



# 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



N. Rabesokotany © Cirad

▲ 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](mailto: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 m<sup>3</sup> de sédiments marins sont dragués annuellement dont 17,5 millions de m<sup>3</sup>/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](mailto:m.cavailles@portcamargue.com)  
 Catherine Gonzalez, [catherine.gonzalez@mines-ales.fr](mailto:catherine.gonzalez@mines-ales.fr)  
 & Éric Garcia-Diaz, [eric.garcia-diaz@mines-ales.fr](mailto: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<sup>e</sup> 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](mailto: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](mailto:catherine.gonzalez@mines-ales.fr) & Ingrid Bazin, [ingrid.bazin@mines-ales.fr](mailto:ingrid.bazin@mines-ales.fr)