N° 21 - juin 2008

Scarabée

Bulletin de liaison du réseau
des experts de l'énergie décentralisée

• Entretien
Crise alimentaire et biocarburants : une problématique globale

• Glossaire
Des mots pour le dire

• Développement durable
Biocarburants : comment les rendre durables

• Recherche appliquée
Optimiser la première génération

• Petit inventaire
Le nouvel herbier des biocarburants

• Prospective
Gazéification de la biomasse : une filière à construire

Voie enzymatique : dans les pas de l'Amérique du Nord

• Actualités
PEPSE : vers des programmes d'ERD d'envergure à Madagascar

RESIREA : premières études sur les rails

PROVEN partage les savoirs et forme les intervenants de l'ERD

Numéro spécial recherche biocarburant

FONDATION ÉNERGIES POUR LE MONDE

Éditorial

Biocarburants ou ressource alimentaire ?

Nul n'en doute : les biocarburants sont au cœur d'enjeux écologiques et économiques fort complexes. Montrés du doigt ici, car ils seraient accusés d'une responsabilité dans la crise alimentaire ; interrogés là, car ils manqueraient de résultats probants en matière de durabilité..., les biocarburants font débat.

Pour en comprendre les enjeux, la Fondation Énergies pour le Monde, en partenariat avec l'Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies d'Ile-de-France (Arene IDF), vous propose ce numéro spécial de Scarabée.

Nous avons interrogé des experts sur cette compétition entre la surface allouée à l'alimentation et celle utilisée pour la recherche d'une alternative à l'énergie d'origine fossile. Est-ce inéluctable et réellement raisonnable, compte tenu de l'expansion démographique attendue ? Le biocarburant de première génération est-il soluble dans le développement durable ? Ou faudra-t-il attendre les résultats des recherches sur la seconde, voire la troisième génération ? Allons-nous demain porter un regard différent sur le jatropha, le saule, le miscanthus, et autre fétuque ?

Autant de thèmes abordés dans ce numéro spécial de Scarabée, avec la nuance qui s'impose pour aborder une controverse, et la précision nécessaire à la prise de décisions durables.

Bonne lecture.

Claude Bassin-Carlier, Directeur de l'Arene IDF
Yves Maigne, Directeur d'Énergies pour le Monde

Photo de couverture :
Vue d'une partie d'un plan de jatropha (voir page 7).
Crédit : Centre wallon de Recherches agronomiques.

Scarabée n° 21 : Numéro spécial sur la recherche biocarburant : un dossier réalisé par la rédaction de la revue *Systèmes Solaires, le Journal des Énergies Renouvelables.*

Éditeur
Observ'ER
Observatoire des énergies renouvelables

Tél. : 33 (0)1 44 18 00 80 – Fax : 33 (0)1 44 18 00 36
E-mail : observ.er@energies-renouvelables.org
Directeur de la publication : Alain Liébard
Rédacteur en chef : Yves-Bruno Civel

Impression : Imprimeries Epel Industrie Graphique - Dépôt légal : 2e trimestre 2008

Sommaire

Dossier spécial recherche biocarburant

Entretien
Crise alimentaire et biocarburants : une problématique globale 2

Glossaire
Des mots pour le dire 4

Développement durable
Biocarburants : comment les rendre durables 6

Recherche appliquée
Optimiser la première génération 9

Petit inventaire
Le nouvel herbier des biocarburants 12

Prospective
Gazéification de la biomasse : une filière à construire 16

Voie enzymatique : dans les pas de l'Amérique du Nord 19

Actualités

PEPSE : vers des programmes d'ERD d'envergure à Madagascar 24

RESIREA : premières études sur les rails 24

PROVEN partage les savoirs 24

INRA

CRISE ALIMENTAIRE ET BIOCARBURANTS :

UNE PROBLÉMATIQUE GLOBALE

PROPOS RECUEILLIS PAR NOLWENN LE JANNIC

Entretien avec Hervé Guyomard, directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique, directeur scientifique de l'unité "Société, économie et décision".

Les biocarburants sont actuellement montrés du doigt pour leur rôle dans la crise alimentaire mondiale. Y a-t-il réellement une compétition entre nourriture et biocarburants ?

Hervé Guyomard : Il y a effectivement aujourd'hui une tension très forte sur les prix agricoles, mais ce que les médias appellent communément "les émeutes de la faim" viennent davantage d'une difficulté d'accès à la nourriture que d'un problème de disponibilité des denrées alimentaires. Les ressources existent et sont suffisantes, mais le coût élevé des matières premières empêche une partie de la population d'y avoir accès.

Mais qu'est ce qui a conduit à cette augmentation du coût des matières premières ? Les biocarburants en sont-ils responsables ?

Non, les biocarburants ne sont pas à eux seuls responsables de l'envol des cours des céréales. En fait, cette augmentation est la conjonction de plusieurs causes.

Il y a d'abord la tendance générale, due à la croissance économique dans le monde et plus particulièrement en Chine et en Inde. L'urbanisation de ces pays a déstabilisé le marché agricole. Les gens qui quittent les campagnes pour les villes changent par la même occasion leur alimentation et se tournent vers des produits laitiers et des produits carnés. Or pour nourrir les animaux qui fournissent ces produits, il faut des céréales. La demande a donc augmenté.

À cela se sont ajoutés les accidents climatiques des années 2005, 2006 et même 2007. Ces aléas sont connus dans le monde agricole. Cependant, non seulement ils se sont succédé à une rythme soutenu mais ils se sont en plus produits simultanément dans l'hémisphère nord et dans l'hémisphère sud. D'habitude, pour schématiser, quand l'un des hémisphères subit une baisse de production, l'autre peut prendre le relais. On peut maintenant s'interroger pour savoir dans quelle mesure la problématique du changement climatique va induire une occurrence plus forte de succession d'accidents climatiques...

Au même moment, les États-Unis et, plus lentement l'Europe, ont voulu se lancer dans la production de biocarburants. Les États-Unis ont donc d'abord puisé dans leurs stocks, puis ont demandé aux agriculteurs d'étendre la surface consacrée à la culture du maïs. La demande de maïs a donc augmenté, et son prix avec. Le blé, qui sert aussi de substitut au maïs en alimentation animale a donc lui aussi vu son cours évoluer à la hausse. Enfin, la surface allouée à la culture du soja a, dans le même temps, été réduite. Le soja étant devenu une denrée un peu plus rare, son prix a aussi augmenté. Et, par effet "boule de neige", les autres huiles végétales ont suivi.

Les biocarburants ont donc représenté la "goutte d'huile qui a fait déborder le bidon" ?

Aujourd'hui, sur les 2,1 milliards de tonnes de céréales produites chaque année dans le monde, 100 millions (dont 90 millions de tonnes de maïs), sont utilisées pour la fabrication de biocarburants. C'est finalement à la fois beaucoup et peu : cela ne représente que 2 %, mais sur un marché tendu, ces 2 % comptent. On peut donc dire qu'effectivement, même s'ils n'en sont pas la cause première, les biocarburants ont contribué à l'augmentation des cours. En outre, il faut savoir que les stocks de céréales étaient bas. Car, d'un côté, des pays comme la Chine les ont récemment utilisés pour répondre à la demande alimentaire de leur population. Et, de l'autre, certains pays comme en Europe, avaient mis en place une politique de réduction des stocks au début du siècle parce que l'offre était trop grande et la gestion des réserves coûtait trop cher.

Enfin, la spéculation a fait le reste, en accentuant encore la pression sur les prix. Les gens qui souhaitaient investir ont réalisé que les cours étaient plutôt bas, mais qu'il y avait des perspectives de hausse avec l'augmentation de la demande. La crise financière plus globale due aux prêts immobiliers américains a également incité certains investisseurs à revenir vers les "valeurs refuges" que sont les matières premières agricoles.

INRA/Michel Adrian

Le mouvement de fond est donc celui de la croissance économique mondiale. Cette tendance ne pouvait-elle pas être anticipée ?

Si, tout à fait. Les prévisions étaient en effet orientées vers une hausse de la demande et des prix, mais pas autant que celle atteinte par le marché. En effet, les autres facteurs dont nous avons parlé, n'avaient pas, eux, été pris en compte. Quand il y a eu la sécheresse en Australie, qui a vraiment été un facteur important, les analystes ont pensé que les cours allaient augmenter un peu plus que prévu, mais ils pensaient que c'était conjoncturel. En 2007, la spéculation a tout balayé, d'autant que face à l'augmentation du prix du pétrole, les États-Unis ont développé plus rapidement que prévu leur production de biocarburants, puisque plus le prix de l'énergie fossile est élevé, plus il est rentable de transformer en carburant une matière première agricole.

Si, à court terme, la crise alimentaire est liée à un problème d'accès, comment peut-elle être résolue ?

Les prix vont se réajuster à la baisse. Ils ont déjà commencé à diminuer, puisque la spéculation devient moins intéressante. Mais le coût des matières premières agricoles va rester trop élevé pour les pays les plus pauvres, parce que la demande va rester forte. Dans l'immédiat, il faut donc, comme cela a d'ailleurs commencé, mettre en place des systèmes d'aide, qui permettent aux populations de ces pays d'accéder à la nourriture.

Passion Céréales

En 2050, il devrait y avoir neuf milliards d'habitants sur Terre. Sera-t-il alors possible de relever parallèlement les défis alimentaires et énergétiques ?

80 % de l'augmentation de la population aura lieu dans les pays en développement. Il va donc falloir produire plus pour ces pays-là. Si, aujourd'hui, il faut résoudre le problème d'accès, demain il faudra jouer directement sur la production agricole. Il reste des terres cultivables dans certains endroits du monde – Argentine, Brésil, Mozambique, Congo, et dans les pays de l'ex-Union soviétique –, mais elles ne suffiront pas si ne sont pas développées parallèlement des techniques destinées à améliorer le rendement agricole, le stockage et le transport dans ces pays. Sans cela, sur le plan énergétique, il est évident qu'il y aurait vraiment une compétition entre la surface allouée à l'alimentation et celle utilisée pour les biocarburants. Si les biocarburants de première génération sont toujours là...

Les biocarburants de première génération sont donc voués à totalement disparaître ?

Il restera sans doute, en Europe par exemple, une fenêtre pour les biocarburants de première génération à base de colza, de céréales ou de betterave sucrière, mais cet espace sera assez marginal. D'ici 2050, la deuxième génération de biocarburants devra prendre le dessus, parce que leur rendement énergétique et leur bilan environnemental sont meilleurs. Sur ce point, l'augmentation du prix des matières premières agricoles aura au moins eu un "avantage" : elle va sans doute pousser l'effort de recherche et de développement sur les biocarburants de seconde génération. Pourtant, même ces carburants-là ne fourniront qu'une partie de la solution : ils ne suffiront pas à remplacer à eux seuls les énergies fossiles dans le domaine des transports.

GLOSSAIRE

DES MOTS POUR LE DIRE

PAR IDIR ZEBBOUDJ

Plusieurs procédés permettent de produire différents types de biocarburants. De la fermentation à la gazéification, de l'huile végétale au biohydrogène, petit lexique des filières actuelles et de demain.

B

Biocarburant : Selon la directive européenne 2003/30/CE datant du 8 mai 2003, le biocarburant est un carburant liquide ou gazeux obtenu à partir de biomasse, c'est-à-dire de matières organiques végétales et/ou animales.

Bioéthanol/ETBE : Cet alcool éthylique résulte d'une hydrolyse d'amidon et d'une fermentation de sucres, suivi d'une distillation. Il peut être utilisé en mélange direct dans l'essence, mais généralement les pétroliers lui donnent des propriétés plus adaptées à leur outil industriel en le faisant réagir avec de l'isobutylène, un dérivé du pétrole. Il forme alors l'ETBE (éthyl-tertio-butyl-éther), composé à 47 % de bioéthanol et à 53 % d'isobutylène.

Biodiesel/EMHV : Après pressage et raffinage des graines oléagineuses, l'huile est mélangée avec du méthanol, afin de lui donner des propriétés proches du gazole (viscosité, stabilité, etc.) La réaction de 90 % d'huile avec 10 % de méthanol donne 10 % de glycérine et 90 % d'ester méthylique d'huiles végétales (EMHV), plus communément appelé biodiesel.

Biogaz carburant : Issu de la décomposition bactérienne de la fraction fermentescible des déchets ménagers ou d'effluents d'élevage, le biogaz, constitué principalement de méthane, peut être utilisé comme carburant dans des véhicules fonctionnant au GNV (gaz naturel véhicule).

Bioraffinerie : Cette unité industrielle utilise l'intégralité de la biomasse livrée sur site pour produire à la fois des biocarburants, de l'électricité et des produits non-énergétiques tels les solvants, les tensioactifs, les agromatériaux, etc.

Biohydrogène : Ce gaz est produit à partir de biomasse gazéifiée ou directement par des micro-organismes via la fermentation anaérobie ou la photosynthèse. Le biohydrogène peut être valorisé en chaleur et en électricité à l'aide de piles à combustible.

Biomasse lignocellulosique : Ce terme désigne à la fois la biomasse issue de la sylviculture, de l'industrie du bois et de l'agriculture, la lignine étant le constituant principal du bois, et la cellulose un glucide entrant dans la composition des parois des cellules végétales. La biomasse lignocellulosique (bois, pailles, cultures dédiées, etc.) est utilisée pour la production de biocarburants de "deuxième génération".

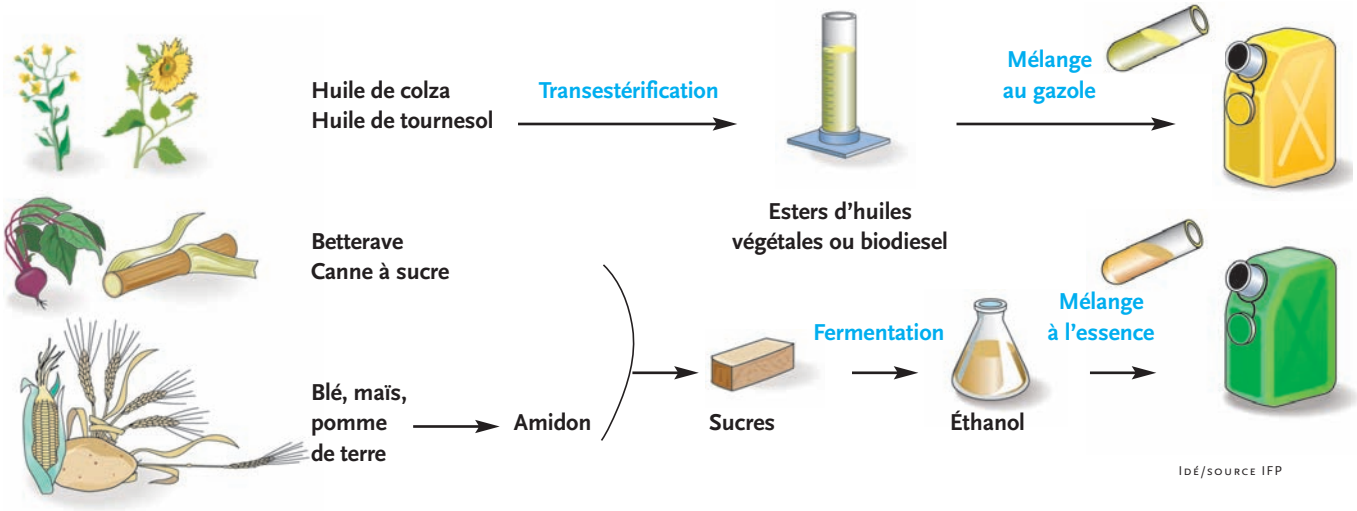
Biomass to liquid (BtL) : Cette voie de synthèse du biodiesel vise à transformer la biomasse lignocellulosique par gazéification à haute température afin d'obtenir un gaz de synthèse, qui sera ensuite transformé en un gazole de synthèse par le procédé "Fischer-Tropsch".

C

Coproduit : Ce sont les autres produits générés lors de la transformation de la biomasse en biocarburants qui peuvent être valorisés. Par exemple, la glycérine, coproduit du biodiesel, peut être utilisée par l'industrie de la cosmétique, de la pharmacie et des savons.

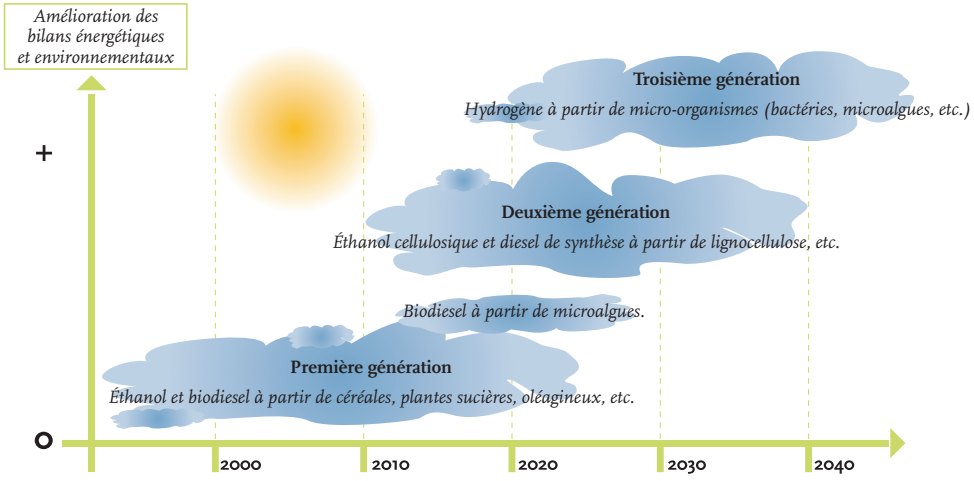
LA FABRICATION DE BIOCARBURANTS

Biocarburants de première génération



IDÉ/SOURCE IFP

LES TROIS GÉNÉRATIONS DE BIOCARBURANTS



D'APRÈS LE PNRB

E

EHV : Cet ester éthylique d'huile végétale est un biodiesel qui diffère de l'EMHV car il utilise de l'éthanol au lieu du méthanol pour la synthèse de l'ester. Cette filière présente l'avantage d'ouvrir un débouché pour l'éthanol dans le gazole, carburant fortement demandé sur le marché européen.

EMHA : À la différence des autres filières de biocarburants, les esters méthyliques d'huile animale (EMHA), comme leur nom l'indique, résultent de la valorisation des graisses animales issues de l'équarrissage de cadavres animaux. Ce biodiesel a un potentiel limité, mais peut s'avérer pertinent dans certains contextes locaux.

F

Fermentation : C'est la transformation de matières organiques sous l'effet d'enzymes produites par des micro-organismes (bactéries, levures). La fermentation des sucres permet d'obtenir de l'éthanol.

Fischer-Tropsch : Ce procédé transforme le gaz de synthèse (composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène) en hydrocarbure liquide. Il met en œuvre des catalyseurs (fer, cobalt...) qui permettent aux atomes de carbone de réagir avec les atomes d'hydrogène. Le produit de cette réaction est une chaîne carbonée se présentant sous la forme d'une cire. Celle-ci devra ensuite subir un procédé d'hydrocraquage : à haute température et sous pression d'hydrogène, la longue chaîne carbonée est "brisée" en chaînes plus petites, l'hydrocarbure .

G

Gazéification : Ce procédé thermochimique consiste à transformer les produits carbonés en gaz combustibles, essentiellement du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. La gazéification s'effectue à des températures de plusieurs centaines de degrés.

H

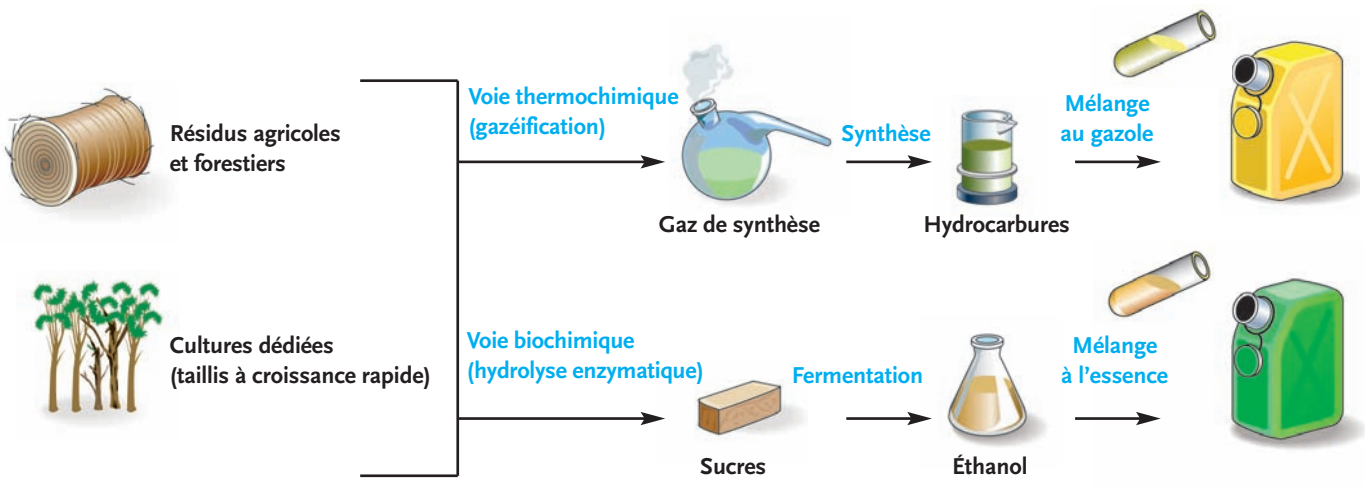
Hydrolyse enzymatique : Cette réaction chimique au cours de laquelle intervient une molécule d'eau, aboutit à la scission d'un composé. La réaction est accélérée par l'action d'une enzyme. Pour les biocarburants, la lignocellulose est hydrolysée en sucres.

HVP : L'huile végétale pure (ou huile végétale brute) est obtenue par le simple pressage de graines oléagineuses comme le colza. Elle a l'avantage de provenir d'une filière courte : la production s'effectue en intégralité dans une exploitation et le rendement énergétique est plus élevé que les biocarburants classiques. Reste que des modifications techniques sont nécessaires pour préserver les moteurs.

T

Transestérification : C'est la réaction chimique entre un acide gras et un alcool. En présence de méthanol, les acides gras des huiles végétales sont transformés en esters méthyliques d'acides gras (biodiesel).

Biocarburants de deuxième génération



BIOCARBURANTS

COMMENT LES RENDRE DURABLES

PAR NOLWENN LE JANNIC

Alors que le développement des biocarburants de première génération est en pleine croissance à travers le monde, leur durabilité fait débat. Producteurs, ONG et institutions cherchent donc des solutions pour un développement plus durable de la filière. Mais la mise en place de critères et de certifications ne se fait pas sans difficultés. De nombreux experts préconisent d'ores et déjà de s'orienter au plus vite vers la deuxième génération.

Présentée le 23 janvier dernier, la proposition de la Commission européenne pour une directive relative à la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables a confirmé l'objectif d'incorporer 10 % minimum de biocarburants dans les transports pour chaque État membre d'ici 2020. Ceci afin d'accroître la sécurité énergétique de l'Europe et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Mais cette ambition ne va pas sans susciter de vives réactions, car les seuls biocarburants pour le moment susceptibles de remplir cet objectif sont ceux qualifiés de "première génération". Ils sont fabriqués à partir d'une partie (grains, graines, racines, tiges...) d'une plante : blé, maïs, canne à sucre, colza, tournesol, palmier à huile...

BILAN CARBONE

Or plusieurs études ont récemment remis en question le bilan environnemental des biocarburants de première génération, notamment au niveau des économies de gaz à effet de serre qu'ils sont censés permettre. Une première publication américaine parue dans la revue scientifique *Science* en janvier révèle que, "en se basant sur un modèle agricole mondial pour estimer les émissions de gaz à effet de serre dues au changement d'utilisation des terres, l'éthanol produit à partir de maïs, au lieu de mener à des économies de 20 %, double presque ces émissions sur 30 ans". Et selon les estimations d'une seconde équipe de recherche (étude également parue dans *Science* en janvier), "convertir les forêts tropicales, les tourbières, les savanes, ou les prairies pour produire des agrocarburants au Brésil, en Asie du Sud-Est et aux États-Unis [relâcherait] 17 à 420 fois plus de CO_2 que la réduction annuelle de gaz à effet de serre que permettrait ces carburants en remplaçant les carburants fossiles".

Au-delà de ces problèmes environnementaux, d'autres préoccupations sont nées de l'expansion des biocarburants. La première concerne les risques de compétition entre culture énergétique et culture alimentaire. Le gouvernement sud-africain a ainsi renoncé en décembre dernier à son objectif de 4,5 % de biocarburants dans sa production d'essence d'ici 2013, car il ne veut pas, pour l'instant, utiliser de maïs pour produire du carburant. En Europe en revanche, la Copa-Cogeca (Union du Comité des organisations professionnelles agricoles de l'UE et de la Confédération générale des coopératives agricoles de

Une étude montre qu'en France, les ressources en terres arables permettent de conjuguer biocarburants et besoins alimentaires.

l'UE) assure que cette compétition n'a pas lieu d'être. « *C'est une pure spéculation en Europe de croire qu'il y a une compétition entre les biocarburants et la nourriture. L'agriculture européenne peut parfaitement subvenir à tous les besoins et même au-delà : les agriculteurs ont besoin du marché des biocarburants* », a expliqué Dietrich Klein, président du groupe de travail "Bioénergie-Biotechnologie" de la Copa-Cogeca, lors d'un congrès mondial sur les biocarburants en mars dernier (World Biofuel Market congress – WBM 2008). Une opinion partagée par l'Office national interprofessionnel des grandes cultures (ONIGC), qui a publié en novembre une étude montrant qu'en France les ressources en terres arables permettent d'atteindre l'objectif d'incorporation de 7 % de biocarburants en 2010, tout en répondant aux besoins alimentaires. Mais les avis sur la question au niveau mondial sont partagés et les organisations internationales impliquées dans la lutte contre la faim tirent la sonnette d'alarme. En juillet 2007, un rapport conjoint de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique) et de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) avertissait déjà : "La progression de la demande de biocarburants entraîne une mutation radicale des marchés agricoles susceptible d'induire une hausse des prix mondiaux de nombreux produits agricoles."

La forêt indonésienne disparaît pour laisser place à des plantations de palmiers à huile.

FRAGILES FORÊTS TROPICALES

Une autre compétition met en jeu les biocarburants de première génération : celle face à l'espace et à la biodiversité. De nombreuses ONG ont ainsi soulevé le problème de la déforestation menée pour trouver des terres où semer des cultures destinées à la production de biocarburants. Le cas le plus flagrant est pour le moment celui des forêts tropicales d'Indonésie qui disparaissent à grande vitesse pour laisser place à des plantations de palmiers à huile. Bien que l'huile de palme ne soit pas uniquement destinée à la production de biocarburants, les associations écologistes montrent du doigt l'objectif européen. Commentant son rapport "Cooking the climate", publié en novembre 2007, Greenpeace explique que, "pour répondre aux besoins croissants du marché européen en biodiesel, il faudrait détruire 15 millions d'hectares de forêts supplémentaires pour mettre en place des cultures de palmiers à huile".

À LA RECHERCHE DE CRITÈRES MESURABLES

Face à toutes ces critiques concernant la durabilité des biocarburants, plusieurs organisations, gouvernementales ou non, tentent de mettre au point des critères de durabilité. L'article 15 de la proposition de directive prévoit ainsi que "la réduction des émissions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de biocarburants [...] [soit] d'au moins 35 %". Un chiffre qui fait débat au sein de l'Union européenne : certains États membres le jugent insuffisant et se prononcent en faveur d'une réduction d'au moins 50 à 60 %. Un consensus visant à fixer dans un premier temps un minimum de 35 %

LE JATROPHA, UNE ALTERNATIVE DE PREMIÈRE GÉNÉRATION

Pour bénéficier de l'avancement des techniques de la première génération en réduisant les problèmes de durabilité, des entreprises, comme les Britanniques D1 Oil ou Fuelstock, se sont tournées vers le jatropha. Cette plante, présente à l'état sauvage dans de nombreux pays tropicaux, possède des propriétés intéressantes pour la fabrication de biodiesel : elle pousse assez rapidement, sur des terrains pauvres, résiste à la sécheresse et « *ses graines, qui contiennent entre 27 et 40 % d'huile, peuvent produire 2 à 3 tonnes d'huile par hectare et par an* », selon Willy De Greef, de D1 Oil. Une étude, publiée en novembre par des chercheurs de l'université catholique de Louvain en Belgique et du Centre mondial de l'agroforesterie, a montré que si le jatropha est cultivé sur des terres superflues ou dégradées, la balance des émissions de gaz à effet de serre est positive et les débouchés socio-économiques favorables. Les pays tropicaux ont donc saisi l'opportunité : l'Inde prévoit par exemple de planter près de 14 millions d'hectares de Jatropha d'ici 2012 et le Zimbabwe étend sa production pour commencer la fabrication de biocarburant à partir de jatropha en 2010.

CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS : GARE AU DÉSTOCKAGE DE CARBONE !

615 milliards de tonnes, c'est, selon l'Inra, la quantité de carbone stockée dans la couche de sol allant de la surface de la planète à 20 cm de profondeur... et elle passe à 2 344 milliards de tonnes si l'inventaire est étendu à 3 m de profondeur. D'après l'Institut, "ces stocks réunis représentent plus que la biomasse et le CO2 atmosphérique combinés". Le rapport de Bio Intelligence Service sur la méthodologie applicable aux biocarburants de première génération détaille ainsi qu'une forêt tropicale stocke en moyenne 187,5 tonnes par hectare dans la biomasse et 60 t/ha dans le sol. Sous un climat tempéré, une prairie stocke environ 6,3 t/ha dans les plantes et 63 t/ha dans le sol ; une culture contient en moyenne 5 t/ha dans les plantes et 46,9 t/ha dans le sol. Lorsqu'on change l'affectation des sols, le déstockage de carbone qui en résulte peut être conséquent. Dans le cas de la conversion d'une prairie vers une culture énergétique, le retour sur investissement en termes d'émissions de gaz à effet de serre sera d'environ 20 ans avec une culture de betterave, 50 ans avec du colza et 200 ans avec du soja. Pour une forêt tropicale, la durée nécessaire pour amortir le déstockage de carbone lié au changement d'affectation des sols pourra atteindre près de 100 ans pour la betterave, voire 200 ans pour le colza et le soja. Un impact à prendre en compte dans le bilan environnemental des biocarburants.

pour l'augmenter par la suite pourrait être établi.

Concernant les critères environnementaux, le texte prévoit également que, pour bénéficier de l'appellation "bio", les carburants ne pourront pas être produits à partir de matières premières "provenant de terres reconnues comme étant de grande valeur en termes de diversité biologique", comme les forêts non perturbées par une activité humaine, les zones affectées à la protection de la nature et les prairies présentant une grande valeur sur le plan de la biodiversité. Mais ces critères sont loin d'être suffisants selon certains pays ou certaines institutions. Par exemple, ils n'intègrent pas la dimension sociale comprise dans les conditions du développement durable. Parmi les critères qu'il serait nécessaire de pouvoir prendre en compte, le WWF (Fonds mondial pour la nature) pointe notamment, côté environnemental, la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable de l'eau, la qualité de l'air et la conservation des sols. Côté social, le WWF souhaite que les droits des travailleurs, la sécurité et la disponibilité de la nourriture, les droits de propriété et le partage des bénéfices soient également pris en compte.

LA 2E GÉNÉRATION SUSCITE BEAUCOUP D'ESPOIRS

Seulement, pour réussir à mesurer tous ces critères et à les faire appliquer à l'échelle mondiale, la tâche n'est pas aisée. D'autant que l'harmonisation des critères de durabilité mis en place par les différentes organisations prendra du temps. Il est peut-être préférable de se tourner le plus rapidement possible vers des alternatives qui ne présenteraient pas les mêmes problèmes de durabilité, comme les biocarburants de seconde génération parmi lesquels on trouve l'éthanol cellulosique ou le diesel de synthèse à partir de lignocellulose. C'est ce que préconise le rapport du projet Refuel, qui a réuni sept instituts de recherche européens dont ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) sur le sujet pendant 2 ans. Selon les experts du groupe, "l'objectif de 10 % de biocarburants d'ici 2020 pourra être atteint avec la production actuelle de biocarburants et des importations modérées. Cependant, la deuxième génération de biocarburants aboutira a de plus grands bénéfices pour le climat" et il est donc urgent de s'appliquer dès que possible à finaliser les techniques de production et à mettre en place des chaînes d'approvisionnement des matières premières. C'est aussi l'une des conclusions en France du Grenelle de l'environnement, à l'issu duquel le Président de la République avait annoncé qu'il fallait que *« la priorité soit donnée au développement des biocarburants de deuxième génération plus pertinents face au défi environnemental et alimentaire »*.

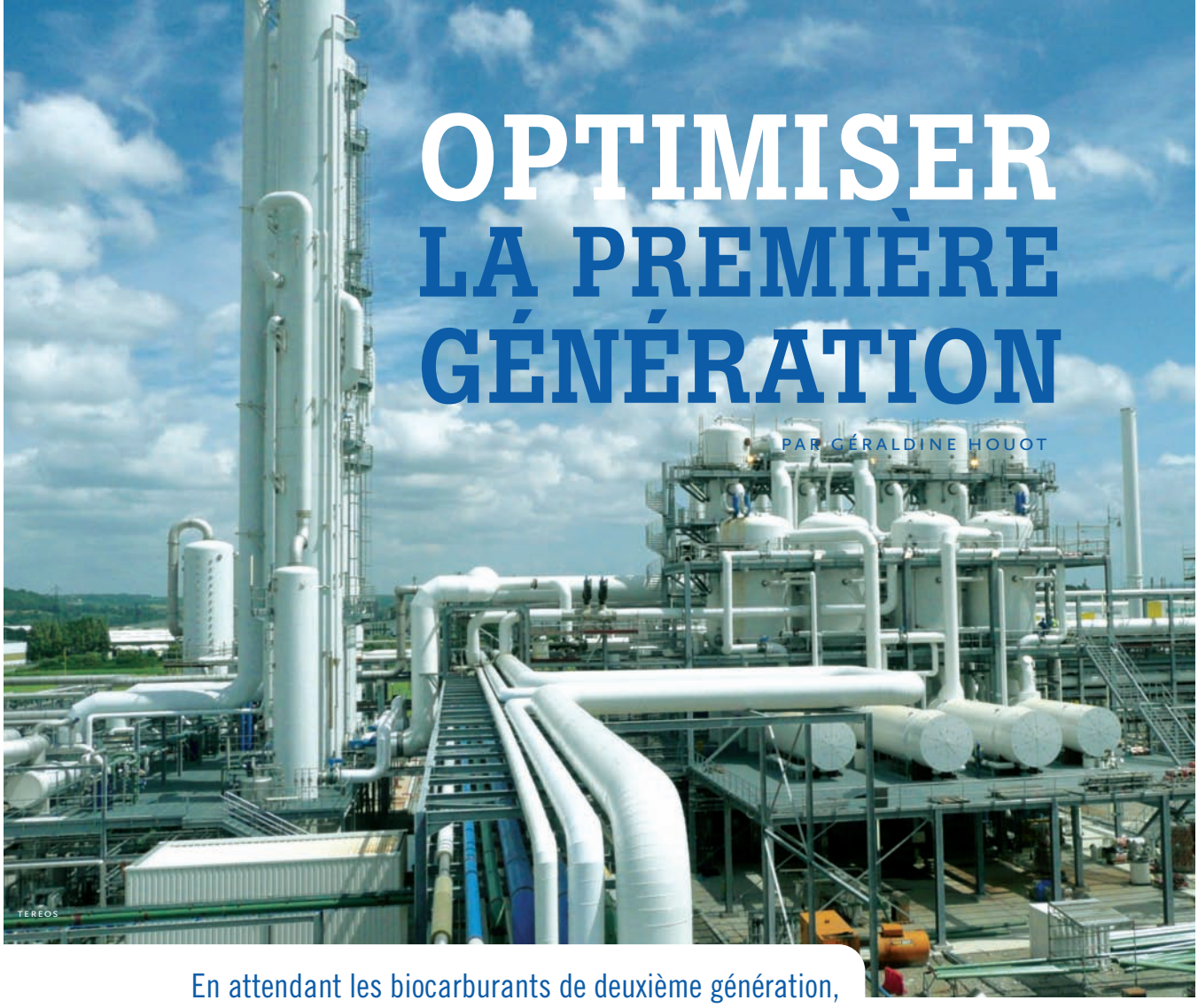
"La seconde génération aboutira à de plus grands bénéfices pour le climat."

Reste donc au marché des biocarburants à s'adapter et à trouver les nouvelles ressources pour poursuivre son développement de façon durable. Lors du WBM 2008, Sandrine Dixson-Declève, directrice de l'International Fuel Quality Center, était optimiste : *« Il y a eu une grosse poussée en avant des biocarburants en Europe et nous sommes actuellement dans une phase de léger recul. Mais c'est justement le bon moment pour se poser des questions et opter pour une direction qui n'était peut-être pas celle que nous avions prise précédemment »*. ■

Plantation de palmiers à huile à Kuala Cenaku (Indonésie).

OPTIMISER LA PREMIÈRE GÉNÉRATION

PAR GÉRALDINE HOUOT



En attendant les biocarburants de deuxième génération, industriels et chercheurs continuent d'améliorer les filières biodiesel et bioéthanol de première génération.

Les taux d'incorporation de biocarburant dans l'essence et le gazole sont actuellement de 1,39 % pour le bioéthanol et 1,77 % pour le biodiesel. La production doit augmenter de façon importante pour atteindre les objectifs français de 2010 fixés à 7 %. Des recherches sont donc menées pour optimiser les biocarburants de première génération, notamment dans le cadre du programme Agrice. Actuellement, les biocarburants commercialisés sont obtenus par des procédés dits de première génération à partir de produits de grandes cultures : plantes sucrières et céréales pour le bioéthanol, la betterave, le blé et le maïs en France ; plantes oléagineuses pour le biodiesel, essentiellement le colza dans l'Hexagone. Le bioéthanol est obtenu par une étape de fermentation, qui transforme les sucres en éthanol, et une étape de distillation qui sépare l'alcool de l'eau. Le biodiesel quant à lui est produit à partir de l'huile extraite des graines après trituration. Les huiles sont transformées par une réaction de transestérification avec un alcool, aujourd'hui le méthanol fossile, en présence d'un catalyseur, pour produire des esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV).

AMÉLIORER LA FILIÈRE BIODIESEL

La priorité est d'améliorer le rendement énergétique de la filière (l'énergie restituée sur l'énergie non renouvelable mobilisée). Pour cela, il est possible d'agir tout au long de la chaîne de production. Au niveau des cultures, des outils d'aide à la décision sont développés pour adapter au mieux les quantités d'engrais et phytosanitaires fournies à la plante. Souvent montrée du doigt, la culture du colza utilise de grandes quantités d'engrais, dont une partie importante est inefficace et génère, lors de sa dégradation, du peroxyde d'azote (N_2O_4) et du dioxyde d'azote (NO_2), des gaz à effet de serre encore plus néfastes que le CO_2. Les industriels essayent de diminuer les fertilisations azotées, d'autant que ces engrais sont coûteux. La logistique peut aussi être optimisée, de même que les procédés de transformation : Sofiproteol travaille notamment à améliorer la trituration des graines dans son pilote industriel installé à Pessac. La société a déposé deux dossiers auprès de la Commission de régulation de l'énergie pour utiliser de la vapeur issue de la combustion de biomasse afin d'alimenter, selon un procédé de cogénération, les usines en électricité.

Concernant la synthèse de l'ester, il est possible d'utiliser de l'éthanol à la place du méthanol fossile. Appelé ester éthylique d'huile végétale (EEHV), le biodiesel ainsi obtenu est moins coûteux

ANTOINE DEVOUARD PROLEA

Georges Vermeersch, directeur Innovation et Prospective chez Sofiproteol.

en matière énergétique. L'entreprise Valagro a notamment mis au point un procédé pour fabriquer de l'EEHV de même qualité que l'EMVH sans perte de productivité. Agréé, il est en cours de développement industriel. « *Une étude réalisée en juillet 2007 a montré que depuis 2002, le rendement énergétique du biodiesel était passé de 2,99 à 3,68* [1]. *Notre objectif est d'atteindre un ratio de 5 d'ici quatre ou cinq ans* », projette Georges Vermeersch, directeur Innovation et Prospective à Sofiproteol.

VALORISER LES COPRODUITS

La deuxième voie d'amélioration concerne la valorisation des coproduits, pour diminuer les coûts de production. La transformation de l'huile en ester fabrique aussi de la glycérine, actuellement utilisée pour la pétrochimie. L'Inra de Toulouse cherche à transformer ce coproduit en molécules pouvant servir de tensioactifs, de solvant, de lubrifiant, de carburant, etc. « *Étant donné le développement mondial de la filière biodiesel, les rejets de glycérine vont devenir tels qu'il est impératif de trouver de nouveaux débouchés* », commente Zéphirin Mouloungui qui mène ces recherches. Après extraction de l'huile, les déchets solides issus de la graine peuvent être valorisés. Riches en protéines, ces « *tourteaux* » sont actuellement utilisés pour nourrir les animaux et diminuer ainsi l'importation de protéines de soja. D'autres débouchés sont à l'étude, pour la fabrication d'agromatériaux ou de tensioactifs à partir des protéines par exemple.
Le rendement de conversion de l'huile extraite de la plante en ester peut aussi être amélioré. Pour ce faire, l'IFP a mis au point un nouveau type de catalyseur baptisé Esterfip-H (lire encadré p. 11). Les chercheurs essayent également de transformer la glycérine en additif pour le gazole et l'essence. Un tout petit pourcentage pourrait être gagné en améliorant les techniques de pressage, d'extraction et de raffinage. « *Cependant, les rendements de récupération et de transformation sont déjà très bons et avoisinent les 95 %. Ce n'est pas à ce niveau-là que l'on peut augmenter le rendement de production d'ester par hectare de façon significative mais plutôt au niveau de l'agriculture, par la génétique* », explique Georges Vermeersch. Il est en effet possible de créer des plantes donnant un rendement plus élevé en les rendant plus résistantes aux maladies par exemple. Mais les semenciers cherchent surtout à augmenter la teneur en huile du colza.

DR

Zéphirin Mouloungui mène des recherches à l'Inra sur la valorisation des coproduits.

AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

Pour cela, ils utilisent des techniques traditionnelles de croisement. L'amélioration des rendements peut aussi passer par les OGM, des organismes génétiquement modifiés (lire encadré ci-dessous). Une voie beaucoup plus polémique pour une filière qui veut garder une image « *verte* ». À ce jour, il n'y a pas de cultures de colza OGM pour les biocarburants en France, mais le Canada entre autre mise beaucoup sur ces techniques pour améliorer ses rendements. L'augmentation de la production de biodiesel à partir du colza semble malgré tout limitée. Les rendements à l'hectare sont bas et les surfaces mobilisables seront vite saturées.

OPTIMISER LA FILIÈRE ÉTHANOL

Pour la filière éthanol, la situation est différente. Les surfaces à mobiliser pour atteindre l'objectif de 2010 représentent un pourcentage faible des sur-

FABIEN KAY - PROLEA

Quelques échantillons (de gauche à droite) : graines de colza, huile brute, tourteau, huile raffinée ou huile alimentaire, diester, et glycérine.

CROISEMENT VERSUS OGM ?

Pour améliorer les plantes, la méthode traditionnelle consiste à réaliser des croisements entre plantes d'une même espèce et sélectionner les individus les plus intéressants. Des techniques plus récentes de biotechnologie visent à apporter de nouvelles caractéristiques qui ne peuvent pas être obtenues par croisement traditionnel : mutations, hybrides, traitements chimiques. Mais, ces techniques sont aléatoires.

Pour agir avec plus de précision, le matériel génétique peut être modifié directement, par transfert d'un gène d'une espèce à une autre. Il devient possible d'incorporer un gène de sorgho, connu pour ses faibles besoins en eau, dans un maïs destiné à la production de biocarburant pour qu'il soit moins gourmand en eau. On obtient alors un organisme génétiquement modifié (OGM). Une voie controversée.

faces potentiellement utilisables. « *Les problèmes de compétition avec l'utilisation alimentaire ne se posent pas* », assure Alain d'Anselme, président du Syndicat national des producteurs d'alcool agricole (SNPAA). Comme pour le biodiesel, la filière cherche surtout à améliorer son rendement énergétique, passé de 2 en 2002 à 3,5 en 2007 [1]. Le groupe Tereos, né en 2003 de la fusion de Beghin-Say, avec l'Union des sucreries et des distilleries agricoles et l'Union des planteurs de betterave à sucre, a ainsi diminué la consommation spécifique en énergie de sa nouvelle unité de Lillebonne (Haute-Normandie) de 40 %.

De plus, la filière cherche à valoriser ses coproduits pour diminuer les coûts de production. C'est dans le domaine des céréales qu'il y a le plus à faire. Aujourd'hui, le son et les protéines récupérés après extraction de l'amidon servent à alimenter le bétail. Des recherches sont en cours pour obtenir un produit plus concentré en protéines, qui pourrait éventuellement aussi servir à l'alimentation humaine. « *Cela montre l'importance de conserver la filière blé même si les rendements sont moindres. On a besoin de protéines* », souligne Bernard Chaud, directeur des projets biocarburants chez Tereos.

L'amélioration des rendements d'éthanol passe par l'augmentation de la quantité de betteraves et d'amidon disponible à l'hectare, grâce surtout à l'amélioration des techniques de culture et la sélection de nouvelles variétés. « *À moins d'avoir un véritable saut technologique, on ne peut pas gagner énormément sur les procédés industriels. Il vaut mieux miser sur les techniques agricoles qui pourraient, en poussant au maximum les rendements de la photosynthèse, multiplier par 4 ou 5 la quantité de produit disponible à l'hectare. Mais il y a des contraintes environnementales à respecter. Tout l'enjeu est de trouver un juste milieu entre performance et préservation de l'environnement* ».

Bernard Chaud, directeur des projets biocarburants chez Tereos.

Aujourd'hui, le son et les protéines récupérés après extraction de l'amidon servent à alimenter le bétail.

Pour les semenciers, trouver des variétés de betteraves plus riches en sucre, avec de meilleurs rendements d'extraction sans augmenter la quantité d'engrais et de produits phytosanitaires nécessaires est une préoccupation constante. Ils utilisent des techniques traditionnelles de sélection et de génomique. Il n'y a pas actuellement en Europe de champs de betteraves, de blé ou de maïs OGM destinés à la production de carburants. En revanche de nombreux travaux de recherche sont en cours, notamment aux États-Unis. Ils concernent avant tout le maïs à l'image de la société Agrivida, start-up créée en 2002 à Cambridge, dans le Massachusetts. Celle-ci promet d'augmenter de 50 % le rendement de la production d'éthanol à l'hectare de maïs cultivé tout en réduisant de plus de 20 % les coûts de transformation, grâce à une plante transgénique. Elle peut être utilisée dans son intégralité pour produire de l'éthanol, alors que les procédés actuels n'exploitent que le grain de maïs. « *En Europe, quoi qu'il en soit, l'amélioration des rendements de production de betteraves ou de blé n'est pas une priorité. Il est beaucoup plus simple pour augmenter la production d'éthanol, d'augmenter le pourcentage de terres cultivées dédiées* », affirme Alain d'Anselme.

LA RECHERCHE SE POURSUIT

Pour maintenir les efforts de R&D encadrés par Agrice de 1994 à 2007, un nouveau programme devrait financer à partir de 2008 les recherches sur les biocarburants de première génération dans 4 directions : intégrer de nouvelles cultures pour les biocarburants et les coproduits, intensifier les procédés de traitement en aval, explorer les substituts possibles aux biocarburants et améliorer les évaluations environnementales et économiques. ■

1 Actualisation de l'étude Ademe/Direm 2002 commanditée par les producteurs.

LES ATOUTS DE L'ESTERFIP-H

Depuis mars 2006, l'usine de Sète de la filiale Diester Industrie de Prolea produit du biodiesel grâce au catalyseur solide Esterfip-H développé par l'IFP et commercialisé par Axens. Substances qui accélèrent la vitesse d'une réaction chimique, les catalyseurs utilisés habituellement lors de la transestérification sont des liquides à base de sodium. Cette catalyse est très efficace mais elle engendre inévitablement de 0,5 à 1,5 % de perte d'huile. Elle complique de plus la séparation des produits obtenus. Si le biodiesel peut être assez facilement isolé, la glycérine, coproduite lors de la réaction, est polluée par les résidus du catalyseur et sa revente nécessite une étape d'épuration. L'utilisation d'un catalyseur solide permet d'éviter ces inconvénients. Le rendement de transformation est amélioré et la glycérine obtenue est utilisable telle quelle à des fins techniques. Le catalyseur n'est plus consommé par la réaction, ce qui réduit sensiblement le coût catalytique. Actuellement, sept autres usines Esterfip-H sont en service ou en construction à travers le monde.

Le nouvel herbier des biocarburants

TEXTE RAPHAËL BALDOS — ILLUSTRATION OUPSS

Quelles plantes seront exploitées pour produire les biocarburants de demain ? Comment les choisir ? Pour répondre à ces questions, plusieurs programmes ont été lancés en Europe et dans le monde. L'enjeu : trouver les espèces les plus productives et les moins consommatrices en eau, en azote, et en intrants chimiques.

Au milieu des champs de betteraves, de blé et de pommes de terre, des espèces exotiques sont apparues dans la campagne picarde. À Estrées-Mons, l'Institut national de recherche agronomique (Inra) étudie, sur 150 hectares, les végétaux appelés à devenir les sources de biomasse pour les biocarburants de deuxième génération. « *Les cultures énergétiques ont des besoins spécifiques,* explique Stéphane Cadoux, ingénieur d'étude à l'Inra. *Nous observons leurs comportements, selon différents modes de culture et de récolte, pour connaître leur potentiel en termes de productivité et de qualité. L'objectif consiste à produire un maximum de matière sèche à l'hectare, tout en nécessitant un minimum d'intrants chimiques.* » Cette démarche s'inscrit dans le cadre du projet REGIX (Référentiel unifié, méthodes et expérimentations en vue d'une meilleure évaluation du gisement potentiel en ressources lignocellulosiques agricole et forestière pour la bioénergie en France) financé dans le cadre du Programme national de recherche sur les bioénergies (PNRB), de 2005 à 2008. « *Le développement des carburants de deuxième génération à partir de biomasse lignocellulosique permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les impacts négatifs sur l'environnement local dus aux pesticides et engrais azotés, en particulier lorsque cette biomasse est produite par des cultures pérennes* », souligne Ghislain Gosse, expert des biocarburants à l'Inra.

Rendement élevé pour le miscanthus

Le miscanthus est l'une des espèces pérennes à l'essai. Également appelée à tort herbe à éléphant, cette graminée hybride originaire d'Asie peut produire 12 à 25 tonnes de matière sèche à l'hectare. Il faut attendre deux ans avant de pouvoir procéder à la première récolte, le rendement est maximal au bout de trois à cinq ans. La première année, le désherbage mécanique ou chimique permet au "miscanthus giganteus" d'installer ses rhizomes, qui produiront de nouvelles tiges aériennes au cours des années suivantes. Les années suivantes, les feuilles tombées au début de l'hiver auront constitué un tapis naturel, empêchant l'apparition d'indésirables. Le miscanthus peut être exploité sur une période d'au moins 25 ans et peut atteindre une hauteur de 4 mètres. De plus, il pousse presque partout. Il craint seulement les températures prolongées à - 10°C. Ses qualités en font une plante très prometteuse pour la fabrication d'éthanol cellulosique. Bical, une société créée par des agriculteurs britanniques, cultive et commercialise déjà du miscanthus, au Royaume-Uni et en France. Mais pour l'instant, ses clients sont des opérateurs de centrales électriques au charbon, ou des cimentiers. Bical rachète les récoltes à un prix garanti par contrat aux agriculteurs, notamment en Bretagne et en région Centre. Par ailleurs, Bical est partenaire du projet Paroifroid de l'Inra, qui vise notamment à évaluer l'acclimatation au froid du miscanthus.

Le jatropha, 2 000 litres d'huile par hectare

L'Inde a lancé un projet de 9,4 millions de dollars, pour produire du biocarburant à partir de jatropha, une plante non comestible, originaire d'Amérique du Sud, dont les fruits procurent une huile convertible en biodiesel. Un hectare fournirait jusqu'à 2 000 litres d'huile, deux fois plus que le colza. Le jatropha croît sur les terres les plus arides. Au Mali, il fait l'objet d'un plan national de valorisation, et depuis cette année, l'Ademe finance une étude de faisabilité.

Le peuplier en taillis à très courte rotation

Parmi les plantes pérennes figure aussi le peuplier en taillis à très courte rotation (TTCR). Une espèce hybride, sélectionnée pour sa vigueur et sa résistance aux maladies, qui peut être récoltée trois fois en 20 ans. En France, on compte déjà 300 hectares de ce peuplier, essentiellement pour l'industrie de la papeterie et des panneaux de construction. La productivité moyenne est de 10 tonnes de matière sèche par hectare et par an. Côté environnement, les TTCR n'ont besoin d'intrants que les deux premières années. Ils peuvent même constituer des "zones tampons", à proximité des cours d'eau, pour piéger efficacement les nitrates et autres polluants d'origine agricole. En revanche, ils nécessitent un matériel spécifique de récolte.

Le saule testé en Suède

Très proche du peuplier, le saule a été retenu par le programme NILE, piloté par l'IFP (lire page 19). Le site pilote en Suède produit déjà du biocarburant à partir de saule, d'épicéa et de paille de céréales. La productivité du saule en TTCR peut atteindre 12 tonnes de matière sèche par hectare et par an, pendant huit rotations de trois ans. Voire même 19 tonnes avec une irrigation adaptée. L'eucalyptus et le robinier possèdent des qualités similaires.

La fétuque et la luzerne intéressent aussi l'Inra

Les agronomes de l'Inra s'intéressent aussi à des espèces pluriannuelles telles que la fétuque élevée et la luzerne, qui produisent 12 à 18 tonnes de matière sèche par hectare et par an environ. La fétuque s'adapte facilement aux milieux les plus divers, froid, chaleur, sécheresse ou excès d'eau. Cette graminée lève lentement et craint les attaques de limaces qui peuvent la détruire en quelques jours. La récolte est similaire à celle du foin.
La luzerne se distingue pour sa capacité à fixer l'azote atmosphérique dans le sol. Un désherbage est nécessaire lors de son implantation et en hiver, lorsqu'elle est en repos. Résistante à la sécheresse, cette légumineuse peut être touchée par la verticiliose, une maladie rencontrée surtout au nord de la Loire.

Le switchgrass, peu exigeant en eau

Le switchgrass, ou panic érigé, ressemble beaucoup au miscanthus. Originaire des grandes plaines de l'Ouest américain, il se récolte deux ans après le semis, à la sortie de l'hiver. Peu exigeant en eau, son rendement atteint 10 à 20 tonnes de matière sèche à l'hectare, en France selon les conditions climatiques. On ne lui connaît aucune maladie, ni ravageur. Une équipe de l'université de l'Illinois, aux États-Unis, a présenté au printemps dernier une étude comparant le miscanthus et le switchgrass. Le premier, selon ces chercheurs, est deux fois plus productif que le second. Le miscanthus obtiendrait de meilleurs résultats grâce à sa plus longue longévité et une plus importante surface de feuillage, lui permettant de stocker davantage de carbone.
L'université du Tennessee a quant à elle annoncé en septembre 2007 un partenariat avec l'entreprise Mascoma pour la construction de la première usine pilote de production d'éthanol à partir de switchgrass (18 millions de litres par an). Attendue pour 2009, l'unité représente un investissement de 40 millions de dollars. L'État du Tennessee entend ainsi devenir un leader de la filière du switchgrass. Au Canada, Iogen, une entreprise soutenue par le groupe pétrolier Shell, a conçu une unité de démonstration capable de transformer en éthanol du maïs ensilé, de la paille de blé ou d'orge, de la canne à sucre, des copeaux de bois, mais aussi du switchgrass et du miscanthus. Elle affirme pouvoir traiter 30 tonnes par jour de biomasse, et produire 2,5 millions de litres d'éthanol par an.

Triticale et sorgho, forts en fibre

Puis on trouve les espèces annuelles, comme le triticale, un hybride du seigle et du blé et le sorgho. Contrairement aux plantes déjà évoquées, le triticale entre dans l'alimentation animale. C'est sa paille qui pourrait intéresser l'industrie du biocarburant : elle contient un fort pouvoir énergétique et la richesse de ses fibres peut donner, après hydrolyse, un substrat riche en sucres pour de l'éthanol.

Le sorgho, d'origine tropicale, se décline en plusieurs types, mais c'est sa version fibre qui retient l'intérêt des scientifiques. Son excellent rendement de 15 à 20 tonnes de matière sèche par hectare et par an conviendrait bien à la production de biocarburant cellulosique. Peu gourmand en azote et en eau grâce à un système racinaire étendu, il exige cependant des températures clémentes pour se développer.

L'Indian Crops Research Institute for Semi Arid Tropics (ICRISAT), un institut de recherche indien, a lancé au printemps dernier un projet de production d'éthanol à base de sorgho, en distribuant des graines aux paysans de l'Andra Pradesh. L'objectif est de couvrir 1 600 hectares de cette zone sèche et de fournir un revenu supplémentaire aux agriculteurs.

Toutes ces expériences montrent que plusieurs plantes sont susceptibles de fournir les biocarburants de deuxième génération. « *On ne peut pas se contenter d'une seule plante,* souligne Stéphane Cadoux. *Celle qui conviendra à tel territoire ne pourra pas s'acclimater dans un autre. Et tout miser sur une seule plante ferait peser un risque en cas de rendements défaillants. Sans compter les éventuels problèmes liés à la biodiversité.* » Obtenir une complémentarité d'espèces pérennes et annuelles favorisera leur introduction dans les exploitations, dont les règles d'assolement varient d'une région à l'autre. On pourrait ainsi garantir un approvisionnement continu, quelle que soit la saison. La modification génétique des plantes n'est pas à l'ordre du jour : « *Il y a déjà tout un travail à faire sur l'amélioration génétique classique des espèces, par croisement.* »

Reste que seule une demande forte de ces nouveaux biocarburants pourra entraîner la mise en culture de ces espèces. « *Ces 20 dernières années, on s'est enthousiasmé pour de très nombreuses plantes pour faire du biocarburant, mais on a oublié qu'il fallait un marché pour qu'elles puissent exister,* souligne Maurice Dohy, chef du département Bioressources à l'Ademe, et coordinateur du PNRB. *La question qui se posera, lorsque les recherches auront abouti, sera de trouver les personnes pour cultiver et commercialiser les espèces sélectionnées.* » ■

PAR LAURE MARANDET

GAZÉIFICATION DE LA BIOMASSE: UNE FILIÈRE À CONSTRUIRE

Déjà utilisée dans de nombreuses applications, la technologie de la gazéification s'annonce prometteuse pour la production de biocarburants. Encore faudra-t-il dépasser les limites technologiques actuelles et organiser la filière d'approvisionnement. Un chantier qui mobilise différents acteurs en Europe et dans le monde.

■ Transformer des matériaux solides riches en carbone en un gaz de synthèse permettant la fabrication de carburant n'est pas un procédé particulièrement novateur. Mais alors qu'il est utilisé depuis plusieurs dizaines d'années pour des utilisations diverses (lire encadré p. 17), son application dans la fabrication de biocarburants est un domaine encore très récent et mal maîtrisé.

Pourtant, dans la course pour devenir la filière de référence de la deuxième génération, la voie thermochimique possède certains atouts indéniables. D'abord, la gazéification permet de valoriser l'ensemble de la plante et non plus seulement le sucre comme dans la première génération de biocarburants. De plus, à condition d'être calibré en conséquence, le réacteur peut potentiellement traiter tout mélange de produit riche en carbone : paille, résidus forestiers et déchets papetiers. L'apport en biomasse peut même être complété par des ressources fossiles (charbon, résidus pétroliers, déchets, etc.). À la sortie, même flexibilité. « *La gazéification est une filière multiproduit,* souligne Sylvie Rougé, chargée d'affaires du volet Biocarburants au CEA. *Ainsi, une même installation pourrait facilement être modifiée, selon l'évolution des besoins et des technologies, pour fournir de l'énergie et de la chaleur via la cogénération, permettre la production de biocarburants grâce à une synthèse de Fischer-Tropsch, ou encore alimenter une pile à combustible.* »

AMÉLIORER LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

Relativement bien maîtrisée par plusieurs industriels de la pétrochimie (Shell, Eni-Axens...), la synthèse de Fischer-Tropsch (F-T) (lire glossaire p. 5) a l'énorme avantage de fabriquer du biodiesel directement utilisable par les moteurs Diesel classiques. Et avec une qualité irréprochable ! L'indice de cétane est bien supérieur à celui d'un diesel traditionnel, tandis que la teneur en soufre et en aromatiques est quasi nulle. De ce fait, la combustion est excellente, ce qui réduit le dégagement de particules.

Pourtant, le développement industriel de la filière F-T ne devrait pas voir le jour avant 10-15 ans. « *Il faut encore gagner sur le rendement énergétique. Pour cela, chaque "brique" du procédé doit être améliorée, perfectionnée.* »

Dans l'amélioration de la partie gazéification à proprement parler, la filière pourra bénéficier des avancées technologiques apportées par l'utilisation industrielle des lits fluidisés dans d'autres applications (voir encadré page suivante). « *Mais au contraire de la production de biocarburant liquide, la*

UNE UNITÉ PILOTE EN ALLEMAGNE

La compagnie allemande Choren est actuellement en train de terminer la construction d'une première "bioraffinerie", une unité pilote capable de fournir annuellement 18 millions de litres de Sundiesel. Attendue pour l'été 2008 à Freiberg (Saxe), l'usine intégrera toute la filière, du séchage des copeaux de bois à la synthèse de F-T.
Le projet, soutenu par Daimler Chrysler et Volkswagen, ouvrira la voie à des réalisations plus importantes, notamment une unité capable de produire 250 millions de litres par an.

LA TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE EN GAZ

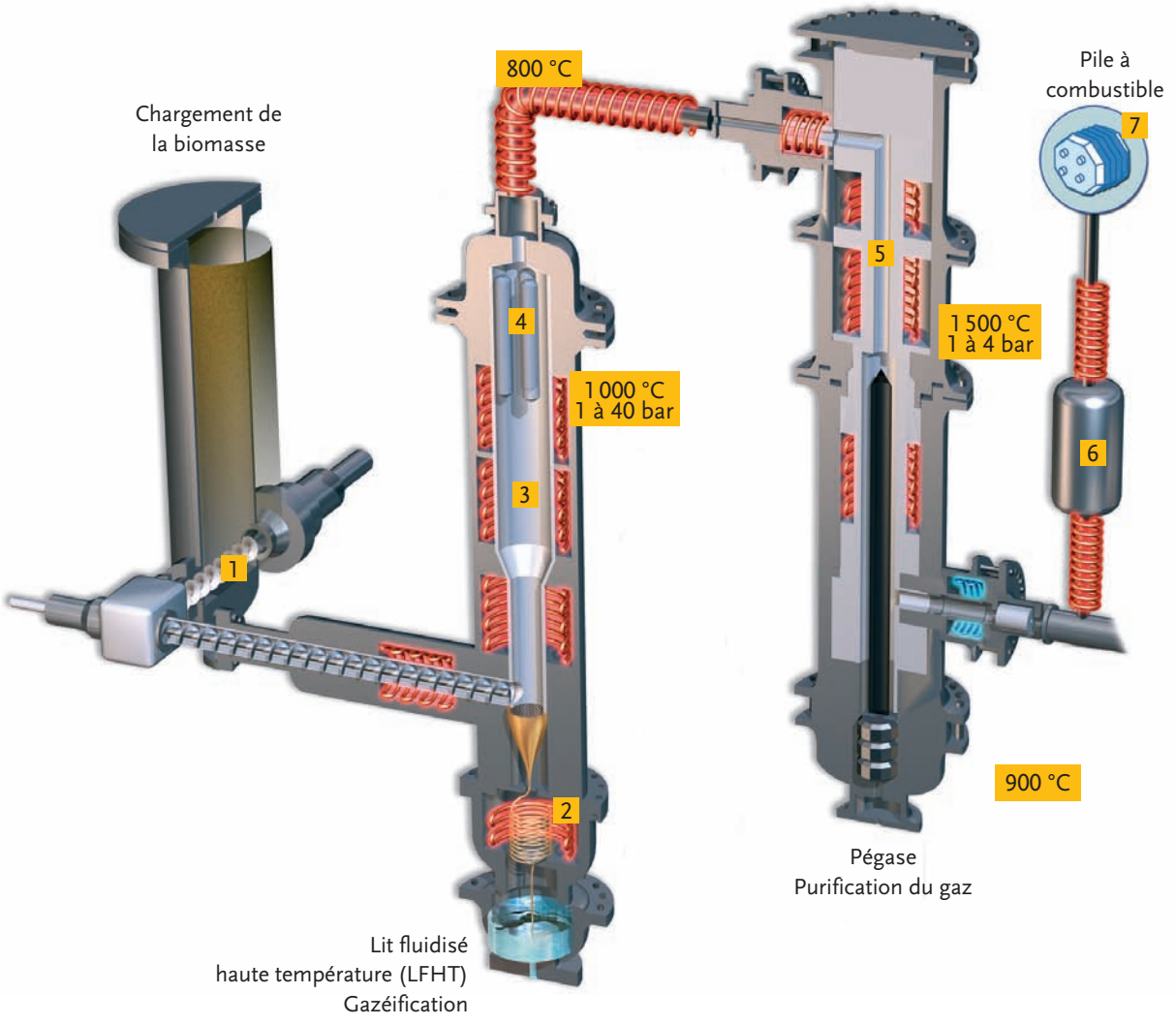


Illustration : Numicom

- Broyée et séchée, la biomasse est introduite dans le réacteur grâce à une vis sans fin à un débit d'environ un kg/h 1.
- Dans le réacteur, les particules de biomasse sont mêlées à un agent fluidisant et mises en suspension grâce à un apport de vapeur d'eau 2.
- Cette étape permet d'homogénéiser la matière à gazéifier et de faciliter les échanges thermiques. Au contact d'un réactif comme la vapeur d'eau, sous une température de 1 000 °C et une pression allant jusqu'à 40 bars, la biomasse réagit avec l'eau pour produire du gaz 3.
- Les produits de la réaction, c'est-à-dire les gaz et les goudrons, sont entraînés vers la partie haute du réacteur où ils sont filtrés par des cartouches céramiques ou métalliques qui permettent d'arrêter les particules carbonées n'ayant pas encore réagi 4.
- Le gaz de synthèse peut alors être analysé ou bien purifié d'avantage, par exemple avec le procédé Pegase.
- Le gaz est alors amené à une température de 800 °C afin d'être transporté jusqu'au système de purification puis injecté à très haute température dans le réacteur. À 1 500 °C mais sous une faible pression, les goudrons sont craqués et le méthane reformé 5.
- Les traces inorganiques (sels minéraux) sont, elles, évacuées par un procédé chimique de catalyse 6.

Dans tous les cas, à la sortie, le gaz produit ne contient pratiquement plus que du CO et du H2. Il peut alors être brûlé dans une chaudière ou un moteur à des fins énergétiques, utilisé dans une pile à combustible type SOFC 7 (solid oxid fuel cell), ou encore être transformé en hydrocarbure (kérosène, diesel ou méthanol) grâce à une synthèse de Fischer-Tropsch (lire p. 5).

CHARLOTTE RIGAUD

Unité de gazéification à Gussing, en Autriche.

filière cogénération nécessite un degré de pureté du gaz nettement moindre pour fonctionner, précise Olivier Guerrini, ingénieur de recherche "Nouvelles Énergies" à la direction de la recherche de Gaz de France. *Les procédés catalytiques (F-T, pile à combustible) sont très sensibles aux agents polluants, c'est donc ce point-là qu'il faudra améliorer avant tout.* »

UN COÛT HANDICAPANT

La synthèse de Fischer-Tropsch (F-T) est déjà appliquée industriellement sur quelques rares sites (Malaisie, Afrique du Sud), mais son principal frein reste le coût très important de l'installation et de son fonctionnement.

Pour Sylvie Rougé, « *la difficulté de la filière, c'est qu'il faut tout de suite investir dans une très grosse unité. L'unité doit pouvoir traiter une centaine de tonnes de biomasse à l'heure, sinon elle n'est économiquement pas rentable. Or cela représente plusieurs centaines de millions d'euros* ». Se pose alors le problème de l'approvisionnement : « *pour être rentable et écologiquement pertinent, il faut être proche du gisement et veiller à sa gestion,* explique Olivier Guerrini. *Or les ressources sont hétérogènes dans l'espace et dans le temps, et il est difficile de pérenniser sur de longues durées un plan d'approvisionnement de la biomasse.* »

D'autant que le rendement massique étant plutôt faible – 10 tonnes de biomasse sont nécessaires pour produire 2 tonnes de biodiesel – la demande en ressource est très importante.

Une solution consiste alors à prétraiter localement la biomasse pour densifier l'énergie contenue et par conséquent les transports. La torréfaction, qui donne une sorte de charbon, ou la pyrolyse "flash" - qui permet, grâce à une montée en température ultra-rapide d'obtenir une huile riche en carbone – sont des pistes explorées par les chercheurs, mais qui ne donnent actuellement pas satisfaction.

Pour devenir réellement compétitive, la filière devra encore résoudre ses difficultés technologiques, améliorer ses rendements.

Malgré ces incertitudes, la première unité industrielle pilote verra bientôt le jour en Allemagne à Freiberg, tandis que le CEA projette une installation dans les 5 prochaines années. Reste que, pour devenir réellement compétitive, la filière devra encore résoudre ses difficultés technologiques, améliorer ses rendements... et faire l'objet d'une réelle volonté politique. Sans incitation financière, le coût de l'équipement risque bien de freiner l'enthousiasme des industriels. ■

DE MULTIPLES APPLICATIONS

LA FILIÈRE HISTORIQUE

Lorsque les chimistes Franz Fisher et Hanz Tropsch élaborent leur procédé en 1923, le but est de produire du carburant liquide à partir de charbon ou de gaz naturel. Utilisée par l'Allemagne lors de la seconde guerre mondiale et par l'Afrique du Sud sous l'Apartheid, la gazéification de charbon suivie d'une synthèse de F-T est un procédé industriel plutôt bien maîtrisé, mais très coûteux. La valorisation des ressources fossiles intéresse pourtant fortement les pays en croissance ne disposant pas de ressources pétrolières (Chine, Inde), ou les États souhaitant s'affranchir d'une dépendance énergétique (États-Unis, Allemagne). Quant aux pétroliers, ils y voient un moyen de valoriser les résidus de raffinage peu valorisables (naphta, fiouls lourds), éventuellement en les mélangeant à de la biomasse (cogazéification). La filière historique concentre donc aujourd'hui la plupart des recherches mondiales consacrées à la gazéification.

LA COGÉNÉRATION

La cogénération est le secteur qui travaille le plus sur la gazéification de biomasse. Le procédé permet en effet de quasiment doubler le rendement énergétique par rapport à l'utilisation d'une chaudière classique. Les pays scandinaves et l'Autriche ont développé de nombreuses unités de quelques mégawatts afin d'alimenter des réseaux de chaleur de petite taille. Utilisant une technologie en lit fixe, qui ne permet pas le brassage de la biomasse lors de la combustion, ces unités ne sont pas reproductibles à grande échelle.

En Europe, quelques très rares unités pilotes exploitent la technologie du lit fluidisé, extrapolable à une échelle industrielle. La ville de Güssing, en Autriche, tire ainsi des copeaux de bois 2 MW électriques et 4 MW thermiques depuis 2003. En France, le groupe Eneria, qui fait actuellement fonctionner un pilote de 1 MW à Moissannes (Limousin) a un projet de 6 installations industrielles de 12 MW.

LA PRODUCTION DE "GAZ VERT"

Suite à une gazéification, il est possible de n'effectuer que la première étape de la synthèse de F-T afin de produire du bio-méthane, équivalent synthétique du gaz naturel. Ce procédé de méthanation et les nouveaux débouchés qu'il ouvre intéresse particulièrement Gaz de France et sa direction de la Recherche, dans une perspective de fourniture de "gaz vert" à ses abonnés. Les recherches dans ce domaine sont notamment très actives en Hollande. Autre piste, ce méthane pourrait aussi être utilisé comme biocarburant, sous forme de "bio-GNV".

PAR GÉRALDINE HOUOT

VOIE ENZYMATIQUE : DANS LES PAS DE L'AMÉRIQUE DU NORD

La transformation de la lignocellulose en sucres par des enzymes pour la production d'éthanol de seconde génération est une voie de recherche déjà bien engagée en Amérique du Nord. Restées longtemps anecdotiques en France, les recherches montent en puissance depuis deux ans, notamment dans le cadre du projet européen Nile et du Programme national de recherche sur les bioénergies.

Les champignons filamenteux produisent des enzymes qui permettent de "découper" la cellulose en sucre.

Les biocarburants de première génération, qui n'exploitent qu'une partie de la plante, ont un potentiel limité. Pour atteindre l'objectif français d'incorporation de 10 % en 2015, les énergéticiens n'auront donc d'autre choix que d'apprendre à utiliser la source de carbone renouvelable la plus abondante de notre planète, la lignocellulose. Paille, bois, plantes herbacées, ligneux, déchets agricoles, résidus de l'industrie forestière et papetière contiennent ce précieux substrat qui peut donner aussi bien du biodiesel grâce à la filière thermochimique que du bioéthanol par la voie biologique (ou biochimique), deux procédés dits de deuxième génération. Cette ressource, outre son abondance, présente l'intérêt d'être peu coûteuse et offre des perspectives alléchantes. Constituée de trois polymères (la cellulose, les hémicelluloses et la lignine) étroitement associés entre eux dans les différentes couches de la paroi des cellules végétales, la lignocellulose est cependant difficile à exploiter. Les technologies pointues qu'elle nécessite sont en développement dans les laboratoires de nombreux pays européens, en Amérique du Nord, au Brésil ou encore au Japon. Mais les recherches sont pour l'instant prospectives et les investissements futurs restent encore incertains.

L'AMÉRIQUE EN TÊTE

La filière biologique est privilégiée depuis longtemps en Amérique du Nord où le parc automobile fonctionne essentiellement à l'essence. Elle consiste à hydrolyser grâce à des enzymes sécrétées par des champignons filamenteux, la cellulose contenue dans la lignocellulose. Les sucres ainsi libérés sont ensuite transformés en éthanol par un procédé classique de fermentation alcoolique. L'éthanol est séparé du mélange par distillation et l'eau est retirée par déshydratation. L'ensemble du processus doit être précédé d'une étape coûteuse mais indispensable de prétraitement pour libérer la cellulose de sa prison de lignine et d'hémicelluloses et exposer les sites où agissent les enzymes. Bien optimisée, la voie biologique permet d'agir de manière hautement spécifique et n'engendre aucun sous-produit. Elle est souvent considérée comme la plus économe en émission de gaz à effet de serre. Elle pourrait de plus facilement être mise en œuvre à l'échelle industrielle puisqu'elle ne nécessite pas d'investissements techniques importants contrairement à la voie thermochimique. Elle présente cependant de nombreux verrous dont le principal est le coût important de l'hydrolyse enzymatique de la cellulose, dû à la quantité importante d'enzymes nécessaires. En l'an 2000, une étude économique a montré que cette étape représentait 30 à 50 % du coût total de production du bioéthanol. Grâce à d'importants moyens financiers accordés par le département de l'Énergie américain (DOE), deux entreprises danoises fortement implantées

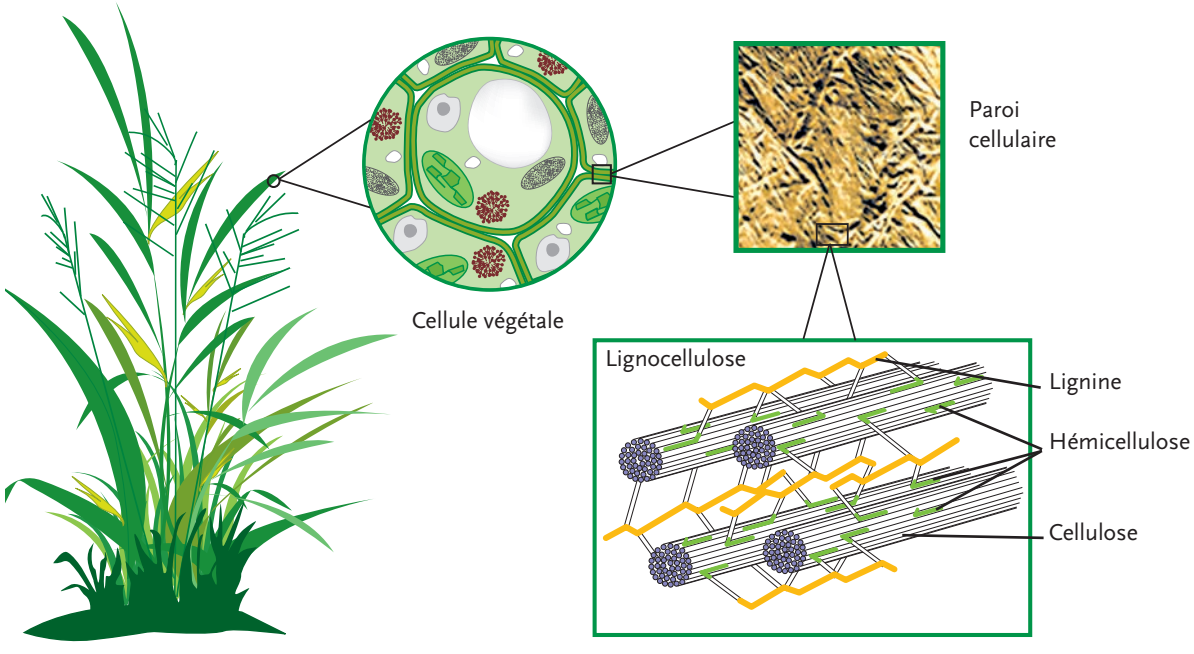
La voie biologique consiste à hydrolyser la cellulose contenue dans la biomasse.

aux États-Unis, Novozyme et Danisco, ont annoncé avoir réussi à diminuer ce coût d'un facteur 20 à 30. Un pas de géant même si ce n'est pas encore suffisant. Le DOE continue à investir massivement dans la filière, à tous les niveaux de la chaîne (lire encadré p. 21) avec l'ambition affichée d'arriver à une production industrielle en 2012. Au Canada, l'acteur principal des recherches sur la voie biologique est la société Iogen qui possède une expertise importante sur l'hydrolyse enzymatique. Elle est aujourd'hui propriétaire d'une installation d'envergure permettant de convertir la biomasse en éthanol. L'usine peut traiter jusqu'à 40 tonnes de paille de blé chaque jour. Elle utilise des enzymes produites par une installation de fermentation adjacente appartenant elle aussi à Iogen et fonctionne 24h/24, 7 jours sur 7.

En Europe, ce sont surtout la France et la Suède qui travaillent sur la voie enzymatique. Les recherches sont restées longtemps anecdotiques, en France notamment, où le marché des carburants est dominé par le diesel. Mais depuis deux ans, de nombreux projets fleurissent dans les laboratoires publics et privés. « *Il y a actuellement trop d'inconnus sur les deux filières pour privilégier l'une d'elles. L'important est pour l'instant de trouver comment convertir la biomasse lignocellulosique quel que soit le type de carburant obtenu* », justifie Maurice Dohy de l'Ademe. D'autant plus que la voie biologique, appelée aussi filière humide, possède l'avantage de faire l'économie du séchage du substrat, très coûteux en énergie et indispensable dans la voie thermochimique. Un ambitieux programme européen, le New Improvement for Lignocellulosic Ethanol (NILE), coordonné par l'Institut français du pétrole (IFP) a ainsi vu le jour en 2005 dans le cadre du 6e programme-cadre européen de recherche et développement technologique. Couvrant toute la chaîne de production et d'utilisation du bioéthanol issu de la lignocellulose, il rassemble 21 entités industrielles et de recherche venant de 11 pays européens, à l'expertise et aux expériences complémentaires. Le consommateur final de bioéthanol est également impliqué par le biais d'un producteur automobile. Doté d'un budget global de 12,8 millions d'euros,

Le réacteur d'hydrolyse enzymatique d'Iogen à Ottawa.

LA LIGNOCELLULOSE, AU CŒUR DE LA BIOMASSE VÉGÉTALE



La lignocellulose constitue l'essentiel de la biomasse végétale.

D'APRÈS GENOMICS ENERGY.

Unité pilote du programme NILE en Suède.

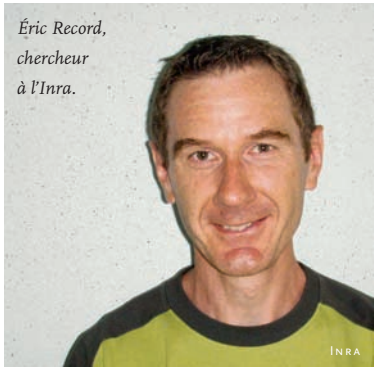
dont 7,7 millions d'euros octroyés par la Commission européenne, le projet NILE doit permettre de développer, d'étudier et d'évaluer de nouvelles technologies qui sont validées en Suède, dans une usine pilote entièrement intégrée. Le but : optimiser les bilans matière/énergie, en diminuant au maximum la consommation en eau et en énergie, et obtenir des données fiables pour les évaluations économiques et environnementales globales. Alimenté par du bois d'épicéa, le pilote possède une capacité d'absorption de 2 tonnes de matières sèches et peut fournir jusqu'à 400 litres d'éthanol par jour. « *Ces tests grandeur nature représentent le cœur du projet* », souligne Frédéric Monot, qui coordonne le projet NILE à l'IFP. L'usine pilote suédoise est en effet la seule de cette envergure à fonctionner en Europe, avec celle de l'entreprise espagnole Abengoa récemment ouverte à Salamanque.

La voie biologique permet de faire l'économie du séchage du substrat, coûteux en énergie et indispensable dans la voie thermochimique.

DIVISER LE COÛT PAR CINQ

De même qu'en Amérique du Nord, les recherches développées dans le cadre de NILE visent à réduire le coût de l'hydrolyse enzymatique et améliorer l'efficacité des enzymes produites par les champignons filamenteux. C'est l'Inra de Marseille qui a été choisi pour piloter les recherches. En France, l'étape d'hydrolyse enzymatique représente encore 30 et 50 % du prix de revient de l'éthanol.

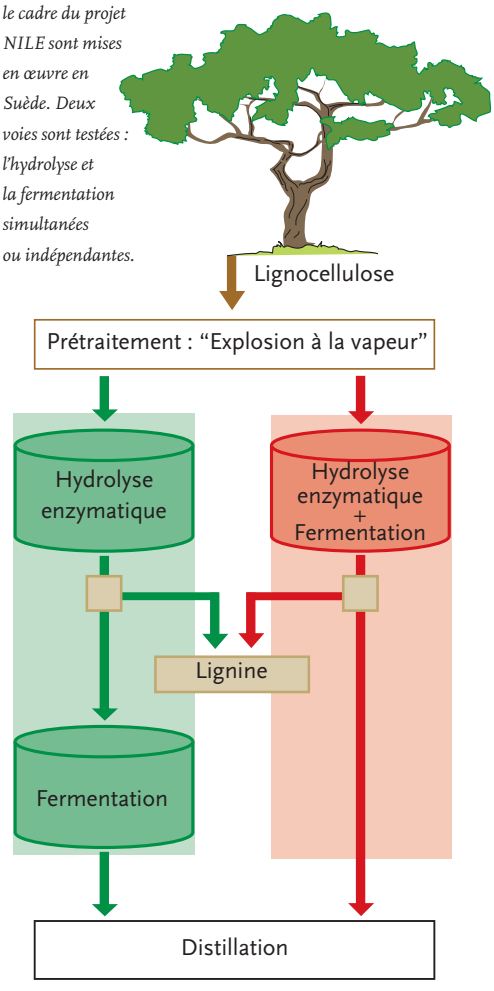
« *Nous cherchons à faire baisser ce coût de façon significative avec un objectif d'un facteur 5* », annonce Éric Record, du département "Biotechnologie des champignons filamenteux" de l'Inra de Marseille. Les partenaires (l'Inra Marseille, le CNRS, l'entreprise Saf-Isis et l'IFP en France, le VTT Biotechnology en Finlande, le Direvo Biotech en Allemagne et le Weizmann Institute en Israël) se penchent sur le génome du champignon "Trichoderma reesei", le champignon cellulolytique par excellence, pour améliorer ses capacités hydrolytiques et lui faire produire de nouvelles enzymes. Des cellulases bien sûr pour couper la cellulose. Mais aussi des hemicellulases capables d'hydrolyser l'hémicellulose présente en quantité variable dans la lignocellulose. L'hémicellulose est en effet constituée d'un enchaînement de glucoses et de



Éric Record, chercheur à l'Inra.

NILE TESTE DEUX PROCÉDÉS

Les recherches menées dans le cadre du projet NILE sont mises en œuvre en Suède. Deux voies sont testées : l'hydrolyse et la fermentation simultanées ou indépendantes.



D'APRÈS L'IFP.

LES ÉTATS-UNIS INVESTISSENT

Loin de ralentir le rythme, les États-Unis continuent d'investir massivement dans le bioéthanol cellulosique. Le département de l'Énergie (DOE), à travers son "Biomass Programm", lance régulièrement des appels à projet. Fin août, 33,8 millions de dollars (23,80 millions d'euros) ont été débloqués pour financer la recherche sur l'hydrolyse enzymatique de la lignocellulose. En mars dernier, c'était 23 millions de dollars (16,19 millions d'euros) qui étaient promis pour financer sur quatre ans les recherches sur la fermentation de cinq projets de conversion de la lignocellulose en bioéthanol. En février, 385 millions de dollars (273 millions d'euros) étaient investis sur quatre ans dans six projets de bioraffinerie avec pour but d'arriver à rendre l'éthanol cellulosique compétitif à l'horizon 2012.

IFP

Frédéric Monot, coordinateur du projet NILE à l'IFP.

pentoses qu'il pourrait être intéressant de fermenter pour améliorer le rendement de la filière. Mais si la transformation des glucoses en éthanol est parfaitement maîtrisée, les pentoses sont en revanche beaucoup plus difficiles à fermenter. Et c'est là que se situe le deuxième verrou technologique de la filière, sur lequel se concentre NILE : arriver à obtenir des levures efficaces sur ces sucres à 5 carbones. L'hémicellulose pouvant constituer 50 % de certaines herbes, le saut technologique constituerait une avancée importante. Les recherches effectuées aussi bien sur l'hydrolyse enzymatique que sur la fermentation sont ensuite testées dans le pilote suédois selon deux méthodes concurrentes : la voie SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) qui permet de pratiquer la fermentation en même temps que l'hydrolyse et la voie SHF (Separate Hydrolysis and Fermentation), la plus classique et testée en premier, qui les traite séparément.
En parallèle du projet NILE, la France a choisi, en 2005, d'investir dans le domaine des bioénergies à travers le Plan national de recherches sur les bioénergies (PNRB). À l'ISBP de Toulouse (CNRS-INRA-INSA), l'équipe de Stéphane Guillouet et Carole Molina Jouve, mène notamment dans ce cadre, avec d'autres partenaires – Lesaffre International, Maguin Interis, Saf-Isis et l'ARD (Agro Industrie Recherches et Développements) –, des recherches importantes sur la fermentation pour l'obtention de bioéthanol cellulosique.

AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ DE LA FERMENTATION

Les chercheurs travaillent sur la transformation des pentoses en alcool comme dans le cadre de NILE mais s'attachent aussi à surmonter deux autres obstacles spécifiques de cette filière : la faible teneur en sucre du substrat et la présence d'inhibiteur de la fermentation produits lors du prétraitement que doit subir la lignocellulose avant l'hydrolyse enzymatique. *« Le but, malgré ces freins, est d'atteindre le plus haut degré d'alcool le plus rapidement possible, avec un bon rendement de conversion sucre-éthanol »*, explique Stéphane Guillouet. L'équipe a notamment fait des découvertes prometteuses pour améliorer la productivité de la fermentation, c'est-à-dire la quantité d'alcool produite par unité de temps. Établis pour l'instant sur du glucose en laboratoire, ces résultats sont à confirmer sur pilote industriel et à partir d'autres substrats.

Le prétraitement fait aussi l'objet de nombreuses recherches dans le cadre du PNRB. Il représente une étape indispensable pour dégager les sites d'attaques enzymatiques de la cellulose, emprisonnés par l'hémicellulose et la lignine. Le procédé le plus classique et le plus efficace est la technique dite "d'explosion à la vapeur" qui fait littéralement exploser les constituants de la lignocellulose. Elle dégrade cependant les sucres des hemicelluloses avec pour conséquence une perte de rentabilité et la formation des fameux inhibiteurs de la fermentation alcoolique. *« Les technologies employées sont, de plus, peu exploitables à grande échelle »*, ajoute Frédéric Martel, responsable de l'équipe "Fractionnement du végétal" à l'ARD. Dans le cadre du PNRB, il mène un projet de recherche en partenariat avec l'IFP, les Inra de Toulouse, Marseille et Reims, le CNRS, l'INSA et l'INPT/ENSIACET de Toulouse et Saf-Isis. Son but est de trouver un prétraitement qui permette de conserver la lignine et les sucres de l'hémicellulose en bon état. L'idée est de combiner plusieurs méthodes douces (enzymes, acide, ammoniac, solvant) pour en cumuler les avan-

DR

À droite, Frédéric Martel, responsable de l'équipe "Fractionnement du végétal" de l'ARD.

DE LA PÂTE À PAPIER À L'ÉTHANOL

DR

Pour produire du bioéthanol de seconde génération par la filière biologique, il est aussi possible d'utiliser de la pâte à papier. Dans le cadre du PNRB, l'Institut du Pin de l'université de Bordeaux coordonne un projet, en partenariat avec le papetier canadien Tembec R&D Kraft, le laboratoire de Biotechnologie et Bioprocédés de l'INSA Toulouse et Genencor (filiale du Danois Danisco spécialiste de l'enzymologie). Il vise à tirer parti de l'infrastructure papetière existante pour s'assurer l'accès à une source de cellulose peu onéreuse à laquelle on puisse appliquer les techniques d'hydrolyse enzymatique et de fermentation alcoolique. Supprimer la lignine du bois pour exploiter la cellulose, les papetiers font en effet cela depuis longtemps. La lignine éliminée est utilisée pour alimenter la filière en énergie.
***« L'idée est d'essayer de trouver une voie de diversification pour les anciennes usines de pâte à papier qui ne sont plus rentables »*, explique Jean-Claude Pommier, coordonnateur du projet.**

L'unité pilote NILE peut traiter 2 tonnes de matière première sèche par jour.

tages. La lignine et les hémicelluloses ainsi obtenues peuvent être valorisées au mieux, les hémicelluloses pour la production d'éthanol, et la lignine en chimie des matériaux par exemple. Cette dernière peut cependant aussi être brûlée pour alimenter la filière en énergie. Comme cela se fait dans l'industrie papetière (lire encadré p. 22) et comme il est prévu de le faire dans l'usine pilote du projet Nile pour améliorer le bilan énergétique.

0,4 €/litre équivalent pétrole en 2015

Dans le cadre du PNRB, des recherches sont aussi menées pour évaluer le potentiel des ressources lignocellulosiques. Si actuellement on estime que la moitié seulement de la biomasse disponible est utilisée, à terme la production de cultures dédiées comme les espèces pérennes herbacées (miscanthus, switchgrass), ou les plantations de ligneux (peuplier, saule, robinier) seront nécessaires pour atteindre une production importante de biocarburant de deuxième génération. « *Au total, en conservant le potentiel alimentaire de la France mais en modifiant les courants d'échanges à l'export, les voies de première et deuxième générations permettraient alors d'atteindre 20 % d'incorporation de biocarburants* », prédit Maurice Dohy. En attendant, outre l'amélioration des techniques et leur adaptation industrielle, il faudra arriver à diminuer significativement le coût de production des deux filières de deuxième génération. En l'état actuel des recherches, pour chacune d'elle, celui-ci serait environ de 1 €/l équivalent pétrole. Pour l'éthanol cellulosique, une cible ambitieuse de 0,4 €/l équivalent pétrole a été fixée, pour arriver à l'horizon 2015 à un coût rentable proche de celui du bioéthanol de première génération. « *Si les recherches avancent normalement et si le contexte économique le permet, il est en effet probable qu'en France, on soit en mesure d'avoir une vraie production industrielle d'éthanol cellulosique à l'horizon 2015* ». ■

LES VERROUS TECHNOLOGIQUES

Plusieurs verrous technologiques sont à résoudre lors de la transformation de la lignocellulose en carburant.

Étape de prétraitement :
- **Trouver une méthode qui ne dégrade pas l'hémicellulose en inhibiteurs de la fermentation et conserve la lignine en bon état**
- **Adapter cette méthode au niveau industriel**

Étape d'hydrolyse enzymatique :
- **Diminuer le coût**
- **Améliorer l'efficacité des enzymes**

Étape de la fermentation :
- **Réussir à fermenter les pentoses**
- **Améliorer la concentration d'alcool avant la distillation**
- **Obtenir des levures efficaces malgré la présence d'inhibiteurs de la fermentation**

ENZYME ET CATALYSE, UNE SOLUTION HYBRIDE

● L'équipe de James Dumesic, de l'université du Wisconsin-Madison, a mis au point un nouveau biocarburant, le DMF (2,5-dimethylfuran), dont la fabrication serait beaucoup plus rapide et moins coûteuse en énergie que la production actuelle d'éthanol. Le procédé repose sur la combinaison de deux techniques déjà existantes : l'une, l'hydrolyse enzymatique, utilisée pour la production d'éthanol, et l'autre, la catalyse, pour la fabrication de diesel de synthèse. Lors de la phase enzymatique, les sucres complexes, comme la cellulose, sont découpés en sucres simples, comme le fructose. Puis, au lieu de faire fermenter ces sucres comme c'est le cas pour la production d'éthanol, les chercheurs utilisent une catalyse en milieu acide. La molécule obtenue, le HMF, est extraite et subit une autre catalyse, à base de cuivre et de ruthénium cette fois, pour donner le DMF. Avantage considérable de cette technique : selon les scientifiques, utiliser la catalyse plutôt que la fermentation permettrait de produire du biocarburant des centaines voire des milliers de fois plus rapidement. De plus, alors que l'éthanol s'évapore facilement et peut donc être contaminé par l'eau de l'atmosphère, le DMF est, lui, insoluble dans l'eau, ce qui évite le recours à des procédés coûteux en énergie pour séparer le biocarburant de l'eau. Cerise sur le gâteau : le DMF aurait une efficacité énergétique de 40 % supérieure à celle de l'éthanol, soit quasiment identique à celle du pétrole. Le DMF n'en est cependant qu'au stade du laboratoire et avant d'envisager une production massive, de plus amples recherches seront nécessaires pour vérifier son impact sanitaire et environnemental. ●

PEPSE : VERS DES PROGRAMMES D'ERD D'ENVERGURE À MADAGASCAR

À part dans quelques pays émergents, les programmes d'électrification par énergies renouvelables restent trop souvent confidentiels. Le changement d'échelle annoncé dès 1995 se fait attendre. Le programme PEPSE vise à élaborer des programmes d'envergure à Madagascar, où le taux d'électrification ne dépasse pas les 10 %. Après une série d'études et d'enquêtes régionales, un traitement des données selon NORIA, la méthodologie élaborée par la Fondation Énergies pour le Monde, et des entretiens menés avec les autorités nationales et régionales, 9 programmes d'électrification rurale par énergies renouvelables ont été élaborés et présentés au cours d'un séminaire tenu à Antananarivo les 17 et 18 juin derniers. Ils seront proposés à des agences de financement ainsi qu'à des investisseurs et opérateurs. Leur réalisation permettra d'électrifier 70 communes dans le sud de la Grande Île.

Pour plus d'informations :
www.energies-renouvelables.org/pepse
nicolas.guichard@energies-renouvelables.org

PROVEN PARTAGE LES SAVOIRS

Après avoir publié l'ouvrage "Les bonnes pratiques qui montrent la voie - Électrification rurale par énergies renouvelables en Afrique subsaharienne", la Fondation a poursuivi la réalisation de documents destinés aux différents acteurs de l'électrification en milieu rural. Avec quatre publications : un guide pour les installateurs de systèmes photovoltaïques en anglais et en swahili, deux brochures d'information sur l'électrification rurale par énergies renouvelables destinées aux élus ruraux et aux entrepreneurs et une réédition du guide pratique du photovoltaïque. La Fondation a aussi organisé des formations à l'attention des élus ruraux au Sénégal, au Burkina Faso et au Mali, et à l'attention des vendeurs et détaillants de systèmes photovoltaïques au Kenya et en Ouganda.

Pour plus d'informations :
www.energies-renouvelables.org/proven
fondem@energies-renouvelables.org

RESIREA : PREMIÈRES ÉTUDES SUR LES RAILS

Lancé en janvier 2007 avec le soutien de l'Ademe et la Commission européenne, RESIREA est un programme d'études de trois ans qui vise à définir des projets d'électrification rurale par énergies renouvelables (hydraulique, biomasse ou solaire) dans trois provinces des pays du Mékong : Oudomxay au Laos, Kampong Thom au Cambodge et Dak Nong au Vietnam. Il est mené en partenariat avec le Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems et le Centre wallon de Recherches agronomiques.
RESIREA permettra de promouvoir le changement d'échelle, en concevant des programmes d'envergure provinciale, pérennes techniquement et financièrement, grâce à la méthodologie NORIA. Jusqu'à présent, des études ont été réalisées au niveau provincial pour :
- recenser et évaluer les projets d'électrification rurale existants et tirer avantage de leur retour d'expérience ;
- identifier les sites hydrauliques ;
- collecter des données à l'échelle de chaque province pour décrire le contexte général puis cartographier les informations ;
- traiter les données provinciales pour identifier les villages les plus favorables, dans lesquels le contexte socio-économique et énergétique permet d'envisager la mise en place et la réussite de projets d'électrification rurale.

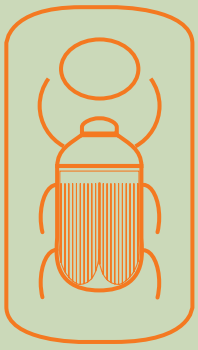
Des zones d'intérêt prioritaire ont ainsi été sélectionnées et présentées en atelier aux autorités locales, provinciales et nationales, ainsi qu'aux opérateurs privés, intéressés par la mise en œuvre et l'exploitation des projets. Cette phase de concertation a permis de valider le choix des zones prioritaires et de lancer la phase d'études détaillées des villages retenus. D'ici fin 2008, ces études préciseront le contexte général, les capacités de paiement des populations et leur demande en énergie. Des projets d'électrification adaptés à chaque village pourront être conçus puis proposés fin 2009 à des bailleurs de fonds et opérateurs privés.

Pour plus d'informations :
www.energies-renouvelables.org/resirea
catherine.bourg@nergies-renouvelables.org

www.energies-renouvelables.org

Découvrez le site de la fondation Énergies pour le Monde

FONDATION ÉNERGIES POUR LE MONDE



Partenaires techniques et financiers de Scarabée :

ARENE
Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies
Ile-de-France

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Ce bulletin est édité dans le cadre de l'initiative **Scarabée**, menée par la **Fondation Énergies pour le Monde**

Président : Alain Liébard
Directeur : Yves Maigne

146, rue de l'Université
75007 Paris - France

Tél. : 33 (0)1 44 18 00 80
Fax : 33 (0)1 44 18 00 36

La Fondation Énergies pour le Monde, en partenariat avec plusieurs partenaires techniques et financiers, a lancé et anime l'initiative "Scarabée".

Elle vise à renforcer les compétences locales de tous les acteurs de l'électrification rurale faisant appel aux sources d'énergie renouvelable : institutionnels, maîtres d'ouvrage, consultants, opérateurs, fournisseurs, usagers, partenaires bancaires, acteurs de la coopération décentralisée, pour le montage de programmes viables et banquables à grande échelle.

Plusieurs outils ont été mis en place et sont à la disposition des acteurs :

- **Un atlas des expertises** dans les pays du sud et du nord ;
- **Les bulletins semestriels Scarabée** qui traitent des différents aspects de l'accès à l'électricité et aux énergies renouvelables ;
- **Des ouvrages thématiques** sur l'utilisation des énergies renouvelables dans différents domaines d'application ;
- **Des formations** destinées aux maîtres d'ouvrage, aux opérateurs, aux installateurs ;
- **Un site Internet :** www.energies-renouvelables.org ;
- **Un contact :** fondem@energies-renouvelables.org.