburants de 1^{re} génération

Les nouvelles filières biocarburants

la logistique pétrolière : en présence de traces d'eau à de faibles teneurs en éthanol, les phases essence et alcool peuvent se séparer (phénomène de démixtion) ; l'ajout d'éthanol à de l'essence accroît sa propension à s'évaporer (augmentation de la tension de vapeur). L'utilisation de l'ETBE essentiellement réalisée en Europe supprime ces inconvénients.

Les **EMHV** sont produits à partir d'huiles végétales issues par exemple de colza, de tournesol, de soja ou même de palme. Dans le cas où l'huile provient du broyage de graines (colza, soja, tournesol), un résidu solide (le tourteau) est produit (1 à 1,5 tonne de tourteau/tonne d'huile), réservé à l'alimentation animale. Mal adaptées à l'alimentation directe des moteurs diesel modernes des véhicules particuliers, les huiles végétales doivent être transformées par une réaction de transestérification avec un alcool, aujourd'hui le méthanol, pour produire des esters méthyliques d'huiles végétales et de la glycérine (0,1 t de glycérine/t d'EMHV). Le rôle de la glycérine, un coproduit aujourd'hui incontournable, demeure important dans la rentabilité finale de la filière.

Tout comme l'éthanol, l'EMHV peut être utilisé pur ou en mélange. L'utilisation pure nécessite des adaptations du véhicule. Aujourd'hui, l'EMHV est principalement utilisé en mélange à des teneurs variant de quelques % jusqu'à 30 % en flottes captives.

Les nouvelles filières de production de biocarburants

Dans la même dynamique que les biocarburants de 1^{re} génération, d'autres filières, mobilisant d'autres types de ressources ou utilisant d'autres voies de transformation, apparaissent actuellement avec comme objectif à la fois de diversifier la ressource mais aussi d'améliorer la qualité des produits.

Les filières de la génération « 1bis »

Parmi ces nouvelles générations de biocarburants, on distingue tout d'abord la génération « 1bis » comprenant :

- Les esters méthyliques **d'huile animale**. Il s'agit d'élargir le spectre des matières premières utilisables en valorisant une partie des graisses animales. Le potentiel de ce type de conversion, bien que limité, peut s'avérer pertinent dans certains contextes locaux.
- Les esters éthyliques **d'huile végétale** (EEHV). Cette variante des EMHV utilise, pour la synthèse de l'ester, de l'éthanol à la place du méthanol issu du gaz naturel. Le produit final a des propriétés équivalentes à celles de l'EMHV. Ce produit est principalement envisagé dans deux régions du monde : le Brésil et l'Europe. Au Brésil, cette filière, en phase de développement, bénéficie d'une large disponibilité d'éthanol peu cher. En Europe, il s'agit surtout

d'arriver à introduire de l'éthanol dans le pool gazole. Le marché européen des carburants est en effet caractérisé par une forte demande en gazole, qui pourrait encore s'accroître dans le futur. Le développement des biocarburants en Europe implique donc le développement marqué de la filière EMHV. Mais la logique d'optimisation des surfaces mobilisées pour la production de biocarburants pousse au développement de l'éthanol (meilleur rendement à l'hectare). La tentation d'introduire de l'éthanol dans le gazole est donc forte. L'éthanol n'étant pas soluble dans le gazole et ne possédant pas les bonnes propriétés physiques pour être utilisé directement dans un moteur « diesel », l'EEHV est une voie judicieuse d'utilisation de l'éthanol dans le gazole. Cependant, les quantités d'éthanol mobilisées sont relativement faibles (15 % en masse) et le produit final risque d'être plus cher en Europe que l'EMHV, du fait notamment de contraintes techniques de production et de la différence importante de prix entre l'éthanol et le méthanol (rapport environ d'un facteur 2 en 2006).

- Le diesel de synthèse issu **du traitement à l'hydrogène des huiles végétales (hydrogénation)**. Il existe deux manières de penser cette voie : soit en cotraitement, soit dans une unité dédiée.

En cotraitement, l'huile végétale est mélangée en amont de l'unité d'hydrotraitement à un flux pétrolier, le mélange subissant ensuite le traitement à l'hydrogène. En sortie d'unité, le diesel contient une part de carbone d'origine végétale mais qu'il n'est pas techniquement possible de différencier du carbone d'origine fossile. Cette option a l'avantage de pouvoir faire profiter à la production de biodiesel des effets d'échelles du monde pétrolier. C'est la voie mise en avant par la société nationale brésilienne Petrobras sous le nom H-bio. À noter que d'autres réflexions relevant de la même philosophie visant l'intégration de flux d'origines végétales dans les raffineries en cotraitement ont également fait l'objet de travaux de recherche aux États-Unis. Ces nouvelles options pourraient donner lieu à l'avènement de nouvelles filières (en particulier avec le craquage catalytique (ou FCC) dans les prochaines années par exemple pour la production de bio-essence.

La voie « unité dédiée » a surtout été développée par la société finlandaise Neste Oil. Le produit obtenu, le NexBtL[®], est lui d'origine exclusivement végétale puisque seule de l'huile végétale entre dans l'unité industrielle. Les propriétés du NexBtL[®] comme par exemple un très haut indice de cétane le rendent particulièrement attractif pour une intégration dans le pool des flux entrants dans la composition du gazole. Cette voie pourrait se développer dans les prochaines années. En Europe, au moins quatre unités d'une capacité de production d'environ 200 000 t/an sont en cours de construction ou à l'étude (Finlande : une unité en construction et une seconde unité annoncée ; Autriche et France, une unité

Les nouvelles filières biocarburants

respectivement à l'étude). Cette filière, qui a la particularité de fournir un gazole de très bonne qualité, autorise aussi une certaine souplesse quant au type d'huile végétale utilisée. En effet, contrairement à l'EMHV, dont la norme européenne contraint à l'usage majoritaire d'huile de colza, une grande variété d'huiles peut être utilisée pour la production de bio-diesel NexBtL[®] : huile de palme, de soja voire même graisses animales.

Cette souplesse est très appréciable car les cours de l'huile de colza en Europe sont aujourd'hui particulièrement élevés, conséquence de la forte demande en EMHV : 605 €/t en octobre 2006. À titre de comparaison, les cours actuels de l'huile de palme ou de soja sont significativement moins élevés : de l'ordre de 500 à 520 \$/t en octobre 2006 (soit 400 à 415 €/t). Il faut par ailleurs noter que les sociétés investissant dans ces unités de production de biocarburants d'un nouveau genre sont des compagnies pétrolières intégrées. Il s'agit là d'un fait nouveau : jusqu'à maintenant, les principaux investisseurs dans le secteur des biocarburants étaient majoritairement issus du secteur agroalimentaire.

Il reste à souligner que ces unités nécessitent des investissements importants : à capacité équivalente, ce type d'installations s'avère au moins quatre fois plus onéreux qu'une unité de production d'EMHV¹. Des travaux de recherche demeurent ainsi encore nécessaires pour réduire autant que possible ces coûts. Autre conséquence de ces investissements élevés : la rentabilité de ces technologies est très sensible au prix de la matière première. En d'autres termes, le développement de cette filière pourra être envisagé surtout là où de l'huile bon marché est disponible en quantité suffisante et où la qualité du biocarburant produit (indice de cétane supérieur à 80) pourra être suffisamment valorisée. Ceci pour pouvoir compenser autant que possible les dépenses importantes d'investissements.

– **Le butanol**, sur l'exemple de la collaboration entre BP et Dupont. L'idée motrice pour l'usage du butanol en substitution à l'essence est de profiter de ses propriétés physiques pour contourner les difficultés liées à l'usage de l'éthanol (problème lié à la volatilité ou à son agressivité vis-à-vis de certains plastiques utilisés dans l'industrie automobile). Le biobutanol peut être utilisé en tant que carburant en mélange avec l'essence à hauteur de 10 % du volume sans adaptation du moteur. Dans le futur, le mélange pourrait être augmenté jusqu'à 16 % en volume². Il peut également être utilisé en mélange avec l'éthanol et l'essence voire même le gazole.

(1) pour une unité d'environ 160 000 t/an, un investissement de 100 M€ est nécessaire pour une unité de type NexBtL[®] contre 25 M€ pour une unité de production d'EMHV.

(2) Rappelons néanmoins que pour l'ensemble des filières alcool, le développement de mélanges supérieurs à 5 % devra faire l'objet préalablement en Europe d'une modification des réglementations en vigueur.

L'objectif de l'association BP-Dupont est de réaliser la première utilisation du biobutanol en 2007 en Grande-Bretagne. La société British Sugar fait également partie de ce projet avec le but de réaliser à terme la conversion d'une unité de fermentation d'éthanol en butanol. À noter que BP et Dupont envisagent d'étudier la production de biobutanol à partir d'un nombre important de matières premières : canne à sucre, betterave, blé, maïs et matière lignocellulosique.

La seconde génération de biocarburants

Les filières biocarburants dites de seconde génération peuvent être définies comme étant celles qui utilisent de la biomasse lignocellulosique comme matière première. Le principal avantage de ces filières est qu'elles valorisent la source de carbone renouvelable la plus abondante de notre planète (cf. fiche « ressources »).

Elle est principalement constituée des trois polymères de la paroi cellulaire végétale : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Ceux-ci sont présents en proportions variables selon la plante considérée (cf. tableau 1).

Tableau 1
Composition de la biomasse lignocellulosique

Biomasse	Lignine (%)	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)
Bois tendre	27-30	35-42	20-30
Bois dur	20-25	40-50	20-25
Paille de blé	15-20	30-43	20-27

D'autres éléments minoritaires (inorganiques, silice, etc.) complètent cette composition dans des proportions de 5 à 15 %.

Ces trois polymères sont étroitement associés entre eux dans les différentes couches de la paroi formant ainsi une matrice rigide difficile à déstructurer.

Deux filières sont essentiellement envisagées aujourd'hui : une voie visant **la production de carburant gazole et de kérosène (la filière BtL)** ; une voie visant **la production d'éthanol (qui est un substitut de l'essence et à ce titre peut être perçu comme une bio-essence)**.

La filière BtL

La filière BtL, en anglais Biomass to Liquid, est une voie dite « thermo-chimique » qui comporte une succession d'opérations visant à produire un carburant de synthèse liquide à partir de la biomasse. Elle comporte trois grandes étapes : le conditionnement de la biomasse, la gazéification et le traitement du gaz de synthèse, et la synthèse du carburant.

Certaines de ces opérations ont déjà été éprouvées dans un contexte industriel dans des projets utilisant comme matière

Les nouvelles filières biocarburants

première du gaz naturel (GtL) ou du charbon (CtL). Cette dernière filière a, en particulier, été utilisée pour contourner les difficultés d'approvisionnement en pétrole pendant la seconde guerre mondiale en Allemagne ou durant l'embargo du régime de l'apartheid en Afrique du Sud.

- *Le conditionnement de la biomasse*

La première étape de conditionnement de la biomasse a pour objectif de transformer la ressource végétale en un matériau homogène et injectable dans un gazéifieur. Il s'agit, le plus souvent, de transformations thermiques et mécaniques. On distingue deux voies principales : **la pyrolyse et la torréfaction**.

Le principe de **la pyrolyse** est d'utiliser l'action de la chaleur pour décomposer la biomasse en trois phases : une phase solide (charbon), une phase liquide (bio-huile) et une phase gazeuse (principalement dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, hydrogène et méthane).

La répartition entre ces trois phases dépend des conditions opératoires (température, vitesse de chauffe et temps de séjour).

Contrairement à la pyrolyse lente qui est la plus connue et qui conduit à la production d'un solide (le charbon de bois), la pyrolyse rapide (température de 500 °C pour un temps de séjour de quelques secondes), qui est la voie envisagée dans le cadre de la filière BtL, produit majoritairement du liquide (une bio-huile) avec des quantités plus ou moins grandes de charbon.

Ces bio-huiles, d'un aspect visuel comparable à celui du pétrole, en sont, en fait, très différentes : elles contiennent plusieurs centaines de composés chimiques dans des proportions très variables, notamment des phénols, sucres, alcools, acides organiques et des composés aromatiques. Elles présentent la particularité de n'être miscibles avec aucun produit pétrolier. Ce sont ces huiles qui sont ensuite introduites directement dans le gazéifieur.

À noter que des recherches sont menées pour essayer de convertir directement ces huiles en carburants par des traitements à l'hydrogène. Cette voie directe, même si elle est séduisante, paraît difficile à mettre en œuvre notamment au regard des quantités d'hydrogène nécessaires et surtout de la nature chimique entrant dans la composition des bio-huiles produites, qui est très éloignée de celle des carburants automobiles classiques.

La seconde voie envisagée pour le prétraitement de la biomasse est **la torréfaction**. La torréfaction du bois a fait l'objet de nombreux travaux depuis les années 80 notamment parce que ces traitements donnent une très bonne résistance aux attaques de champignons et de certains insectes. Mais elle confère également au bois une moins bonne résistance mécanique. C'est cette particularité qui est utilisée dans le cadre des filières BtL : la torréfaction permet un broyage du bois plus

facile qui présente un intérêt pour obtenir un solide finement divisé adapté à certaines technologies de gazéification.

La torréfaction peut être assimilée à un séchage ultime jusqu'à une température comprise entre 240 °C et 300 °C avec un temps de séjour pouvant aller jusqu'à une heure. S'effectuant à des températures beaucoup plus basses que la pyrolyse, cette opération est donc un processus beaucoup moins exigeant en énergie.

- *La gazéification et le traitement du gaz de synthèse*

À la différence de la pyrolyse qui est réalisée en l'absence de gaz de réaction, la gazéification est une opération thermique qui s'effectue en présence d'un réactif gazeux (vapeur d'eau, oxygène) et produit un gaz dit de synthèse contenant principalement de l'hydrogène et du monoxyde de carbone. Il contient aussi des impuretés carbonées ou inorganiques et d'autres gaz. Le mélange ainsi obtenu est aujourd'hui utilisé industriellement en combustion dans les centrales électriques au charbon (ou IGCC : *Integrated Gaseification Combined Cycle*). Un tel mélange fût autrefois également utilisé pour la traction automobile : c'était le fameux gazogène ou gaz à l'eau.

Dans le cadre d'une filière BtL, qui a pour objectif de produire du carburant liquide, les contraintes sur la composition du gaz de synthèse sont plus exigeantes que pour la combustion directe. La production maximum de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂) est recherchée mais avec un ratio H₂/CO adapté à la synthèse de carburant (rapport d'environ 2). Il faut de plus éliminer les impuretés qui sont des poisons pour le catalyseur utilisé dans l'étape de synthèse Fischer-Tropsch. Pour ce faire, la gazéification de la biomasse se fait en général à très haute température (1 200 °C à 1 300 °C) et est suivie de différentes étapes de purification du gaz de synthèse.

Au cours de ces différentes opérations, de grandes quantités de CO₂ sont générées, notamment en combustion pour apporter la chaleur au procédé. Elles sont autant de pertes en carbone non converties en carburant. C'est l'explication principale du faible rendement massique en carburant (< 20 %). Ce rendement pourrait être augmenté par un apport d'énergie extérieure, par exemple électrique, et/ou un appoint d'hydrogène, solution proposée en France par le CEA en liaison avec l'IFP. Le rendement énergétique global de la filière est dans ces dernières options affecté et détérioré (division par 2) au bénéfice du rendement massique ou carbone.

Aucune technologie spécifique de gazéification de la biomasse n'est aujourd'hui arrivée au stade industriel. L'essentiel des solutions proposées sont en fait issues des technologies utilisées au stade industriel pour le gaz naturel, le charbon ou le pétrole.

- *La synthèse du carburant*

La réaction mise en œuvre plus connue sous le terme de synthèse Fischer-Tropsch, du nom de deux chimistes allemands

Les nouvelles filières biocarburants

qui l'inventèrent dans les années 1920, permet de produire de l'essence, du gazole et du kérosène à partir du gaz de synthèse issu de la gazéification.

Cette réaction chimique nécessite l'utilisation de catalyseurs. Deux types de catalyseurs sont possibles soit à base de fer, soit à base de cobalt. En présence d'un catalyseur à base de fer, la réaction Fischer-Tropsch est surtout orientée vers la production d'essence. En présence d'un catalyseur à base de cobalt, la synthèse produit des bases pour gazole et kérosène. Les produits ainsi obtenus ne contiennent ni soufre, ni azote, ni aromatiques.

Le gazole possède un indice de cétane de l'ordre de 70 très supérieur à celui exigé par les normes (~ 50). C'est donc un carburant de très grande qualité pour les véhicules, très apprécié des constructeurs automobiles. Son emploi permet, en outre, de réduire les émissions de polluants par rapport à un gazole classique, notamment de particules.

Il existe plusieurs technologies Fischer-Tropsch dont certaines sont arrivées au stade industriel ou de la démonstration (Sasol, Shell, Statoil, Exxon, BP, Conoco, Rentech, IFP/ENI, Syntroleum).

La production d'éthanol ex-matières lignocellulosiques

Les différentes étapes conduisant à la production d'éthanol à partir de matériaux lignocellulosiques sont proches de celles pratiquées sur le maïs ou le blé.

Elles comprennent les étapes suivantes :

- préparation de la matière première ;
- conversion de la cellulose en glucose (sucre) ;
- fermentation des sucres en éthanol ;
- distillation et purification finale de l'éthanol.

Seules les deux premières étapes sont spécifiques à cette filière dite de 2^e génération : ce seront donc les seules décrites ci-dessous.

• La préparation de la matière première

Deux voies sont actuellement envisagées pour la préparation de la matière première qui intervient toujours après une opération de broyage pour la paille ou de découpage en copeaux pour le bois : il s'agit de **l'explosion à la vapeur ou de la cuisson en présence d'acide dilué**. Ces opérations ont pour but de déstructurer la matière lignocellulosique pour permettre l'accès aux parties « sucrées » de la biomasse (c'est-à-dire aux hémicelluloses et à la cellulose), cette dernière étant la seule à pouvoir au final être transformée en éthanol.

Pour l'opération de **cuisson « acide »**, la matière végétale est mise en présence d'un acide (acide sulfurique de préférence) à une température modérée (aux alentours de 150 °C) pendant

15 à 20 minutes environ. Des procédés comprenant une seconde étape à plus haute température (240 °C pendant quelques minutes) ont également été étudiés.

L'explosion à la vapeur consiste à porter le matériau à haute pression (15 à 23 bar) et température (180 à 240 °C) en présence de vapeur d'eau pendant un temps court, puis à pratiquer une détente brutale afin de déstructurer la matrice lignocellulosique. Cette technologie a été développée jusqu'au stade industriel (procédés Stake et Iogen).

À noter que les deux technologies vont peser sur le coût du procédé, notamment en termes d'investissements, car elles nécessitent des équipements résistant à la pression et à des conditions acides corrosives.

• Conversion de la cellulose en glucose

La seconde étape consiste à casser les molécules de cellulose en glucose à l'aide d'enzymes (hydrolyse enzymatique). Cette opération est aujourd'hui très pénalisante sur le plan économique car la quantité d'enzymes nécessaire se situe dans un rapport estimé entre 10 et 100 par rapport à celle des filières traditionnelles (maïs, blé). De nombreux travaux de R&D visent ainsi à améliorer cette conversion par optimisation directe du procédé et un travail spécifique pour augmenter l'activité des enzymes (biologie moléculaire).

Le glucose produit peut ensuite être très classiquement converti par la fermentation en éthanol. À signaler que certains travaux de recherche visent à intégrer en une seule opération l'hydrolyse enzymatique et la fermentation du glucose en éthanol.

Une autre piste pour l'amélioration de la compétitivité de cette filière est l'utilisation des hémicelluloses pour produire de l'éthanol. En effet, aujourd'hui seule la cellulose qui représente au maximum 50 % de la matière lignocellulosique peut générer du glucose : les hémicelluloses contiennent des pentoses, sucres non convertibles en éthanol par les organismes classiquement utilisés en fermentation. Ceci limite bien évidemment la rentabilité de la filière.

* *
*

Les biocarburants de 1^{re} génération entraînent dans leur sillage l'essor de nouvelles filières, en particulier pour accroître les ressources « mobilisables ». Parmi celles-ci, se distinguent celles qui relèvent de l'intégration de flux de matières végétales dans les raffineries, révélatrices d'une

Les nouvelles filières biocarburants

intensification de l'intégration des biocarburants dans le secteur des transports aujourd'hui essentiellement dépendant du pétrole. Ces voies ouvertes par Neste Oil (opérateurs finlandais) et Petrobras (compagnie nationale brésilienne) devraient se développer dans les prochaines années notamment parce qu'elles permettent aux filières biocarburants de bénéficier des économies d'échelles du monde pétrolier. Elles sont également annonciatrices d'une implication plus forte des compagnies pétrolières dans le secteur des biocarburants historiquement dominé par des sociétés issues du secteur de l'agroalimentaire. Enfin, elles permettent aux compagnies pétrolières de tirer de leur connaissance du secteur des transports (qualité des produits) et de leurs technologies un avantage concurrentiel sur le marché des biocarburants. Certaines « major » poussent même l'exercice jusqu'à une implication marquée dans le développement des filières de 2^e génération.

De nombreux travaux de recherches sont menés sur ces filières de 2^e génération, en particulier aux États-Unis et en Europe. L'IFP est d'ailleurs très impliqué dans ces projets tant au niveau national (Plan national de la recherche sur les bio-énergies) qu'au niveau européen (l'IFP est leader du projet NILE³ qui étudie la production d'éthanol à partir de matières lignocellulosiques). Un des objectifs majeurs de ces travaux

est la réduction des coûts de production : aujourd'hui de l'ordre de 1 €/l équivalent pétrole pour les deux filières ; des cibles ambitieuses pour l'horizon 2010-2015 de 0,4 €/l équivalent pétrole pour l'éthanol et 0,7 €/l pour la filière BtL ont été fixées. À plus long terme, certains annoncent même pouvoir atteindre 0,5 €/l équivalent pétrole pour la filière BtL. Pour comparaison, les cours actuels de l'essence et du gazole se situent à 0,32 €/l et 0,37 €/l respectivement avec un baril de pétrole à 60 \$.

Enfin, il faut noter qu'un certain nombre de réflexions sur ces filières de 2^e génération ont été amorcées dans le but de valoriser l'ensemble des coproduits générés. Ceci peut être fait par exemple en intégrant sur un même site industriel la production à partir de matières lignocellulosiques d'éthanol et de carburants BtL. Cette intégration entre une plate-forme « sucre » et une plate-forme « thermochimique » aboutirait à la création d'une bio-raffinerie à même de produire, tout comme les raffineries d'aujourd'hui, du carburant de type essence (l'éthanol), du gazole, du kérosène ainsi que des bases d'origine végétale pour la pétrochimie.

*Stéphane HIS
stephane.his@ifp.fr*

Manuscrit remis le 20 décembre 2006

(3) New Improvement for Ligno-cellulosic Ethanol.