

les dossiers d'**AGROPOLIS** INTERNATIONAL

*Compétences de la communauté scientifique
en région Languedoc-Roussillon*



AGROPOLIS INTERNATIONAL

agriculture • alimentation • biodiversité • environnement

Agropolis International associe les institutions de recherche et d'enseignement supérieur de Montpellier et du Languedoc-Roussillon, en partenariat avec les collectivités territoriales, avec des sociétés et entreprises régionales, et en liaison avec des institutions internationales.

Agropolis International constitue un espace international ouvert à tous les acteurs du développement économique et social dans les domaines liés à l'agriculture, à l'alimentation, à la biodiversité, à l'environnement et aux sociétés rurales.

Agropolis International est un campus dédié aux sciences « vertes ». Il représente un potentiel de compétences scientifiques et techniques exceptionnel : plus de 2 200 cadres scientifiques répartis dans 80 unités de recherche à Montpellier et en Languedoc-Roussillon, dont 300 scientifiques travaillant dans 60 pays.

La communauté scientifique Agropolis International est structurée en grands domaines thématiques correspondant aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement :

- Biodiversité et écosystèmes terrestres ;
- Biodiversité et écosystèmes aquatiques ;
- Interaction hôte-parasites et maladies infectieuses ;
- Ressources génétiques et biologie intégrative des plantes ;
- Agronomie, plantes cultivées et systèmes de cultures, agro-écosystèmes ;
- Une filière emblématique : vigne et vin ;
- Production et santé animales ;
- Alimentation, nutrition, santé ;
- Économie, sociétés et développement durable ;
- Modélisation, information géographique, biostatistiques ;
- Eau, ressources et gestion ;
- Écotechnologies.

Lieu de capitalisation et de valorisation des savoirs, espace de formation et de transfert technologique, plateforme d'accueil et d'échanges internationaux, la communauté scientifique Agropolis International développe des actions d'expertise collective et contribue à fournir des éléments scientifiques et techniques qui permettent d'élaborer et de mettre place des politiques de développement.

Compétences de recherche du Languedoc-Roussillon dans le domaine des écotechnologies

La prise de conscience croissante de la nécessité de préserver l'environnement s'est progressivement traduite par le souci de développer des techniques et des procédés d'intervention visant à réduire les pollutions ou plus généralement l'impact environnemental, générant ainsi de nouveaux secteurs d'activité.

La communauté scientifique regroupée au sein d'Agropolis International s'est emparée des questions de recherche posées par le développement de ces nouvelles approches et nouveaux domaines d'investigation. Ce dossier a pour objectif de présenter les compétences qu'elle a su développer, que ce soit dans le domaine des techniques agricoles proprement dites, du recyclage et de la valorisation des eaux et des déchets (au-delà des aspects de traitement des pollutions), de la valorisation des productions sous forme de nouveaux matériaux à base biologique ou de nouvelles voies bioénergétiques. Ces recherches ne se limitent pas au seul développement de technologies nouvelles mais comportent également une dimension plus globale, qu'il s'agisse de l'évaluation des produits et des procédés, de leur écoconception, de l'écologie industrielle ou territoriale ou du monitoring environnemental. Ce dossier présente également les efforts conjoints de la recherche et des entreprises, notamment par le biais des pôles de compétitivité, pour favoriser l'élaboration et la diffusion d'innovation au service du développement économique.

Les thématiques présentées dans ce dossier concernent plus particulièrement les neuf unités ou équipes de recherche qui ont fait des écotechnologies un axe essentiel de leurs travaux, qui concernent près de 150 cadres scientifiques et une centaine de doctorants.

Écotechnologies

<i>Avant-propos - Les écotechnologies au service du développement durable</i>	4
<i>Thématiques couvertes par les équipes de recherche et les partenaires de l'innovation</i>	6
<i>Écotechnologies pour l'agriculture</i>	8
<i>Produits et matériaux biosourcés</i>	12
<i>Recyclage et valorisation des eaux et des déchets</i>	20
<i>Bioénergie</i>	28
<i>Méthodes d'évaluation : analyse du cycle de vie, écoconception, écologie industrielle et territoriale</i>	32
<i>Monitoring environnemental</i>	36
<i>Les acteurs de l'innovation se mobilisent en faveur des écotechnologies</i>	40
<i>Les formations à Agropolis International</i>	44
<i>Liste des acronymes et des abréviations</i>	46

Avant-propos

Les écotechnologies au service *du développement durable*

Savez-vous qu'il y a 10 ans le terme écotechnologies (*environmental technologies* en anglais) était quasiment inconnu ? Ce concept a été formalisé en 2004 par la Communauté européenne et son plan d'action en faveur des écotechnologies (ETAP)*. Ce document définit les écotechnologies comme :

- l'ensemble des technologies qui offrent le même service que les technologies classiques mais qui ont un impact réduit sur l'environnement (y compris énergies renouvelables) ;
- les technologies « *end of pipe* » : traitement des pollutions et des déchets ;
- les technologies de mesure de la pollution.

Autre point important, le concept « d'écotechnologies » ne se limite pas à des objets technologiques mais englobe l'ensemble des procédés, produits et services plus performants d'un point de vue environnemental.

L'officialisation de ce concept et les plans de développement européens et nationaux qui l'ont accompagné ont contribué à une petite révolution dans le domaine de la conception/production et de la consommation,

ouvrant la voie à des innovations jusque là négligées et à des opportunités de croissance. Cela se traduit par l'intégration croissante de méthodes d'éco-conception dans les procédés de conception/développement de produits, non seulement en recherchant des voies technologiques ou des matières premières dont l'usage « pèse » moins d'un point de vue environnemental, mais aussi en optimisant la gestion des systèmes ; ce qui est maintenant rendu possible par les technologies de l'information (exemple des *smart grids*).

C'est aussi la reconsidération du statut de nombreux déchets qui deviennent maintenant des gisements de matières premières dont on va extraire des composés de valeur (phosphates issus des eaux usées) ou de l'énergie. À l'échelle de l'aménagement (en particulier des zones industrielles) ou de la construction de filières (par exemple de traitement), cette nouvelle vision impose d'essayer de réutiliser au plus près les sous-produits et déchets dans une approche d'économie circulaire : c'est l'écologie industrielle, une manière d'appliquer le concept d'écotechnologie aux territoires.

Du côté des consommateurs, c'est une prise de conscience de l'impact environnemental lié à l'usage de produits et de services entraînant le développement d'un véritable marché. Ainsi, pour les protéger du « *greenwashing* » (technique marketing qui consiste à parer artificiellement les produits de propriétés « vertes ») et pour leur garantir un achat réellement éco-innovant, il est indispensable de développer des méthodes d'évaluation environnementale scientifiquement valides.

Développer des écotechnologies est un défi que la communauté scientifique d'Agropolis s'est attachée à relever dans les domaines qui lui sont propres, à savoir ceux des agro-bioprocédés et de la gestion des territoires, avec l'appui de la plateforme régionale EcoTech-LR et la force du dynamisme régional de recherche.

Pr Véronique Bellon-Maurel,
directrice adjointe à la Stratégie et la Recherche à Irstea, directrice de la plateforme régionale EcoTech-LR

* Commission européenne, 2004. Promouvoir les technologies au service du développement durable : plan d'action de l'Union européenne en faveur des écotechnologies. COM (2004) 38 du 28 janvier 2004. http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm



Thématiques couvertes par les équipes de recherche et les partenaires de l'innovation

(Novembre 2012)

Les différentes unités et équipes de recherche, et partenaires de l'innovation apparaissant dans le texte de ce dossier sont consignées dans le tableau ci-dessous.

1. Écotechnologies pour l'agriculture
2. Produits et matériaux biosourcés
3. Recyclage et valorisation des eaux et des déchets
4. Bioénergie
5. Méthodes d'évaluation : analyse du cycle de vie, écoconception, écologie industrielle et territoriale
6. Monitoring environnemental

La colonne « page » indique l'emplacement où figure le texte de présentation de l'unité ou du partenaire. Le point rouge (●) indique la thématique dans laquelle l'unité ou le partenaire développe principalement ses activités, les points noirs (●) les thématiques dans lesquelles ils sont également impliqués.

Unités et équipes de recherche	page	1	2	3	4	5	6
UMR ITAP – Information-Technologies-Analyse environnementale-Procédés agricoles (Montpellier SupAgro/Irstea) Directeur : Tewfik Sari, tewfik.sari@irstea.fr http://itap.irstea.fr	8	●		●		●	
UMR IATE – Ingénierie des Agropolymères et Technologies Émergentes (Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/UM2) Directeur : Hugo de Vries, devries@supagro.inra.fr http://umr-iate.cirad.fr	12		●		●		
Équipe IAM – Ingénierie et Architectures Macromoléculaires UMR ICGM – Institut Charles Gerhardt de Montpellier (ENSCM/CNRS/UM2/UM1) Directeur de l'équipe IAM : Jean-Jacques Robin, jean-jacques.robin@univ-montp2.fr Directeur de l'ICGM : François Fajula, francois.fajula@icgm.fr www.iam.icgm.fr	13		●	●			
UPR CMGD – Centre des Matériaux de Grande Diffusion (EMA) Directeur : José-Marie Lopez Cuesta, jose-marie.lopez-cuesta@mines-ales.fr / cmgd@mines-ales.fr www.mines-ales.fr/pages/centre-de-recherche-cmgd-0	14		●	●		●	
UMR IEM – Institut Européen des Membranes (ENSCM/CNRS/UM2) Directeur : Philippe Miele, philippe.miele@iemm.univ-montp2.fr www.iemm.univ-montp2.fr	20		●	●			
UPR Recyclage et Risque (Cirad) Directeur : Jean-Marie Paillat, jean-marie.paillat@cirad.fr http://ur-recyclage-risque.cirad.fr	21	●		●		●	●
UR LBE – Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (Inra) Directeur : Jean-Philippe Steyer, jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr www4.montpellier.inra.fr/narbonne	22		●	●	●	●	
UR Biomasse énergie (Cirad) Directeur : Rémy Marchal, remy.marchal@cirad.fr www.cirad.fr/ur/biomasse_energie	28			●	●	●	
UPR LGEI – Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel et des Risques Industriels et Naturels (EMA) Directeur : Miguel Lopez-Ferber, miguel.lopez-Ferber@mines-ales.fr http://lgei.mines-ales.fr	36			●		●	●
Pôle ELSA – Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment (Irstea/Cirad/EMA/Montpellier SupAgro/Inra) Contact : Véronique Bellon-Maurel, veronique.bellon@irstea.fr www.elsa-lca.org	32					●	●



▲ Tests standardisés de digestibilité de divers résidus pour l'estimation de la quantité potentielle de méthane valorisable.

© Inra-LBE

Acteurs de l'innovation	page	1	2	3	4	5	6
Institut d'Excellence sur les Énergies Décarbonées (IEED) Greenstars Contact : Jean-Philippe Steyer, jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr www4.montpellier.inra.fr/narbonne/	42		•		•		
Plateforme Ecotech LR Contact : Véronique Bellon-Maurel, veronique.bellon@irstea.fr www.ecotech-lr.org	42	•	•	•	•	•	•
Pôle de compétitivité DERBI – Développement des Énergies Renouvelables-Bâtiment-Industrie Président : André Joffre Directeur : Gilles Charier, contact@pole-derbi.com www.pole-derbi.com	41				•		
Pôle de compétitivité EAU Président : Michel Dutang Directeur Général : Jean-Loïc Carré, jl.carre@pole-eau.com / info@pole-eau.com www.pole-eau.com	40	•		•	•		•
Pôle de compétitivité Qualiméditerranée Président : Guillaume Duboin Directrice : Isabelle Guichard, info@qualimediterranee.fr www.qualimediterranee.fr	40	•					
Pôle de compétitivité Risques – Gestion des risques et vulnérabilités des territoires Président : Joël Chenet Directeur : Richard Biagioni, richard.biagioni@pole-risques.com www.pole-risques.com	43			•			•
Pôle de compétitivité Trimatec Président : Jérôme Blancher Contact : Laura Lecurie-Belfond, laura.lecurieux@pole-trimatec.fr www.pole-trimatec.fr	43			•	•		
Réseau BIOENERGIESUD Responsable : Aurélie Beauchart, beauchart@bioenergiesud.org / beauchart@transferts-lr.org www.bioenergiesud.org	41				•		
Transferts LR Président : Christophe Carniel Directrice : Anne Lichtenberger, direction@transferts-lr.org www.transferts-lr.org	42	•	•	•	•	•	•



Écotechnologies pour l'agriculture

Développer des écotechnologies pour une production agricole durable

Afin de concevoir des écotechnologies pour des agro et bioprocédés plus durables et pour les services connexes à l'environnement, **l'unité mixte de recherche (UMR) « Information-Technologies-Analyse environnementale-Procédés agricoles » (UMR ITAP, Montpellier SupAgro/Irstea)** développe des bases scientifiques et techniques pour :

- La caractérisation des agro-écosystèmes en mettant au point des capteurs optiques (vision artificielle hyperspectrale et spectrométrie proche infrarouge principalement). Du fait des propriétés particulières des milieux étudiés (milieux optiquement diffusants, objets de caractéristiques spectrales proches, présence d'eau), les thématiques de recherche concernent la compréhension de l'interaction rayonnement-matière ainsi que les méthodes de traitement des données (chimimétrie, analyse d'images hyperspectrales).

- La modélisation pour la décision agri-environnementale en élaborant des systèmes d'aide à la décision pour diagnostiquer l'état des systèmes ou en mettant en place des approches, moins impactantes, d'agriculture de précision. Différentes méthodologies sont étudiées : logique floue, systèmes à événements

discrets, géostatistiques. Le domaine d'application privilégié est la vigne.

- La réduction des pollutions par les pesticides en étudiant les procédés de pulvérisation, depuis la buse jusqu'au transport des pesticides à l'échelle d'un bassin versant ou d'un territoire. Elle s'appuie pour cela sur des moyens expérimentaux uniques. Centre de référence dans le domaine de l'évaluation des techniques d'application des pesticides pour limiter leurs impacts sur l'environnement et la santé, elle accueille une équipe de l'Institut Français de la Vigne et du Vin avec qui elle travaille en étroite collaboration dans le cadre du plan ECOPHYTO 2018.

- L'éco-évaluation et l'éco-conception en développant des outils d'évaluation de l'impact environnemental et social des produits, procédés et filières, basés sur les analyses de cycles de vie (ACV). Les domaines d'étude privilégiés sont la gestion de l'eau et des territoires. L'UMR est à l'origine du pôle *Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment* (ELSA, cf. p. 32), plus grand regroupement de chercheurs en ACV en France.

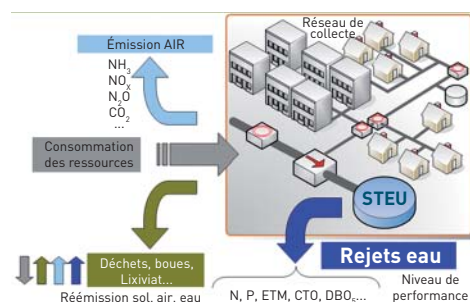
L'UMR fait partie du Labex Agro et de la plateforme régionale « Écotechnologies pour les Agro-Bioprocédés » (EcoTech-LR, cf. p. 43). Elle travaille en partenariat avec des acteurs français issus du secteur privé (Pellenc SA, Pellenc ST, ONDALYS, ENVILYS, etc.) et de la recherche scientifique (Institut National de la Recherche Agronomique [Inra], Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement [Cirad], École des Mines d'Alès [EMA], Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier [LIRMM, CNRS/UM2], etc.

À l'étranger, elle collabore entre autres avec l'*Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria* et l'Université Autonome de Barcelone (Espagne), les universités de Turin et Florence (Italie), Talca (Chili), Sydney (Australie), l'*Instituto de Investigaciones Agropecuarias* (Chili), le *Finnish Environment Institute* (Finlande), etc.

Les principaux équipements scientifiques de l'UMR comprennent :

- un laboratoire d'optique sur 200 m² : capteurs optiques, spectromètres (ultraviolets (UV)-visible-proche infrarouge), bancs de vision hyperspectrale et multispectrale ;
- une plateforme d'étude des pulvérisations de pesticides et de leurs impacts sur l'environnement et la santé (1 600 m²) ;
- soufflerie expérimentale grande échelle ;
- banc de mesure de la répartition sous rampe ;
- granulomètre-vélocimètre laser ;
- équipement métrologique complet pour l'évaluation des pulvérisateurs ;
- une plateforme logicielle ACV ;
- une plateforme de prototypage électronique et mécanique (300 m²). ■

▼ **L'ACV du système d'assainissement permet de répondre à la question – Quels coûts environnementaux pour quelle qualité de rejets ? (Action Office national de l'eau et des milieux aquatiques [ONEMA]/Irrstea en cours)**



L'équipe principale

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

Autre équipe concernée par ce thème

UPR Recyclage et Risque
(Cirad)
13 scientifiques



▲ Station de filtration et fertigation.
◀ Sous-soleuse adaptée pour l'enfouissement des gaines.

© Patrick Rosique (Irstea) & Jean-Marie Lopez (Cirad)



Le goutte-à-goutte enterré une solution innovante testée pour irriguer les grandes cultures

Face aux pénuries d'eau de plus en plus récurrentes et devant la dégradation croissante de l'environnement,

l'agriculture irriguée doit dorénavant éviter la surexploitation des ressources hydriques et la pollution des eaux et des sols tout en maintenant des niveaux de rendement substantiels. À l'échelle de la parcelle agricole, la technique du goutte-à-goutte enterré (GGE) est une des récentes innovations adoptée sur grandes cultures par un nombre croissant d'agriculteurs soumis aux restrictions d'eau. L'eau et l'azote dissous sont délivrés au plus près des racines par des gaines en polyéthylène enterrées à 35-40 cm et équipées de goutteurs espacés de 15 à 50 cm qui délivrent des débits de 0,5 à 3,0 l/h sous 0,5 à 1,5 bar de pression. Irstea réalise depuis plusieurs années des essais agronomiques visant à tester les performances hydrauliques et agronomiques du GGE en comparaison à l'aspersion au canon.

Après quatre années de fonctionnement des équipements, le coefficient d'uniformité de l'arrosage du GGE reste supérieur à 95 %. Testé sur culture de maïs, le GGE présente de meilleures performances agronomiques que l'aspersion au canon : suivant l'écartement des gaines (80, 120 ou 160 cm), la productivité de l'eau d'irrigation varie de 3,50 à 4,25 kg de grains produits par m³ d'eau délivré contre seulement 2,70 à 3,20 en aspersion, soit une augmentation moyenne de 18 % ; la productivité de l'azote (fertigation) variait en 2011 de 30 à 38 kg grains produits par unité d'azote appliquée contre seulement 19 à 23 en aspersion (soit +60 %). Sur le plan économique, malgré de meilleures performances reconnues par certains auteurs, il est recommandé, compte tenu du coût d'investissement relativement élevé (entre 3 000 et 5 000 €/ha), de raisonner le GGE à l'échelle de la rotation culturale, notamment en prenant en compte l'intégration (ou pas) de cultures à forte valeur ajoutée (maraîchage).

Contact : Patrick Rosique, patrick.rosique@irstea.fr



▲ Compost de litière de volailles.

Projet ISARD

intensification écologique des systèmes de production agricoles par le recyclage des déchets

Les produits résiduels organiques (PRO) qui accompagnent l'activité humaine sont en constante augmentation. L'activité agricole en produit de grandes quantités (élevage, agro-industries). Par ailleurs, la production d'eaux usées augmente du fait de la croissance urbaine et de la concentration des populations urbaines. Les eaux usées, ou les boues issues de leur traitement, sont souvent épandues sur les sols agricoles en périphérie des villes. Ces PRO sont des sources de matière organique susceptibles d'augmenter la fertilité des sols avec comme corollaire la possibilité de maintenir une production agricole durable. Leur multiplicité, la diversité de leurs localisations et des usages doivent être pris en compte dans les réflexions sur leur utilisation.

Le projet ISARD développe une démarche globale d'intégration des connaissances appliquées à ce domaine. Son caractère novateur est de prendre en considération des matières organiques produites par les activités agricoles et allogènes. Deux niveaux d'organisation sont considérés :

- ❶ le niveau où les objets sont les PRO, les sols qui les reçoivent et les cultures qui y poussent et où les processus sont essentiellement les cycles biogéochimiques ;
- ❷ le niveau où les objets sont les unités de production, de transformation et d'utilisation des matières organiques ainsi que les groupes d'acteurs et où les processus sont les transformations et les flux des matières organiques, les réglementations et les coûts.

Pour ces deux niveaux, de nombreux outils existent et répondent, de façon ponctuelle, aux besoins d'une gestion intégrée. Le projet les utilise en ayant pour objectif de les améliorer par une prise en compte de l'ambivalence intérêt-risque et par la définition d'indicateurs partiels.

Le projet regroupe neuf partenaires intervenant sur quatre terrains : plaine de Versailles (France), île de la Réunion, conurbation de Dakar (Sénégal), région de Mahajanga (Madagascar). La prise en compte de situations dans des pays en développement permet d'augmenter le contraste concernant la composition des PRO, les dispositifs de traitement, les représentations sociales ou les cadres réglementaires en place.

Contact : Hervé Saint Macary, hervé.saint_macary@cirad.fr

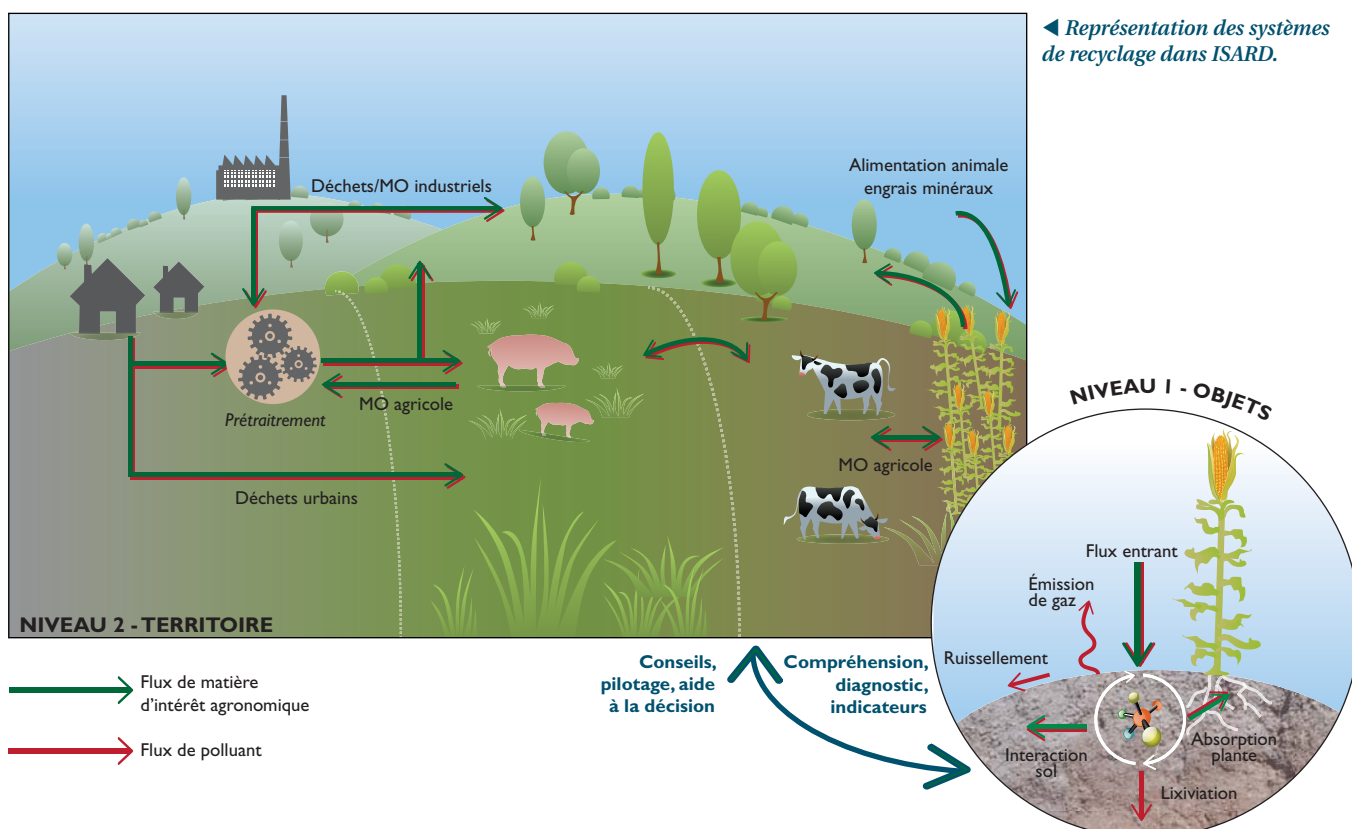




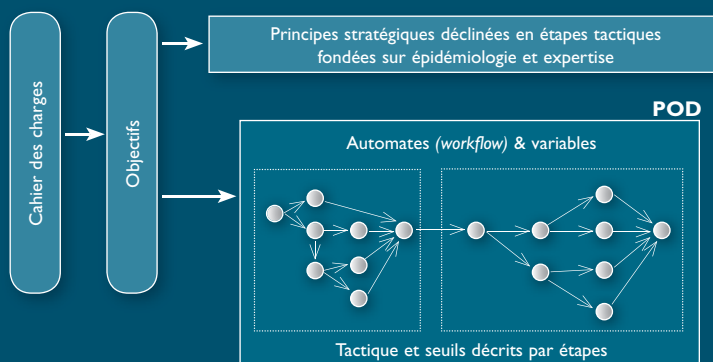
Photo extraite de MorgueFile

Un processus opérationnel de décision pour réduire les traitements fongicides sur vignes

La terminologie « processus opérationnel de décision » (POD) est une traduction de *Decision Workflow*. Un *workflow* modélise un processus de travail. Il a vocation à être mis en œuvre dans un logiciel ou un système d'information. Le POD Mildium® a été développé par l'Inra, UMR « Santé et Agroécologie du Vignoble » (Inra, Bordeaux Sciences Agro) et l'Institut national de recherche en sciences pour l'environnement et l'agriculture (Irstea, UMR ITAP). Il explicite la manière de décider de l'opportunité d'un traitement fongicide contre le mildiou ou l'oïdium de la vigne et du bon moment pour l'appliquer. Le calcul décisionnel a été modélisé dans le langage informatique des *Statecharts*. La décision est basée sur des informations collectées à des stades végétatifs précis dans la parcelle et sur un suivi expert du risque bioclimatique local.

Depuis des années et dans différentes régions, l'expérimentation du POD Mildium a montré que ce système est un moyen efficace pour réduire les traitements phytosanitaires à l'échelle d'une parcelle (de l'ordre de 30 à 50 % suivant les maladies et les situations rencontrées). Ce résultat a été établi en comparant les traitements réalisés et la situation sanitaire sur une parcelle gérée selon ce POD et ceux d'une parcelle comparable et proche, gérée de façon « conventionnelle » dans la même exploitation.

Spécialiste de modélisation, l'UMR ITAP s'est aussi impliquée dans l'expérimentation avec les partenaires, pour bénéficier au mieux du retour d'expérience et pour orienter les choix théoriques de représentation formelle.



▲ Le POD Mildium permet de diminuer les traitements phytosanitaires sur vigne.

Elle collabore également avec Arvalis sur la réalisation de POD pour la protection fongicide du blé.

Le POD Mildium fournit une aide à la décision à l'échelle d'une parcelle. Des recherches sont en cours pour gérer l'ensemble d'une exploitation. La démarche POD relève aussi de l'intégration des connaissances. En fournissant un service qui permet de réduire le nombre d'applications en protection phytosanitaire, le POD est ainsi une écotechnologie qui s'insère dans une approche durable de l'agriculture.

Contact : Olivier Naud, olivier.naud@irstea.fr



Produits et matériaux *biosourcés*

Procédés physiques, physico-chimiques et biotechnologiques de transformation d'agro-molécules, d'agropolymères ou de matrices complexes

L'UMR « *Ingénierie des Agropolymères et Technologies Émergentes* » (UMR IATE, Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/UM2) a pour objectif de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les fonctionnalités des produits végétaux et de leurs constituants afin d'augmenter leurs performances pour des usages alimentaires et non alimentaires. Elle conduit des recherches sur les procédés physiques, physicochimiques et biotechnologiques de transformation d'agro-molécules, d'agropolymères ou de matrices complexes, en s'attachant à comprendre l'impact à différentes échelles de ces transformations en termes de structures et de fonctionnalités cibles.

Les équipes principales

Équipe IAM
Ingénierie et Architectures
Macromoléculaires
ICGM - Institut Charles Gerhardt
de Montpellier UMR CNRS 5253
(ENSCM/CNRS/UM2/UM1)
60 scientifiques

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

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

Suite page 14

Ses activités de recherche s'articulent selon cinq axes complémentaires, pluridisciplinaires et multi-échelles :

- ❶ Fractionnement des agroressources
- ❷ Structuration sous contraintes des agropolymères et réactivité des poudres
- ❸ Transferts de matière et réactions dans les systèmes aliment/emballage
- ❹ Biotechnologie microbienne et enzymatique des lipides et des agropolymères
- ❺ Représentation de connaissances et raisonnements pour accroître la qualité et la sécurité des aliments

Ces axes de recherche s'intéressent aux écotechnologies dans le cadre d'une démarche d'acquisition des connaissances pour concevoir, développer et maîtriser des procédés éco-efficaces de déconstruction de la biomasse afin d'obtenir des polymères, molécules d'intérêt et synthons, et de reconstruire des biomatériaux à partir de ces éléments. Les recherches s'appuient sur deux plateformes et plusieurs plateaux techniques :

■ La plateforme de fractionnement des produits végétaux* (à humidité faible à intermédiaire) est particulièrement axée sur la première transformation des céréales, de la biomasse ligno-cellulosique et sur la mise en forme de matériaux à base d'agropolymères. Elle comporte deux plateaux thématiques, l'un consacré à la déconstruction mécanique et la classification des matières premières végétales (moulins, broyeurs...) et l'autre à la structuration des matériaux par reconstruction et assemblage sous contrainte (malaxage, laminage...).

■ La plateforme LipPol-Green** (partenariat international) propose un encadrement scientifique et des instruments de très haut niveau pour des études à l'interface entre sciences du végétal et chimie verte, dans les domaines de la biotechnologie des lipides, de la physicochimie des polymères et de l'exploration et l'utilisation de la diversité moléculaire des végétaux pour la production de molécules, matériaux et carburants issus de la biomasse.

Membre de l'Institut Carnot Bioénergies, Biomolécules et Biomatériaux issus du carbone renouvelable (3BCAR) et du Labex Agro, l'UMR IATE est également impliquée dans de nombreux partenariats, tant académiques qu'industriels (Alland & Robert, Panzani, BASF, Michelin...), notamment avec des partenaires des pays du Sud :

■ Le projet européen « *ECOefficient BIOdegradable Composite Advanced Packaging* » (2011-2015) vise à fournir aux industries alimentaires des emballages biodégradables et modulables (financement du 7^e Programme Cadre de Recherche et de Développement Technologique [PCRD]).

■ La plateforme « *Hevea Research Program in Partnership* » fédère depuis 2008 les activités de recherche sur le caoutchouc naturel en Asie du Sud-Est.

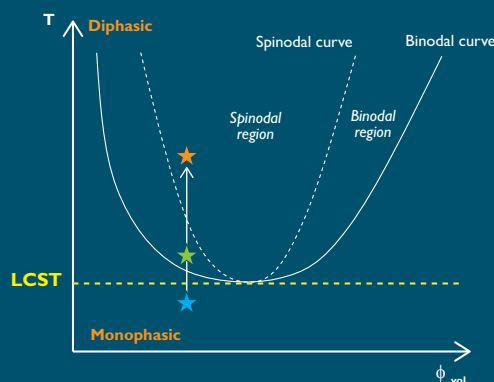
■ Le projet METAGLYC 2 (financement du fonds allemand pour les ressources renouvelables, 2012-2015) développe de nouvelles voies d'obtention de dérivés du glycérol par catalyse chimique et biocatalyse.

Projet POMEWISO

élaboration de membranes sans solvant à partir de polymères biosourcés

Les membranes polymères poreuses utilisées dans le traitement de l'eau sont élaborées à l'échelle industrielle à partir de polymères synthétiques dissous dans un solvant organique (acétone, DMF, NMP...). La porosité est générée via un procédé d'inversion de phase induit le plus souvent par immersion de la solution homogène de polymères dans un bain de non-solvant (l'eau). Outre le fait que la matière première provient d'une ressource terrestre non renouvelable, des quantités importantes de solvants organiques sont utilisées, susceptibles de générer des nuisances environnementales et sanitaires.

L'objectif du projet POMEWISO (collaboration IEM/Irstea) est de développer un nouveau procédé de production de membranes poreuses dans une optique de chimie verte et propre (i) en utilisant des polymères issus de ressources naturelles plutôt que synthétiques et (ii) en substituant l'eau (solvant des polymères hydrosolubles) aux solvants organiques traditionnels. La problématique scientifique consiste ainsi à maîtriser le procédé d'élaboration de membranes à partir de différents polymères hydrosolubles (alcool polyvinique, éthers de cellulose, chitosane) présentant une température critique de dissolution basse (LCST), permettant ainsi de contrôler leurs propriétés morphologiques et fonctionnelles. Une fois l'inversion de phase induite par augmentation de la température (procédé TIPS-LCST), une réticulation des chaînes de polymère sera nécessaire pour consolider le film formé. Cette réticulation sera réalisée préférentiellement par irradiation ou traitement thermique pour éviter l'emploi de réticulants chimiques.



▲ Influence de la montée de température au cours du procédé TIPS-LCST.

Une analyse multi-échelles sera conduite pour appréhender les phénomènes de séparation de phase, la croissance des structures, la morphologie finale des membranes et leurs propriétés de filtration. L'approche expérimentale sera conduite via des méthodes de diffusion de lumière, de microscopie optique, de spectroscopie proche infrarouge et confocale Raman et de filtration frontale. Une approche de modélisation doit permettre, par résolution de l'équation de Cahn-Hilliard modifiée, de prédire l'évolution des structures au cours du temps jusqu'à l'obtention de la morphologie finale.

Contact : Denis Bouyer, denis.bouyer@univ-montp2.fr

- Le projet de l'Agence nationale de la recherche (ANR) STOCKACTIF (programme Biomatières-Énergie, 2011-2014) porte sur le stockage actif de la biomasse pour faciliter sa transformation industrielle.
- Le projet ANR SPECTRE (programme blanc international France-Mexique, 2011-2014) porte sur l'évaluation et le contrôle des procédés de biotechnologie industrielle.
- Le projet 3BCAR PEACE (avec le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement [LBE], 2011-2013) étudie l'effet de la composition pariétale et de procédés de prétraitements thermomécaniques sur l'efficacité de la conversion de biomasse modèle en produits énergétiques.
- Le projet « Époxydation de polyphénols par une approche chimio-enzymatique » vise l'obtention de résines époxy biosourcées (avec l'UMR « Sciences Pour l'Enologie » [Inra, Montpellier SupAgro, UM1], 2010-2012).
- Divers projets supportés par la plateforme LipPol-Green et la plateforme de transformation des produits végétaux.

Des monomères aux polymères : solutions intégrées de synthèse de matériaux

L'équipe « Ingénierie et Architectures Macromoléculaires » (IAM) de l'Institut Charles Gerhardt de Montpellier (ICGM), UMR CNRS 5253 (ENSCM/CNRS/UM2/UM1), développe depuis sa création une chimie fondée sur la synthèse de polymères à architectures contrôlées, de macromonomères, d'oligomères téléchéliques, de copolymères greffés ou à blocs et, enfin, de télomères. L'équipe a étudié en particulier les applications de ces télomères comme oligomères réactifs dans les composés photoréticulables, additifs pour revêtements, tensioactifs ou matrices de matériaux composites, etc., toutes les applications où l'on recherche de faibles viscosités et des réactivités contrôlées.

L'équipe IAM, dont l'activité centrale est basée sur l'application de la chimie organique aux polymères, est reconnue pour ses compétences dans l'élaboration de solutions technologiques intégrées de synthèse de matériaux, depuis les monomères jusqu'aux polymères afin de proposer des solutions pour les

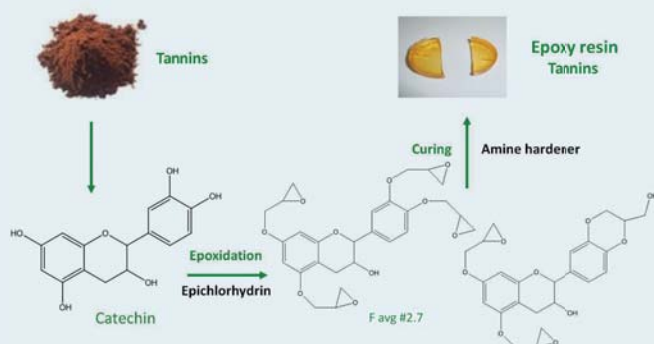
applications de hautes performances. Elle a également développé depuis de nombreuses années une chimie basée sur des procédés sobres et propres (polymérisation en émulsion, fluides supercritiques...) et fondée sur le développement durable (polymères biodégradables, recyclage des polymères, valorisation d'agroressources...). L'équipe est également reconnue pour son expertise dans la chimie macromoléculaire des hétéro-atomes Si, P et F.

La thématique « Polymères biosourcés » a démarré plus récemment, en s'appuyant sur les compétences du laboratoire dans les chimies de polycondensation, de thiol-ène et de polymérisation en chaîne. Un des objectifs des travaux actuels réside dans la substitution de molécules dangereuses par des molécules biosourcées en vue de l'élaboration de polyuréthanes, de résines formo-phénoliques, de résines époxy et de polyesters insaturés. Les enjeux scientifiques sont liés à l'utilisation de ressources renouvelables avec le développement d'une chimie de réduction permettant l'utilisation de matières premières oxygénées, le développement de procédés de dépolymérisation (les polymères naturels tels ●●●

* www.3bcar.fr/~abcar/images/stories/pdf_3bcar/fiche_iate_plateforme_fractionnement_des_vegetaux_v3.pdf
** www.supagro.fr/plantlipol-green

Projet GreenResins

nouvelles résines époxy biosourcées sans bisphénol A



▲ Schéma d'obtention des résines époxy biosourcées à partir de la catéchine issue de tanins.

Les résines époxy sont d'application universelle grâce à leur polyvalence et à leur facilité d'utilisation. Celles-ci incluent une grande variété de matériaux possédant une gamme étendue de propriétés physiques. Cependant, elles sont en majorité fabriquées à partir de bisphénol A (BPA), composé classé CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique).

Le projet GreenResins concerne l'utilisation de composés aromatiques et polyaromatiques naturels, non toxiques, issus de ressources renouvelables, comme réactifs pour l'élaboration de résines de type époxy thermodurcissables, en substitut au BPA. Ces composés phénoliques naturels proviennent de tanins

issus de coproduits de la sylviculture ou de la viticulture, sans concurrence avec des cultures alimentaires. Parmi les composés phénoliques, l'équipe IAM (ICGM), en collaboration avec l'UMR « Sciences pour l'Enologie » (Inra, Montpellier SupAgro et UMI), a particulièrement étudié la catéchine, molécule possédant quatre groupes phénoliques. La catéchine est époxydée avec de l'épichlorhydrine. La réactivité des phénols des deux noyaux aromatiques de la catéchine est différente et conduit à deux produits : une molécule portant quatre groupements époxy et un sous-produit cyclisé avec deux groupements époxy. La fonctionnalité moyenne est de 2,7 groupements époxy par molécule. Le mélange est utilisé sans purification pour l'élaboration de résines époxy avec des durcisseurs aminés dans la mesure où les deux produits obtenus sont fonctionnalisés et participent à l'élaboration du réseau. Les résines obtenues à partir de composés naturels fonctionnalisés possèdent des propriétés thermiques et mécaniques comparables aux résines classiques, issues de ressources fossiles, telles que le diglycidyl ether de BPA.

L'intérêt de ce travail est de pouvoir accéder à des résines aromatiques biosourcées qui présentent des rigidités et des performances supérieures à des résines aliphatiques. Ce travail a été récompensé par le Prix 2010 des Techniques Innovantes pour l'Environnement à Pollutec.

Contacts : Sylvain Caillol, sylvain.caillol@enscm.fr
Bernard Boutevin, bernard.boutevin@enscm.fr
& Hélène Fulcrand, fulcrand@supagro.inra.fr

▼ Propriétés thermiques et mécaniques comparées de résines élaborées à partir de diglycidyl éther de BPA et de tanins.

Sample	T _g (°C)	T _{d5} (°C)	T _{d30} (°C)	Char (%) ₈₀₀	Swelling (%)	Soluble (%)	Storage Modulus (Gpa)	
							Glassy region	Rubbery region
DGEBA	74	209	355	10	17	I	2.8	0.019
75 DGEBA 25 GEC tannins	75	221	337	14	4	I	2.5	0.016
50 DGEBA 50 GEC tannins	73	202	323	18	I	I	2.4	0.014

que le chitosane, les lignines, etc., dont les masses molaires très élevées rendent impossible leur utilisation directe), le retour de la polycondensation au détriment de la polymérisation radicalaire pour exploiter au mieux les fonctions réactives de la biomasse (acide, alcool...) et le développement de voies d'accès robustes permettant de

pallier la variation de la composition de la biomasse. Ainsi, de nouvelles voies d'accès à des résines époxy biosourcées à base de tanins issus de coproduits de la sylviculture ou de la viticulture ont été mises au point. De plus, l'équipe IAM a élaboré de nouveaux synthons fonctionnels réactifs à partir d'huiles végétales et d'acides gras portant des fonctions amine, alcool ou acide qui permettent d'accéder à de nouveaux polymères biosourcés (polyuréthanes, polyesters...).

Les collaborations industrielles sont nombreuses avec les entreprises nationales et internationales. En 2010, l'équipe a reçu le Prix des Techniques Innovantes pour l'Environnement à Pollutec (*cf. projet GreenResins ci-dessus*).

Cycle de vie des polymères et composites : intégration de matériaux issus des filières de recyclage et de ressources renouvelables dans le développement de matériaux innovants

Le Centre des Matériaux de Grande Diffusion (Unité propre de recherche [UPR] CMGD) est l'un des trois laboratoires propres à l'EMA, avec un statut d'établissement public national à caractère administratif dépendant du ministère délégué à l'Industrie. Du fait qu'il accorde une place privilégiée aux relations avec le secteur économique, le CMGD fait partie de l'Institut Carnot – Méthodes InNovantes pour l'Entreprise et la Société (M.I.N.E.S) qui fédère les

Autres équipes concernées par ce thème

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

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

écoles des Mines et leur association de recherche ARMINES. Le Centre est engagé dans divers pôles de compétitivité et entretient des collaborations académiques et industrielles au niveau national et international à travers des projets européens, des projets financés par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), l'ANR et les pôles de compétitivité.

Le CMGD est structuré en deux pôles de recherche : le pôle « Matériaux Polymères Avancés » (MPA) et le pôle « Matériaux et Structures du Génie Civil » (MSGC). Ils sont eux-mêmes organisés autour de différents axes scientifiques. Le cycle de vie des matériaux est au cœur des préoccupations de ces deux pôles en phase avec le monde industriel. En effet, la mise en place de directives européennes visant à favoriser le recyclage de produits en fin de vie débouche actuellement sur le développement de technologies de tri et d'identification de plus en plus performantes, et susceptibles de permettre dans un proche

avenir l'identification en ligne à la fois des plastiques et de leurs additifs. Ainsi, les chercheurs du CMGD accompagnent, d'une part, le développement d'équipements prototypes de tri, et, d'autre part, le développement d'alliages de plastiques à hautes performances pouvant être élaborés à partir de matériaux régénérés à haute pureté issus du tri.

Par ailleurs, la demande mondiale croissante en énergie, la nécessité de trouver une alternative aux ressources énergétiques d'origine fossile qui s'épuisent et la volonté sociétale de réduire les impacts environnementaux de l'activité humaine et l'empreinte carbone poussent actuellement à une intégration partielle ou totale de ressources renouvelables (notion de biosourçabilité) dans le développement des matériaux. La compostabilité des matériaux est un atout supplémentaire qui est traité et qui, dès lors que des filières de collecte seront mises en place, devrait permettre une

meilleure gestion des déchets en fin de vie. Ainsi, les chercheurs du CMGD tentent de lever de nombreux verrous scientifiques et technologiques afin de pouvoir valoriser de façon fiable et durable ces produits dans divers domaines d'application que sont l'emballage, l'agriculture, le transport et le bâtiment.

Le CMGD couvre de nombreux domaines disciplinaires que sont la chimie, la physico-chimie, la mécanique et le génie des procédés. Il dispose, d'une part d'une plateforme d'élaboration des matériaux polymères et composites (équipements de plasturgie) et des bétons, et, d'autre part, d'une plateforme de caractérisation des matériaux (essais mécaniques, thermiques, thermomécaniques en conditions normalisées, essais de résistance au feu, essais de vieillissement, observations par microscope électronique à balayage en mode environnemental, diffraction des rayons X, analyses chimiques et physico-chimiques...). ■

© M. Maugenet – Innobat

Les matériaux et l'éco-construction



▲ *Profils de menuiserie en biocomposite polyester/lin.*

Dans le secteur du bâtiment, les besoins se situent à deux niveaux : d'une part répondre à l'attente du marché pour des produits plus « verts » en intégrant les objectifs de

développement durable ;

d'autre part, respecter le Grenelle de l'Environnement en intégrant des matériaux plus performants afin de réduire la consommation d'énergie des bâtiments, d'utiliser les ressources renouvelables, de valoriser les déchets et de réduire les déchets non valorisables.

Ainsi, le CMGD participe depuis 2010 avec l'équipe IAM (ICGM) à un projet financé par l'ADEME et porté par la société INNOBAT basée près de Montpellier qui a été primée aux JEC Innovation Award en 2011. Ce projet a pour objectif de développer un nouveau matériau pour les profils de menuiserie, sachant qu'aucun des matériaux traditionnels actuellement utilisés (bois, polychlorure de vinyle [PVC], aluminium, composite polyester/verre) ne permet de respecter à la fois les futures réglementations thermiques 2012 et 2020, le niveau de

performances mécaniques requis et les critères architecturaux tout en ayant un impact environnemental réduit.

Le nouveau matériau est un matériau composite mis en forme par pultrusion intégrant une matrice thermodurcissable élaborée partiellement ou intégralement à partir de déchets végétaux des filières bois et vitivinicoles et des fibres végétales continues.

Le projet s'intéresse à de nombreuses problématiques de R&D :

- synthèse et formulation de résines thermodurcissables (époxy et/ou polyester insaturé) partiellement ou intégralement biosourcées à partir de déchets végétaux ;
- préparation de fibres végétales de lin avec analyse et homogénéisation des lots et possibilité de traitements de surface des fibres ;
- adaptation des formulations (réactivité des résines, résistance en traction des fibres) au procédé de pultrusion ;
- évaluation des performances mécaniques, thermiques, au feu et de durabilité en conditions d'usage (humidité, température, exposition aux UV).

Des prototypes sont actuellement disponibles et une mise en marché est envisagée prochainement.

Contacts : Anne Bergeret, Anne.Bergeret@mines-ales.fr & Michel Maugenet, Michel.Maugenet@innobat.fr

Pour plus d'informations : www.innobat.fr

Les biocomposites visent la durabilité

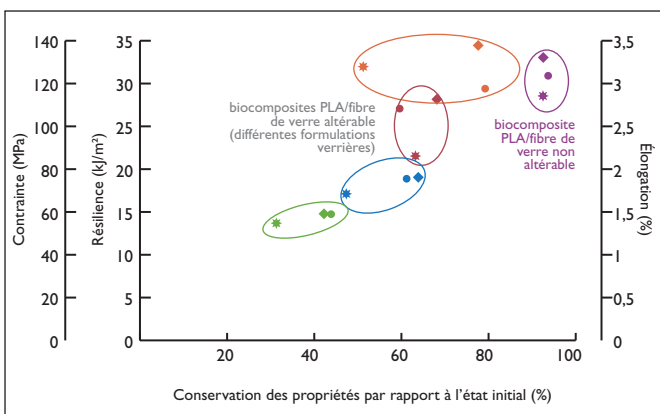
Les premières générations de plastiques biosourcés ont avant tout ciblé des applications à durée de vie courte, notamment l'emballage. Aujourd'hui la demande a évolué. Le monde industriel a actuellement des besoins en plastiques biosourcés dotés de fonctionnalités au moins équivalentes aux plastiques pétrosourcés actuels en termes d'effets barrières et de tenues mécanique, chimique et thermique pendant la durée en service du matériau. Ce constat est largement partagé par la communauté scientifique. Ainsi, le CMGD a été au premier rang de ces évolutions. De l'emballage en amidon expansé renforcé de fibres naturelles sans contraintes d'usage fortes, il est passé à des développements de films, de matériaux massifs ou expansés à base d'acide polylactique (PLA) qui est un polymère obtenu par fermentation de l'amidon de maïs, moins sensible à l'humidité que l'amidon et aux propriétés mécaniques supérieures.

Le projet *COntrolled Lifetime BIOcomposites* (COLIBIO), financé par l'ANR et labellisé par le pôle de compétitivité Trimatec, vise à développer un biocomposite doté de fortes propriétés mécaniques et thermiques permettant de satisfaire aux exigences

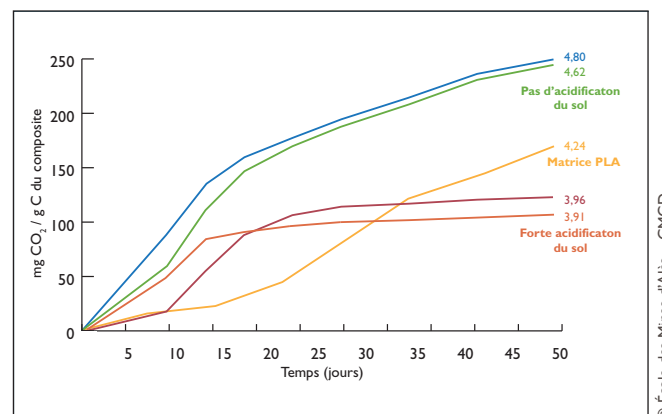
de l'industrie automobile et dont il est possible de contrôler la durée de vie. L'idée a consisté à renforcer une matrice à base de PLA par des fibres de verre altérables dans des conditions de compostage normales (température, pH, humidité), le verrou scientifique et technologique étant de parvenir à maintenir un haut niveau de performances mécaniques du biocomposite pendant toute son utilisation en service et d'être capable de déclencher sa dégradation qu'au moment de sa fin de vie.

Des formulations de fibres de verre altérables ont ainsi pu être développées et la durabilité des biocomposites PLA/verre dans des conditions biomimétiques en utilisation et en fin de vie a été étudiée. Ainsi, il a pu être mis en évidence la forte interdépendance entre la composition chimique en alcalins des verres et leur tenue mécanique dans des conditions accélérées simulant l'utilisation en service (immersion dans de l'eau à 65°C) ainsi que leur taux de minéralisation en sol qui peut s'accompagner d'une acidification de ce sol.

Contact : Anne Bergeret, Anne.Bergeret@mines-ales.fr

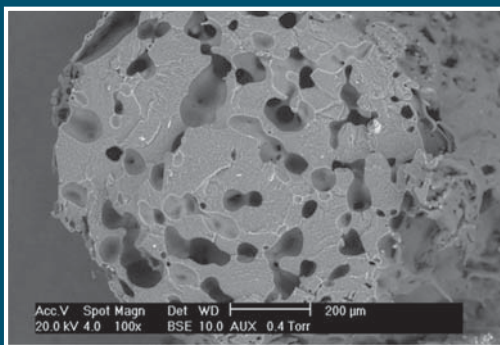


▲ Niveau de conservation des performances mécaniques (● contrainte, ◆ élongation, * résilience) de biocomposites PLA/fibre de verre non altérable et altérable après un vieillissement dans des conditions accélérées simulant leur utilisation en service (24h en immersion dans de l'eau à 65°C)



▲ Taux de minéralisation en sol simulant leur fin de vie de biocomposites PLA/fibre de verre altérable avec différents niveaux d'acidification du sol.

Matériaux nanostructurés à base de bioplastiques



▲ Observation au microscope électronique à balayage d'une mousse bionanocomposite PHBV/argiles réalisée par extrusion assistée par CO₂ supercritique.

Afin d'être en mesure de répondre de manière plus forte aux appels à projets en nanomatériaux et d'élargir leur potentiel de recherche contractuelle en partenariat avec l'industrie, l'Institut CARNOT M.I.N.E.S a mis en place en 2006 un groupe « NanoMines » au sein duquel la thématique « Nanostructures » regroupe une cinquantaine de chercheurs des écoles des Mines. Le but est de faire émerger des synergies entre équipes de recherche en alliant des compétences pluridisciplinaires incluant l'élaboration des nanomatériaux, leur caractérisation, la modélisation et les tests applicatifs.

Dans ce contexte, en 2011, le CMGD et le Centre RAPSODEE de l'École des Mines d'Albi ont démarré un projet visant à développer des bionanocomposites intégrant des nanoparticules dans une matrice bioplastique dans le but de contrôler et d'améliorer ses propriétés. La mise en œuvre de ces bionanocomposites par extrusion assistée par fluide supercritique (CO₂) permet à la fois de disperser les nanoparticules dans la matrice et de générer sans apport d'agents chimiques des mousses apportant ainsi une



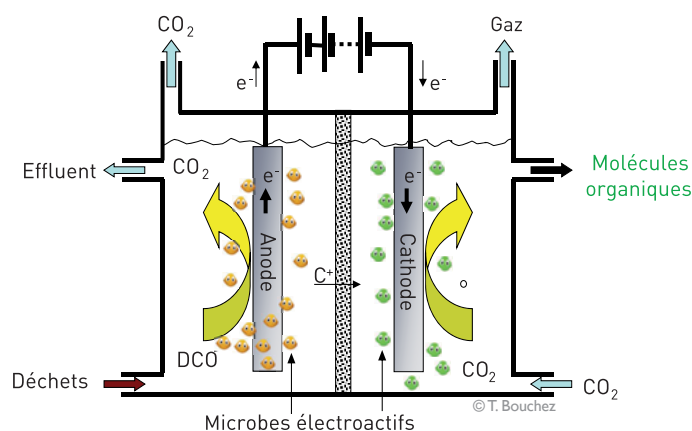
Le projet BIORARE investissement d'avenir « Biotechnologies et bioressources »

Le projet « Bioélectrosynthèse pour le raffinage des déchets résiduels » (BIORARE, Irstea/Laboratoire de Génie Chimique - Centre National de la Recherche Scientifique [CNRS]/LBE-Inra/Suez Environnement) porte sur des modalités d'utilisation du concept d'électrosynthèse microbienne pour la bioraffinerie des déchets et des effluents. Cette récente découverte pourrait à terme permettre la production de molécules à haute valeur ajoutée à partir de la matière organique et de l'énergie contenues dans les déchets.

L'idée est d'utiliser la technologie des systèmes bioélectrochimiques pour orienter les réactions métaboliques du bioprocédé vers la production de molécules plateformes, à valeur ajoutée, utilisables en chimie verte. La matière organique est oxydée dans un premier compartiment par une biomasse complexe qui transfère des électrons sur une anode. Les électrons arrivent ensuite à la cathode où ils sont utilisés lors d'une réaction biologique de réduction. En régulant le potentiel de la cathode à une valeur déduite par un calcul théorique (loi de Nernst), on peut artificiellement créer les conditions thermodynamiques permettant uniquement à certaines réactions de se produire.

Ces systèmes de bioélectrosynthèse microbienne permettent une séparation physique entre un compartiment « sale » recevant la matière organique à traiter et un compartiment « propre » où a lieu la synthèse de molécules d'intérêt, d'orienter les flux métaboliques et de sélectionner les réactions d'oxydation se produisant à la cathode à partir de la régulation du potentiel.

Afin d'établir un cahier des charges détaillé pour l'application de l'électrosynthèse microbienne à la bioraffinerie des déchets organiques, les composants clés seront déterminés ainsi que les spécifications associées pour l'élaboration d'une stratégie de développement industriel ultérieure. Les fondements scientifiques et techniques de l'électrosynthèse microbienne



▲ Principe du système de bioélectrosynthèse microbienne utilisé dans le projet BIORARE.

seront renforcés puis les relations entre conditions opératoires et molécules effectivement synthétisées seront validées expérimentalement. Des approches pluridisciplinaires seront combinées afin de mieux comprendre et cerner le potentiel technologique de ces systèmes. L'évaluation environnementale des stratégies de couplage de ces systèmes aux installations industrielles existantes sera réalisée en s'appuyant sur des scénarios de référence qui permettront d'identifier les composantes sensibles d'un point de vue environnemental et orienter les choix techniques ou industriels. Une analyse économique, sociétale et réglementaire permettra de mieux cadrer les stratégies futures de développement industriel. Un cahier des charges détaillé pour la mise en œuvre des systèmes d'électrosynthèse microbienne pour la bioraffinerie des déchets organiques sera élaboré et les mesures associées de protection de la propriété intellectuelle seront prises le cas échéant.

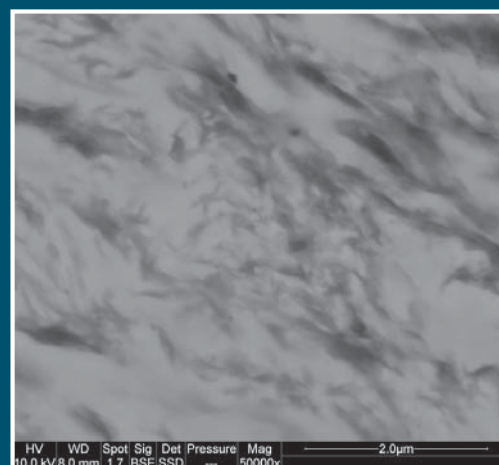
Contact : Nicolas Bernet, nicolas.bernet@supagro.inra.fr

amélioration de ces matériaux en termes d'allègement et d'isolation.

La matrice bioplastique considérée dans le projet est un polymère biodégradable obtenu par extraction à partir de microorganismes qui fait partie de la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA), à savoir le poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalérate) (PHBV). Cette matrice a été renforcée par des nanoparticules d'argile de type montmorillonite à faible taux d'incorporation (moins de 3 % en masse). L'incorporation de l'argile a permis d'améliorer significativement les propriétés mécaniques, thermiques et au feu, et de contrôler la biodégradation de la matrice. Les mousses obtenues présentent une porosité allant jusqu'à 50 % mais avec une homogénéité de taille de cellules à améliorer via l'étude des paramètres opératoires du procédé.

Contacts : Nicolas Le-Moigne, nicolas.le-moigne@mines-ales.fr & Martial Sauceau, martial.sauceau@mines-albi.fr

Pour plus d'informations : <http://cmm.enscm.fr/Nanomines>



▲ Observation au microscope électronique à transmission de la dispersion des argiles au sein d'une mousse bionanocomposite PHBV/argiles.

© École des Mines d'Alès - CMGD

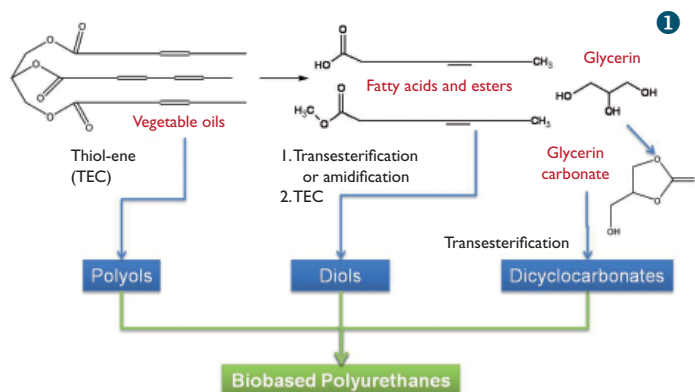
Projet GreenCoat

nouveaux polyuréthanes biosourcés à partir d'huiles végétales

Les polyuréthanes représentent un des polymères les plus vendus dans le monde (6^e rang) avec une production mondiale de plus de 14 Mt. Ils couvrent de nombreux domaines de la vie courante, notamment l'isolation thermique ou les revêtements. Ils sont traditionnellement obtenus par réaction d'un isocyanate et d'un oligomère polyol. Alors que l'isocyanate est quasi-exclusivement dérivé de matières premières pétrochimiques, le polyol peut être issu de ressources renouvelables. Mais la plupart des composés isocyanates sont très toxiques, voire CMR et sur les listes de produits à substituer (Reach, annexe XVII). Le projet GreenCoat vise dans un premier temps à l'élaboration de nouveaux polyols biosourcés à partir d'huile végétale, permettant d'atteindre de nouvelles propriétés. Dans un deuxième temps, l'objectif est d'élaborer des polyuréthanes biosourcés sans isocyanates à partir de glycérol.

La synthèse de polyols biosourcés est réalisée à partir d'huile végétale ou d'acides ou d'esters gras par couplage thiol-ène sur les doubles liaisons des chaînes grasses. Le thiol utilisé porte une ou plusieurs fonctions alcools. La réaction d'addition est réalisée sans solvant, sans amorceur, sous UV et le rendement est quantitatif. Cette technologie permet d'accéder à des polyols biosourcés de structure et de fonctionnalité très variées.

L'élaboration de polyuréthanes biosourcés sans isocyanates repose sur la réaction d'ouverture des cyclocarbonates par les amines primaires. L'équipe IAM (ICGM) a ainsi réalisé des oligomères porteurs de fonctions dicyclocarbonates à partir du



carbonate de glycérol. La réaction des ces oligomères avec des diamines conduit à des polyuréthanes biosourcés sans isocyanates.

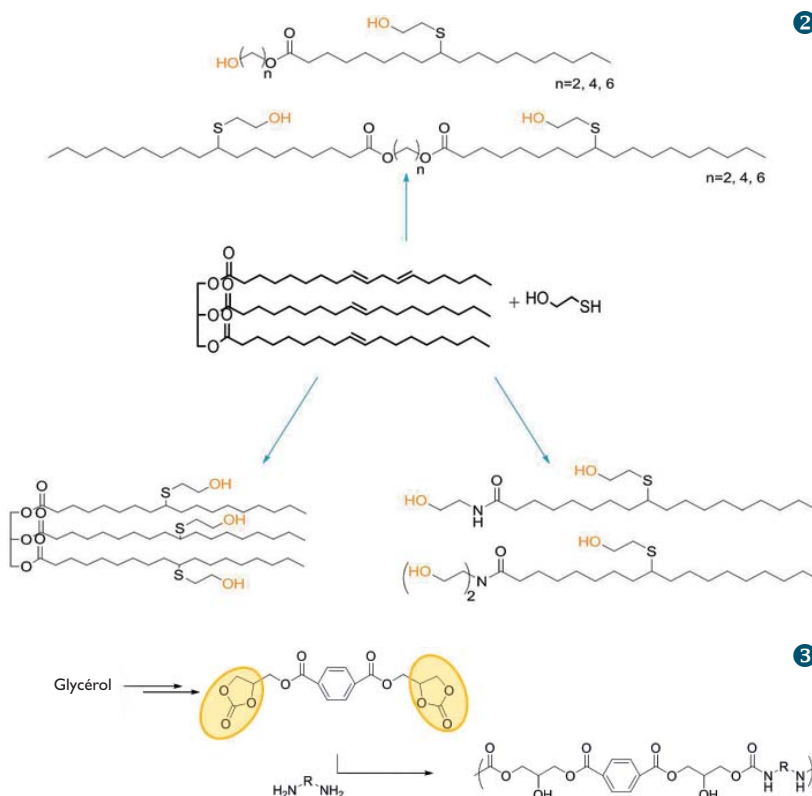
Dans les deux cas, les polyuréthanes biosourcés obtenus possèdent des propriétés similaires à celles de polyuréthanes obtenus à partir de ressources fossiles et peuvent être utilisés en revêtements, liants, peintures... Ce projet a bénéficié de financement de l'ANR Matepro. Il est réalisé en collaboration avec le Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (Bordeaux) et les sociétés Résipoly et SEG.

Contacts : Sylvain Caillol, sylvain.caillol@enscm.fr
Rémi Auvergne, remi.auvergne@enscm.fr
& Bernard Boutevin, bernard.boutevin@enscm.fr

❶ Schéma d'obtention des polyuréthanes biosourcés à partir d'huile végétale et dérivés.

❷ Synthèse de nouveaux polyols biosourcés par thiol-ène sur les huiles végétales.

❸ Élaboration de polyuréthanes biosourcés sans isocyanates.





▲► Emballage biodégradable développé dans le cadre du projet.

Projet EcoBioCAP

Eco-efficient Biodegradable Composite Advanced Packaging

Depuis une dizaine d'années, de nombreux emballages alimentaires biodégradables ont été développés avec pour objectif principal d'imiter les plastiques pétrochimiques sans réelle évaluation du gain environnemental, de la viabilité économique et des impacts potentiels sur la qualité et la sécurité des aliments emballés. Un certain nombre de controverses majeures (détournement de ressources à usage alimentaire, complication des circuits de recyclage/valorisation, etc.) ont rapidement freiné la croissance de ces emballages, en particulier dans le domaine agroalimentaire. Une approche plus globale et systémique est nécessaire au développement de ces emballages biodégradables, afin de restaurer la confiance et l'intérêt des consommateurs et utilisateurs.

Le projet européen EcoBioCAP a pour objectif de fournir aux industries alimentaires de l'Union européenne des emballages biodégradables et modulables à façon selon les exigences des denrées alimentaires périssables, avec des bénéfices directs pour l'environnement ainsi que pour les consommateurs européens en termes de qualité et de sécurité alimentaires. Cette nouvelle génération d'emballages sera basée sur le développement multi-échelles de structures composites dont les constituants seront tous obtenus à partir de coproduits des industries alimentaires. Les activités de démonstration avec les partenaires industriels



© UN2/Inra

permettront d'optimiser la production et l'ensemble des propriétés des matériaux développés dans le projet avant une exploitation à l'échelle industrielle. Le développement d'un outil d'aide à la décision permettra de rendre accessible la technologie d'EcoBioCAP à tous les acteurs de la filière. Enfin, les activités de diffusion auront pour objectif non seulement d'informer la communauté scientifique des résultats du projet, mais aussi de s'assurer que les consommateurs et les utilisateurs finaux seront informés du mode d'utilisation et des bénéfices liés à l'utilisation de tels emballages biodégradables.

Le projet EcoBioCAP représente un budget de 4,2 millions d'euros, financé par l'Europe (3 millions d'euros pour quatre ans dans le cadre du 7^e PCRDT). Il réunit 16 partenaires venant de huit pays différents, dont six entreprises privées.

Contact : Nathalie Gontard, gontard@univ-montp2.fr

Pour plus d'informations : www.ecobiocap.eu



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 bio-polymères ; 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. 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, claud.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_lmvsuivibilan_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.



▲ Essai de compostage à Wallis.

© Jean-Luc Farinet

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

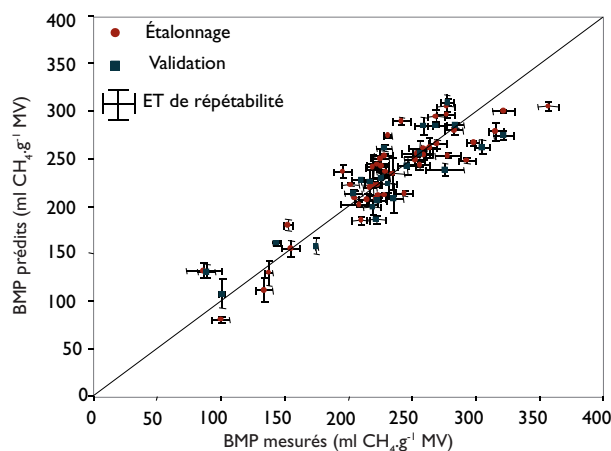
▲ *Passeur automatique connecté à une chromatographie en phase gazeuse pour l'analyse des acides gras volatils produits durant la méthanisation.*

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 % ($28 \text{ ml CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ MV}$) sur 70 échantillons représentatifs de déchets d'ordures ménagères (valeurs de 89 à $357 \text{ ml H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ MV}$), une erreur de répétabilité bonne (environ $7 \text{ ml CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ MV}$) 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 : $28 \text{ ml CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ MV}$;

Erreur de répétabilité : $7 \text{ ml CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ MV}$. $R^2=0,8$.

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.





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 :

❶ 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.

❷ 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 écotecnologies

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.

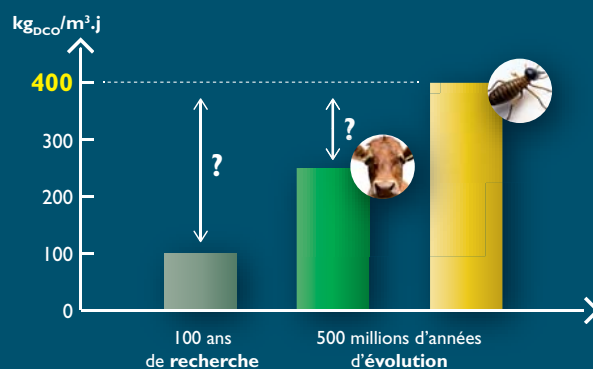
Projet DANAC digestion anaérobie activée – bio-mimétisme pour la digestion anaérobie

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 » (Irrstea), 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 éthanolique 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 éthanolique 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



Méthodes d'évaluation : *analyse du cycle de vie, écoconception,* écologie industrielle et territoriale

Pôle ELSA : analyse en cycle de vie de la durabilité des processus

Le pôle *Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment* (ELSA) est un groupe de recherche multidisciplinaire dédié à l'analyse en cycle de vie environnementale et sociale des processus et à l'écologie industrielle. ELSA rassemble des chercheurs, des enseignants et des étudiants de plusieurs instituts de recherche et d'enseignement supérieur du Languedoc-Roussillon (LR). Ses membres bénéficient ainsi de la mise en commun de l'expertise et des connaissances.

ELSA a été créé en 2008 grâce au soutien de la Région au sein de la plateforme EcoTech-LR qui fédère cinq organismes : l'Inra, le Cirad, l'EMA, Montpellier SupAgro et Irstea. Dans cette plateforme, ELSA s'attache à la tâche transversale de l'évaluation environnementale et sociale des procédés, ou processus étudiés, dans les domaines de l'agriculture, de la gestion de l'eau et des déchets, de la production d'énergie à partir de biomasse et de l'aménagement du territoire. Les membres d'ELSA travaillent ensemble pour :

- faire progresser la méthodologie des évaluations environnementales et sociales ;

- diffuser ces méthodologies en développant des collaborations avec les partenaires industriels, les consultants et les collectivités locales ou l'État ;
- assurer des formations aux étudiants et aux professionnels ;
- animer la communauté scientifique via des séminaires, des conférences, etc.

Le pôle ELSA a connu une très forte croissance en quatre ans, puisqu'il compte aujourd'hui 30 chercheurs dont la moitié sont des permanents. En 2012, ELSA était impliqué dans 21 projets de recherche (9 projets ANR, 4 FUI, 3 ADEME, 4 projets internationaux).

Concernant l'animation scientifique, le pôle ELSA organise deux à trois événements par an soit, depuis sa création, deux écoles chercheurs (l'une internationale et l'autre nationale), deux colloques internationaux et quatre journées de sensibilisation. Depuis 2011, le pôle ELSA s'est étendu à l'international via le projet Interreg EcoTech-Sudoe (réseau international en analyse de cycle de vie et éco-conception pour des écotechnologies innovantes) qui a permis la mise en réseau et des échanges entre huit laboratoires français, espagnols et portugais. Le pôle ELSA est ouvert à tout nouveau collaborateur ou institution souhaitant bénéficier de ce cadre, après acceptation par le bureau. ■

L'équipe principale

Pôle ELSA
Environmental Lifecycle
and Sustainability Assessment
(Irstea/Cirad/EMA/Montpellier SupAgro/Inra)
30 scientifiques

Autres équipes concernées par ce thème

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

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

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

UPR Recyclage et Risque
(Cirad)
13 scientifiques

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

UR Biomasse énergie
(Cirad)
12 scientifiques



▲ Retournement de compost de déchets verts à la Réunion.

Projet GIROVAR

modélisation participative pour la co-construction et l'évaluation de scénarios de gestion intégrée des déchets organiques

À la Réunion, la gestion de plusieurs gisements croissants de résidus organiques (boues de stations d'épuration, effluents d'élevage, déchets verts, résidus agroalimentaires) pose de sérieux problèmes, principalement du fait d'un raisonnement cloisonné par filière, alors que ces matières présentent un important potentiel de services agro-environnementaux. Le projet « Gestion Intégrée des Résidus Organiques par leur Valorisation Agronomique à la Réunion » (GIROVAR) mis en œuvre par un consortium de sept organismes partenaires [coordination UPR « Recyclage & Risque » (Cirad) en collaboration avec l'UR « Gestion des ressources renouvelables et environnement » (Cirad)] sur l'agglomération de communes de l'Ouest de la Réunion, étudie le potentiel de service qu'y représente le recyclage des résidus organiques. Une méthode de recherche participative est utilisée pour l'identification de scénarios de gestion territoriale intégrée visant à se rapprocher de ce potentiel de service ; la finalité étant que les développements en cours et prévus des divers secteurs concernés puissent se réaliser sans mettre en danger la durabilité du système territorial. Il est essentiel que les scénarios identifiés soient rigoureusement et objectivement évalués sur les plans environnemental, logistique, réglementaire, économique ou social.

Concernant la dimension environnementale, les recherches en écologie territoriale ont débouché sur des méthodes permettant d'évaluer l'effet en termes d'éco-efficience du territoire (à travers l'étude du métabolisme territorial). Ces méthodes ne permettent cependant pas de s'exprimer sur les services et impacts environnementaux qui seraient produits *in fine* par ces scénarios.



◀ La logique du projet GIROVAR et ses étapes.

En couplant l'approche d'écologie territoriale à un cadre d'évaluation systémique « Force motrice-Pression-État-Impact-Réponse », l'évaluation environnementale vise une analyse spatiotemporelle des changements de flux vers l'environnement que produiraient les scénarios de gestion envisagés, une estimation de l'ampleur du changement d'état des compartiments environnementaux (sol, air, eau...) et une évaluation du risque de dommage ou de la chance de bénéfice que représentent ces impacts.

**Contact : Tom Wassenaar, tom.wassenaar@cirad.fr
info@girovar.re**

Pour plus d'informations : <http://girovar.com>



Projet DEPART

de la gestion des déchets à l'économie circulaire, émergence de nouvelles pratiques partenariales dans les territoires portuaires

Les territoires industrialo-portuaires sont des lieux d'échanges et de transformations massifs de matière et d'énergie. Ces territoires s'approprient progressivement les principes et outils de l'écologie industrielle et territoriale afin d'optimiser leurs flux de matière et d'énergie, et de favoriser les pratiques collaboratives de recyclage et de valorisation des effluents industriels liquides, solides ou gazeux. Ces actions se révèlent nécessaires tant au maintien et à la compétitivité des activités industrielles et portuaires qu'à la réduction des pressions qu'elles exercent sur l'environnement. Cependant, la diffusion de telles pratiques ne dépend pas seulement des caractéristiques intrinsèques des flux de matière et d'énergie (quantité, qualité, variabilité, etc.). Les cultures de coopération des différents acteurs territoriaux et leur appréhension des grands enjeux et problématiques du territoire étudié sont autant de facteurs qui restent fondamentaux à la mobilisation des parties prenantes autour de la gestion territoriale des ressources. Avant de déployer et de généraliser ce type de démarche, il est nécessaire d'établir au préalable un diagnostic permettant de caractériser et d'évaluer ces différents critères.

Cofinancé par l'ADEME, le projet DEPART (2010-2012) regroupe six partenaires (Auxilia, Mydiane, Vianova System, Systèmes Durables, EMA, Université Toulouse II). Il vise à innover dans l'approche méthodologique de l'écologie industrielle et territoriale, en proposant et validant l'apport d'une méthodologie basée davantage sur les perceptions des acteurs, les compétences mobilisables et les besoins ressentis que sur une seule analyse des flux. Il se place dans le contexte spécifique des territoires portuaires. Une palette d'outils (grille d'analyse territoriale, système d'information géographique, arbre d'intelligence territoriale, questionnaire, etc.) a été développée et optimise le recueil et l'exploitation de données territoriales issues de documents et de bases de données existants mais également d'entretiens ciblés avec des acteurs clés du territoire et/ou des secteurs d'activité étudiés. Ces outils ont été testés et développés de manière itérative sur les territoires portuaires de Fos-sur-Mer et du Havre.

Contact : Guillaume Junqua, guillaume.junqua@mines-ales.fr

Méthodologie d'évaluation environnementale d'activités spatialement distribuées sur un territoire

La directive européenne 2001/42/CE propose la mise en place d'un outil procédural, « l'évaluation environnementale stratégique » (EES), qui doit être appliqué dès les premières étapes de l'élaboration des plans et programmes susceptibles d'avoir une influence « notable » sur l'environnement. Cela concerne notamment les programmes en lien avec les territoires locaux et leur aménagement (comme en France, les schémas de cohérence territoriale, les plans locaux d'urbanisme...). Cependant, il n'existe pas de démarche formalisée permettant de réaliser de telles évaluations.

Des développements méthodologiques sont nécessaires pour réaliser une évaluation globale des impacts environnementaux d'un territoire indispensable à la qualification des choix d'aménagement. Une thèse en cours à l'UMR ITAP au sein du pôle ELSA (co-encadrement UMR ITAP/EMA/UMR TETIS [AgroParisTech/Cirad/Irstea], collaboration Syndicat Mixte du Bassin de Thau) vise à développer une méthodologie de diagnostic environnemental comme outil d'optimisation des choix d'aménagement sur un territoire.

► *Les principaux verrous méthodologiques à la mise en œuvre d'une ACV sur un territoire.*

Étude des impacts environnementaux de l'insertion d'un pré-conditionnement par pyrolyse rapide dans les chaînes d'approvisionnement en biomasse-énergie



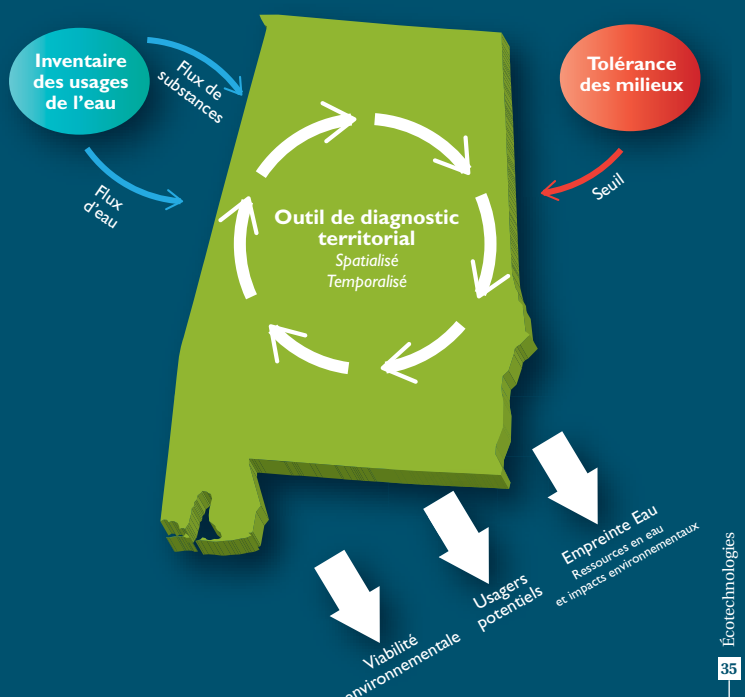
L'exploitation forestière en Amazonie, pour le bois d'œuvre, génère une quantité importante de résidus : au Brésil, dans l'État du Pará, pour 2,5 millions de m³ de bois scié produits en 2010, 4 millions de m³ de déchets ont été générés. Cette biomasse, peu valorisée aujourd'hui, pourrait constituer une ressource intéressante pour une filière de production d'énergie mais la faible densité énergétique du bois et le caractère diffus de la ressource (au Pará, l'exploitation forestière se répartit entre plus d'un millier de scieries) limitent, pour des raisons économiques et environnementales, les distances de transport envisageables et sont un obstacle à cette mobilisation. La pyrolyse rapide, en tant que procédé de pré-conditionnement de la biomasse sous forme de charges liquides appelées bio-huiles, permet de densifier de façon importante le contenu énergétique de cette biomasse et ainsi de réduire l'impact du transport de ces résidus. S'agissant d'un combustible liquide, homogène et épuré, les bio-huiles permettent d'envisager des possibilités

de valorisation plus larges que la biomasse brute : co-raffinage avec des charges pétrolières, combustion en chaudière, moteur diesel et extraction de molécules pour une co-valorisation chimique.

Les travaux de l'UR « Biomasse énergie » (Cirad), en collaboration avec l'Université de Brasília (UnB) et le service forestier brésilien, visent à quantifier par ACV l'intérêt environnemental de son insertion au sein de chaînes d'approvisionnement en biomasse. L'objectif final est de déterminer les contextes dans lesquels la pyrolyse rapide est la plus pertinente et la plus favorable à l'émergence d'une filière de biomasse-énergie, et d'optimiser les gains environnementaux permis par la mobilisation des résidus de scierie. Ces travaux sont développés dans le cadre d'un doctorat co-encadré par le Cirad et l'UnB et du projet de recherche « Adéquation Multisource à la gazéification » (AMAZON, cofinancement ANR, France/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brésil).

Contacts : Anthony Benoist, anthony.benoist@cirad.fr
François Broust, francois.broust@cirad.fr
Armando Caldeira Pires, armandcp@unb.br
Thiago Oliveira Rodrigues, thiagoefl@gmail.com
& Patrick Rousset, patrick.rousset@cirad.fr

Différents outils peuvent être appliqués dans le cadre de ces évaluations (ACV, analyse de flux de matières, analyse *input-output*, exergie, émergie, empreinte écologique, analyse des risques environnementaux). Parmi eux, l'ACV a été identifiée comme étant un outil potentiellement prometteur dans un contexte local d'aide à la décision. Cependant, l'ACV est à la base une approche orientée « produit / service ». Des propositions ont été faites afin d'étendre l'échelle des systèmes étudiés en intégrant l'analyse des systèmes territoriaux. Toutefois, aucune étude n'a été réalisée pour un territoire dans sa globalité. Ce constat peut s'expliquer par la présence de certains verrous méthodologiques (cf. figure ci-contre) : (i) la définition de(s) l'unité(s) fonctionnelle(s) et du flux de référence, (ii) la sélection des frontières du système, (iii) la modélisation du système et (iv) le développement d'indicateurs pertinents pour l'aide à la décision locale. Des recommandations seront donc formulées dans cette thèse pour adapter le cadre méthodologique de l'ACV à l'évaluation environnementale de territoires. Le travail de la thèse sera appliqué à l'étude de scénarios d'aménagement sur le territoire du bassin de Thau (France).



Contact : Eléonore Loiseau, eleonore.loiseau@irstea.fr



Monitoring *environnemental*

Gestion des ressources, réduction des impacts et maîtrise des risques

Le *Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel et des Risques Industriels et Naturels* (UPR LGEI) est l'un des trois laboratoires propres à l'EMA, avec un statut d'établissement public national à caractère administratif dépendant du ministère délégué à l'Industrie. Le LGEI oriente ses recherches sur la gestion des ressources, la réduction des impacts, la maîtrise des risques pour répondre aux demandes industrielles et sociétales. Ses axes de recherche s'intègrent dans le champ des écotechnologies en tant que technologies, procédés, produits et services visant à diminuer l'impact des activités humaines sur l'environnement.

Pour répondre à ces objectifs, le LGEI développe une recherche pluridisciplinaire couvrant un large champ d'applications en s'appuyant sur des disciplines complémentaires telles que : génie des procédés, chimie analytique et métrologie, microbiologie, biologie moléculaire, hydrologie, hydrogéologie, géomatique, méthodes géostatistiques, informatique et modélisation, outils de simulation et aide à la décision.

Les thématiques développées concernent la proposition d'outils de diagnostic et de monitoring pour évaluer la qualité des ressources (détection et mesure des paramètres physico-chimiques ou biologiques), la gestion environnementale intégrée de ressources sur un territoire ou site industriel (flux polluant, matière, produits), la gestion et la maîtrise du risque (analyses des dangers, des conséquences, de la vulnérabilité).

Concernant les écotechnologies, les axes de développement portent sur :
 ■ le développement de méthodes de mesure pour la quantification de polluants organiques ou métaux dans différentes matrices (eau, sédiments, effluents liquides et gazeux), le développement de système de biodétection et de bioessais (évaluation des effets de polluants) ;
 ■ le développement et l'amélioration de procédés pour le traitement d'effluents liquides ou gazeux. Dans ce but, un axe d'amélioration porte sur la fonctionnalisation de matériaux d'origine biologique (bio-polymères), minérale ou

synthétique avec des structurations moléculaires diverses (composites, nanostructures) ou divers conditionnements (encapsulation) et sur l'utilisation de procédés biologiques dans l'épuration ;

■ l'étude de filières de réutilisation et de recyclage des ressources (*re-use*) appréhendée sous l'angle qualité/usage.

Afin de soutenir ces problématiques, le LGEI dispose d'équipements de laboratoire (HPLC/MS/MS, GC/MS/MS, ICP, extracteurs...) ainsi que d'une halle d'essais permettant les expérimentations à l'échelle pilote semi-industrielle. Ces équipements sont ouverts aux équipes académiques et industrielles dans le cadre des plateformes technologiques régionales.

Par ailleurs, Le LGEI est partie prenante de la plateforme EcoTech-LR (*cf. p. 43*) depuis sa création et s'implique activement dans le pôle ELSA (*cf. p. 32*). Au sein de ce pôle, le LGEI porte, en particulier, l'axe « Écologie industrielle ». Enfin, le LGEI fait partie de l'Institut Carnot M.I.N.E.S. dont la labellisation a été reconduite, montrant la place privilégiée des relations du LGEI avec le secteur économique. Le Laboratoire est engagé dans les pôles de compétitivité Eau, Trimatec, Risques et vulnérabilité des territoires (*cf p. 43*) et Eurobiomed. ■

L'équipe principale

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

Autres équipes concernées par ce thème

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

UPR Recyclage et Risque
 (Cirad)
 13 scientifiques



▲ Utilisation d'un spectromètre proche infrarouge de terrain pour la qualification agronomique et énergétique de litières de volaille.

Choix du mode de valorisation de déchets à partir de leur caractérisation par spectrométrie proche infrarouge

À la Réunion, la production croissante de déchets organiques (boues d'épuration des eaux, fraction fermentescible des ordures ménagères, déchets verts, effluents d'élevage et résidus agroalimentaires), qualifiés de matières organiques exogènes (MOEx), va de pair avec l'augmentation de la population et le développement des activités d'élevage. L'insularité et l'isolement de la Réunion rendent l'exportation des MOEx impossible ; leur gestion doit être assurée localement. Dès lors, deux grandes voies de valorisation sont envisageables : ❶ pour le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols, ❷ pour la production d'énergie renouvelable. Le choix de valorisation le plus adéquat peut être éclairé par l'élaboration d'une typologie des MOEx pour juger de l'équilibre intérêt vs risque (p. ex. émission de gaz à effet de serre). Le développement d'outils de spécification des MOEx représente donc un enjeu scientifique pour répondre à la question de leur gestion dans un contexte de développement durable.

La spectrométrie proche infrarouge (SPIR), technique qualitative et quantitative, est mise en œuvre. Un étalonnage est nécessaire pour convertir un spectre en un paramètre d'intérêt (p. ex. concentration d'un constituant) à l'aide d'outils statistiques.

Le modèle élaboré sert ensuite à prédire le paramètre considéré à partir de spectres SPIR d'échantillons de nature comparable à ceux de la gamme d'étalonnage. La SPIR est utilisée pour compléter des jeux de données de référence obtenues sur le terrain ou au laboratoire : potentiel de transformation de l'azote et du carbone (potentiel « humus »), potentiel de combustion, potentiel méthane. Cette technique, appliquée aux MOEx brutes ou en cours de transformation (p. ex. compostage, méthanisation), doit permettre la production de données de façon fiable, rapide et peu onéreuse pour l'évaluation des différents scénarios d'utilisation de ces ressources.

Contact : Laurent Thuriès, laurent.thuries@cirad.fr



▲ Vue aérienne du port de Port-Camargue.

© Michel Cavailles

Projet ECODREDGE

méthode et technique de gestion globale et locale des produits de dragage portuaire

En France, 50 millions de m³ de sédiments marins sont dragués annuellement dont 17,5 millions de m³/an dans les ports de la côte atlantique française tandis que le volume dragué est moindre sur la côte méditerranéenne. Les petits ports et marinas produisent près du quart des boues de dragages de sédiments marins en France. Dans ce contexte, le Grenelle de la Mer a formulé un certain nombre d'engagements pour la réduction des pollutions maritimes liées aux dragages, notamment d'interdire le rejet en mer des boues de dragage polluées et de mettre en place des filières de traitement des boues.

ECODREDGE-MED, projet collaboratif initié par la Régie Autonome gérant le port de Port-Camargue, propose une approche innovante pour une gestion durable des sédiments portuaires. L'objectif est de développer, d'une part, une technologie de dragage et de traitement des matériaux sans stockage provisoire à terre et, d'autre part, d'identifier les filières de valorisation au plan local répondant à la demande en matériaux. Ce projet a reçu la labellisation du pôle de compétitivité EAU, dans l'axe 2 (« Gestion concertée des ressources et des usages ») auquel il s'intègre.

Il a pour objectif scientifique de :

- développer des méthodologies pour mieux évaluer le potentiel de valorisation des sédiments de dragage tout en respectant les contraintes environnementales ;
- définir les contraintes au niveau de la formulation des matériaux en vue de leur valorisation ;
- suivre les effets des opérations de dragage sur la mobilisation des métaux et composés organiques ainsi que leur écotoxicité ;
- développer des outils de traçage des sources de pollution.

ECODREDGE-MED bénéficie de l'appui d'entreprises qualifiées (BEC/BRL-I/SOLS Med) et des laboratoires de recherche LGEI (EMA), UMR HydroSciences Montpellier (CNRS/IRD/UMI/UM2), UMR Écologie des systèmes marins côtiers (CNRS/Ifremer/IRD/UMI/UM2). L'entreprise EMCC spécialisée dans les travaux de dragage et appartenant au Groupe Vinci vient compléter le consortium. Ce projet est soutenu financièrement par le FUI, le Fonds européen de développement régional (FEDER), OSEO et la Région Languedoc-Roussillon.

Contacts : Michel Cavailles, m.cavailles@portcamargue.com
Catherine Gonzalez, catherine.gonzalez@mines-ales.fr
& Éric Garcia-Diaz, eric.garcia-diaz@mines-ales.fr

Quelles technologies pour quelles pollutions ?



© Ingrid Bazin

▲ Mallette pour la biodétection de terrain.

Les développements technologiques actuellement menés au LGEI visent à mettre au point de nouveaux systèmes de détection dédiés à un polluant cible, ou à un type d'effet induit, ainsi qu'à améliorer l'instrumentation du point de vue de la précision, de la fiabilité, de la vitesse de mesure, de l'automatisation, de la miniaturisation et du coût. L'accent est mis sur la validation *in situ* des nouveaux capteurs (notamment biocapteurs et capteurs passifs) afin de démontrer leur potentiel pour la surveillance, le diagnostic et la gestion des ressources.

Ces capteurs permettent de réaliser le *screening* de polluants organiques persistants (pesticides, PCB, HAP), pour suivre les ressources (eau, sédiment par exemple) et mettre en évidence leur niveau de contamination afin d'envisager ou non leur réutilisation ou leur recyclage. Ces axes de recherche sont en relation directe avec les préoccupations du pôle de compétitivité Eau, notamment : miniaturisation de capteurs, amélioration des réseaux de capteurs, transmission de données...

Le sol, 2^e stock de carbone (C) après les roches et les océans et bien devant la biomasse, représente une des principales voies de stockage du C. Dans l'esprit du protocole de Kyoto, les agriculteurs pourraient être rémunérés pour ce service de stockage selon deux types de contrats : rémunération des pratiques vertueuses ou des crédits carbone générés. Cette deuxième voie, la plus efficace, exige de savoir mesurer le carbone séquestré de façon précise et peu coûteuse.

Basé sur un consortium international (UMR ITAP, UMR Eco&Sols [Inra/Montpellier SupAgro/Cirad/IRD], Inra Orléans, Université de Sydney ; soutien financier ADEME et ministère de l'Environnement), le projet INCA a été monté lors d'un échange de chercheurs financé par la Région LR via la plateforme EcoTech-LR, pour développer un équipement et une méthode de mesure de la concentration volumique de C dans les sols. Cette méthode, basée sur la SPIR doit être mise en œuvre au champ pour éviter les coûts de l'extraction/ préparation d'échantillons et permettre de répéter les mesures.

Plusieurs verrous méthodologiques et technologiques persistent : comment prédire la concentration volumique du carbone ?



Évaluer la séquestration du carbone dans les sols par spectrométrie proche infrarouge

Comment modéliser les interactions sol / rayonnement infrarouge pour optimiser l'interface optique et améliorer la robustesse de la mesure ? Quelle est la sensibilité de la mesure aux grandeurs d'influence en extérieur (température, humidité...) ? Comment rendre la mesure robuste ? Comment utiliser une base de données de spectres mesurés sur des échantillons séchés et broyés (tirés de la pédothèque du Réseau national de Mesure de la Qualité des Sols) pour l'appliquer sur des échantillons au champ ? Comment améliorer la précision et la robustesse de l'étalonnage, notamment réduire l'erreur systématique en construisant l'étalonnage avec des approches

chimiométriques alternatives ?

Ces questions sont traitées par des approches expérimentales et de modélisation en laboratoire. Des bases spectrales seront construites en combinant des données existantes et des nouvelles acquisitions de spectres et de données. Ce projet devra valider un concept de capteur portable utilisable au champ.

Contact : Alexia Gobrecht, alexia.gobrecht@irstea.fr

▲ Mesure en SPIR sur des sols en laboratoire : la tête de mesure est appliquée sur des échantillons de sols broyés et tamisés pour la prise de spectre.

Actuellement deux axes de développement sont particulièrement ciblés :

■ **Développement de capteurs passifs** pour des herbicides polaires (étude de modèles cinétiques de rétention, optimisation des phases réceptrices, calibration en laboratoire et *in situ*). Dans le cadre d'une thèse effectuée en codirection avec le BRGM d'Orléans, ces capteurs sont appliqués pour le monitoring des ressources en eau (eaux de surface et eaux souterraines). Ces outils de screening sont également déployés pour évaluer les sources de contamination potentielles sur le milieu aquatique lors de travaux de dragage (projet ECODREDGE-MED, cf. p.38).

■ **Développement de biocapteurs** basés sur un système de reconnaissance moléculaire (anticorps) immobilisé sur un support original (biopolymère), couplé à un système de transformation du signal de façon à quantifier le niveau de pollution. Ce système est intégré dans le développement d'un instrument pour la mesure biologique multiparamétrique en continu de polluants (ANR COMBITOX). Enfin, ces travaux ont permis de développer une mallette de terrain pour la détection de toxines environnementales.



▲ Capteurs passifs déployés sur site.

Contacts : Catherine Gonzalez, catherine.gonzalez@mines-ales.fr & Ingrid Bazin, ingrid.bazin@mines-ales.fr

© Sylvie Spinelli



Les acteurs de l'innovation *se mobilisent en faveur* des écotechnologies



Pôle EAU

Pôle de compétitivité à vocation mondiale

Le Pôle de compétitivité à vocation mondiale EAU, labellisé en mai 2010 lors de l'appel à projets « Pôles éco-technologiques », fédère les entreprises, collectivités publiques, organismes de formation et établissements de recherche de la filière « eau » des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées. Il coordonne également les autres Pôles EAU français (Pôle DREAM Eau & Milieux, Pôle de l'Eau Alsace/Lorraine HYDREOS). Ses objectifs sont d'une part de créer valeur et développement économique via des projets innovants et collaboratifs, et, d'autre part, de contribuer à l'exportation de produits technologiques, services et savoir-faire français, et au rayonnement de la recherche à l'international.

Les axes stratégiques du Pôle EAU sont les suivants :

- identification et mobilisation des ressources en eau ;
- gestion concertée des ressources en eau dans un contexte exacerbé par les changements globaux ;
- réutilisation des eaux de toutes origines ;
- approches institutionnelles et sociétales.

Le Pôle EAU est membre du Réseau « Écotechnologies* » mis en place par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie pour créer « une dynamique coopérative de filière autour de

14 pôles de compétitivité ». Il co-anime au niveau national, un groupe de travail sur la métrologie et l'instrumentation des milieux.

Au-delà du projet ECODREDGE-MED (cf. p. 38), la majorité des projets labellisés par le Pôle EAU concerne :

- les écotechnologies pour l'agriculture (irrigation) : projets MAISEAU (financement FUI) et IRRIS (financement Écoindustrie) ;
- le recyclage et la valorisation des eaux urbaines : LAGUMEM et NEOPHIL (FUI) et NOWMMA (Éco-industrie) ;
- les bioénergies via la gazéification des boues de stations d'épuration urbaine en mélange avec d'autres déchets : projet ADWASTE2GAS (FUI) ;
- le monitoring environnemental : projets FISHBOX (FUI), KRHU (FUI), SIRHYUS (FUI), SMARTPIX (FUI), FRESQUEAU (financement ANR).

Le pôle EAU est cofinancé par l'État, les Régions Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte d'Azur et la Communauté d'agglomération de Montpellier.

Contact : Jean-Loïc Carré, info@pole-eau.com

Pour plus d'informations : www.pole-eau.com

* www.developpement-durable.gouv.fr/Le-reseau-Eco-technologies-une.html



Pôle de compétitivité Qualiméditerranée

innover pour l'agriculture et l'alimentation méditerranéennes

Le pôle de compétitivité Qualiméditerranée a pour mission de développer l'innovation dans les entreprises dans le domaine agro-alimentaire en région méditerranéenne. La stratégie du pôle se décline sur deux axes thématiques différents : une agriculture méditerranéenne compétitive et durable et la valorisation de nouveaux produits issus de l'agriculture et leurs procédés associés.

Les écotechnologies sont abordées par exemple au travers de projets portant sur la limitation de l'impact des produits phytosanitaires classiques, utilisés dans l'environnement (plein champs) ou dans les lieux de stockage (silo). Les réponses apportées concernent le développement de nouvelles solutions de traitements basées sur l'utilisation d'extraits naturels (projets FUI PHYTOMARC ou GREENPROTECT) ou encore sur le développement de solutions d'optimisation des traitements classiques par l'automatisation ou la

traçabilité (projet TICSAD). D'autres solutions sont basées sur le développement de modèles de prévention permettant d'établir les moments les plus opportuns pour les traitements en utilisant des données météorologiques.

Parallèlement, les analyses de cycle de vie (ACV) constituent un outil de plus en plus utilisé pour comparer l'impact environnemental de différentes filières ou pour améliorer celles-ci dans une démarche d'éco-conception. Les ACV sont intégrées dans des projets comme FLONUDEP (ANR) portant sur la durabilité de la filière fruits et légumes, ou encore NOVINPACK (FUI) qui vise la conception de nouveaux emballages pour les vins.

Contact : Nicolas Nguyen The, nguyen-the@qualimediterranee.fr

Pour plus d'informations : www.qualimediterranee.fr



Pôle DERBI

Développement des Énergies Renouvelables-Bâtiment-Industrie

Pôle de compétitivité à vocation nationale, le pôle DERBI a pour mission de développer, au niveau régional, national et international, l'innovation, la recherche, la formation, le transfert de technologies, le développement et la création d'entreprises dans le domaine des énergies renouvelables appliquées au bâtiment et à l'industrie.

Les thématiques retenues se déclinent selon les axes stratégiques suivants :

- bâtiment producteur d'énergie s'appuyant sur une conception globale intelligente, l'optimisation des performances de l'enveloppe et l'intégration des énergies renouvelables (solaire thermique, photovoltaïque, géothermie, petit éolien) plus spécifiquement en climat méditerranéen ;
- gestion des réseaux et stockage d'énergie (électricité, chaleur, froid) interconnectant l'habitat, les pôles d'activité et les sites de production d'énergie ;
- production d'énergie hors bâtiment (centrales de production d'électricité, d'hydrogène, de biocarburants...), par énergie solaire, éolienne ou biomasse, que ce soit pour l'alimentation de sites isolés ou pour les systèmes connectés au réseau.

Au sein du pôle et dans le cadre des projets labellisés et accompagnés (151 projets de R&D) en lien avec les axes stratégiques, un grand nombre d'écotechnologies sont développées comme, entre autres :

■ Le projet MONITORING THPE, porté par la PME PYRESCOM (financement FUI 2006), vise le développement du concept de monitoring du bâtiment. De ce projet est née la commercialisation de la solution complète BatNrg. Cette solution de monitoring des bâtiments répond à une attente face aux enjeux environnementaux et économiques. Elle intègre instrumentation, outils d'analyse, outils de suivi et de simulation. Le service d'accompagnement répond à toutes les préoccupations de surconsommation et d'inconfort. Les constats se basent sur les données réelles fournies par le bâtiment (énergie, qualité de l'air, confort, eau, etc.).

■ Le projet SALINALGUE, porté par la Compagnie du Vent (financement FUI 2010), vise la culture et la récolte de microalgues et leur transformation en bioproduits. Les marchés visés à l'issue du projet, en sortie du bioraffinage intégral des microalgues, sont variés : bioénergies, alimentation, nutraceutique, cosmétique.

■ Le pôle œuvre à la structuration de l'ensemble des filières des énergies renouvelables et, particulièrement, de la filière du solaire à concentration. Il est très impliqué dans la réhabilitation de la centrale THEMIS, première centrale thermodynamique construite dans les années 80. Le site de THEMIS (Cerdagne, Pyrénées-Orientales) devient une plateforme d'innovation sur laquelle sont développées les nouvelles technologies françaises liées au solaire à concentration. Ce site est unique en France.

Contact : Gilles Chariar, contact@pole-derbi.com

Pour plus d'informations : www.pole-derbi.com



BIOÉNERGIESUD

l'effet masse du Languedoc-Roussillon

BIOENERGIESUD est un réseau de 90 acteurs industriels et académiques regroupés autour des problématiques de développement des filières bioénergies : nouvelles cultures et verrous technologiques.

Financé par la Région LR, la Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (Dircecte), l'ADEME et l'Europe, le réseau BIOENERGIESUD fédère ses acteurs pour faire émerger de nouveaux projets d'innovation et de développement industriel. Aujourd'hui ce sont plus de 90 structures adhérentes – entreprises technologiques et industrielles, producteurs et distributeurs d'énergie, pôles de compétitivité, organismes de recherche confondus – qui sont impliquées pour des enjeux et des objectifs communs.

Les missions de BIOENERGIESUD s'articulent autour de six domaines de compétence à travers lesquels les écotechnologies sont omniprésentes :

- prétraitement de la biomasse : procédés biochimiques et biotechnologiques, procédés thermochimiques et catalytiques ;
- méthanisation : sur le concept de bioraffinerie environnementale avec le traitement des déchets organiques, la valorisation des digestats, le recyclage des eaux, les valorisations du biogaz ;
- biocarburants de 3^e génération : algoculture de masse, procédés d'extraction, de séparation... ;

- analyse et séparation des gaz : technologies de séparation et purification ;
- mesure et contrôle de procédés : innovation dans les capteurs, méthode d'analyses en ligne ;
- filières et études d'impact : nouvelles cultures énergétiques méditerranéennes, analyse sociétale et environnementale des filières bioénergies.

Au service de ses adhérents, BIOENERGIESUD propose une animation thématique avec l'organisation de séminaires technologiques et la coordination de groupes de travail, une veille technologique généraliste et ciblée, un accompagnement au montage de projet, à la recherche de partenaires et de financements et assure à ses adhérents une excellente visibilité. BIOENERGIESUD se positionne donc à la fois pour répondre aux problématiques technologiques des filières bioénergies et biocarburants avancés et pour ancrer le développement de ces nouvelles filières en LR avec pour ambition affichée d'étendre son périmètre aux régions du Sud.

Contact : Aurélie Beauchart, beauchart@bioenergiesud.org

Pour plus d'informations : www.bioenergiesud.org



EcoTech-LR

une plateforme régionale « Écotechnologies pour les agro-bioprocédés »

La plateforme régionale EcoTech-LR a été créée avec le soutien de la Région LR pour stimuler la recherche et le transfert industriel sur les écotechnologies pour les agro-bioprocédés, en mobilisant les compétences de quatre laboratoires de recherche appliquée, aux relations industrielles nombreuses et solides : LBE (Inra), Biomasse énergie (Cirad), UMR ITAP (Irstea/Montpellier SupAgro), LGEI (EMA).

La plateforme est structurée en quatre plateaux technologiques et un axe transversal :

- plateau TraitPol : traitement des effluents et des déchets ;
- plateau BioFuel : production d'énergie à base de biomasse ;
- plateau MesurPol : mesure des pollutions ;
- plateau ReducPol : réduction des pollutions phytosanitaires ;
- pôle ELSA, éco-évaluation, éco-conception, ACV : outils et méthodes pour l'éco-conception (cf p. 32).

Afin de stimuler l'innovation, la plateforme EcoTech-LR développe en interne des projets de recherches pluri-laboratoires préalables à un transfert industriel et des activités spécifiques en relation avec l'industrie :

- mise à disposition (sous conditions) des équipements expérimentaux présents sur les plateaux ;
- prestation d'essais et de recherche ;
- formations ;
- projets de recherche communs, y compris des thèses CIFRE (Convention industrielle de formation par la recherche) ;
- assistance à la création d'entreprises innovantes et accueil d'entreprises.

Un exemple de recherche commune (Irstea/EMA/Inra) est la prédiction du BMP (*BioMéthane Potential*) par spectroscopie UV et SPIR (cf. p. 26), recherche récompensée par un prix Pollutec des techniques innovantes et qui s'est traduite par un transfert industriel dans une start-up régionale.

Contact : Véronique Bellon-Maurel, veronique.bellon@irstea.fr

Pour plus d'informations : www.ecotech-lr.org



Agence Régionale de l'Innovation
du Languedoc-Roussillon

Transferts LR

transfert de technologie et de savoir-faire innovants
en Languedoc-Roussillon

Association créée en 2005 à l'initiative de la Région LR et de l'État, Transferts LR soutient la compétitivité des entreprises par l'innovation et le transfert de technologies en Languedoc-Roussillon. Elle accompagne pour cela les entreprises de cette région dans la structuration de leur projet, l'identification et la mobilisation des ressources nécessaires (technologiques, humaines, financières) et développe un fort partenariat avec les centres de compétences régionaux, nationaux et européens de l'innovation. À l'interface entre recherche et entreprises, Transferts LR bénéficie du label « Centre de Diffusion Technologique » du ministère de la Recherche.

Transferts LR intervient dans six domaines liés aux écotechnologies – air, eau, bruits et ondes, sols, énergie, déchets – via le développement de technologies en lien avec la gestion des ressources naturelles. Pour cela, d'étroites collaborations sont nouées entre des laboratoires de recherche et des « éco-entreprises » dynamiques et souvent structurées en réseau du Languedoc-Roussillon.

Transferts LR accompagne de nombreux projets d'innovation qui mobilisent des entreprises individuelles ou des consortiums de taille

variable. L'accompagnement se fait dès l'étape de préparation jusqu'au développement de prototypes, la réalisation de chantier pilote et la construction de démonstrateur de taille industrielle. D'une durée de 6 à 36 mois, ces projets représentent des investissements conséquents (plusieurs millions d'euros). Par exemple :

- ECODREDGE-MED (cf. p. 38).
- Phyt'eau BV Mod (cofinancement FEDER, OSEO, Région LR), projet R&D collaboratif régional consacré au développement d'un outil intégré dédié à la problématique de l'emploi des produits phytopharmaceutiques dans les bassins versants agricoles. Il mobilise les compétences de l'UMR LISAH (Inra/IRD/Montpellier SupAgro) et des entreprises Envily et Eurofins IPL Sud.
- Le projet de faisabilité technologique « Conception, fabrication, expérimentation en conditions réelles de fonctionnement d'un équipement prototype d'observatoire géophysique intégré en forage », porté par l'entreprise ImaGeau avec l'appui scientifique de l'UMR Géosciences (CNRS/UM2) et une subvention de la Région LR.

Contact : Anne Lichtenberger, direction@transferts-lr.org

Pour plus d'informations : www.transferts-lr.org



GreenStars

vers une nouvelle génération de biocarburants
et de produits à partir des micro-algues

GreenStars, lauréat de l'appel à projets « Investissements d'avenir / IEED », est un ensemble de plateformes collaboratives regroupant des acteurs hexagonaux de la filière de valorisation des micro-algues. Celles-ci sont reconnues pour leur extraordinaire composition notamment en protéines, lipides, fibres, vitamines, minéraux et pigments. De par leur richesse intrinsèque, les micro-algues offrent un potentiel d'innovation pour les secteurs de l'énergie, de la chimie, de la nutrition humaine et animale et de la cosmétique et apparaissent aujourd'hui comme une solution porteuse d'avenir et de développements économiques majeurs. L'objectif de GreenStars est de développer, à l'horizon 2020, des composés d'intérêt – notamment des biocarburants performants

et des molécules à haute valeur ajoutée – grâce à des micro-algues utilisant les émissions de CO₂ et les substances issues des rejets des activités humaines.

Porté par l'Inra, rassemblant 45 partenaires (organismes de recherche et universités, collectivités territoriales, pôles de compétitivité, industriels) et avec un budget de 160 M€ sur 10 ans, GreenStars dispose de trois grands atouts : de fortes capacités d'innovation, les expertises et les technologies des meilleures équipes de la recherche publique française, des petites et moyennes entreprises (PME) innovantes et des grands groupes ainsi que des infrastructures de qualité, dotées de moyens technologiques conséquents.



Le pôle de compétitivité Trimatec contribue au développement de projets de R&D innovants sur les écotechnologies, dans quatre domaines thématiques :

- La production et la valorisation de la biomasse algale, ressource encore largement inexplorée et réponse aux impératifs environnementaux (préservation des ressources naturelles, conversion du CO₂). La valorisation des algues présente d'importantes potentialités dans la production de biocarburants, de protéines, de molécules à haute valeur ajoutée pour la chimie, la cosmétique, la pharmacie...
- L'utilisation des technologies séparatives (ultrasons, micro-ondes...) et membranaires : éco-procédés permettant la séparation en phase liquide ou gazeuse avec une consommation minimale d'énergie, sans dégagement de gaz à effet de serre tout en réduisant le volume des déchets ultimes.
- Les applications des fluides supercritiques : substituts aux solvants organiques traditionnels dans les procédés d'extraction et de purification, ils permettent de ne pas laisser d'empreinte sur les produits traités et leur environnement. D'autres applications possibles sont la synthèse de nanopoudres, l'imprégnation de matériaux ou le dégraissage.
- La maîtrise des environnements confinés pour répondre à des impératifs de protection des individus, des produits et de l'environnement. Les technologies développées trouvent des applications dans les secteurs tels que la santé, le nucléaire, la micro-nanotechnologie.



Trimatec fédère un réseau de 249 membres et partenaires sur les régions Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes. Fin 2011, le pôle avait labellisé 158 projets pour un montant d'environ 725 millions d'euros. Le secteur des écotechnologies se caractérisant par une multiplicité de filières émergentes en forte croissance et un tissu de PME à visibilité variable, la démarche de Trimatec consiste à faire émerger et développer des écosystèmes structurés dans chacun de ses domaines thématiques. De plus, Trimatec participe activement au réseau national des 14 pôles EcoTech mis en place par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

Contact : Laura Lecurieux-Belfond, laura.lecurieux@pole-trimatec.fr

Pour plus d'informations : www.pole-trimatec.fr



Pôle Risques

des solutions innovantes pour la gestion des risques

Le Pôle de compétitivité « Gestion des Risques et Vulnérabilités des Territoires » – appelé communément « Pôle Risques » – fédère depuis 2005 des entreprises, grands groupes, laboratoires de recherche, centres techniques et établissements de formation, pour innover et offrir des solutions concrètes de gestion des risques (naturels, industriels...).

Il vise aussi à dynamiser l'essor économique des entreprises régionales et à développer leur R&D. Avec près de 230 adhérents répartis sur deux territoires d'action (régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon), le Pôle Risques soutient 91 projets de R&D (montant global de 168 M€ dont plus de 62 M€ d'aides) autour de quatre axes stratégiques :

- ① Systèmes de surveillance environnementale et de gestion des risques
- ② Formation à la gestion de risques majeurs
- ③ Maîtrise des risques technologiques pour le stockage de CO₂
- ④ Maîtrise des risques technologiques pour le traitement de déchets industriels
- ⑤ Innovation et sécurité civile

Le Pôle Risques porte depuis 2010 la mission DéFiRisq, « Définition des nouvelles filières des risques ». Cofinancée par l'État, la Région LR, les Communautés d'agglomération de Nîmes et d'Alès et le Conseil Général du Gard, cette mission est centrée sur quatre thématiques prioritaires : les nanoparticules, les pratiques agricoles, les résidus médicamenteux et la qualité de l'air intérieur. Chacune de ces thématiques offre des opportunités de développement aux entreprises et aux laboratoires du territoire.

Le Pôle est également très impliqué dans le réseau « Écotech », rassemblant 14 pôles de compétitivité centrés sur les écotechnologies. Ce dispositif, mis en place par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, permet au Pôle Risques de s'affirmer sur un domaine d'actions stratégiques, à savoir les impacts environnementaux : eau, air, sols, bruits, odeurs et adaptation au changement climatique.

Contacts : Pôle Risques Alice Letessier, alice.letessier@pole.risques.com & DéFiRisq Lucile Lallie, lucile.lallie@pole.risques.com

Pour plus d'informations : www.pole-risques.com

Les installations principales de l'institut seront réparties sur les trois sites de Montpellier-Étang de Thau (siège), Narbonne, Nice plaine du Var.

GreenStars participera à la formation des compétences en ingénierie qui seront nécessaires demain et pourra générer des emplois et de nouveaux débouchés dans de nombreux secteurs industriels. L'IEED permettra à la France d'avoir une vision industrielle de l'ensemble de la chaîne de production et d'être un acteur majeur du domaine au niveau international. GreenStars a pour ambition de se positionner, d'ici cinq à dix ans, parmi les centres d'excellence mondiaux dans le domaine de la bioraffinerie des micro-algues.



▲ Production de micro-algues en réacteurs, projet FUI Salinalgue.

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

Pour plus d'informations : www4.montpellier.inra.fr/narbonne

Les formations à Agropolis International

dans le domaine des écotechnologies

Agropolis International, au travers de ses établissements membres, universités et écoles d'ingénieurs (et institutions spécialisées dans la formation continue), propose une offre de formation complète.

Cela représente plus de 80 formations diplômantes (de bac +2 à bac +8 : technicien, ingénieur, licence, master, maîtrise spécialisée, doctorat...) ainsi qu'une centaine de modules de formation continue (préexistants ou à la carte).

Les tableaux présentés ci-après détaillent les formations relevant du domaine des écotechnologies. Ils précisent les niveaux de diplômes, les intitulés des formations et les établissements opérateurs.

Formations entièrement centrées sur la thématique « Écotechnologies »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +5	Ingénieur	Ingénieur agronome/chimiste Option « Chimie et bioprocédés pour un développement durable (chimie verte, chimie durable) »	Montpellier SupAgro, ENSC.M
Bac +3	Licence professionnelle	Analyse chimique appliquée à l'environnement	UM2
		Écotechnologies pour la dépollution	UPVD
		Maintenance appliquée au traitement des pollutions	UPVD
		Métiers des risques et des impacts environnementaux	Univ. Nîmes
Bac +2	DUT	Génie biologique, option génie de l'environnement	UPVD
		Génie chimique, génie des procédés, option bioprocédés	UPVD

Formations diplômantes centrées sur d'autres thématiques dont des composantes significatives portent sur la thématique « Écotechnologies »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +8	Doctorat	Sciences des procédés, sciences des aliments (ED 306 SPSA)	Montpellier SupAgro, UM1, UM2, Univ. Avignon
Bac +5	Ingénieur	Ingénieur agronome - Option « Gestion de l'eau, des milieux cultivés et de l'environnement »	Montpellier SupAgro
		Ingénieur Polytech' Sciences et technologies de l'eau	UM2
	Master	Biologie des plantes et des microorganismes, biotechnologies, bioprocédés, spécialité « Bio-ingénieries alimentaire et de l'environnement » - Parcours « Sciences et procédés de l'agroalimentaire et de l'environnement »	Montpellier SupAgro, UM2
		Eau, spécialité « Eau et agriculture »	AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM2

Formations courtes non diplômantes

Établissement (s)	Intitulé de la formation et spécialité
Montpellier SupAgro	Analyse environnementale du Cycle de Vie (ACV) (3j)
	Réutilisation des eaux usées par irrigation (2j)
Cirad	Impact agronomique et environnemental de la gestion des matières organiques. Application aux pays du Sud (5j)

ChemSuD

Chaire Européenne de Chimie Nouvelle pour un Développement Durable



La Chaire Européenne de Chimie Nouvelle pour un Développement Durable (ChemSuD) est localisée à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier. Elle a été créée avec le soutien du CNRS, de la Région LR et sous le haut patronage de l'Académie des Technologies.

La Chaire ChemSuD est un lieu d'échanges, de rencontres, d'enseignement et de recherche pour l'émergence et le développement d'une chimie nouvelle, propre à concilier la coévolution harmonieuse de l'espèce humaine et de la planète. Elle s'est dotée d'une fondation d'entreprises, la fondation ChemSuD, avec les membres fondateurs suivants : Arkema, Basf, Colas, Firstsolar, Solvay et Tecsol.

Les actions de la Chaire ChemSuD s'inscrivent selon trois axes :

- **L'enseignement** : à travers la formation initiale et continue pour former des chimistes responsables, acteurs d'un développement durable et éco-concepteurs, ChemSuD élabore des contenus pédagogiques et organise des enseignements, séminaires et conférences à l'attention des étudiants et des

chercheurs concernés, y compris ceux qui relèvent du domaine des sciences humaines et sociales, et dans un grand esprit d'ouverture sur l'espace européen.

- **La recherche** pour répondre aux critères du développement durable, générer de l'innovation et dynamiser la création d'entreprises, en appui aux laboratoires de l'Institut Carnot Chimie, Environnement et Développement Durable (CED2) et du pôle Balard. ChemSuD œuvre ainsi à la promotion des recherches et des développements en chimie en se conformant aux critères du développement durable et aux nouvelles réglementations. Ces recherches concernent les produits et procédés de la chimie mais aussi ses apports aux diverses activités humaines (énergies, habitat, transports, agriculture, santé, etc.), en relation étroite avec les entreprises concernées.
- **La médiation scientifique** pour sensibiliser le grand public à cette chimie nouvelle par des conférences, des débats et des publications adaptées.

Contact : Sylvain Caillol, sylvain.caillol@enscm.fr

Pour plus d'informations : www.ChemSuD.fr ou www.enscm.fr/ChemSuD

L'option d'ingénieur

« Chimie et bioprocédés pour un développement durable »



Cette formation, créée en 2008, commune à Montpellier SupAgro et l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier (ENSC.M), accueille des élèves ingénieurs des deux écoles. L'objectif est de donner aux étudiants des connaissances scientifiques et des outils méthodologiques leur permettant d'appréhender de façon intégrée le domaine de la production durable de biomolécules, matériaux et carburants de substitution à partir de matières premières d'origine agricole (chimie verte).

Les enseignements portent à la fois sur la production et la maîtrise de la qualité de la matière première, les technologies de transformation (biologiques, physiques, chimiques), les outils d'étude de l'impact environnemental des filières, l'analyse socio-économique de leur durabilité et leur cadre réglementaire. Cette approche intégrative est nécessaire au développement de stratégies durables d'innovation.

Les enseignements sont ainsi organisés autour de quatre champs :

- en amont : maîtrise des propriétés des matières premières agricoles, durabilité de leur production ;
- au cœur, la bioraffinerie : fractionnement, bioconversion microbienne et enzymatique, chimie propre, extraction, gestion de l'eau et de l'énergie ;
- en aval : produits et domaines d'application ;
- dans une approche globale, intégration socioéconomique et durabilité des filières : marchés, politiques institutionnelles, stratégies publiques et industrielles, évaluation environnementale, gestion de production, management, réglementation.

La formation comprend six mois d'enseignements (septembre à mars), s'appuyant sur des études de cas et des visites, et faisant appel à de nombreux acteurs du monde professionnel, ainsi qu'à un stage d'ingénieur (mars-septembre) en France ou à l'étranger.

Les ingénieurs ainsi formés seront à même d'exercer des métiers portant sur l'un des aspects d'une filière de production tout en sachant situer leur action dans une problématique globale et en travaillant en interface avec différents secteurs (R&D, approvisionnement, production, marketing, commercialisation...) dans les entreprises de l'agro-industrie, de la chimie, de la pharmacie, des cosmétiques... Ils peuvent également travailler dans des services et sociétés de consultance en éco-évaluation et écologie industrielle, des organismes définissant des politiques d'orientation ou incitation au niveau régional, national ou international, des organismes de recherche.

**Contacts : Éric Dubreucq, eric.dubreucq@supagro.inra.fr
& Rémi Auvergne, remi.auvergne@enscm.fr**

Liste des acronymes *et abréviations*

3BCAR	Bioénergies, Biomolécules et Biomatériaux issus du carbone renouvelable
ACV	Analyse de cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ANR	Agence nationale de la recherche
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CE	Communauté européenne
CMR	Cancérogène, mutagène, reprotoxique
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
ELSA	<i>Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment</i>
EMA	École des Mines d'Alès
ENSCM	École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier
FEDER	Fonds européen de développement régional
FUI	Fond Unique Interministériel
ICGM	Institut Charles Gerhardt de Montpellier
IEED	Instituts d'excellence sur les énergies décarbonées
Ifremer	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
Inra	Institut National de la Recherche Agronomique
IRD	Institut de recherche pour le développement
Irstea	Institut national de recherche en sciences pour l'environnement et l'agriculture
LR	Languedoc-Roussillon
M.I.N.E.S.	Méthodes INnovantes pour l'Entreprise et la Société
PCRD	Programme cadre de recherche et de développement technologique
PME	Petites et moyennes entreprises
PVC	Polychlorure de vinyle
R&D	Recherche et développement
SPIR	Spectrométrie proche infrarouge
UM1	Université Montpellier 1
UM2	Université Montpellier 2
UMR	Unité mixte de recherche
UPR	Unité propre de recherche
UR	Unité de recherche
UV	Ultraviolet

Les organismes membres et
partenaires d'Agropolis International
impliqués dans ce dossier

Membres

Cirad
CNRS
EMA
ENSCM
Inra
Irstea
Montpellier SupAgro
UM1
UM2

Partenaires

BIOÉNERGIESUD
Pôle DERBI
Pôle EAU
Pôle Gestion des
risques et vulnérabilités des territoires
Qualiméditerranée
Transferts LR
Trimatec

Directeur de la publication : Bernard Hubert

Coordinateur scientifique : Véronique Bellon-Maurel (Irstea)

Équipe de coordination Agropolis International :
Fabien Boulrier & Nathalie Villeméjeanne

Rédaction et édition scientifique : Isabelle Amsellem
(Agropolis Productions)

Conception, mise en page et infographie :
Olivier Piau (Agropolis Productions)
info@agropolis-productions.fr

Ont participé à ce numéro : Rémi Auvergne, Ingrid Bazin,
Aurélien Beauchard, Véronique Bellon-Maurel, Anthony Benoist,
Isabelle Berger, Anne Bergeret, Nicolas Bernet,
Johanna Bismuth, Bernard Boutevin, Catherine Boutin,
Denis Bouyer, Stefan Brosillon, François Broust, Sylvain Caillol,
Armando Caldeira Pires, Michel Cavaillès, Gilles Chariot,
Laurent Delière, Hugo de Vries, Éric Dubreucq, Claire Dumas,
Jean-Luc Farinet, Jean-Michel Fatou, Catherine Faur,
Hélène Fulcrand, Éric Garcia-Diaz, Jean-Jacques Godon,
Alexia Gobrecht, Nathalie Gontard, Catherine Gonzalez,
Claude Grison, Marjolaine Hamelin, Marc Heran,
Guillaume Junqua, Éric Latrille, Laura Lecurieux-Belfond,
Nicolas Le-Moigne, Eléonore Loiseau, José-Marie Lopez Cuesta,
Miguel Lopez-Ferber, Michel Maugenet, Philippe Miele,
Sylvie Mouras, Patricia Mottin, Olivier Naud, Jean-Marie Paillat,
Didier Perrin, Sandra Pignon, Jean-Jacques Robin,
Thiago Oliveira Rodrigues, Jean-Michel Roger, Patrick Rosique,
Xavier Rouau, Patrick Rousset, Philippe Roux, André Rouzière,
Hervé Saint Macary, Martial Sauceau, Rodolphe Sonnier,
Jean-Philippe Steyer, Nathalie Tanchoux, Laurent Thuriès,
Éric Trably, Gilles Vaitilingom, Laurent Van De Steene,
Tom Wassenaar,

Remerciements pour l'iconographie :
tous les contributeurs au dossier
ainsi que les banques d'images Shutterstock® et MorgueFile

Impression : Les Petites Affiches (Montpellier)
ISSN : 1628-4240 • Dépôt légal : Février 2013

Également disponible en anglais et espagnol

Les dossiers
d'Agropolis International
version mobile



Seize dossiers parus dans la même collection dont :



Juin 2009
52 pages
Français et anglais



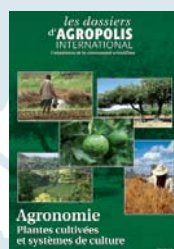
Février 2010
68 pages
Français et anglais



Février 2010
28 pages
Français et anglais



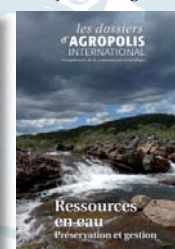
Juin 2010
48 pages
Français et anglais



Juillet 2010 - 2012
68 pages (2nde éd.)
Français et anglais



Octobre 2010
84 pages
Français et anglais



Février 2012
72 pages
Français, anglais, espagnol



Octobre 2012
48 pages
Français, anglais, portugais

Les dossiers d'Agropolis International

La série des « dossiers d'Agropolis International » est une des productions d'Agropolis International dans le cadre de sa mission de promotion des compétences de la communauté scientifique. Chacun de ces dossiers est consacré à une grande thématique scientifique. On peut y trouver une présentation synthétique et facile à consulter de tous les laboratoires, équipes et unités de recherche présents dans l'ensemble des établissements d'Agropolis International et travaillant sur la thématique concernée.

L'objectif de cette série est de permettre à nos différents partenaires d'avoir une meilleure lecture et une meilleure connaissance des compétences et du potentiel présents dans notre communauté mais aussi de faciliter les contacts pour le développement d'échanges et de coopérations scientifiques et techniques.

En savoir plus : www.agropolis.fr/publications/dossiers-thematiques-agropolis.php



AGROPOLIS INTERNATIONAL

1000 avenue Agropolis
F-34394 Montpellier CEDEX 5
France

Tél. : +33 (0)4 67 04 75 75

Fax : +33 (0)4 67 04 75 99

agropolis@agropolis.fr

www.agropolis.fr