



**HAL**  
open science

## Un carburant spécifique pour les engins agricoles : étude de quatre filières de production de biocarburants agricoles

G. Vaitilingom, Y. Agier, Stéphanie O.L. Lacour

► **To cite this version:**

G. Vaitilingom, Y. Agier, Stéphanie O.L. Lacour. Un carburant spécifique pour les engins agricoles : étude de quatre filières de production de biocarburants agricoles. *Sciences Eaux & Territoires*, 2012, 7, p. 54 - p. 60. 10.14758/SET-REVUE.2012.7.07 . hal-00682455

**HAL Id: hal-00682455**

**<https://hal.science/hal-00682455>**

Submitted on 26 Mar 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Un carburant spécifique pour les engins agricoles : étude de quatre filières de production de biocarburants agricoles

**Le carburant représente 30 % du coût horaire d'un tracteur et soulève le problème de la « fragilité énergétique » de l'agriculture moderne entièrement dépendante de l'approvisionnement en pétrole. Avec la réduction programmée des ressources pétrolières, le développement d'une filière carburant spécifique pour les engins agricoles devient donc incontournable. Dans cet article, les auteurs nous présentent le potentiel et l'intérêt environnemental de quatre filières de production de biocarburants agricoles.**



La consommation d'énergie finale, tous secteurs confondus, a atteint en France 160 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) en 2008, dont 4,3 résulte des activités agricoles (photo ❶). Le carburant correspond à plus de 62 % de la consommation énergétique des exploitations, avec des variations selon les orientations technico-économiques. En terme de quantité, le carburant utilisé par l'agriculture avoisine les 2,5 millions de m<sup>3</sup> (70 millions de m<sup>3</sup> sont consommés au total en France dont 50 millions par les transports), ce qui représente 5 % de la consommation des transports (IFIP, Union française des industries pétrolières, 2010). Cette part reste relativement faible dans un contexte national mais n'en demeure pas moins un point essentiel pour l'exploitant agricole avec une moyenne de 8 100 litres par exploitation et par an (4 000 à 5 000 € par an ; 4 à 5 % du chiffre d'affaire mais 30 % du coût horaire d'un tracteur).

Aux dépenses directes liées aux carburants, s'ajoute le problème de la « fragilité énergétique ». L'agriculture moderne, dont la productivité n'a cessé de croître, notamment du fait de la mécanisation, est dépendante de l'approvisionnement en pétrole. Elle est très sensible aux variations des cours. Ces dernières décennies, les fluctuations des matières agricoles ont d'ailleurs bien souvent suivi les fluctuations importantes des prix du pétrole. Si sa faible part dans la consommation nationale en carburants peut paraître rassurante, elle génère en conséquence peu d'attention à sa spécificité. Ce secteur d'activités « vitales et stratégiques » (nourrir les populations) sera toujours approvisionné, ce qui est certainement vrai

puisque'il mobilise peu de carburant. Mais si le prix du carburant agricole vient à être celui que les transports seront prêts à payer pour le leur, l'agriculture risque de connaître des problèmes de viabilité économique.

L'indépendance énergétique vis-à-vis du carburant nécessaire à la production agricole est une question importante pour le secteur de l'agriculture. À l'époque des chocs pétroliers de 1973 et 1979, le monde s'était déjà rendu compte qu'en cas de rupture d'approvisionnement en carburant, les réserves permettraient de réaliser les semis mais ne pourraient pas effectuer les récoltes. Or, les produits de l'agriculture contiennent de cinq à dix fois l'énergie qu'elle consomme. L'agriculture est donc à même d'autoproduire un carburant, même un biocarburant, à un coût maîtrisé, rendant son approvisionnement flexible, voire indépendant, vis-à-vis des produits pétroliers. Mais l'intérêt de cette autoproduction est généralement masqué par d'autres débats, sur l'indépendance énergétique de secteurs plus énergivores comme les transports, ou bien la concurrence entre la production de biocarburant et la production alimentaire. Pourtant, les faibles volumes de carburant mis en jeu rendent l'hypothèse d'une agriculture énergétiquement indépendante et durable très crédible. C'est cette hypothèse que nous allons examiner de façon détaillée dans ce qui suit.

Actuellement, les moteurs agricoles suivent les évolutions des moteurs des transports routiers tant en sophistication, en dépollution qu'en matière de carburant. Des alternatives au pétrole ont été envisagées notamment avec d'autres carburants fossiles. Mais le GPLc (gaz de pétrole liquéfié carburant) et le GNV (gaz naturel pour véhicules) suivent l'évolution du pétrole aussi bien en termes de



© M. Moisan (Iris tea)

1 Moissonneuse-batteuse au travail : le carburant correspond à plus de 62 % de la consommation énergétique des exploitations agricoles, avec des variations selon les orientations technico-économiques.

prix qu'en augmentation de la demande. D'autres carburants non issus de sources fossiles émergent mais ils ne couvrent qu'une faible partie de la demande : les taux de substitution de pétrole par des biocarburants restent modérés, voisins de 10 %. La production d'esters pour le biodiesel, de 1,2 MTEP, représente à peine la moitié les besoins du machinisme. La production d'hydrogène et d'agrocarburants de deuxième génération demande un niveau de technicité élevé et il est fort probable qu'ils ne pourront être compétitifs qu'avec les carburants fortement taxés des transports routiers. L'électricité n'apparaît pas comme une solution évidente compte tenu des puissances et de l'autonomie exigées lors des travaux agricoles. L'idéal serait de s'appuyer sur des carburants agricoles maîtrisables au niveau local et proches du cœur de métier de l'agriculteur. L'exemple des huiles végétales pures (HVP) vient à l'esprit vu la médiatisation dont elles ont été et sont toujours l'objet. Mais il existe d'autres filières possibles de production de carburant agricole dont la revue peut alimenter une réflexion qui ne se limite pas qu'aux aspects purement techniques. La performance énergétique, la sensibilisation à une gestion raisonnée de la consommation rejoignent la notion de développement durable en agriculture. Quatre exemples de filières potentielles de carburants agricoles sont étudiés ici : les HVP, l'éthanol, le biogaz et les gazogènes. Il y a trente ans, ces carburants agricoles ont tous fait l'objet d'études et d'expérimentations, parfois de longue durée, et ne sont pas des innovations techniques (Vaitilingom, 1994). Ce sont les évolutions technologiques des motorisations ces dix dernières années qui amènent à les revisiter car elles pourraient, en fin de compte, faciliter leur utilisation. Ces quatre filières seront examinées en tant que carburants d'engins mobiles, mais elles peuvent aussi bien alimenter des moteurs à poste fixe ou des brûleurs.

## Les HVP (huiles végétales pures)

Les huiles végétales sont connues depuis longtemps pour leurs caractéristiques « carburants » proches de celles des fiouls les rendant ainsi utilisables dans les moteurs diesels. La loi d'orientation agricole (LOA) du 5 janvier 2006 a autorisé l'utilisation des HVP comme carburant pour l'agriculture et la pêche professionnelle avec exonération de la taxe intérieure de consommation sur les carburants (TIC ou ex TIPP). Elles sont commercialisables pour ces usages depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007.

### Production

Les HVP se distinguent des huiles industrielles raffinées par leur mode de production généralement artisanal en circuit court. Elles ne nécessitent pas ou peu de traitements chimiques ou de lavages générant des effluents. Un hectare de colza produit trois tonnes de graines, ce qui génère 1 100 litres d'HVP et deux tonnes de tourteaux. Le tournesol présente sensiblement le même rendement avec 900 litres par hectare et 1,5 tonnes de tourteau (Vaitilingom, 2008).

La production d'une HVP de qualité commence par une bonne conduite de la culture ainsi qu'un nettoyage, un séchage et un stockage rigoureux des graines (2 % d'impuretés et 8 % d'humidité). La trituration des graines se fait ensuite avec une presse. L'huile devra être filtrée au minimum à 10 microns puis stockée à l'abri de l'air et de la lumière. Un suivi réalisé par la Fédération nationale des coopératives d'utilisation du matériel agricole (FNCUMA) en France montre que les huiles produites localement présentent une qualité acceptable, les problèmes les plus fréquemment rencontrés étant liés à une mauvaise qualité de filtration et une trop forte teneur en phosphore (Bailly, 2009). Une norme de qualité pour



2 Tracteur DEUTZ Agrotron 130 modifié pour rouler avec 100 % d'HVP, CUMA des Collines (Bais, Mayenne), 2008.



© CUMA des Collines (Bais, Mayenne)

► L'HVP carburant est en cours d'élaboration en Europe, en s'appuyant sur celle établie par l'Allemagne. Elle vise à atteindre des seuils de composés résiduels proches de ceux des huiles raffinées, ce qui pourrait entraîner une complexification de leur fabrication. Enfin, le tourteau, coproduit très intéressant de l'huile lors du pressage, est utilisé pour l'alimentation animale.

### Utilisation

Les HVP nécessitent une adaptation des tracteurs à injection directe, soit grâce à un système de bicarburation (le fioul ne sert plus qu'aux démarrages, aux arrêts et aux faibles charges de travail du tracteur), soit par modification des chambres de combustion des moteurs : des tracteurs 100 % HVP sont d'ailleurs disponibles sur le marché (photo 2). Les performances des moteurs sont conservées et en équivalence énergétique, il faut 1,08 litres d'HVP pour remplacer 1 litre de fioul. Par ailleurs, la longévité du moteur est accrue et l'entretien reste le même qu'avec un carburant conventionnel.

### Potentiel de production en France

Avec déjà 900 000 hectares de colza industriel essentiellement destinés à la filière biodiesel industriel, la France possède encore un potentiel élevé. Si la totalité des terres cultivables non utilisées (2,56 Mha) produisait de l'HVP, soit 2,4 millions de m<sup>3</sup> ou l'équivalent de 2,2 millions de m<sup>3</sup> de fioul, en toute théorie, l'agriculture française pourrait dès maintenant substituer 88 % de son fioul.

Même si au niveau économique, le prix de production de l'huile, entre 0,45 et 1,20 € par litre selon les cours des graines et des tourteaux, n'est pas encore toujours concurrentiel par rapport à un fioul entre 0,40 et 0,55 € ces deux dernières années, ce système reste intéressant dans une idée d'autonomie énergétique « propre » et de développement local. Des coopératives d'utilisation du matériel agricole en élevage ont investi dans des ateliers de production d'HVP afin de produire leur tourteau et, en second lieu, leur carburant.

### Intérêt environnemental

De très nombreuses études ont porté sur l'analyse en cycle de vie de différentes filières de production de carburant, et notamment de production d'huile végétale pure. À l'usage, la surconsommation de carburant est de l'ordre de 5 à 10 % avec l'HVP. Par contre, son effet sur les émissions polluantes est généralement bénéfique (HC, particules) ou neutre (CO, NO<sub>x</sub>). Mais sur l'ensemble du cycle de vie, l'utilisation d'huile pure (colza) permet surtout de réduire d'environ 60 % les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au diesel (Ademe, 2010 ; Directive 2009/28/CE, 2009). L'huile végétale de colza permet en outre de réduire de façon très significative le potentiel d'impact photochimique par unité de besoin. Par contre, la production de l'huile augmente l'impact potentiel sur l'eutrophisation, essentiellement à cause des engrais utilisés dans la culture du colza.

### L'éthanol issu de betteraves sucrières

L'alcool éthylique, bien connu dans les véhicules légers de type essence, peut aussi alimenter les moteurs diesel. Longuement expérimenté en France avec succès dans les années 1980, cet usage prit fin face à un baril à moins de 15 dollars.

### Production

Le principe de production consiste à extraire le sucre des betteraves prédécoupées dans de l'eau qui seront mises à fermenter. Ce jus contenant 12 % d'alcool est ensuite distillé pour produire, sans trop de difficultés, un alcool à 95 %. Selon les techniques moteurs utilisées, cet alcool peut être utilisé tel quel (sans enlever le méthanol) comme carburant et il ne doit pas nécessairement être anhydre (99,9 %), ce qui simplifie sa fabrication. Un hectare de betterave peut produire 8 000 litres d'éthanol. La production d'alcool sur le territoire français était régie par un monopole d'État jusqu'à l'entrée en vigueur de la loi du 11 juillet 1985 qui a institué la liberté de production et de commercialisation de l'alcool. L'alcool produit en France est soumis à des taxes importantes, mais on peut tout à fait imaginer une exonération pour l'éthanol carburant agricole, comme c'est le cas pour les HVP.



© G. Vaitilingom

3 Tracteur Massey Ferguson de 75 chevaux, fonctionnant à l'éthanol de canne à sucre (La Réunion, 1986).

## Utilisation

En raison de sa mauvaise aptitude à l'auto-inflammation (indice de cétane faible), l'éthanol est avant tout adapté aux cycles à allumage commandé des moteurs type essence. Mais différentes adaptations permettent de l'utiliser totalement ou partiellement sur des moteurs diesel (Vaitilingom, 1994).

En substitution complète au gazole, deux technologies existent :

- la première consiste à modifier le moteur diesel existant en installant un système hybride entre le cycle essence (allumage commandé) et le cycle diesel (taux de compression élevé). Il est nécessaire d'installer un système d'allumage et d'injection adapté (principe MOTEURGARO) ;
- la seconde permet de ne pas apporter de modifications au moteur diesel mais consiste à incorporer à l'éthanol des additifs « procétane », qui sont des « explosifs liquides » miscibles avec l'alcool et qui simulent un indice de cétane proche de celui du fioul. L'éthanol se comporte alors comme du fioul et s'utilise comme tel. Cette solution a fait l'objet de test sur des bus en France et six cents autobus fonctionnent ainsi en Suède.

L'éthanol peut également être utilisé en complément du diesel ou du fuel, avec trois types de solutions :

- la fumigation. C'est un dispositif permettant d'aspirer de l'air partiellement carburé en alcool. À l'admission du moteur diesel, il faut alors ajouter un carburateur. Cette solution permet une substitution maximum d'environ 20 à 30 % du fioul ;
- les mélanges alcool-fioul avec une faible part d'alcool, environ 5 à 10 %. Ceci nécessite de l'alcool anhydre et la présence d'un additif permettant la stabilité du mélange ;
- les systèmes « double injection ». Il faut alors installer deux injecteurs par cylindre, un pour l'alcool et l'autre pour le fioul qui sert « d'allumette » pour la combustion de l'éthanol. Cela nécessite des réglages moteurs délicats. On atteint un taux de substitution du fioul de 85 %.

Plusieurs systèmes ont déjà été développés et testés sur des tracteurs agricoles (photo ④). Quelles que soient les options, les circuits de carburant et les pièces d'injection doivent tenir compte de la vulnérabilité de certains matériaux aux alcools (PVC et alliages plomb/étain sont vulnérables alors que polyesters et aluminium ne le sont pas). Compte tenu de son faible pouvoir calorifique inférieur (PCI) la consommation d'éthanol est plus élevée qu'avec du fioul. Pour la même puissance développée, l'équivalence en volume est de 1,6 litres d'éthanol pour 1 litre de fioul.

## Potentiel

L'éthanol peut s'obtenir à partir de maïs, blé, canne à sucre, mais c'est avec la betterave qu'on obtient de bons rendements. À l'heure actuelle, la France compte 370 000 hectares de betterave dont 70 000 pour l'alcool/éthanol. La production d'éthanol carburant d'origine betteravière se monte à environ 6 millions d'hectolitres et celle d'alcool (spiritueux et pharmacie) à 3,5 millions

d'hectolitres (Agreste, 2010). On considère en général qu'une tonne de betteraves produit un hectolitre d'alcool. Sachant qu'un hectare produit entre 8 000 et 9 000 tonnes de betteraves, cela représente de 8 000 à 9 000 litres d'éthanol par hectare. Tout comme le colza on pourrait imaginer que les terres agricoles non cultivées soient exploitées pour la production d'alcool carburant. Dans les régions productrices, ce serait l'équivalent d'un million de m<sup>3</sup> de fioul qui pourrait être produit, soit 40 % de la consommation agricole française.

Le prix d'achat moyen de la betterave sucrière (à 16°) en France tourne autour de 15 à 20 € par tonne pour les producteurs affiliés à un groupe industriel, il est un peu plus élevé pour ceux la vendant en coopérative. À 20 € par tonne de betterave, soit pour un hectolitre d'alcool produit, et en considérant l'équivalence énergétique volumique (1 litre de fioul équivaut à 1,6 litres d'éthanol), on arrive à un coût de matière première de 0,32 € par litre de fioul substitué, à quoi il faut évidemment ajouter les coûts de transformation, de stockage et de main d'œuvre.

Les petites unités de distillation n'existent plus en France, les seules unités de petites tailles récemment construites sont celles du Brésil sur canne à sucre. Elles permettent néanmoins de confirmer que des petites productions à l'échelle locale sont techniquement possibles et peuvent être économiquement viables.

## Intérêt environnemental

L'un des intérêts de la filière « Éthanol de betterave » est de permettre une réduction de moitié des énergies primaires non renouvelables consommées pour la production d'un mégajoule de carburant. L'éthanol de betterave permet aussi d'atteindre des réductions des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 65 %. La réduction est d'autant plus importante que l'éthanol est utilisé directement et non sous la forme d'ETBE<sup>1</sup>. L'effet de l'éthanol sur la pollution photo-oxydante varie lui en fonction des choix technologiques retenus. L'indicateur est en effet très sensible à la qualité de la combustion et à la quantité d'imbrûlés avec une mauvaise maîtrise des mélanges à l'utilisation. Par contre, comme pour le HVP, la production d'éthanol présente un impact potentiel élevé sur l'eutrophisation lié à l'utilisation d'engrais en phase de culture et au procédé industriel de production. L'impact reste néanmoins plus faible que pour l'éthanol de blé ou de maïs.

D'autres solutions agricoles, peu connues bien que déjà longuement expérimentées, mériteraient aussi d'être réétudiées. Parmi celles-ci, les deux suivantes n'entrent pas dans la compétition « alimentaire-énergétique » et reposent sur la production de biocarburant gazeux.

## Le gazogène

C'est un procédé qui convertit du charbon de bois ou du bois en un mélange gazeux (syngaz) contenant monoxyde de carbone (CO) et hydrogène (H<sub>2</sub>). La technique du

1. Ethyl tertio butyle éther : mélange d'éthanol et d'isobutène fossile présentant une volatilité inférieure à celle de l'éthanol si ces produits sont incorporés à l'essence.



► gazogène est basé sur la combustion incomplète d'un combustible solide carbonifère généralement du bois, du charbon de bois ou du coke causé par un faible apport en oxygène. Sous l'action de la chaleur des gaz sont générés comme l'oxyde de carbone (CO), l'hydrogène (H<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>). Un gazogène est généralement constitué d'un cylindre vertical où le combustible est introduit par le haut. Le combustible descend par gravité et renouvelle la matière brûlée et gazéifiée dans la partie inférieure de la zone de combustion. L'exemple du poêle à bois domestique traditionnel donne un assez bon aperçu du mode de fonctionnement d'un gazogène dit : « à lit fixe et à courant descendant ».

### Production

Il existe trois principaux types de gazogènes : à courant ascendant, descendant et ceux à courant direct. Les gazogènes à courant descendant, qui sont les plus fréquemment utilisés, exploitent un système où le gaz produit est aspiré vers le bas à travers la zone de combustion. La gazéification est alors plus efficace car il se réalise un craquage des goudrons et des composés chimiques complexes.

La composition du gaz de gazogène est variable selon le combustible utilisé et la qualité de combustion. Cependant on arrive toujours à une composition voisine de celle-ci : 20-30 % de CO ; 10-20 % de H<sub>2</sub> ; 2-5 % de CH<sub>4</sub> ; 45-60 % de N<sub>2</sub> ; 5-15 % de CO<sub>2</sub> et 6-8 % d'H<sub>2</sub>O.

Le gaz produit par un gazogène est dit pauvre car son pouvoir calorifique est faible, mais la quantité d'air nécessaire à sa combustion l'est aussi. Le contenu énergétique

du mélange combustible gaz pauvre/air introduit dans le moteur est supérieur à ce que l'on pourrait imaginer : 2,5 MJ/m<sup>3</sup> contre 3,5 MJ/m<sup>3</sup> avec du méthane (soit 0,69 kWh/m<sup>3</sup> contre 0,97 kWh/m<sup>3</sup>).

### Utilisation

Le gaz produit peut s'utiliser directement dans un moteur à gaz et en mode dual-fuel dans un moteur diesel. C'est ce dernier mode qui semble le plus immédiatement applicable aux tracteurs agricoles (photo 4). Pour alimenter un moteur à combustion interne, le gaz doit être soigneusement refroidi et épuré. Il faut spécialement filtrer les cendres et les résidus imbrûlés (goudrons et acides) menaçant la mécanique du moteur. Après épuration, le gaz est mélangé avec l'air qui est introduit dans l'admission. En pratique, on obtient des taux de substitutions du fioul avoisinant les 65 %, mais il est possible d'arriver à des taux proche des 80 %, voire 90 %, avec des adaptations très bien réalisées.

Compte tenu des pouvoirs calorifiques des combustibles utilisés, il faudra environ 2,9 kg de bois ou 1,5 kg de charbon pour obtenir l'équivalent énergétique d'un litre de fioul. Le coût d'installation, moteur non compris, d'un gazogène à bois fabriqué sur mesure pour un tracteur moderne tourne autour des 30 000 €. Mais il existe des réalisations utilisant du charbon de bois pour un coût de 7 000 €.

Les principaux inconvénients liés à l'utilisation du gazogène sont le nettoyage régulier du gazéificateur et du circuit de filtration/purification.

### Potentiel

L'avantage considérable qu'offre le gazogène est la facilité d'approvisionnement en source d'énergie. En effet, le bois peut être récupéré facilement sur les haies qui représentent au total 600 000 hectares en France ou dans les parcelles boisées des agriculteurs. Il faudrait, compte tenu d'un équivalent 3 kg de bois pour un litre de fioul, 625 000 hectares pour substituer 100 % du carburant agricole français. Aujourd'hui, 25 % de la forêt française n'est pas exploitée. Une autre voie d'approvisionnement en pleine expansion à l'heure actuelle est celle des TCR (taillis à courte rotation) ou TTCR (taillis à très courte rotation). Cette technique est basée sur une culture et une récolte précoce d'arbres à croissance rapide comme le saule ou le peuplier pour produire de la biomasse. Grâce à ces techniques, on peut obtenir l'équivalent de 8 à 12 tonnes de bois sec par hectare et par an pour un prix allant de 20 à 50 € la tonne. En comptant 3 kg pour 1 litre de fioul substitué, on obtient un prix de 10 à 20 centimes l'équivalent fioul, ce qui est très intéressant.

### Intérêt environnemental

La gazéification de la biomasse est particulièrement étudiée car elle est l'un des maillons de la production d'« hydrogène tiré de la biomasse », ce dernier étant souvent présenté comme un carburant du futur. Un système énergétique basé sur l'hydrogène est effectivement l'un des moyens de limiter l'impact de carburant sur le changement climatique. Un fois épuré, le syngaz produit par la gazéification présente très peu de composés

4 Tracteur Renault 751 équipé d'un gazogène à charbon de bois (Cemagref, 1985).



© G. Vaitilingom

aromatiques et de très faible taux de soufre, ce qui le rend très intéressant vis-à-vis des émissions de  $\text{NO}_x$  et particules (Balat, 2009). Ainsi, la toxicité des fumées est baissée à l'utilisation. L'analyse en cycle de vie réalisée par (Koroneos, 2008) montre qu'il est plus intéressant du point de vue environnemental d'utiliser le syngaz directement, sans recourir à une étape d'absorption, pour ne sélectionner que l'hydrogène. Outre son intérêt vis-à-vis de l'appauvrissement des ressources fossiles, le gazogène est donc particulièrement indiqué pour une filière courte de production de carburant. Enfin, il est bien sûr très intéressant du fait du bénéfice que son utilisation engendre vis-à-vis du changement climatique (carbone biogénique) et de l'utilisation de ressources renouvelables.

### Le biogaz ou biométhane

Le biogaz provient de la fermentation anaérobie de matières organiques dans une cuve appelée digesteur sous l'action de micro-organismes qui produisent du méthane, gaz à haut contenu énergétique. Le biogaz tient une place unique dans la production de bioénergie car il permet de valoriser des déchets.

#### Production

Il est produit à partir de déchets ménagers ou industriels, de boues de stations d'épurations et également de déchets de l'agriculture et de l'élevage ; seul le bois n'est pas apte à être digéré. Il existe différents types de digesteurs à lit fixé, à lit libre ou à deux étapes selon les produits traités et leur teneur en matière sèche. Le rendement en biogaz dépend surtout de la nature des substrats incorporés. Pour optimiser la production, le substrat doit être brassé à l'intérieur du digesteur, être maintenu à une bonne température et à un pH adapté. De ce digesteur sort d'un côté le biogaz et de l'autre le digestat. Le digestat possède une bonne valeur fertilisante car il conserve les nutriments minéraux et le potentiel humique des matières incorporées. Il peut donc être épandu sur les terres agricoles avec comme autre atout de réduire considérablement les mauvaises odeurs, les graines d'adventices et les germes pathogènes. Quant au biogaz produit, il contient environ 60 % de méthane à la sortie du digesteur. Il peut être directement utilisé en cogénération pour produire de l'électricité et de la chaleur ou bien comme

carburant. Pour cela il est préférable de le purifier afin d'enlever le  $\text{CO}_2$ , l'eau, le soufre et les composés organo-halogénés qu'il contient.

#### Utilisation (photo 5)

Le biogaz une fois épuré doit contenir au minimum 96 % de méthane pour être comprimé (à 200 bars) afin de servir comme carburant, exactement comme le GNV (gaz naturel pour véhicule). Il peut être aussi utilisé comme le gazogène en dual-fuel, c'est-à-dire mélangé à l'air qui arrive dans la chambre de combustion du moteur diesel. L'énergie apportée par le biogaz sera donc autant d'énergie en moins à apporter par le fioul. Du point de vue énergétique, 1  $\text{m}^3$  de gaz purifié équivaut à 1 litre de fioul. Avec un réservoir de 400 litres de biogaz à 200 bars, un tracteur possède un équivalent de 80 litres de fioul. Le mode dual-fuel permet une substitution de 40 à 50 % de sa consommation de fioul. Soit, par exemple, une autonomie de 10 heures pour une consommation moyenne de 16 litres par heure (8 litres sous forme de fioul accompagnés de 8  $\text{m}^3$  de biogaz), ceci en réduisant de 20 % ses émissions de  $\text{CO}_2$ .

#### Potentiel

Actuellement, la France produit seulement l'équivalent de 0,3 Mtep grâce au biogaz, toutes sources confondues. Les prévisions de Solagro et de l'Ademe tablent sur une augmentation de la production pour arriver à 1 voire 1,4 Mtep produit par le biogaz agricole d'ici 2020, ce équivaut à 55 % de la consommation en carburant de l'agriculture française, cela en n'utilisant que 13 % du gisement de matières agricoles résiduelles et en cumulant installations individuelles et collectives.

Pour une installation générant 30 000  $\text{m}^3$  de gaz épuré par an grâce au lisier et au fumier de 100 à 200 bovins, pouvant produire 100 kW électrique, l'investissement de départ est d'environ 400 000 €. Le prix de revient du biogaz carburant est alors compris entre 0,40 €/m<sup>3</sup> et 0,75 €/m<sup>3</sup> avec un retour sur investissement de dix ans. Avec des unités de tailles plus importantes, le prix de revient s'approche de 0,20 €/m<sup>3</sup>. Cependant, l'investissement de départ est beaucoup plus élevé et la demande en substrat également.

#### Intérêt environnemental

La méthanisation de déchets est un procédé particulièrement intéressant pour limiter les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture. Contrairement à tous les biocarburants issus de culture, il présente un faible impact sur l'eutrophisation. L'enjeu environnemental le plus important du biogaz réside dans la maîtrise des fuites de méthane sur l'installation. En effet, la perte de méthane au cours de la production peut avoir des effets très sensibles, tant sur le changement climatique que sur la pollution photo-oxydantes. Mais le biogaz permet une réduction de 80 % des émissions de  $\text{CO}_2$  à l'utilisation. L'utilisation d'une partie de la production de biogaz des méthaniseurs agricole pour assurer le fonctionnement des machines dédiées à l'épandage des digestats apparaît comme un moyen de développer une filière d'engins agricoles fortement décarbonés.

5 Tracteur Steyr CVT 6195, équipé pour fonctionner avec du biométhane.



© STEYR

## Conclusions

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre des véhicules agricoles, comme pour les véhicules conventionnels, il est nécessaire de réduire les consommations de carburant et d'utiliser des carburants alternatifs au pétrole. Pour pallier aux problèmes liés à une pénurie de production de pétrole, il existe plusieurs alternatives qui ne reposent pas sur des ressources d'origine fossile. Dans le cas de la filière agricole, contrairement à celles des transports, il est possible de substituer une quantité très significative de pétrole par des biocarburants. Les quatre solutions examinées ici offrent de ce point de vue un réel potentiel qu'il convient de décliner en fonction des ressources locales ou régionales. Les barrières techniques ne sont pas insurmontables car l'utilisation de carburants alternatifs au pétrole ont fait l'objet de très nombreux travaux ces dernières années. L'HVP est un bon exemple et il existe aujourd'hui des tracteurs neufs garantis et une norme de qualité d'HVP est en construction pour satisfaire aux normes européennes (III A-III B). L'éthanol est utilisé quotidiennement en moteur diesel dans des centaines de bus et le biogaz s'appuie sur les équipements GNV (2 200 bus et 1 000 poids lourds en France). Pour le biogaz, des kits existent pour réaliser les adaptations sur des tracteurs. Le principal enjeu pour le développement de ce carburant réside dans la possibilité, au niveau du méthaniseur, de remplacer la torchère par un système de récupération et purification adapté à l'usage en biocarburant. Le développement de réservoirs modulaires permettant de limiter les fuites de méthane constitue également un point clé. La solution gazogène fait exception aujourd'hui et des équipements doivent être développés. Cette filière courte constitue pourtant un moyen de développer l'autonomie des machines forestières. Toutes ces solutions présentent de réels avantages environnementaux et contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le recours massif à des biocarburants pour les engins agricoles permettrait aussi de réduire la consommation des énergies fossiles de notre production alimentaire.

La question des normes de plus en plus restrictives sur les émissions polluantes des moteurs ne constitue pas un frein à ces solutions. De nombreux travaux montrent l'équivalence des émissions polluantes produites par un moteur d'un carburant à un autre : le recours à des systèmes post-traitement de dépollution (filtre à particules, traitement à l'urée...) est l'un des moyens d'abaisser significativement les émissions polluantes des agroéquipements, quelque soit le carburant utilisé. Ce système impose surtout d'obtenir un carburant ayant des propriétés physico-chimiques suffisamment constantes pour optimiser en série un ensemble carburant-moteur-post-traitement.

Les barrières non techniques sont sans doute plus complexes. On peut citer le maintien de détaxes ou l'octroi d'exonérations, mais également l'acceptation de la part des utilisateurs dans un contexte de fluctuations des cours des matières premières agricoles et énergétiques. Utilisant des ressources maîtrisables au niveau des exploitations ou des territoires agricoles, ces techniques pourraient être applicables rapidement. Les constructeurs de matériels, très mobilisés par les nouvelles réglementations liées aux gaz d'échappement, mériteraient un soutien en faveur du développement d'une des filières présentées. L'idée défendue également est le caractère « développement durable » de ces carburants agricoles et leur vertu potentielle à être plus sensibilisateurs à une gestion raisonnée de la consommation en carburant. ■

### Les auteurs

**Gilles VAITILINGOM et Yoann AGIER**

CIRAD, PERSYST, TA B-42/16,  
73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex  
✉ [vaitilingom@cirad.fr](mailto:vaitilingom@cirad.fr)  
✉ [agier@cirad.fr](mailto:agier@cirad.fr)

**Stéphanie LACOUR**

Irstea, UR TSAN, Technologies pour la sécurité  
et les performances des agroéquipements,  
1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030,  
92761 Antony Cedex  
✉ [stephanie.lacour@irstea.fr](mailto:stephanie.lacour@irstea.fr)

## QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- 📄 **ADEME**, 2010, *Analyses en cycle de vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France*, ADEME, Service bioressources, 236 p.
- 📄 **AGIER, Y., VAITILINGOM, G.**, 2009, L'agriculture française autonome en carburant demain, et pourquoi pas ?, in : *ECOTECHS'09 – Maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'exploitation agricole : quelles perspectives technologiques ?*, Montoldre, 22-23 octobre 2009.
- 📄 **BAILLY, M.-L., GUISCAFRÉ, P.**, 2009, Maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'exploitation agricole : quelles perspectives technologiques ?, in : *ECOTECHS'09 – Maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'exploitation agricole : quelles perspectives technologiques ?*, Montoldre, 22-23 octobre 2009.
- 📄 **BALAT, M., BALAT, M., KIRTAY, E., BALAT, H.**, 2009, Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals : part 2 : gasification systems, *Energy conversion and management*, n° 50, p. 3158-3168.
- 📄 **JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE**, 2009, Directive 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, n° 47.

Des sites web :

**AGRESTE**, ✉ <http://agreste.agriculture.gouv.fr/>

**UNION FRANÇAISE DES INDUSTRIES PÉTROLIÈRES** : ✉ <http://www.ufip.fr>

► Consulter l'ensemble des références  
sur le site de la revue [www.set-revue.fr](http://www.set-revue.fr)