



# Reciclaje y valorización de las aguas y de los desechos

## Hacia materiales y procesos de membrana sostenibles

El *Instituto Europeo de Membranas* (UMR IEM, CNRS/ENSCM/UM2), fundado en el 1998, es un laboratorio referente al nivel internacional en el ámbito de materiales y procesos de membrana. Sus objetivos de investigación se articulan alrededor de un enfoque pluridisciplinario y multi-escalas de :

- la elaboración y la caracterización de nuevos materiales de membrana;
- su implementación en procesos de membrana que comprenden entre otros el tratamiento de efluentes, la separación de gases, las biotecnologías vinculadas con las ciencias de los alimentos y de la salud.

El IEM está dividido en tres departamentos de investigación :

- *design* de materiales de membrana y de sistemas multi-funcionales ;
- interfaces y físico-química de los polímeros ;
- ingeniería de los procesos de membrana.

Las actividades del IEM en relación con las ecotecnologías están basadas en la intensificación de procesos y se articulan mayormente alrededor de tres ejes que tienen como propósito esencial acrecentar la eficacia del proceso, y tender hacia procesos durables (consumo energético y de solventes menorado, minimización de los residuos, valorización del recurso) :

- desarrollo de reactores multifuncionales que acoplan diferentes funciones en una misma tecnología ;
- desarrollo de nuevos procesos, de nuevos materiales para implementarlos dentro de procedimientos tradicionales o de nuevas condiciones operativas de funcionamiento ;
- recurso a la modelización para una mejor comprensión de los mecanismos de reacción y de transferencia, permitiendo luego mejorar la eficiencia de los procesos existentes.

Los trabajos alineados con este enfoque en el IEM, mediante las

actividades del departamento « Ingeniería de los procesos de membrana » conciernen, por lo esencial :

- la utilización de productos y materiales bio formulados : elaboración de membranas a partir de bio-polímeros ; elaboración de membranas biodegradables ; fraccionamiento para la valorización de coproductos ;
- el reciclaje y la valorización de las aguas y los desechos : concentración de efluentes y producción de agua pura y ultra-pura ; degradación de contaminantes contenidos en aguas usadas por acople membrana / reacción biológica o físico-química fotocatalítica ; sorción ; acople reacción enzimática y membrana.

Se han establecido colaboraciones al nivel regional, entre otras con el polo ELSA (*cf. p. 32*), para integrar los aspectos de ACV y de eco-concepción en el marco de proyectos de investigación que atañen al desarrollo de nuevos procesos de elaboración « sin solventes » de materiales con membranas (proyecto ANR POMEWISO, *cf. p. 13*), o la implementación de procesos intensivos que acoplan membrana y sorción sobre polímeros funcionalizados (proyecto ANR Copoterm « Copolímeros para el Tratamiento de las Aguas y la Recuperación de los Metales »).

### Los equipos principales

**UMR IEM**  
**Instituto Europeo de las Membranas**  
(ENSCM/CNRS/UM2)  
50 científicos

**UPR Reciclaje y Riesgo**  
(CIRAD)  
13 científicos

**UR LBE**  
**Laboratorio de Biotecnología del Medio Ambiente**  
(INRA)  
16 científicos

...continuación página 22



## Proyecto DIVA caracterización de los digestos y de sus sectores de valorización agronómica

El desarrollo fuerte de la metanización de los desechos orgánicos ha intensificado la aparición de nuevos sectores, tales como la metanización agrícola o la metanización de los desechos domésticos. Han aparecido nuevos tipos de digestos (residuos generados por los procesos de digestión anaerobia de la materia orgánica), que hasta ahora no han sido adecuadamente caracterizados y que quedan esencialmente en el suelo. Es necesario profundizar los conocimientos sobre la gestión de estos digestos, y colmar el retraso tecnológico importante en el tema que Francia presenta frente a otros países como los nórdicos y Alemania.

Esta valorización final siendo principalmente agronómica, existe una demanda importante de la caracterización de todos tipos de digestos producidos actualmente en Francia, por una parte, y, por otra parte, es necesario el desarrollo de métodos de transformación que permitan sacar mejor partido del valor agronómico de este nuevo producto. Además la toma en consideración de los nuevos retos medioambientales tales como el control de la energía, el reciclaje de las materias primas y el control sobre las emisiones de gases cuando se realiza el esparcimiento, plantea un número de cuestiones que hay que considerar hoy para preparar el desarrollo de los sectores de gestión de mañana. Así, la integración del UMR IEM en el proyecto DIVA (colaboración IRSTEA, Armines, Geotexia, IEM, INRA, Suez, Solagro) tendría que permitir proponer post-tratamientos mediante procesos con membranas u otros, a fin de lograr y de asegurar este estado de producto. Este enfoque científico – separar, valorizar, normalizar – permitirá encontrar el mejor camino para los digestos hacia un desarrollo sostenible.

Contacto : Marc Heran, [marc.heran@univ-montp2.fr](mailto:marc.heran@univ-montp2.fr)

◀ Unidad de separación : filtración de membrana.

### Controlar el riesgo medioambiental relacionado con el reciclaje de los desechos orgánicos

La UPR « *Reciclaje y Riesgo* » (CIRAD) lleva actividades en la interfaz entre lo analítico y lo sistémico, en el ámbito del reciclaje de productos residuales orgánicos. La hipótesis central es que algunos de estos productos son fuentes de energía y/o de materia orgánica susceptibles de mantener una producción agropecuaria sostenida y duradera.

El objetivo es buscar soluciones y prácticas agrícolas con riesgos agro-medioambientales controlados, utilizando lo mejor posible las tecnologías de transformación y el poder de depuración del suelo y de la planta. La unidad aborda esta problemática invirtiendo en el estudio de los procesos biofísicos de transformación de los desechos orgánicos, de transferencia de elementos en el sistema agua-suelo-planta-atmósfera, tomando en cuenta la gestión de los almacenamientos y de los flujos de materia sobre un territorio. Produce conocimientos y herramientas que permiten evaluar y concebir soluciones de reciclaje integradas,

reuniendo el respeto de los recursos naturales y del medio ambiente con buenos resultados económicos.

Las investigaciones de la unidad están organizadas según dos ejes científicos :

- El eje « **Transformación y gestión de productos residuales orgánicos en los territorios** » desarrolla modelos que permiten simular las tecnologías de transformación de los desechos orgánicos por compostaje y metanización, como también métodos de evaluación del impacto medioambiental del reciclaje. Toman en cuenta dos niveles de organización : el de la explotación (gestión individual) y el de los conjuntos organizados de explotaciones (gestión colectiva).
- El eje « **Dinámica de interacciones productos residuales orgánicos-agua-suelo-cultivos** » produce conocimientos sobre la dinámica acoplada de la materia orgánica, del nitrógeno y de los elementos trazas metálicas con el sistema de cultivo y el tipo de suelo. Los indicadores de riesgo para el medio ambiente están elaborados a escalas regional, de las parcelas experimentales y del laboratorio (rizosférico y molecular).

Los trabajos de los dos ejes se apoyan sobre plataformas analíticas y experimentales, como también sobre

colaboraciones con otras unidades de investigación, organismos de desarrollo y empresas. La unidad está ubicada en dos sitios principales : Montpellier, y la isla de La Reunión. Una colaboración estratégica con el Centro Europeo de Investigación y de Enseñanza de las Geociencias del Medio Ambiente en Aix en Provençe, permite acoger en este sitio investigadores de la unidad. Se mantienen colaboraciones originales con empresas privadas, particularmente con el grupo Frayssinet, mayor fabricante en abonos orgánicos en Francia.

En la isla de La Reunión, la unidad mantiene una estrecha colaboración con las colectividades territoriales y, en primer lugar, con la Región de la Reunión. En Senegal, un investigador de la unidad está afectado al Laboratorio de Ecología Microbiana de los Suelos y Agro Sistemas Tropicales. Los recursos financieros de la unidad provienen principalmente del sector público (ANR, ministerios otros que el Ministerio de la Enseñanza superior y de la Investigación, ADEME). Los recursos relacionados con la actividad en la Reunión provienen de la Comunidad europea y de las colectividades territoriales. El sector privado y las pericias contribuyen también al equilibrio financiero de la unidad. ●●●



▲ Vista aérea del Laboratorio de Biotecnología del Medio Ambiente del INRA en Narbona, con la laguna de producción de microalgas en primer plano.

© INRA-LBE

## Los ecosistemas « por » y « adentro de » los procesos en un concepto de biorefinería medioambiental

El laboratorio de Biotecnología del Medio Ambiente (Unidad de investigación [UR] LBE, INRA), ubicado en Narbona, depende, por la parte científica, de los departamentos « Medio Ambiente y Agronomía » y « Macrobiología y Cadena Alimentaria » del INRA, y del Centro INRA de Montpellier, por la parte administrativa.

Desde hace más de 25 años, las investigaciones del LBE buscan tratar y/o valorizar los desechos provenientes de la actividad humana, se trate de efluentes líquidos (agroalimentarios específicamente), de residuos sólidos (residuos

agrícolas, desechos domésticos o lodos provenientes de las plantas de depuración) o de biomásas específicas, tales como las micro- o macro-algas. Los procesos de transformación de los contaminantes son realizados por comunidades microbianas complejas, en términos de composición, de diversidad y de dinámica funcional. Las características de estas comunidades, agregadas al hecho que su puesta en práctica puede efectuarse en medio « abierto » únicamente, han llevado al laboratorio a buscar una acción de tratamiento/valorización orientando las reacciones microbianas de transformación mediante una intervención sobre las condiciones operativas del bioproceso.

Esta valorización se lleva a cabo integrando explícitamente las demandas de inocuidad sanitaria (e.g. aquellas vinculadas con la presencia de residuos farmacéuticos, de detergentes y/o patógenos).

Los procesos de transformación de los elementos contaminantes se estudian del siguiente modo :

- escala del proceso por la caracterización de la cinética, de los sistemas claves fisiológicos y de las dinámicas de las poblaciones microbianas ;
- a escala del proceso por el desarrollo de métodos innovadores, por la optimización de la hidrodinámica o del manejo de los bioreactores, y también por la implementación de técnicas físico-químicas de co-tratamiento.

Las investigaciones han sido guiadas siempre por la toma en cuenta de estos dos niveles en un contexto de sostenibilidad, siendo el objetivo desarrollar dispositivos de descontaminación o de valorización de los efluentes y los desechos bajo limitaciones económicas y normativas, para llegar a obtener

bioprocesos sobrios, con buenos rendimientos, fiables y evolutivos.

Seis ejes de investigación cubren un amplio espectro de competencias disciplinarias : microbiología, ecología microbiana, ingeniería biológica, ingeniería de los procesos, modelización, automática, ACV, ingeniería de proyecto, transferencia industrial :

- ❶ búsqueda de indicadores genéricos de caracterización de la materia orgánica y de los coproductos asociados ;
- ❷ conocimiento y rol de los parámetros bióticos/abióticos frente a los servicios dados ;
- ❸ medios de acción y de control de los procesos y de los ecosistemas asociados para actuar y no sufrir más ;
- ❹ evaluación y gestión del futuro y de los impactos medioambientales y sanitarios de los productos provenientes del tratamiento ;
- ❺ modelos descriptivos/explicativos/predictivos en ingeniería y ecología ;
- ❻ ingeniería y ecoconcepción de los sectores.

El LBE es uno de los laboratorios líder mundial en el ámbito de la digestión anaerobia (primer laboratorio que publica, referenciado en la *Web of Science*, con palabra clave « *anaerobic digestion* »). Está dotado de un establecimiento de 4 757 m<sup>2</sup> de superficie, de los cuales 1 882 m<sup>2</sup> un galpón experimental, y un equipamiento científico y analítico de alta competitividad, con más de 50 digestores (1 l en varios m<sup>3</sup>) operativos las 24 horas y 365 días al año. El LBE apunta a una investigación de excelencia, una pluralidad de las temáticas elegidas, un enfoque pluridisciplinario, como también a un saber- hacer en términos de transferencia de tecnología y de innovación (6 patentes, 11 contratos de licencia, premio de la innovación en Pollutec en el 2007, 2009 y 2010). ■

### Otros equipos relacionados con este tema

**Équipo IAM**  
Ingeniería y Arquitecturas  
Macromoleculares  
ICGM – Instituto Charles Gerhardt de  
Montpellier UMR CNRS 5253  
ENSCM/CNRS/UM2/UM1)  
60 científicos

**UMR ITAP**  
Información-Tecnologías-Análisis Medio  
ambiental – Procesos agrícolas  
(Montpellier SupAgro/IRSTEA)  
27 científicos

**UPR CMGD**  
Centro de Materiales de Gran Difusión  
(EMA)  
40 científicos

**UPR LGEI**  
Laboratorio de Ingeniería del Medio  
Ambiente Industrial y de los Riesgos  
Industriales y Naturales  
(EMA)  
29 científicos

**UR Biomasa Energía**  
(CIRAD)  
12 científicos

## Proyecto PETZECO

### tratamiento de efluentes petroquímicos por combinación ozono, zeolita

La contaminación de las aguas y de los sedimentos por los hidrocarburos aromáticos policíclicos es incontestable y presenta riesgos reales para el medio ambiente y la salud ; lo que ha llevado a la Comisión Europea a clasificarlos como sustancias prioritarias. Las operaciones clásicas de oxidación química o de absorción sobre carbón activo muestran límites en términos de costos y de puesta en práctica. Los procesos de oxidación avanzada están adaptados para degradar los compuestos bio-refractarios o tóxicos, gracias al uso de radicales hidroxilos. El trabajo propuesto en el proyecto PETZECO (colaboración ICGM, Laboratorio de Ingeniería Química, Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Tolosa, Total) tiende a desarrollar una técnica de punta para el tratamiento de las aguas residuales industriales difíciles.

La idea principal de este proyecto es utilizar el ozono combinado con materiales zeolíticos innovadores a fin de asociar una propiedad de descomposición del ozono en radicales hidroxilos con una propiedad de adsorción sobre estos sólidos. Esta combinación, al provocar una sinergia, tendría que aumentar las velocidades de degradación.

La utilización de un sólido mineral poroso tendría que garantizar una buena resistencia a los ataques oxidantes y permitir mantener las propiedades adsorbentes y catalíticas a largo plazo. La parte del desarrollo de este nuevo adsorbedor / catalizador / mesoporoso sólido de tipo zeolita es uno de los desafíos de este proyecto porque existen muy pocos estudios en este ámbito. La puesta en práctica de un proceso eficiente y poco costoso de esta combinación catalizadores / ozono constituye otro desafío de este trabajo. Los aspectos de las reacciones y mecanismos se estudiarán detalladamente a fin de poder definir las funcionalidades más interesantes del sólido en el momento de la síntesis de las zeolitas. Los parámetros tomando en cuenta las dimensiones de proceso de oxidación en las distintas configuraciones están estudiados detalladamente (del lecho fluidizado hasta la separación membranaria del catalizador). El objetivo último del proyecto es utilizar materiales monolitos que contienen el nuevo catalizador sobre efluentes reales petroquímicos.

Contacto : **Stephan Brosillon**, [stephan.brosillon@univ-montp2.fr](mailto:stephan.brosillon@univ-montp2.fr)

## Hacia un nuevo sector verde de economía circular desde la fitoextracción hacia la catálisis química bio regenerada y viceversa

El programa *Opportunité* (E)<sup>4</sup> (Medioambiental, Ecológico, Ético y Económico) explora los contornos de un proceso innovador de valorización química de tecnologías de fitoextracción y de desechos contaminados por los elementos trazas metálicas. Sacando provecho de la excelente capacidad de adaptación de ciertos vegetales en hiper-acumular los cationes  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y/o  $Al^{3+}$  en sus partes aéreas, la concepción del proyecto reposa sobre la utilización directa de las especies metálicas de origen vegetal en tanto como catalizadores « ácidos de Lewis » de reacciones químicas orgánicas estabilizados sobre residuos mineros (estériles y escorias) o de combustión.

El programa asocia laboratorios de investigación pública, semi-pública y tres empresas privadas que combinan sus competencias en fitoextracción para la rehabilitación ecológica sostenible de sitios mineros ubicados en el Gard y neocaledonios, respetando la biodiversidad local. Los desechos vegetales y metálicos asociados están valorizados directamente y transformados en catalizadores verdes, luego están diseminados y estabilizados sobre los desechos mineros divididos. Estos sistemas polimetálicos originales sirven de catalizadores heterogéneos en transformaciones sintéticas que permiten el acceso a moléculas con alto valor añadido (moléculas plataformas aromáticas, heterociclos y oligómeros de interés biológico...). La concepción de los procesos permite el reciclaje por simple filtración ; está adaptada además a las nuevas limitaciones económicas y presenta una solución concreta a la crítica que recibe el uso de las materias minerales no-renovables.

Este programa científico está implementado con los actores locales pertenecientes a colectividades o estructuras del estado y es objeto de actuaciones de valorización sostenidas dirigidas a grupos industriales en los ámbitos de aplicación complementarios (ecología de la restauración, industrias minera y química). Hoy día



reposa sobre bases fuertes de resultados científicos, que permiten garantizar la realización de objetivos precisos, traduciéndose en la financiación de un proyecto ANR, de un proyecto CNRS-IRSTEA, de un proyecto del Fondo Europeo de Desarrollo Regional, de dos contratos industriales, diez acuerdos de confidencialidad, dos financiaciones de tesis y una colaboración con una empresa privada especializada en la transferencia tecnológica. Este trabajo de investigación interdisciplinaria, con finalidad aplicada e industrial, quiere ser un motor de la reconstrucción medioambiental y socioeconómica de los sitios afectados por las actividades industriales y mineras.

Contacto : **Claude Grison**, [claudio.grison@cefe.cnrs.fr](mailto:claudio.grison@cefe.cnrs.fr)

Para más informaciones : [www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/environnement-et-ressources-biologiques/ecotechnologies-ecoservices/fiche-projet-ecotech/?tx\\_lwmsuivibilan\\_pi2%5BCODE%5D=ANR-II-ECOT011](http://www.agence-nationale-recherche.fr/programmes-de-recherche/environnement-et-ressources-biologiques/ecotechnologies-ecoservices/fiche-projet-ecotech/?tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-II-ECOT011)



▲ Digestor TRANSPAILLE de 40 m<sup>3</sup> en Senegal.

© Yvan Hurvois

## La valorización de los desechos orgánicos por metanización y compostaje en regiones cálidas

### Equivalencia de 1m<sup>3</sup> de metano

- ▶ 9,7 kWh de electricidad
- ▶ 1,3 kg de carbón
- ▶ 1,15 l de petróleo
- ▶ 1 l de gasoil
- ▶ 2,1 kg de leña
- ▶ 0,94 m<sup>3</sup> de gas natural
- ▶ 1,7 l de alcohol de quemar

En las regiones cálidas, donde las temperaturas medias son altas, los procesos de valorización de los desechos orgánicos son muy eficientes. Al contrario de los procesos termoquímicos, permiten salvar una parte de la materia orgánica que puede reciclarse para preservar la fertilidad de los suelos cultivados.



▲ Ensayo de compostaje en Wallis.

© Jean-Luc Farinet

La metanización, o digestión anaerobia, es una fermentación con ausencia total de oxígeno.

La degradación de las materias orgánicas genera la formación de un gas, el biogás, rico en metano (CH<sub>4</sub>). El biogás puede utilizarse directamente como combustible o carburante. El residuo final de la metanización, llamado metanizado o digestato, puede ser utilizado directamente como fertilizante o ponerse en compostaje para mejorar sus propiedades. Desde fines de los años 70, el CIRAD ha finalizado, con sus socios africanos, diferentes tecnologías de metanización adaptadas al contexto local. Así el proceso TRANSPAILLE permite la metanización de los desechos de tipo sólido, como por ejemplo el estiércol, las materias estercorarias, las peladuras de mandioca o la pulpa de café. Para los efluentes líquidos ricos en materias orgánicas, el proceso AGRIFILTRE® permite su filtración y su impregnación sobre paja antes de la metanización.

El compostaje consiste en una biodegradación de las materias orgánicas, en presencia de oxígeno, acompañada por una producción de dióxido de carbono y de vapor de agua. La reacción es exotérmica y provoca un aumento de temperatura del medio. El compostaje se hace muchas veces al aire libre, realizando pilas o líneas, y así es difícil controlarlo. La modelización del compostaje consiste en formalizar las relaciones entre las características fisicoquímicas de los desechos orgánicos y las salidas bajo forma gaseosa, líquida o sólida. Esta modelización se utiliza para parametrizar modelos de flujos (explotación, territorio) en vista de una evaluación medioambiental.

**Contactos : Jean-Luc Farinet, [jean-luc.farinet@cirad.fr](mailto:jean-luc.farinet@cirad.fr)  
& Jean-Marie Paillat, [jean-marie.paillat@cirad.fr](mailto:jean-marie.paillat@cirad.fr)**

Para más informaciones : [www.cirad.fr/innovation-expertise/produits-et-services/equipements-et-procedes](http://www.cirad.fr/innovation-expertise/produits-et-services/equipements-et-procedes)

# Hacia mayor calidad de selección y reciclaje : valorización de los desechos de equipamientos eléctricos y electrotécnicos en el fin de su vida útil



© CMGD

El reciclaje de los desechos de equipamientos eléctricos y electrónicos (DEEE) está en el corazón de numerosos proyectos de investigación, porque su flujo anual (alrededor de

24kg/habitante) está en constante aumento (3-5 %). Los plásticos contenidos en estos desechos siguen siendo una fuente de contaminación durante su eliminación. Esta eliminación es un derroche importante puesto que las materias plásticas técnicas provenientes de los DEEE conservan interesantes propiedades de uso, aún después de haber tenido un primer ciclo de vida. A pesar de que numerosos estudios científicos realizados en los países desarrollados tratan de su reciclaje, la utilización de esta materia plástica reciclada es escasa, entre otras cosas debido a la calidad todavía insuficiente de las materias disponibles (condicionada por la calidad de selección de materias y principios aditivos). El mejoramiento de los procesos de selección-identificación-separación generará materias plásticas regeneradas de alta calidad para aplicaciones en varios sectores industriales.

▲ *Ensayos de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para diferenciar y separar desechos plásticos de equipamientos eléctricos y electrónicos.*

El yacimiento de plásticos provenientes de los DEEE se caracteriza por una gran complejidad : numerosos plásticos tienen incompatibilidad entre sí, y una parte importante de ellos es de color oscuro — causa de la ineficiencia de ciertas técnicas de selección-identificación — o viene con retardadores de llama bromados, que necesitan ser clasificados a parte.

EL CMGD trabaja desde hace 10 años en el reciclaje/desarrollo de los desechos DEEE, y desde el 2008 conduciendo dos proyectos:

- El proyecto REDEMPTIR (financiado por ADEME) tiene como objetivo optimizar la tasa de recuperación y la pureza de plásticos separados por infrarrojo cercano en línea; a partir de depósitos actuales ligeramente coloreados de DEEE, para controlar su composición en polímeros y en retardadores de llama.
- El proyecto TRIPLE VALEEE, (financiado por el FUI) que tiene dos ejes de desarrollo
  - El proyecto TRIPLE que tiene como objetivo proponer una metodología normalizada de muestreo y de análisis de los depósitos de plásticos provenientes del tratamiento de los DEEE; así como de implementar esquemas de separación eficientes.
  - El proyecto VALEEE que tiene como objetivo identificar las diferentes vías de incorporación de los DEEE dentro de los productos industriales, sea por sustitución parcial o por sustitución completa de materiales vírgenes, según las especificaciones que definen los tipos de polímeros deseados o por sus rendimientos esperados.

**Contactos : Didier Perrin, [didier.perrin@mines-ales.fr](mailto:didier.perrin@mines-ales.fr) & Rodolphe Sonnier, [rodolphe.sonnier@mines-ales.fr](mailto:rodolphe.sonnier@mines-ales.fr)**

## Ejemplo de valor añadido a partir del reciclaje de desechos químicos PET

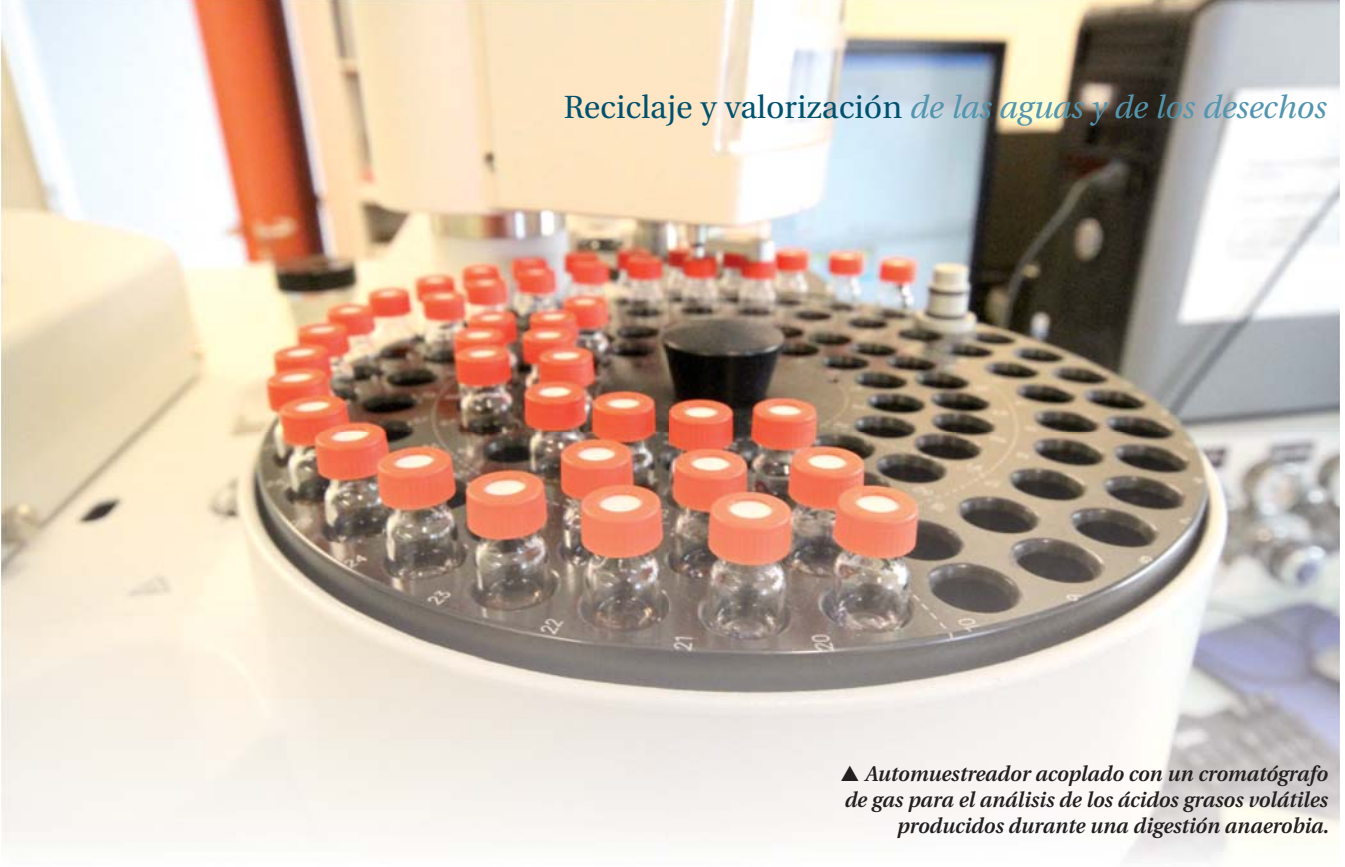


- 1 Pedazos de PET provenientes de la industria del reciclaje.
- 2 PET depolimerizado en extrusora.
- 3 Producto obtenido después de una reacción en laboratorio.
- 4 Material obtenido después de la fotopolimerización (espesura: 0,5-0,7 mm).
- 5 Aplicación del producto en el sector de revestimiento.

Los desechos de polietileno tereftalato (PET) utilizados en la industria, provienen principalmente de la recuperación y de la selección de botellas. Actualmente el reciclaje de PET se realiza principalmente (75%) bajo la forma de fibra sintética (relleno de mantas, suéteres...).

Otras aplicaciones pueden surgir a partir de investigaciones realizadas, como en el siguiente ejemplo: primero, las botellas de PET se trituran hasta alcanzar el tamaño deseado, luego los pedazos de PET se lavan para eliminar la mayor cantidad posible de agentes contaminantes como papel, cola, PVC, etc. Dichos pedazos de PET (1) pasan por una etapa de secado seguida por una primera transformación llamada glicosilación, obteniéndose como consecuencia un producto con masa molecular más baja que tiene el aspecto de una pasta verde (2). Posteriormente, una modificación química permite obtener un poliéster insaturado que presenta un aspecto más fluido, transparente y un poco amarillento (3). Finalmente, dicho producto participa en una reacción de fotopolimerización con diluyentes reactivos que dan un material transparente y flexible. La flexibilidad del material puede ser regulada de acuerdo al tipo de diluyente reactivo escogido (4). Una aplicación posible para este tipo de producto es en el revestimiento de madera (5), ya que las primeras pruebas realizadas demuestran la fácil aplicación del producto así como su buena adherencia sobre la madera.

**Contacto : Rémi Auvergne, [remi.auvergne@enscm.fr](mailto:remi.auvergne@enscm.fr)**



▲ Automuestreador acoplado con un cromatógrafo de gas para el análisis de los ácidos grasos volátiles producidos durante una digestión anaerobia.

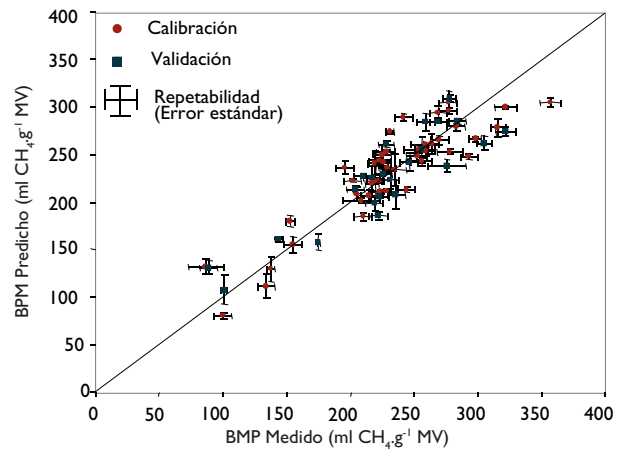
© INRA-LBE

## Evaluar el potencial metano de los desechos orgánicos gracias a la espectrometría infrarrojo cercano

Para optimizar la producción de metano por digestión anaerobia de un desecho orgánico, es imprescindible conocer previamente su valor de potencial metano. Esto se practica actualmente mediante el test *Biochemical Methane Potential* (BMP) que consiste en una fermentación durante un mes mínimo. El plazo es demasiado largo para el contexto industrial, y genera obligaciones de almacenamiento y de riesgo de pérdida de la población bacteriana de los reactores, en caso de desechos con poca biodegradabilidad.

A fin de optimizar los procesos industriales de producción de metano, la espectroscopia infrarrojo cercano (EIRC) es un método innovador de determinación rápida del BMP de los residuos. Permite analizar la materia orgánica globalmente, después de una preparación rápida de muestra, y calcular el potencial metano en seguida. Se reduce el riesgo de metanizar un desecho con poco biodegradabilidad y los procesos de codigestión se controlan mejor.

La plataforma EcoTech-LR ha permitido que el UMR ITAP, el LBE, y el LGEI desarrollen juntos una metodología en la cual se analizan los desechos triturados y liofilizados, con reflector EIRC. Los resultados de predicción del BMP son muy buenos, sobre todo teniendo en cuenta la complejidad del medio estudiado : un error de predicción de 10% (28 ml de  $\text{CH}_4 \cdot \text{g}^{-1}$  de materia volátil [MV] sobre 70 muestras representativas de desechos domésticos (valores de 89 a 357 ml  $\text{CH}_4 \cdot \text{g}^{-1}$ ) un error de repetibilidad buena (alrededor de 7 ml  $\text{CH}_4 \cdot \text{g}^{-1}$  MV), y ningún bias entre la predicción del lote de patronado y la predicción del lote de test. La interpretación de los espectros y del modelo de predicción informa también sobre la caracterización de los desechos : presencia de glúcidos, lípidos, proteínas que aumentan el BMP, y sobre la caracterización de otros componentes que disminuyen el BMP porque no se degradan durante la digestión anaerobia (por ejemplo fibras o plásticos).



▲ Comparación de los valores medidos y de los valores predichos.

A la derecha, representación de la relación 1:1  
 Error de predicción : 28 ml  $\text{CH}_4 \cdot \text{g}^{-1}$  MV ;  
 Error de repetibilidad : 7 ml  $\text{CH}_4 \cdot \text{g}^{-1}$  MV .  $R^2=0.8$ .

La próxima etapa consiste en permitir la industrialización del método, que tendría que conocer un desarrollo grande, con sustanciales aportes económicos, considerando las importantes necesidades de tratamiento de los desechos agrícolas o domésticos. Siendo la respuesta espectral muy sensible al tipo de medio estudiado, un patronado será necesario para cada tipo de desecho.

**Contactos :** Jean-Michel Roger, [jean-michel.roger@irstea.fr](mailto:jean-michel.roger@irstea.fr)  
 Éric Latrille, [latrille@supagro.inra.fr](mailto:latrille@supagro.inra.fr)  
 & Catherine Gonzalez, [catherine.gonzalez@mines-ales.fr](mailto:catherine.gonzalez@mines-ales.fr)

Estas investigaciones concretizadas por la tesis de M. Lesteur, estudiante de Doctorado de la Plataforma Tecnológica Regional « EcoTech-LR », han obtenido el premio ADEME de la Técnicas Innovadoras para el Medio Ambiente en el Salon Pollutec 2009. Se prosiguen por una transferencia industrial en la empresa Ondalys, en el marco del proyecto MethaNIR.

