



Recyclage et valorisation *des eaux et des déchets*

Vers des matériaux et procédés membranaires durables

L'Institut Européen des Membranes (UMR IEM, CNRS/ENSCM/UM2), fondé en 1998, est un laboratoire de référence au niveau international dans le domaine des matériaux et procédés membranaires. Ses objectifs de recherche s'articulent autour d'une approche pluridisciplinaire et multi-échelles de :

- l'élaboration et la caractérisation de nouveaux matériaux membranaires ;
- leur mise en œuvre au sein de procédés membranaires ayant notamment pour applications le traitement des effluents, la séparation de gaz, les biotechnologies en lien avec les sciences des aliments et de la santé.

L'IEM est divisé en trois départements de recherche :

- *design* de matériaux membranaires et de systèmes multifonctionnels ;
- interfaces et physico-chimie des polymères ;
- génie des procédés membranaires.

Les activités de l'IEM en lien avec les écotechnologies reposent sur l'intensification de procédés et s'articulent majoritairement autour de trois axes ayant pour objectifs généraux d'accroître l'efficacité du procédé et de tendre vers des procédés durables (consommation énergétique et de solvants moindre, minimisation des déchets, valorisation de la ressource) :

- développement de réacteurs multifonctionnels couplant différentes fonctions au sein d'une même technologie ;
- développement de nouveaux procédés, de nouveaux matériaux à mettre en œuvre au sein de procédés traditionnels ou de nouvelles conditions opératoires de fonctionnement ;
- recours à la modélisation pour une meilleure compréhension des mécanismes réactionnels et de transfert, permettant ensuite d'améliorer l'efficacité de procédés existants.

Les travaux menés en lien avec cette démarche à l'IEM concernent essentiellement, au travers des

activités du département « Génie des procédés membranaires » :

- l'utilisation de produits et de matériaux biosourcés : élaboration de membranes à partir de biopolymères ; élaboration de membranes biodégradables ; fractionnement pour la valorisation de coproduits ;
- le recyclage et la valorisation des eaux et des déchets : concentration d'effluents et production d'eau pure et ultra-pure ; dégradation de polluants contenus dans des eaux usées par couplage membrane / réaction biologique ou physico-chimique photocatalyse ; sorption ; couplage réaction enzymatique et membrane.

Des collaborations ont été mises en place au niveau régional, notamment avec le pôle ELSA (*cf. p. 32*), pour intégrer les aspects d'ACV et d'éco-conception dans le cadre de projets de recherche portant sur le développement de nouveaux procédés d'élaboration « sans solvant » de matériaux membranaires (projet ANR POMEWISO, *cf. p. 13*) ou la mise en œuvre de procédés intensifs couplant membrane et sorption sur polymères fonctionnalisés (projet ANR Copoterm « Copolymères pour le Traitement des Eaux et la Récupération des Métaux »).

Les équipes principales

UMR IEM
Institut Européen des Membranes
(ENSCM/CNRS/UM2)
50 scientifiques

UPR Recyclage et Risque
(Cirad)
13 scientifiques

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

Suite page 22



Projet DIVA

caractérisation des digestats et de leurs filières de valorisation agronomique

Le fort développement de la méthanisation des déchets organiques a intensifié l'apparition de nouvelles filières telles que la méthanisation agricole ou la méthanisation des ordures ménagères. Ainsi, de nouveaux types de digestats (résidus générés par les procédés de digestion anaérobie de la matière organique) non ou mal caractérisés ont vu le jour avec des devenir plus ou moins adaptés où le principal exutoire reste généralement le sol. Des connaissances supplémentaires sont ainsi indispensables pour mettre en place la gestion de ces digestats et combler le retard technologique important de la France vis-à-vis des pays du Nord de l'Europe et de l'Allemagne.

Cette valorisation finale étant majoritairement agronomique, il existe donc une demande importante pour, d'une part, caractériser tous les types de digestats produits actuellement en France, et d'autre part, développer des méthodes de transformation permettant de mieux tirer parti de la valeur agronomique de ce nouveau produit. De plus, la prise en compte des nouveaux enjeux environnementaux tels que la maîtrise de l'énergie, le recyclage des matières premières et la maîtrise des émissions gazeuses à l'épandage, pose un certain nombre de questions qui doivent être envisagées aujourd'hui pour préparer le développement des filières de gestion de demain. Ainsi l'intégration de l'UMR IEM dans le projet DIVA (collaboration Irstea, Armines, Geotexia, IEM, Inra, Suez, Solagro) devrait permettre de proposer des post-traitements ultérieurs par procédés à membranes ou autre afin d'atteindre et de sécuriser ce statut de produit. Cette démarche scientifique – séparer, valoriser, normaliser – permettra de trouver la meilleure voie possible des digestats vers un développement durable.

Contact : Marc Heran, marc.heran@univ-montp2.fr

◀ Unité de séparation : filtration membranaire.

Maitriser le risque environnemental lié au recyclage des déchets organiques

L'UPR « *Recyclage et Risque* » (Cirad) mène des activités à l'interface entre analytique et systémique, dans le domaine du recyclage des produits résiduels organiques. L'hypothèse centrale est que certains de ces produits sont des sources d'énergie et/ou de matière organique susceptibles de maintenir une production agricole soutenue et durable.

L'objectif est de rechercher des solutions et des pratiques agricoles à risques agro-environnementaux contrôlés en utilisant au mieux les technologies de transformation et le pouvoir épurateur du sol et de la plante. L'unité aborde cette problématique en s'investissant dans l'étude des processus biophysiques de transformation des déchets organiques, de transfert des éléments dans le système eau-sol-plante-atmosphère et en prenant en compte la gestion des stocks et des flux de matière sur un territoire. Elle produit des connaissances et des outils permettant d'évaluer et de concevoir des solutions de recyclage intégrées alliant le respect des ressources

naturelles et de l'environnement à la performance économique.

Les recherches de l'unité sont organisées suivant deux axes scientifiques :

- L'axe « **Transformation et gestion des produits résiduels organiques dans les territoires** » développe des modèles permettant de simuler les technologies de transformation des déchets organiques par compostage et méthanisation, ainsi que des méthodes d'évaluation de l'impact environnemental du recyclage. Deux niveaux d'organisation sont pris en compte, celui de l'exploitation (gestion individuelle) et celui des ensembles organisés d'exploitations (gestion collective).

- L'axe « **Dynamique d'interactions produits résiduels organiques-eau-sols-cultures** » produit des connaissances sur la dynamique couplée de la matière organique, de l'azote et des éléments traces métalliques avec le système de culture et le type de sol. Les indicateurs de risque pour l'environnement sont élaborés aux échelles régionale, des parcelles expérimentales et du laboratoire (rhizosphérique et moléculaire).

Les travaux des deux axes s'appuient sur des plateformes analytiques et expérimentales, ainsi que sur des

partenariats avec d'autres unités de recherche, des organismes de développement et des entreprises. L'unité est implantée sur deux sites principaux à Montpellier et à La Réunion. Un partenariat stratégique avec le Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement à Aix en Provence permet l'accueil de chercheurs de l'unité dans celle-ci. Des partenariats originaux sont entretenus avec des entreprises privées, en particulier le groupe Frayssinet, premier fabricant d'engrais organique en France.

À La Réunion, l'unité collabore étroitement avec les collectivités territoriales et, en premier lieu, la Région de La Réunion. Au Sénégal, un chercheur de l'unité est affecté au Laboratoire d'Écologie Microbienne des Sols et Agro Systèmes Tropicaux. Les ressources financières de l'unité proviennent principalement du secteur public (ANR, ministères autres que celui de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ADEME). Les ressources liées à l'activité à La Réunion proviennent de la Communauté européenne et des collectivités territoriales. Le secteur privé et les expertises contribuent également à l'équilibre financier de l'unité. ●●●



▲ Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement de l'Inra de Narbonne vu du ciel, avec une lagune de production de micro-algues en premier plan.

© Inra-LBE

Les écosystèmes « pour » et « dans » les procédés dans un concept de bioraffinerie environnementale

Le *Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (Unité de recherche [UR] LBE, Inra)*, situé à Narbonne, est rattaché pour la partie scientifique, aux départements « Environnement et Agronomie » et « Microbiologie et Chaîne Alimentaire » de l'Inra et, pour la partie administrative, au Centre Inra de Montpellier. Depuis plus de 25 ans, les recherches du LBE cherchent à traiter et/ou valoriser les rejets de l'activité humaine, qu'il s'agisse d'effluents liquides (agroalimentaires en particulier), de résidus solides (résidus agricoles, déchets ménagers et boues issues des stations

d'épuration) ou de biomasses spécifiques telles que les micro- ou macro-algues. Les processus de transformation des polluants sont réalisés par des communautés microbiennes complexes en termes de composition, de diversité et de dynamique fonctionnelle. Les caractéristiques de ces communautés, couplées au fait que leur mise en œuvre ne peut s'effectuer qu'en milieu « ouvert », ont conduit le laboratoire à rechercher une action de traitement/valorisation en orientant les réactions microbiennes de transformation par une intervention sur les conditions opératoires du bioprocédé.

Cette valorisation se décline en intégrant explicitement les contraintes d'innocuité sanitaire (e.g. celles liées à la présence de résidus pharmaceutiques, de détergents et/ou de pathogènes). Les processus de transformation des éléments polluants sont ainsi étudiés :

- à l'échelle du processus par la caractérisation des cinétiques, des systèmes-clés physiologiques et des dynamiques de populations microbiennes ;
- à l'échelle du procédé par le développement de procédés innovants, par l'optimisation de l'hydrodynamique ou de la conduite des bioréacteurs ainsi que par la mise en œuvre de techniques physicochimiques de co-traitement.

La prise en compte de ces deux échelles dans un contexte de filières durables a toujours guidé les actions de recherche, l'objectif étant de développer des dispositifs de dépollution ou de valorisation des effluents et résidus sous contraintes économiques et réglementaires, pour parvenir à des bioprocédés sobres, performants, fiables et évolutifs.

Six axes de recherche couvrent un large spectre de compétences disciplinaires : microbiologie, écologie microbienne, génie biologique, génie des procédés, modélisation, automatique, ACV, ingénierie de projet, transfert industriel :

- ❶ recherche d'indicateurs génériques de caractérisation de la matière organique et des coproduits associés ;
- ❷ connaissance et rôle des paramètres biotiques/abiotiques vis-à-vis des services rendus ;
- ❸ moyens d'action et de pilotage des procédés et des écosystèmes associés pour agir et ne plus subir ;
- ❹ évaluation et gestion du devenir et des impacts environnementaux et sanitaires des produits issus des procédés de traitement ;
- ❺ modèles descriptifs/explicatifs/prédictifs en ingénierie et en écologie ;
- ❻ ingénierie et éco-conception des filières.

Le LBE est un des laboratoires leader mondial dans le domaine de la digestion anaérobie (premier laboratoire publiant référencé sur le *Web of Science* avec comme mot clé « *anaerobic digestion* »). Il bénéficie d'une implantation de 4 757 m² de surface, dont 1 882 m² de halle expérimentale, et d'un équipement scientifique et analytique performant, avec plus de 50 digesteurs (1 l à plusieurs m³) en opération 24h/24 et 365 j/an. Le LBE mise sur une recherche d'excellence, une pluralité des thématiques abordées, une approche pluridisciplinaire mais aussi un savoir-faire en termes de transfert de technologie et d'innovation (6 brevets, 11 contrats de licence, prix de l'innovation à Pollutec en 2007, 2009 et 2010). ■

Autres équipes concernées par ce thème

Équipe IAM
Ingénierie et Architectures
Macromoléculaires

ICGM - Institut Charles Gerhardt de Montpellier UMR CNRS 5253
(ENSCM/CNRS/UM2/UM1)
60 scientifiques

UMR ITAP
Information-Technologies-Analyse
environnementale-Procédés agricoles
(Montpellier SupAgro/Irstea)
27 scientifiques

UPR CMGD
Centre des Matériaux de
Grande Diffusion
(EMA)
40 scientifiques

UPR LGEI
Laboratoire de Génie
de l'Environnement Industriel
et des Risques Industriels et Naturels
(EMA)
29 scientifiques

UR Biomasse énergie
(Cirad)
12 scientifiques

Projet PETZECO

traitement d'effluents pétrochimiques par combinaison ozone zéolithe

La pollution des eaux et des sédiments par les hydrocarbures aromatiques polycycliques est incontestable et présente des risques réels pour l'environnement et la santé ; ce qui a conduit la Commission européenne à les classer comme substances prioritaires. Les opérations classiques d'oxydation chimique ou d'adsorption sur charbon actif présentent des limites en termes de coût et de mise en œuvre. Les procédés d'oxydation avancée sont adaptés pour dégrader les composés bio-réfractaires ou toxiques, grâce à l'utilisation des radicaux hydroxyles. Le travail proposé dans le projet PETZECO (collaboration ICGM, Laboratoire de Génie Chimique, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Total) vise à développer une technique de pointe pour le traitement des eaux usées industrielles difficiles.

L'idée principale de ce projet est d'utiliser l'ozone combiné avec des matériaux zéolithiques innovants afin d'associer une propriété de décomposition de l'ozone en radicaux hydroxyles et une propriété d'adsorption sur ces solides. Cette combinaison provoquant une synergie devrait augmenter les vitesses de dégradation.

L'utilisation d'un solide poreux minéral devrait garantir une bonne résistance aux attaques oxydantes et permettre d'assurer un maintien des propriétés adsorbantes et catalytiques à long terme. La partie développement de ce nouveau adsorbant / catalyseur mésoporeux solide de type zéolithe est l'un des défis de ce projet car très peu d'études existent dans ce domaine. La mise en œuvre de cette combinaison de catalyseurs / ozone dans un procédé efficace et peu coûteux constitue un autre défi de ce travail. Les aspects réactionnels et mécanistiques seront étudiés précisément afin de pouvoir cibler les fonctionnalités les plus intéressantes du solide lors de la synthèse des zéolithes. Les paramètres dimensionnant du procédé d'oxydation dans différentes configurations sont étudiés en profondeur (du lit fluidisé à la séparation membranaire du catalyseur). L'objectif ultime du projet est d'utiliser des matériaux monolithes contenant le nouveau catalyseur sur des effluents réels pétrochimiques.

Contact : **Stephan Brosillon**, stephan.brosillon@univ-montp2.fr

Vers une nouvelle filière verte à économie circulaire : de la phytoextraction à la catalyse chimique biosourcée et vice-versa

Le programme Opportunité (E)⁴ (Environnementale, Écologique, Éthique et Économique) explore les contours d'un procédé innovant de valorisation chimique des technologies de phytoextraction et des déchets contaminés par les éléments traces métalliques. Tirant parti de la capacité adaptative remarquable de certains végétaux à hyperaccumuler les cations Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} et/ou Al^{3+} dans leurs parties aériennes, la conception du projet repose sur l'utilisation directe des espèces métalliques d'origine végétale comme catalyseurs « acides de Lewis » de réactions chimiques organiques supportés sur des déchets miniers (stériles et scories) ou de combustion.

Ce programme associe des laboratoires de recherche publique, semi-publique et trois sociétés privées qui conjuguent leurs compétences en phytoextraction dans la réhabilitation écologique durable de sites miniers gardois et néocalédoniens tout en respectant la biodiversité locale. Les déchets végétaux et métalliques associés sont directement valorisés et transformés en catalyseurs verts, puis sont dispersés et stabilisés sur les déchets miniers divisés. Ces systèmes polymétalliques originaux servent de catalyseurs hétérogènes dans des transformations synthétiques permettant l'accès à des molécules à haute valeur ajoutée (molécules plateformes aromatiques, hétérocycles et oligomères d'intérêt biologique...). La conception des procédés permet le recyclage par simple filtration ; elle est également adaptée aux nouvelles contraintes économiques et constitue une solution concrète à la criticité des matières minérales non-renouvelables.

Ce programme scientifique est réalisé avec les acteurs locaux issus des collectivités et des structures étatiques. Il fait l'objet d'actions de valorisation soutenues auprès de groupes industriels aux domaines d'application complémentaires (écologie de la restauration, industries minière et chimique).



Il repose aujourd'hui sur des bases solides de résultats scientifiques, permettant de garantir la réalisation d'objectifs précis, se traduisant par le financement d'un projet ANR, d'un projet CNRS-Irstea, d'un projet du Fonds Européen de Développement Régional, de deux contrats industriels, dix accords de confidentialité, deux financements de thèse et une collaboration avec une société privée spécialisée dans le transfert technologique. Ce travail de recherche interdisciplinaire, à finalité appliquée et industrielle, entend être un moteur de la reconstruction environnementale et socioéconomique de sites meurtris par des activités industrielles et minières.

Contact : **Claude Grison**, claudio.grison@cefe.cnrs.fr

Pour plus d'informations : www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/environnement-et-ressources-biologiques/ecotechnologies-ecoservices/fiche-projet-ecotech/?tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-11-ECOT-011



▲ Digesteur TRANSPAILLE de 40 m³ au Sénégal.

© Yvan Hurvois

La valorisation des déchets organiques par méthanisation et compostage en régions chaudes

Équivalence 1 m³ de méthane

- ▶ 9,7 kW/h d'électricité
- ▶ 1,3 kg de charbon
- ▶ 1,15 l d'essence
- ▶ 1 l de mazout
- ▶ 2,1 kg de bois
- ▶ 0,94 m³ de gaz naturel
- ▶ 1,7 l d'alcool à brûler

En régions chaudes, où les températures moyennes sont élevées, les procédés biologiques de valorisation des déchets organiques sont particulièrement efficaces. Contrairement aux procédés thermochimiques, ils permettent de sauvegarder une partie de la matière organique qui peut être recyclée pour préserver la fertilité des sols cultivés.



© Jean-Luc Farinet

▲ Essai de compostage à Wallis.

La méthanisation, ou digestion anaérobie, est une fermentation en absence totale d'oxygène. La dégradation des matières organiques entraîne la formation d'un gaz, le biogaz, qui est riche en méthane (CH₄). Le biogaz peut être utilisé directement comme combustible ou carburant. Le résidu final de la méthanisation, appelé méthanisat ou digestat, peut être utilisé directement comme fertilisant ou encore composté pour améliorer ses propriétés. Depuis la fin des années 70, le Cirad a mis au point avec ses partenaires africains, différentes technologies de méthanisation adaptées au contexte local. Ainsi, le procédé TRANSPAILLE permet la méthanisation des déchets de type solide, comme, par exemple, le fumier, les matières stercoraires, les épilures de manioc ou la pulpe de café. Pour les effluents liquides riches en matières organiques, le procédé AGRIFILTRE® permet leur filtration et imprégnation sur de la paille avant la méthanisation.

Le compostage consiste en une biodégradation des matières organiques en présence d'oxygène qui s'accompagne d'une production de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau. La réaction est exothermique et provoque une montée en température du milieu. Le compostage est souvent réalisé en tas ou andains à l'air libre, aussi il est difficile de le maîtriser. La modélisation du compostage consiste à formaliser les relations entre les caractéristiques physicochimiques des déchets organiques et les sorties sous forme gazeuse, liquide et solide. Cette modélisation est utilisée pour paramétrer des modèles de flux (exploitation, territoire) en vue d'une évaluation environnementale.

**Contacts : Jean-Luc Farinet, jean-luc.farinet@cirad.fr
& Jean-Marie Paillat, jean-marie.paillat@cirad.fr**

Pour plus d'informations : www.cirad.fr/innovation-expertise/produits-et-services/equipements-et-procedes

Vers une meilleure qualité du tri et du recyclage/valorisation des déchets d'équipements électriques et électrotechniques en fin de vie



© CMGD

Le recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est au centre de nombreux projets de recherche car leur flux annuel (environ 24 kg/habitant) est en

constante augmentation (3-5 %). Les plastiques contenus dans ces déchets demeurent une source de pollution lors de leur élimination. Celle-ci constitue un gaspillage important puisque les matières plastiques techniques issues des DEEE conservent des propriétés d'usage intéressantes même après un premier cycle de vie. Bien que de nombreuses études scientifiques réalisées dans les pays développés concernent leur recyclage, l'utilisation de cette matière plastique recyclée n'est pas répandue entre autres du fait de la qualité encore insuffisante des matières disponibles (conditionnée par la qualité du tri des matières et principaux additifs). L'amélioration des procédés de tri-identification-séparation générera des matières plastiques régénérées de haute qualité pour des applications dans des secteurs industriels variés.

▲ Essai de tri-séparation des plastiques issus de DEEE par spectroscopie proche-infrarouge (SPIR).

Le gisement de plastiques issus des DEEE se caractérise par une grande complexité : de nombreux plastiques sont incompatibles entre eux, et une fraction importante est de couleur sombre, rendant certaines techniques de tri-identification inefficaces, ou bien chargée avec des retardateurs de flamme bromés qui doivent être triés séparément.

Le CMGD travaille depuis dix ans sur le recyclage/valorisation des déchets DEEE et, depuis 2008, à travers deux projets :

- Le projet REDEMPTIR (financement ADEME) vise à maximiser le taux de valorisation et la pureté des plastiques triés par proche infrarouge en ligne à partir de gisements de DEEE réels non noirs, en contrôlant leur composition en polymères et en retardateurs de flamme.
- Le projet TRIPLE-VALEEE (financement Fond Unique Interministériel, FUI) scindé en deux axes de développement :
 - Le projet TRIPLE vise à proposer une méthodologie normalisée d'analyse et d'échantillonnage des gisements de plastiques issus du traitement des DEEE et à mettre en place des schémas de tri performants.
 - Le projet VALEEE a pour objectif d'identifier les différentes voies d'incorporation des DEEE au sein de produits industriels, soit en substitution partielle, soit en substitution complète de matériaux vierges dictés par l'établissement de cahiers des charges définissant les types de polymères ou les performances à atteindre.

Contacts : Didier Perrin, didier.perrin@mines-ales.fr & Rodolphe Sonnier, rodolphe.sonnier@mines-ales.fr

Exemple de valorisation par recyclage chimique de déchet PET



- 1 Paillettes de PET issues de l'industrie du recyclage.
- 2 PET dépolymérisé en extrudeuse.
- 3 Produit obtenu après réaction au laboratoire.
- 4 Matériau obtenu après photopolymérisation (épaisseur 0,5-0,7 mm).
- 5 Application dans le secteur du revêtement.

Les déchets de polyéthylène téréphtalate (PET) utilisés proviennent principalement de la récupération et du tri des bouteilles. À l'heure actuelle, le recyclage du PET se fait principalement (75 %) sous forme de fibres (rembourrage de couettes, pull-overs...). D'autres applications, issues de la recherche, peuvent être visées, dont voici un exemple.

Les bouteilles de PET sont tout d'abord broyées jusqu'à atteindre la taille désirée puis lessivées afin d'éliminer le maximum de contaminants tels que papier, colle, PVC, etc. Les paillettes de PET obtenues (photo 1) subissent une étape de séchage suivie d'une première transformation appelée glycolyse. Un produit de masse moléculaire plus faible, se présentant sous forme de pâte verte (photo 2), est obtenu. Une modification chimique permet d'obtenir un polyester insaturé présentant un aspect beaucoup plus fluide, transparent et légèrement jaune (photo 3). Ce produit est alors mis en jeu dans une réaction de photopolymérisation avec des diluants réactifs conduisant à un matériau transparent et souple. La souplesse du matériau peut être contrôlée avec le choix du diluant-réactif (photo 4). Une application dans les revêtements pour le bois peut être envisagée avec ce type de produit (photo 5), sachant que les premiers tests ont validé le procédé du dépôt ainsi que l'accroche du vernis sur le bois.

Contact : Rémi Auvergne, remi.auvergne@enscm.fr



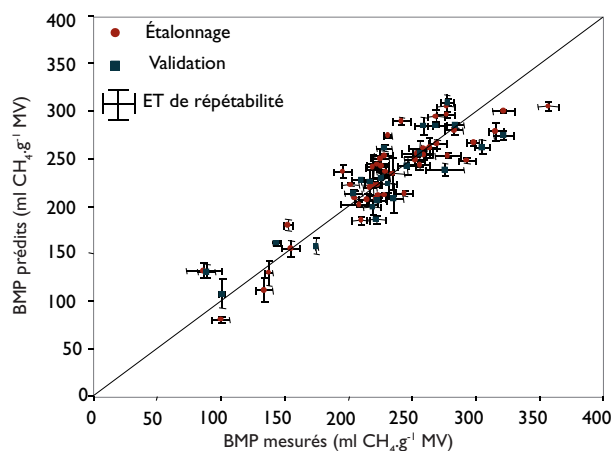
▲ *Passer automatique connecté à une chromatographie en phase gazeuse pour l'analyse des acides gras volatils produits durant la méthanisation.*

Évaluer le potentiel méthane des déchets organiques grâce à la spectrométrie proche infrarouge

Pour optimiser la production de méthane par digestion anaérobie d'un déchet organique, il est indispensable de connaître au préalable sa valeur de potentiel méthane. Cela se réalise actuellement par le test *Biochemical Methane Potential* (BMP) qui consiste en une fermentation pendant un mois au minimum. Ce délai est trop long dans un contexte industriel, générant des contraintes de gestion de stock et des risques de perte de la population bactérienne des réacteurs en cas de déchets faiblement biodégradables.

Afin d'optimiser les procédés industriels de production de méthane, la spectroscopie proche infrarouge (SPIR) constitue une méthode innovante de détermination rapide du BMP de déchets. En effet, elle permet d'analyser globalement la matière organique après une rapide préparation d'échantillon et de calculer le potentiel méthane en quelques minutes. Le risque de méthaniser un déchet faiblement biodégradable sera diminué et les processus de co-digestion mieux maîtrisés.

La plateforme EcoTech-LR a permis à l'UMR ITAP, au LBE et au LGEI, de développer conjointement une méthodologie selon laquelle les déchets broyés et lyophilisés sont analysés en réflectance en SPIR. Les résultats de prédiction du BMP sont très bons, surtout au regard de la complexité du milieu étudié : une erreur de prédiction de 10 % (28 ml CH₄.g⁻¹ de matière volatile [MV]) sur 70 échantillons représentatifs de déchets d'ordures ménagères (valeurs de 89 à 357 ml H₄.g⁻¹ MV), une erreur de répétabilité bonne (environ 7 ml CH₄.g⁻¹ MV) et aucun biais entre la prédiction du lot d'étalonnage et celle du lot de test. L'interprétation des spectres et du modèle de prédiction renseigne aussi la caractérisation des déchets telle que la présence de glucides, lipides, protéines, qui augmente le BMP et celle d'autres composés le diminuant car non dégradés lors de la digestion anaérobie (fibres ou plastiques par exemple).



▲ *Comparaison des valeurs mesurées et des valeurs prédites.*

La droite représente la relation 1:1.
Erreur de prédiction : 28 ml CH₄.g⁻¹ MV ;
Erreur de répétabilité : 7 ml CH₄.g⁻¹ MV . R²=0,8.

La prochaine étape est de permettre l'industrialisation de la méthode qui devrait connaître un essor important avec des retombées économiques substantielles, compte tenu des besoins importants de traitement des déchets agricoles ou ménagers. Pour cela, la réponse spectrale étant très sensible au type de milieu étudié, un étalonnage sera nécessaire à chaque type de déchet.

Contacts : Jean-Michel Roger, jean-michel.roger@irstea.fr
Éric Latrille, latrille@supagro.inra.fr
& Catherine Gonzalez, gonzalez@ema.fr

Ces recherches, concrétisées par la thèse de M. Lesteur, doctorant de la Plateforme Technologique Régionale EcoTech-LR, ont obtenu le prix ADEME des Techniques Innovantes pour l'Environnement au Salon Pollutec 2009. Elles se poursuivent par un transfert industriel à la société Ondalys dans le cadre du projet MethaNIR.

