



Bioénergie

Développer et optimiser des procédés de production d'énergie à partir de la biomasse

La grande majorité des populations rurales des pays du Sud n'ont pas accès à l'énergie. La biomasse, souvent abondante dans ces pays, contribue uniquement à fournir l'énergie domestique de base. Aujourd'hui, le développement économique nécessite l'accès à une énergie de production, indispensable aux activités de transformation de matières premières et de conservation des denrées alimentaires et plus généralement au développement d'activités

économiques génératrices d'emplois et de revenus.

L'objectif des recherches de l'UR « *Biomasse énergie* » (Cirad) est de développer et optimiser des procédés de production d'énergie à partir de la biomasse et d'analyser les conditions de développement des filières dans les pays du Sud. Les applications visées sont la production de chaleur, d'électricité et de force motrice. L'unité s'intéresse plus particulièrement aux procédés de conversion thermochimique de la biomasse par pyrolyse, gazéification et combustion. Les connaissances acquises contribuent également au développement à plus long terme des biocarburants de deuxième génération produits par voie thermochimique.

Les travaux de recherche s'organisent autour de deux axes :

① Compréhension des réactions de pyrolyse, de gazéification, et de combustion de combustibles issus de la biomasse et conception de procédés innovants de conversion : les questions de recherche portent sur l'influence de la nature de la biomasse sur les réactions, sur les facteurs qui contrôlent la conversion, sur la qualité des produits obtenus et leur valorisation, et, de manière générale, sur l'optimisation des procédés de valorisation. L'unité s'appuie sur des dispositifs expérimentaux allant de l'échelle du laboratoire à celle du pilote semi-industriel. Des modèles de comportement de la biomasse au cours des différentes phases de

transformation sont également développés.

② Conditions de mise en œuvre des filières « biomasse énergie » : les questions de recherche portent sur l'évaluation des impacts environnementaux des filières, sur les scénarios de développement à l'échelle locale, nationale ou régionale, sur la définition de méthodologies d'évaluation (*ex ante* et *ex post*) de la viabilité des systèmes de production d'énergie à partir de biomasse, avec une approche intégrée des facteurs techniques, économiques et environnementaux.

L'unité travaille en partenariat avec l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Burkina Faso), avec lequel une plateforme commune de recherche en biomasse énergie a été développée, le Laboratoire des produits forestiers (Brésil), avec lequel des recherches sur la valorisation énergétique des résidus forestiers et des bois de plantation sont menées, le *Centro Agronómico de Investigación y Enseanza* (Costa Rica) avec lequel des travaux s'intéressent aux scénarios de développement des filières « biomasse énergie » et leurs impacts.

Les principaux équipements scientifiques de l'unité comprennent une plateforme de pilotes semi-industriels de 200 m², un banc d'essai moteur et brûleur pour les combustibles issus de la biomasse, des laboratoires d'analyse des produits et coproduits de réaction de conversion. ■

Les équipes principales

Pôle de compétitivité Trimatec
sur les ecotechnologies

Pôle de compétitivité DERBI -
Développement des Énergies
Renouvelables-Bâtiment-Industrie

Réseau BIOENERGIESUD

UR Biomasse énergie
(Cirad)
12 scientifiques

Autres équipes concernées par ce thème

UMR IATE
Ingénierie des Agropolymères
et Technologies Émergentes
(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/UM2)
49 scientifiques

UR LBE
Laboratoire de Biotechnologie de
l'Environnement
(Inra)
16 scientifiques



▲ Réacteur pilote de pyrolyse et gazéification de biomasse à lit fixe continu du Cirad.

© Laurent Van de Steene

La biomasse du vignoble champenois, source d'énergie renouvelable pour la production de bouteilles

Le projet « Biomasse viticole pour la fusion du verre » (BioViVe) vise l'utilisation directe, dans un four verrier, d'un gaz de synthèse obtenu à partir des sous-produits ligneux issus de la taille et de l'arrachage de la vigne, en remplacement des énergies fossiles. Ce gaz sera spécifiquement adapté aux besoins de la fusion du verre et sera testé dans le four champenois de Verallia situé à Oiry (Marne).

Dans ce but, les partenaires du projet, Saint-Gobain Emballage, GDF SUEZ, XYLOWATT, le Cirad et le Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne, mènent des recherches en laboratoire, des essais en cellule de combustion semi-industrielle et des tests de longue durée sur le four industriel d'Oiry dans les conditions de production habituelles. Ce projet intègre également la création d'une filière de collecte pérenne de la biomasse sur le vignoble champenois. L'objectif final du projet est d'atteindre un taux de substitution d'énergie fossile par de la biomasse d'environ 7 %. De plus, les connaissances et

l'expérience acquises par ce projet permettront aux partenaires d'envisager le développement plus significatif de la filière et le passage à des taux de substitution de 50 %.

L'UR« Biomasse énergie » est particulièrement impliquée dans deux tâches du projet dont elle en assure la coordination. La première vise la caractérisation et la mobilisation de la ressource « déchets bois de vignes ». La seconde concerne les activités de recherche du projet sur la compréhension et l'optimisation du procédé de gazéification étagé en vue d'un accroissement du pouvoir calorifique du gaz de synthèse. Pour le Cirad, les recherches menées en gazéification sont au cœur des activités de l'unité. L'objectif à moyen terme est de proposer une solution efficace de valorisation de la biomasse pour faciliter l'accès à l'énergie des populations du Sud.

Contact : Laurent Van De Steene,
laurent.van_de_steene@cirad.fr

Amélioration de la combustion des agrocarburants pour les populations rurales du Sud

Un verre (20 cl) ! C'est la quantité moyenne journalière de gazole ou de biocarburant nécessaire à une famille rurale du Sud (Afrique, Pacifique, Amazonie...) pour être électrifiée pendant 4 à 8 heures par jour. Mais la première demande demeure de disposer d'un peu de puissance, ponctuellement ou par intermittence, pour des services énergétiques. En Afrique, cela s'exprime par des besoins de mouture des céréales, de pompage d'eau et de travaux artisanaux utilisant des outils électriques manuels. Dans tout le monde rural en développement, cette puissance est obtenue grâce à de petits moteurs à essence ou le plus souvent Diesel. Les moteurs Diesel de type Lister sont répandus sur tous les continents depuis des décennies.

En Afrique, le développement des plateformes multifonctionnelles (PTF/Programme des Nations Unies pour le Développement) a favorisé leur dissémination commerciale. Ces moteurs de 5 à 15 chevaux se retrouvent sous différentes appellations selon les pays et les régions (Peter Lister, Rhino, Fieldmarshal, Imex, Elephant, Jumbo, Goldstar...). Ils sont fabriqués en Inde d'après un modèle depuis longtemps disparu en Angleterre. Ce sont des moteurs rustiques et peu exigeants et surtout d'un coût modéré face aux diesels plus récents de même puissance. Très répandus chez les meuniers ou pour le pompage d'eau, ils ont fait l'objet de tentatives d'utilisation de biocarburants locaux dès le début des années 80. Mais des problèmes d'encrassement des chambres de combustion ont été observés dès les premiers essais freinant les prises de décision quant à l'utilisation d'huiles végétales pures locales dans des contextes ruraux. L'objectif



© G. Vaitilingom

du Cirad est d'apporter une solution technologique adaptée afin de permettre l'usage de carburants de substitution tirés d'oléagineux locaux. L'étude et la mise au point récente d'une pièce très peu coûteuse (50 €), facile à fabriquer et à installer localement va permettre à des centaines de milliers de ces moteurs de bénéficier de l'alternative gazole/agrocarburant. Sont concernées aujourd'hui les huiles de palme, de coton ou de jatropha.

Contact : Gilles Vaitilingom, gilles.vaitilingom@cirad.fr

▲ Un exemple de moteur Diesel LISTER-RHINO de 8 ch. installé en plateforme multifonctionnelle, ici couplé à une génératrice de courant et une décortiqueuse. 2IE, Burkina Faso, 2011.

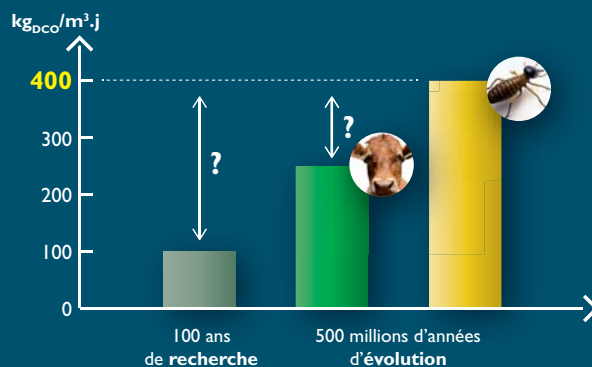
Projet DANAC digestion anaérobie activée – bio-mimétisme pour la digestion anaérobie

Aujourd'hui, les technologies industrielles consistent à mettre en œuvre au sein d'un même réacteur les différents processus biochimiques de la digestion anaérobie. Cette dernière décennie, sont apparus des prétraitements, voire des co-traitements, de la digestion anaérobie dont l'objet était de favoriser l'accessibilité de la matière en vue de sa digestion. Cependant, aucune de ces technologies à ce jour n'est capable de dépasser le seuil de 60 % de dégradation de la matière organique, limitant ainsi la production de biogaz-méthane associé. Par ailleurs, la digestion anaérobie est un procédé largement répandu notamment dans le tube digestif des êtres vivants. Dans ces écosystèmes, les performances de digestion peuvent atteindre de 61 à 76 % de la matière organique. Ces résultats tendent à montrer que le monde vivant a sélectionné des systèmes capables de lever le verrou de l'accessibilité de la matière organique afin d'en optimiser sa transformation en composés énergétiques.

L'objectif du projet DANAC est ainsi d'analyser l'ensemble des processus de digestion des êtres vivants, et, par mimétisme, de développer de nouveaux procédés de production de biogaz à partir de déchets permettant une dégradation de la matière organique supérieure à 70 %. Le LBE coordonne ce projet en partenariat avec l'UR « Hydrosystèmes et bioprocédés » (Irstea), la plateforme d'analyses protéomiques de Paris Sud-Ouest (Inra),

l'UMR « Biogéochimie et écologie des milieux continentaux » (AgroParisTech/CNRS/École normale supérieure [ENS] /Institut de recherche pour le développement [IRD]/Universités Paris 6 et Paris 12) et Suez Environnement.

Contact : Jean-Jacques Godon, jean-jacques.godon@supagro.inra.fr



▲ Les objectifs du projet DANAC : vers un biomimétisme permettant de trouver des solutions technologiques de rupture pour optimiser le traitement des résidus solides.

Projet SYMBIOSE

étude et optimisation du couplage microalgues-bactéries anaérobies pour la production de bioénergies



© LBE-Inra

De nombreux programmes de recherche et de développement s'intéressent à l'utilisation des microalgues pour la production d'énergie ou le captage du CO₂ d'origine industrielle. Le projet SYMBIOSE, coordonné par Naskeo (collaboration LBE [Inra]/UMR « Écologie des systèmes marins côtiers » [UM2/CNRS/IRD/UMI/Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Ifremer]/Équipe « *Biological control of artificial ecosystems* » [Institut national de recherche en informatique et en automatique]/Laboratoire de Physiologie et Biotechnologie des Algues [Ifremer]), souhaite explorer une voie parallèle, et souvent complémentaire, aux filières de valorisations énergétiques usuelles de ces microorganismes : coupler des cultures de microalgues captant du CO₂ industriel à un procédé de digestion anaérobie pour recycler les éléments nutritifs

▲ *L'algotron, procédé pilote totalement instrumenté du projet SYMBIOSE, couplant culture de microalgues et digestion anaérobie sur le site du LBE (Inra).*

dans les cultures et produire du méthane. Le projet s'appuie sur les avancées récentes en matière de maîtrise des cultures de microalgues et de procédés de digestion anaérobie en y intégrant l'écologie des écosystèmes lagunaires et une démarche d'éco-conception, et propose d'explorer de nouvelles pistes de recherche :

- identification et caractérisation d'écosystèmes photosynthétiques capables de supporter des conditions de culture extrêmes ;
- utilisation de la codigestion dans un procédé anaérobie en deux étapes afin de maîtriser les flux d'éléments nutritifs ;
- modélisation et contrôle de deux systèmes biologiques ;
- intégration en un processus unique dans une démarche d'écoconception.

Ce projet a pour vocation d'exploiter des mécanismes qui s'opèrent dans les environnements naturels aquatiques, mais en les contrôlant afin d'optimiser l'efficacité du captage de la lumière et du CO₂ ainsi que la pérennité des cultures. Les avancées bénéficieront à la plupart des projets qui s'intéressent à la production en masse de microalgues. Les résultats attendus permettront de :

- limiter le recours à l'azote et au phosphore externe dans les cultures de biomasses photosynthétiques ;
- épurer simultanément des effluents gazeux et des déchets organiques ;
- faire chuter les coûts et augmenter le rendement énergétique ;
- améliorer la résilience du système ;
- envisager un nouveau modèle de production énergétique durable.

Contact : **Jean-Philippe Steyer**,
jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr

Projet PEACE

production d'énergie à partir des agro-ressources par des conversions économes en énergie

La biomasse lignocellulosique doit être prétraitée pour obtenir une bonne efficacité d'hydrolyse enzymatique des polymères pariétaux, étape-clé pour la production d'éthanol et de méthane. Quatre unités de recherche (UMR IATE, UR LBE, UR Biomasse énergie, UMR Institut Jean-Pierre Bourgin) se sont associées dans le cadre de l'Institut Carnot 3BCAR* dans le but d'étudier et de développer un procédé original de prétraitement de la paille qui soit efficace du point de vue énergétique et de son bilan matière/énergie après fermentation éthanologique et méthanogène.

Une première étape consiste à soumettre la biomasse à un traitement thermique modéré qui dégrade ses propriétés mécaniques. Afin d'optimiser cette première étape, une combinaison avec une imprégnation chimique est proposée pour permettre une fragilisation et une modification structurale de l'architecture pariétale afin de déstructurer la matière à cœur et augmenter sa réactivité.

Dans une deuxième étape, la matière torréfiée est broyée intensivement dans des broyeurs à hautes vitesses instrumentés pour fournir des poudres de taille de particules inférieure à 50 µm. Les poudres obtenues subissent un post-traitement enzymatique destiné à ouvrir la structure pariétale récalcitrante après les premières étapes de prétraitement et sont ensuite utilisées comme substrats de tests de fermentation éthanologique et de méthanisation. Les échantillons sont analysés à toutes les étapes pour donner des indications sur la relation composition/propriétés/comportement vis-à-vis des traitements imposés. Les procédés sont observés finement afin d'établir des bilans énergétiques. Le bilan global sera comparé aux procédés existants.

Contacts : **Xavier Rouau**, Xavier.Rouau@supagro.inra.fr
& **Claire Dumas**, Claire.Dumas@supagro.inra.fr

* www.3bcar.fr