

Les notes de l'OPECST

Numéro 2 - Mai 2008

Les biocarburants

Face à la perspective d'un doublement d'ici 2050 de la demande mondiale d'énergie, alors même que se multiplient les signes de limitation de la croissance de l'offre d'hydrocarbures, diverses sources d'énergie alternative sont envisagées. Dans ce contexte, les biocarburants apparaissent comme une solution complémentaire intéressante, car ils peuvent être produits en quantité significative, à partir de ressources renouvelables, dans des conditions limitant leur impact final sur l'émission de gaz à effet de serre. Les progrès technologiques attendus avec les biocarburants dits de seconde, voire de troisième génération, permettent d'envisager des avantages encore accrus.

Les atouts des biocarburants

Les biocarburants présentent l'intérêt de constituer une **source d'énergie renouvelable**, dont le stock potentiel se reconstitue au rythme de la reproduction des matières végétales ou animales dont ils sont extraits. C'est la raison pour laquelle les biocarburants ont été pris en considération

dès les premiers temps de l'automobile : Nikolaus Otto a conçu en 1876 son moteur à quatre temps pour qu'il fonctionne à l'éthanol, et Rudolf Diesel a fait évoluer le moteur qu'il avait inventé en 1896 pour qu'il fonctionne avec de l'huile d'arachide.

Dans les années 30, la consommation d'essence incorporant une fraction d'alcool était assez répandue en France : cette fraction représentait 6 millions d'hectolitres en 1936, contre 9 millions aujourd'hui pour l'ensemble des biocarburants. Par la suite, dans les années 50, la forte baisse du prix des produits pétroliers a fait disparaître cette pratique.

Par ailleurs, même s'ils tirent leur pouvoir énergétique du carbone, les biocarburants contri-

Q u'est-ce qu'un biocarburant ?

Un biocarburant est un hydrocarbure liquide obtenu à partir de matières premières végétales ou animales, par extraction des chaînes carbonées que ces matières contiennent.

L'expression « biocarburant » est une dénomination officielle utilisée par la loi du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique et entérinée par la commission générale de terminologie et de néologie. Elle coexiste avec d'autres appellations comme « carburant vert », « carburant végétal » ou « agrocarburant », qui sont d'une portée plus restreinte, puisque laissant de côté, par exemple, la production à partir des déchets.

buent à la **lutte contre l'émission de gaz à effet de serre** parce que les matières premières servant à leur fabrication absorbent du gaz carbonique. Les plantes fixent ainsi, grâce à la chlorophylle, environ le sixième du gaz carbonique présent dans l'atmosphère.

Dans le cas des biocarburants produits à partir des matières premières animales, l'absorption du gaz carbonique s'effectue à travers les végétaux dont se sont nourris les animaux.

Les biocarburants contribuent enfin à **l'indépendance énergétique** des pays qui les produisent à partir des matières premières fournies sur leur propre territoire. La capacité de renouvellement des matières pre-



Le sorgho: solution d'avenir

mières joue à cet égard le même rôle qu'un stock stratégique de réserve pour les carburants fossiles.

Les deux filières de biocarburants

Les biocarburants se partagent principalement en deux filières, correspondant aux deux grands types de moteurs à explosion : la filière de l'alcool pour les moteurs à allumage commandé, qui fonctionnent à l'essence, et la filière de l'huile pour les moteurs Diesel à allumage par compression, fonctionnant au gazole.

La filière de l'alcool comprend le bioéthanol et l'ETBE. Le bioéthanol est obtenu par fermentation du sucre extrait des plantes, soit directement, à partir de la betterave sucrière en Europe ou de la canne à sucre sous les tropiques, soit indirectement, par transformation de l'amidon contenu dans les graines de céréales. L'ETBE (Ethyl Tertio Butyl Ether) est le résultat d'une réaction chimique entre l'éthanol et l'isobutène, produit dérivé du raffinage du pétrole.

L'incorporation de bioéthanol ou d'ETBE dans l'essence présente l'avantage d'augmenter l'indice d'octane du carburant, ce qui diminue le risque d'autoallumage qui abîme le moteur à la longue.

La filière de l'huile comprend d'une part, les huiles végétales pures, obtenues en Europe à partir des graines de colza ou de tournesol, et qui peuvent éventuellement être utilisées directement par certains moteurs Diesel dans les pays où cette pratique est autorisée, en Allemagne notamment, et d'autre part, le biogazole ou EMHV (Ester Méthyllique d'Huile Végétale), issu d'une réaction chimique de l'huile végétale avec du méthanol, lui-même fabriqué à partir du méthane ou d'autres hydrocarbures.

L'EMHV présente des caractéristiques chimiques proches du gazole qui permettent son incorporation dans ce carburant sans difficulté et même avec certains avantages techniques, l'EMHV présentant un pouvoir lubrifiant permettant l'économie d'additifs.

À l'échelle mondiale, la production de biocarburants avoisine 1% de la consommation mondiale de pétrole dans les transports. La production de bioéthanol, aux trois quarts réalisée aux Etats-Unis et au Brésil, est dix fois supérieure à celle de biogazole, à 90% d'origine européenne. L'Allemagne produit à elle seule autant de biodiesel que le reste de l'Europe.

Un cadre politique encourageant

Ces avantages ont incité les pouvoirs publics, partout dans le monde, à développer l'utilisation des biocarburants. Aux États-Unis, la politique fédérale repose sur des objectifs nationaux de consommation, sur des subventions au prix à la pompe, et sur des aides directes aux producteurs. Au Brésil, l'obligation d'incorporer un minimum d'éthanol dans l'essence se combine avec une subvention au prix à la pompe, et des aides à l'achat des véhicules pouvant fonctionner avec de l'éthanol pur ou en mélange (Fuel Flexible).

Dans l'Union européenne, la directive 2003/30/CE du 8 mai 2003 visant à promouvoir l'utilisation de biocarburants a imposé aux États membres une part minimale de biocarburants, en teneur énergétique, dans la quantité totale d'essence et de gazole mise en vente sur leur marché : 2% en 2005 et 5,75% en 2010. La Commission européenne, dans sa proposition de directive de janvier 2008 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, cible un taux de 10% en 2020. L'article 4 de la loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique a prévu pour la France des objectifs plus ambitieux encore, renforcés par l'article 48 de la loi du

5 janvier 2006 d'orientation agricole : 5,75% en 2008, 7% en 2010, 10% en 2015.

En ce qui concerne les dispositifs fiscaux, les biocarburants bénéficient en France depuis 1992 d'une exonération partielle de taxe intérieure de consommation sur les produits pétroliers (TIPP). En outre, une taxation des distributeurs de carburants n'atteignant pas les objectifs d'incorporation (taxe générale sur les activités polluantes - TGAP) a été mise en place en 2005. Quant à l'utilisation des huiles végétales pures, elle bénéficie d'une détaxation totale dans les cas où elle est autorisée.

Les conditions technologiques de production des biocarburants évoluent très rapidement, si bien qu'on distingue déjà une première et une deuxième générations de biocarburants, une troisième génération étant même parfois évoquée.

Les limites de la première génération

La première génération correspond à une fabrication directe à partir des productions agricoles. Sa mise en oeuvre soulève trois problèmes :

– une concurrence potentielle quant à l'utilisation des terres cultivables entre les productions alimentaires et les productions énergétiques. Cette difficulté se pose dans des termes très différents selon les pays. En Europe, le développement des biocarburants a été conçu dans la perspective d'une valorisation des jachères ; mais d'autres pays ayant opté pour des stratégies de soutien plus ouvertes, comme les Etats-Unis et le Brésil, ont été confrontés au trop grand succès de celles-ci à la faveur de la montée continue du prix du pétrole. À l'échelle de la planète, le dilemme paraît d'autant plus difficile à surmonter que la croissance démographique et le développement économique créent des besoins nouveaux tout à la fois en alimentation et en énergie ; la recherche d'une voie de sortie impose, à tout le moins, une avancée technologique permettant des productions à rendement beaucoup plus élevé ;



Usine de fabrication d'éthanol

– le bilan énergétique des productions de première génération tangente l'équilibre, surtout pour la filière de l'alcool. Il dépend largement de la manière d'évaluer l'économie en énergie fossile représentée par l'utilisation des résidus agricoles, affectés à la nourriture animale ;

– le bilan en termes d'émission de gaz à effet de serre apparaît moins favorable avec la prise en compte des conditions de production et de distribution. On a pu

ainsi incriminer, outre les éventuelles déforestations suscitées par la recherche de terres agricoles nouvelles, ou les libérations de gaz carbonique opérées par les sols s'adaptant à un changement des cultures, l'impact négatif de l'usage d'engrais azotés émettant du protoxyde d'azote, et les rejets inhérents à toute transformation industrielle. En outre, tous les intrants de la production puis de la distribution des biocarburants, jusqu'à l'énergie assurant le maintien de la force de travail des employés du secteur, génèrent eux-mêmes des émissions additionnelles de gaz carbonique ; des études convergentes, distinguant les espèces agricoles utilisées, semblent indiquer que la filière de l'alcool se trouve moins bien placée que la filière de l'huile.

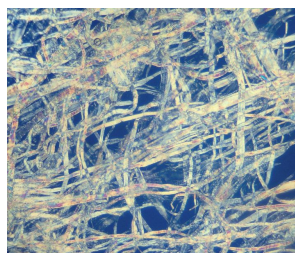
Les avancées de la deuxième génération

La deuxième génération des biocarburants est censée mieux prendre en compte ces difficultés, selon trois axes d'évolution :

–la recherche de **sources à rendement plus élevé**, pouvant être exploitées avec moins d'empiètement sur le domaine agricole vivrier : il peut s'agir de taillis à courte rotation (peuplier en Europe, *Jatropha curcas* en zone aride) ou de plantes herbacées annuelles (le sorgho à fibres) ; beaucoup d'espairs sont mis dans des algues potentiellement très riches en huile. Les déchets constituent aussi une source potentielle de biomasse non concurrente de l'alimentation : des usines assurent déjà le recyclage en biogazole du petit lait, des graisses animales, ou des huiles de friture usagées ;

–une **utilisation plus efficace des sources**, en visant à en tirer jusqu'au bout toute la teneur énergétique : l'extraction du biocarburant à partir de la graine ou de la pulpe peut être ainsi combinée avec le recyclage des déchets de la plante pour la fourniture de l'énergie nécessaire à cette extraction ; la prise en compte de ce recyclage des déchets améliore substantiellement le bilan en termes d'émission de gaz à effet de serre, dans la mesure où elle remplace les combustibles fossiles, au niveau des intrants, par des combustibles ayant préalablement absorbé du gaz carbonique ; c'est déjà l'approche utilisée au Brésil pour la production d'éthanol ;

–la mobilisation de **technologies d'extraction elles-mêmes plus efficaces** : il s'agit notamment d'effectuer la transformation sur la biomasse, indépendamment de son origine végétale ou organique. Cela vise en particulier les sources riches en lignocellulose (paille, tiges, troncs), y compris sous forme de déchets (copeaux). On parle de transformation BTL



Cellulose vue au microscope

(*Biomass to Liquid*), qui prend des voies différentes, thermo-chimique ou biochimique, selon que la dégradation de la biomasse est faite par des enzymes ou par voie chimique.

➤L'obtention de biogazole passe par une étape de *gazéification*, puis par la transformation du gaz de synthèse obtenu en une cire, *via* le procédé Fischer-Tropsch, du nom des deux ingénieurs allemands qui ont mis au point le procédé en 1920 ; une dernière étape soumet alors cette cire à un procédé d'hydrocraquage^(*) pour obtenir du biogazole. Une autre méthode thermo-chimique produit directement de l'huile par *pyrolyse* (destruction par la chaleur), cette huile étant ensuite raffinée pour extraire le biogazole.

➤L'obtention de bioéthanol peut utiliser la voie biochimique d'une *hydrolyse enzymatique* d'abord pour extraire la cellulose de sa matrice de lignine, substance chargée de rigidifier les extraits végétaux composant la biomasse, puis pour décomposer la cellulose en sucres simples, similaires à ceux des betteraves, pouvant alors être directement transformés par fermentation en alcool. Des recherches étudient à cet effet les propriétés des enzymes de certains champignons filamenteux qui vivent fixés aux troncs des arbres.

Ces trois axes d'évolution peuvent être poursuivis parallèlement ou cumuler leurs avantages. Ainsi, le développement d'une filière de biogazole à partir d'algues, recyclant efficacement les déchets en combustibles, peut tout à fait coexister avec la mise en place d'une chaîne BTL de production à partir de taillis robustes.

L'ambivalence du concept de troisième génération

Les deux premiers axes d'évolution, à savoir le recours à de nouvelles sources végétales ou animales, ou leur utilisation plus complète par recyclage des résidus en combustibles, correspondent à un perfectionnement des procédés de fabrication des biocarburants de première génération. Ils commencent déjà à faire l'objet d'une mise en œuvre industrielle à travers le déploiement des nouvelles capacités de production.

En revanche, **la transformation BTL correspond à un véritable saut technologique**, et suppose encore des recherches pour rendre possible son

^(*) L'hydrocraquage est une opération chimique, réalisée sous pression d'hydrogène, permettant de scinder les longues chaînes moléculaires des hydrocarbures lourds pour obtenir des hydrocarbures plus légers.

exploitation industrielle à grande échelle. En France, ces recherches sont conduites au sein du « Programme national de recherche sur les bioénergies » (PNRB) lancé en 2005 par l'Agence nationale de la recherche, délégué à l'ADEME, et mobilisant principalement l'IFP et le CEA ; leur enjeu aujourd'hui consiste à parvenir à construire et faire fonctionner des installations pilotes.

Ces recherches ont une perspective d'aboutissement à des horizons relativement éloignés. Ainsi, le procédé thermo-chimique de production du biogazole par gazéification de la biomasse pourrait donner jour à une exploitation industrielle à un niveau significatif vers 2020, alors que l'obtention à grande échelle de bioéthanol par hydrolyse enzymatique, déjà possible aujourd'hui, nécessiterait un délai plus long encore pour en abaisser les coûts. D'où la tentation de certains analystes de renvoyer ces filières du BTL à une perspective de biocarburants de **troisième génération**.

Un appoint énergétique

Une substitution intégrale des biocarburants aux carburants fossiles n'est pas envisageable, en premier lieu parce que les procédés de production, même de deuxième génération, ne permettront jamais d'atteindre en quantité les volumes nécessaires. D'autre part, si l'utilisation exclusive d'un biocarburant dans un



moteur n'est pas en théorie impossible, elle se heurte en pratique à diverses difficultés.

- L'allumage à froid est la principale difficulté à laquelle se trouve confronté un **moteur prévu pour fonctionner à l'éthanol**. Depuis 2003, le Brésil démontre pourtant que des automobiles dites « *Flex Fuel* » surmontent cette difficulté, grâce à un dispositif qui injecte un peu d'essence au démarrage. Moyennant cet aménagement, le bioéthanol peut être utilisé comme seul combustible.

En France, des véhicules « *Flex Fuel* » sont disponibles depuis 2006, mais avec un mélange limité à 85% de bioéthanol ; la composition du carburant E85 varie en fait selon la période de l'année, pour ajuster la quantité d'essence au besoin de l'allumage à froid.

Dans un moteur classique, le bioéthanol ne peut être utilisé qu'en adjuvant de l'essence, car l'incorporation d'alcool soulève diverses difficultés liées notamment à l'accroissement de la volatilité et au risque de démixtion (séparation des phases essence et alcool) en présence d'humidité. Les tests montrent que le fonctionnement du moteur reste normal jusqu'à un taux d'incorporation de 10%, qui a cours aux États-Unis ; dans la Communauté européenne, ce taux est limité par la directive 98/70/CE du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants Diesel, à 5% pour le bioéthanol (*) et à 15% pour l'ETBE ; en France, la proportion effectivement incorporée varie entre 2% et 5%.

• Le besoin d'une adaptation est moindre pour le **fonctionnement d'un moteur Diesel avec du biogazole**. La principale difficulté en ce cas est l'encrassement, qui dépend de la qualité de l'huile. L'Allemagne autorise l'usage comme carburants des huiles végétales pures, sous la seule responsabilité des propriétaires de véhicules. En France, l'article 49 de la loi du 5 janvier 2006 d'orientation agricole, autorise, à compter du 1^{er} janvier 2007, la vente d'huile végétale pure en vue de son utilisation comme carburant agricole ou pour l'avitaillement des navires de pêche professionnelle.

En pratique, l'huile végétale, sous la forme de l'EMHV, est surtout consommée en incorporation dans le gazole, dans une proportion que la norme européenne EN590 limite à 5%.

Un cap stratégique clair

Même comme appoint énergétique, les biocarburants vont jouer un rôle essentiel dans l'ajustement à l'accroissement de la demande mondiale d'énergie. Cependant, les tensions sur l'approvisionnement alimentaire, de même que l'attention portée aux risques de pollution, d'épuisement des ressources en eau ou d'atteinte à la biodiversité, montrent l'absolue priorité du développement des filières de deuxième génération.

La présente synthèse dresse un état des lieux, point de départ d'une démarche d'analyse appelant à des investigations plus approfondies. L'OPECST assurera en tout état de cause un suivi des évolutions dans ce domaine, notamment dans le cadre de la mission d'évaluation que la loi du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique lui a confiée sur la stratégie nationale de la recherche en matière énergétique.

(*) Cette directive est en cours de révision depuis 2007. La Commission propose de porter ce taux à 10 %.