



**HAL**  
open science

**Projet CreativERU : Concept de rupture appliqué au traitement intensif et à la valorisation des eaux résiduaires urbaines. Dossier Ressources en eau, préservation et gestion**

Alain Grasmick, Jérôme Hamelin

► **To cite this version:**

Alain Grasmick, Jérôme Hamelin. Projet CreativERU : Concept de rupture appliqué au traitement intensif et à la valorisation des eaux résiduaires urbaines. Dossier Ressources en eau, préservation et gestion. Dossiers - Agropolis, 2012, 14, pp.33-33. hal-02642009

**HAL Id: hal-02642009**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02642009>**

Submitted on 28 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



© D. Lacroix

▲ Cascades en Croatie.

# Préservation et restauration *de la qualité de l'eau*

**P**réserver la qualité de la ressource en eau revêt des enjeux environnementaux, sanitaires et économiques majeurs pour nos sociétés. Les écosystèmes aquatiques abritent une très forte diversité d'espèces animales et végétales dont l'état et la dynamique sont sensibles à la composition chimique, biologique ou physique de l'eau. De surcroît, l'eau constitue une ressource nécessaire à l'homme qui la consomme quotidiennement et aux sociétés qui l'utilisent pour leur développement. Or les activités humaines peuvent constituer une menace sur la qualité de la ressource en eau par les substances qu'elles introduisent dans le milieu. Une eau aux qualités physico-chimiques et biologiques dégradées est source de risques pathologiques pour l'homme et peut remettre en cause non seulement la durabilité et la pérennité des activités humaines mais également le bon état de la ressource nécessaire aux fonctions environnementales. L'impact de l'agriculture *sensu lato* (agriculture, industrie agro-alimentaire) sur les ressources en eau est un exemple démontrant clairement les défis posés à la science en matière de préservation de la qualité des eaux. Afin de répondre aux besoins accrus en matière d'alimentation et d'énergie, l'agriculture est utilisatrice d'eau pour les productions animales et végétales et les industries de transformation des matières primaires. Dans le même temps, elle constitue une source de contamination à travers les intrants (fertilisants, pesticides) qu'elle utilise. Pour relever ce défi de production dans un contexte et des perspectives de pénurie de la ressource, l'agriculture se tourne vers de nouvelles pratiques, comme par exemple l'usage des eaux non conventionnelles (dont les eaux usées traitées font partie). Pour autant, le développement de l'agriculture n'est durable que si l'introduction dans le milieu de substances potentiellement contaminantes est limitée et que leur mobilité, une fois dans le milieu, est maîtrisée. En ce sens, l'usage des eaux non conventionnelles constitue potentiellement une source de contamination des eaux de surface et souterraines, du fait des composés toxiques et des pathogènes présents dans les eaux usées non traitées.

Dans ce contexte, les enjeux scientifiques du pôle montpellierain et régional sont de développer des procédés de traitement des eaux usées (industrielles, domestiques, urbaines), de comprendre et prédire le transport et les concentrations des contaminants dans les hydrosystèmes, de concevoir des démarches d'aménagement et de gestion des paysages limitant la dispersion des contaminants dans les milieux, et de développer des outils d'évaluation des risques et d'optimisation des usages de l'eau. Les recherches se concentrent sur les substances classiquement

rencontrées dans les milieux aquatiques comme les métaux, les fertilisants (azote, phosphore) et les pesticides mais également sur les contaminants dits émergents, comme les substances médicamenteuses, les virus et les bactéries.

Le développement et la mise en œuvre de procédés efficaces de traitement des effluents générés par les activités humaines constituent un moyen de réduire significativement leurs impacts sur les eaux. Les traitements conventionnels ont été guidés principalement par des exigences de qualité des eaux rejetées dans le milieu. L'enjeu scientifique actuel est de concevoir des procédés qui répondent à des exigences environnementales plus globales que celle de qualité des effluents traités. Des contraintes énergétiques sont intégrées qui visent à rechercher et concevoir des procédés faiblement énergivores, voire producteurs de bioénergie. Les voies explorées concernent un panel de procédés impliquant des processus biologiques, physico-chimiques et membranaires.

La compréhension et la prédiction du devenir des contaminants dans les milieux naturels et agricoles appellent des recherches analytiques sur les processus impliqués, qu'ils soient biologiques, physiques ou chimiques, et sur les relations entre les processus. Une attention particulière est ainsi portée au rôle des propriétés du milieu (géologie, pédologie, structures des paysages, aménagements) sur le devenir des contaminants et sur l'activité des micro-organismes sur la dégradation des composés ou sur la modification de leur forme chimique. L'effet sur la mobilisation et le transport des contaminants des conditions climatiques et hydrologiques contrastées, conditions rencontrées sur le pourtour méditerranéen mais également dans de nombreuses régions tropicales à travers le monde, est une question de recherche de la plus grande importance.

Enfin, la préservation de la qualité de la ressource en eau passe par la conception d'outils d'évaluation, à long terme et sur de larges territoires, de contrôle et d'optimisation de l'effet des activités humaines sur la qualité de l'eau. Ce besoin d'outil impose à la recherche de s'attaquer aux questions relatives à l'intégration spatiale et temporelle des processus en jeu dans le devenir des contaminants. À cet effet, la modélisation numérique du devenir des contaminants, l'analyse du cycle de vie et le développement d'indicateurs de pressions polluantes et de leurs effets constituent des voies intensivement explorées.

**Jérôme Molénat, Olivier Grünberger  
& Marc Voltz (UMR LISAH)**

# Préservation et restauration de la qualité de l'eau

## Matériaux et procédés membranaires pour intensifier le traitement des eaux

**L'UMR IEM : Institut Européen des Membranes** (CNRS, ENSCM, UM2), fondée 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-échelle de :

L'IEM est divisé en trois départements de recherche :

- 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.

Dans un contexte d'augmentation de la demande en eau conjointement à sa raréfaction et à une dégradation de la ressource, l'Institut Européen des Membranes de Montpellier développe deux axes majeurs de recherche pour intensifier le traitement des eaux au regard de qualités d'usages imposées : (i) matériaux membranaires multifonctionnels innovants et (ii) procédés intensifs multifonctionnels intégrant des barrières membranaires adaptées. Dans ce cadre, l'IEM est associé à un grand nombre de partenaires industriels et académiques au travers d'actions de collaborations nationales et internationales. Les actions sur l'eau sont ainsi présentes au sein des trois départements de l'IEM au travers des champs d'application suivants :

- Traitement d'eau pour atteindre une qualité d'usage définie (eau potable, eaux de process...) ;

- Traitement d'eaux usées pour la protection des milieux récepteurs et/ou pour favoriser la réutilisation (irrigation, eaux de refroidissement, eaux de lavage, ...) ;
- Dessalement.

Ainsi, le traitement des eaux peut se faire par voies physiques :

- Traitement de composés organiques :
  - traitement des phytosanitaires, perturbateurs endocriniens, médicaments et colorants par procédés couplés (photocatalyse, catalyse enzymatique ou adsorption et procédés membranaires) ;
  - séparation de composés organiques présents dans l'eau par pervaporation ;
  - traitement des hydrocarbures aromatiques polycycliques par ozonation et procédés membranaires ;
- Traitement de pollutions minérales :
  - électro-extraction sélective de cations métalliques en solutions diluées ;
  - extraction du Bore par nanofiltration ;
  - distillation membranaire et osmose inverse pour le dessalement de l'eau ;
  - extraction et concentration des métaux lourds avec des contacteurs à fibres creuses.

Le traitement peut également être réalisé par couplage « séparation membranaire-voie biologique » :

- bioréacteur à membrane pour les effluents domestiques ;
- traitements d'effluents renfermant des composés phénoliques par réacteur enzymatique à membranes ;
- production d'énergie et traitement d'eau résiduaire urbaine par bioréacteur à membrane.

L'IEM développe également des matériaux innovants à fonctionnalités spécifiques :

- membrane super hydrophobe pour le traitement de l'eau (distillation membranaire) ;
- nouvelle membrane synthétisée par copolymères block auto assemblée ;
- synthèse de copolymères pour la sorption/complexation de métaux en traitement d'eaux industrielles et récupération de métaux. ...

### Les équipes principales

**US Analyse**  
**Analyse des eaux, sols et végétaux**  
(Cirad)  
9 scientifiques  
**Directeur : Daniel Babre**  
[daniel.babre@cirad.fr](mailto:daniel.babre@cirad.fr)  
[www.cirad.fr/ur/analyses](http://www.cirad.fr/ur/analyses)  
► Présentation page 31

**UMR IEM**  
**Institut Européen des Membranes**  
(CNRS, ENSCM, UM2)  
90 scientifiques  
**Directeur : Philippe Miele**  
[philippe.miele@iemm.univ-montp2.fr](mailto:philippe.miele@iemm.univ-montp2.fr)  
[www.iemm.univ-montp2.fr](http://www.iemm.univ-montp2.fr)  
► Présentation page 26

**UMR ITAP**  
**Information - Technologie - Analyse**  
**environnementale - Procédés agricoles**  
(Irtsea, Montpellier SupAgro)  
40 scientifiques  
**Directeur : Tewfik Sari**  
[tewfik.sari@irstea.fr](mailto:tewfik.sari@irstea.fr)  
[www.irtsea.fr/itap](http://www.irtsea.fr/itap)  
► Présentation page 28

**UPR LBE**  
**Laboratoire de Biotechnologie**  
**de l'Environnement**  
(Inra)  
23 scientifiques  
**Directeur : Jean-Philippe Steyer**  
[jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr](mailto:jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr)  
[www4.montpellier.inra.fr/narbonne](http://www4.montpellier.inra.fr/narbonne)  
► Présentation page 29

... suite page 28



© D. Lacroix

▲ *Les effluents des usines doivent être traités avant d'être rejetés dans le milieu naturel (usines en Égypte, près d'Alexandrie).*

> QUALITÉ DE L'EAU ET FONCTIONNEMENT ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX

## La qualité de l'eau sous influence...

Les corridors rivulaires, regroupant activités humaines (agriculture, urbanisation, infrastructures de transport...) et formations végétales naturelles ou semi-naturelles (prairies, ripisylves...) sont un facteur de contrôle de l'état écologique et physique des cours d'eau. Ils constituent donc un élément-clé pour atteindre les objectifs requis par la Directive Cadre européenne sur l'Eau. La restauration des corridors rivulaires implique de nombreux acteurs au niveau local (structures chargées de la gestion des bassins versants), du district (Agence de l'eau) et national (État).

Pour aider à une décision multi-niveaux et multi-acteurs, il est nécessaire de disposer d'outils permettant d'évaluer les impacts des actions humaines sur le milieu aquatique. L'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse a sollicité l'UMR TETIS pour concevoir des méthodes de caractérisation des pressions anthropiques le long des cours d'eau et de modélisation spatialisée des relations entre ces pressions et l'état écologique des milieux aquatiques.

Une méthodologie innovante de classification « orientée objet » d'images satellitaires ou aéroportées à très haute résolution spatiale associées à des données exogènes permet de produire la

cartographie de l'occupation du sol dans les corridors rivulaires, avec la précision requise sur la nature et la localisation des objets (ripisylves, bâtis, parcelles agricoles et aménagements associés, infrastructures routières...). Les cartes d'occupation du sol sont alors synthétisées sous forme d'indicateurs spatialisés de pression sur les milieux.

Les relations entre indicateurs de pression et indicateurs d'état de la qualité de l'eau (bio-indicateurs ou paramètres physico-chimiques) sont ensuite modélisées dans le cadre du schéma conceptuel DPSIR (*Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses*). L'originalité de la modélisation porte sur la prise en compte de l'imbrication de niveaux fonctionnels, entre la station (niveau local) et le bassin versant (niveau global) et des dépendances amont/aval inhérentes aux cours d'eau.

### Contacts :

**Flavie Cernesson**, [flavie.cernesson@teledetection.fr](mailto:flavie.cernesson@teledetection.fr)  
**Aurélia Decherf**, [aurelia.decherf@teledetection.fr](mailto:aurelia.decherf@teledetection.fr)  
**Pascal Kosuth**, [pascal.kosuth@teledetection.fr](mailto:pascal.kosuth@teledetection.fr)  
**Nathalie Lalande**, [nathalie.lalande@teledetection.fr](mailto:nathalie.lalande@teledetection.fr)  
& **Kenji Osé**, [kenji.ose@teledetection.fr](mailto:kenji.ose@teledetection.fr)



© S. Ghiotti

▲ Les cours d'eau méditerranéens sont soumis à de fortes variations de débit qui influencent la qualité de l'eau (ici l'Hérault en été).

## Évaluation environnementale, modélisation et technologies au service de la qualité de l'eau

**L'UMR ITAP : Information-Technologie-Analyse environnementale-Procédés agricoles (Irstea, Montpellier SupAgro)** regroupe l'unité Technologies Montpellier (TEMO, Irstea) et la Chaire du Génie Rural (Montpellier SupAgro).

Afin de mettre au point des équipements pour une agriculture plus durable et pour les services connexes à l'environnement, l'UMR ITAP développe les bases scientifiques et techniques des thématiques suivantes :

- *L'information et les systèmes associés* : d'une part, les capteurs basés sur des mesures optiques (vision, spectrométrie) sont développés pour caractériser les agrosystèmes et les procédés environnementaux, et, d'autre part, les systèmes d'aide à la décision ont vocation à créer de nouveaux indicateurs interprétables par les professionnels, en exploitant des données parcellaires, climatiques, expertes, etc., pour diagnostiquer les états des systèmes agro-écologiques.
- *Les technologies* : l'objectif est de développer des écotechnologies

pour une production agricole durable. De nouvelles méthodes de conception intégrant les contraintes environnementales sont étudiées : éco-évaluation, éco-conception, conception intégrée. L'UMR ITAP travaille en particulier sur les équipements pour la protection et l'entretien des cultures pour limiter l'impact des techniques d'application des pesticides sur la santé et l'environnement. Elle anime la plateforme régionale « Ecotechnologies pour les agro-bioprocédés\* ». Elle est un centre de référence sur les pulvérisations agricoles.

- *Évaluation environnementale* : l'UMR développe et met en œuvre des outils d'évaluation de l'impact environnemental et social des outils et des procédés largement basés sur les analyses de cycle de vie avec l'objectif de rendre plus performants les procédés. Elle anime le réseau des ACVistes du pôle ELSA\*\*.

L'UMR est structurée en quatre axes de recherche : évaluation environnementale ; modélisation/décision ; capteurs optiques ; fragmentation/dispersion. Ses thèmes de recherche liés à l'eau, sont entre autres :

- *Logiciel FISPRO* : conception et optimisation de systèmes d'inférence floue (logiciel libre Irstea-Inra) ;

\* [www.ecotech-lr.org](http://www.ecotech-lr.org)

\*\* Pôle *Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment* : [www.elsa-lca.org](http://www.elsa-lca.org)

### Autres équipes concernées par ce thème

#### UMR EMMAH

**Environnement Méditerranéen  
et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes**  
(Inra, UAPV)

40 scientifiques

**Directrice : Liliana Di Pietro**

[liliana.dipietro@paca.inra.fr](mailto:liliana.dipietro@paca.inra.fr)

[www.umr-emmah.fr](http://www.umr-emmah.fr)

► Présentation page 14

#### UMR G-EAU

**Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages**

(AgroParisTech, Irstea, Ciheam-IAMM,  
Cirad, IRD, Montpellier SupAgro)

75 scientifiques

**Directeur : Patrice Garin**

[patrice.garin@irstea.fr](mailto:patrice.garin@irstea.fr)

[www.g-eau.net](http://www.g-eau.net)

► Présentation page 40

#### UMR HSM

**HydroSciences Montpellier**

(CNRS, IRD, UM1, UM2)

57 scientifiques

**Directeur : Éric Servat**

[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)

[www.hydrosciences.org](http://www.hydrosciences.org)

► Présentation page 8

... suite page 30

# Intégrer les enjeux écologiques dans la gestion des rivières intermittentes méditerranéennes

Le projet MIRAGE (*Mediterranean Intermittent River manAGEment*), dans lequel est impliquée l'UMR HSM, associe quatorze instituts de recherche européens, deux organismes gestionnaires de bassin et une université marocaine. Il vise à développer et à étudier l'applicabilité de mesures de gestion spécifiques des crues éclairs et des étiages sévères dans les rivières intermittentes méditerranéennes, en prenant en compte les enjeux écologiques. Le projet MIRAGE veut ainsi contribuer à la mise en application de la Directive Cadre européenne sur l'Eau et les milieux aquatiques sur le pourtour de la Méditerranée et au développement des schémas de gestion et d'aménagement des bassins versants applicables aux rivières intermittentes méditerranéennes.

En effet, les cours d'eau intermittents des bassins versants méditerranéens sont caractérisés par une longue période d'accumulation des polluants pendant l'étiage et par leur exportation vers les zones côtières aval, durant les crues éclairs. La nature irrégulière des écoulements combinée à la mobilisation soudaine de masses de polluants confronte les gestionnaires à des difficultés majeures, en matière de disponibilité de la ressource en eau, de maîtrise des inondations, mais aussi de qualité de l'eau

et de contamination de sols. Appliquées aux bassins versants méditerranéens, les solutions de gestion développées dans des contextes d'écoulements pérennes ne produisent pas les résultats attendus du fait des fortes non-linéarités des réponses des rivières intermittentes aussi bien que de l'absence de situations de référence dans ce type d'environnement.

Le projet MIRAGE aborde les questions suivantes : définition d'indices caractéristiques de l'hydrologie et de l'écologie de ces rivières ; développement de solutions de contrôle de la dynamique des contaminants dans l'eau et les sédiments, pour les nutriments, la matière organique et les substances prioritaires ; gestion des effets des crues sur la remobilisation des polluants. Ces actions sont conduites sur cinq sites d'étude et intégrées sur deux bassins versants pilotes dans lesquels un large éventail de pressions anthropiques est observé.

**Contacts : Marie-George Tournoud,**  
[marie-george.tournoud@univ-montp2.fr](mailto:marie-george.tournoud@univ-montp2.fr)  
& **Jochen Froebrich,** [jochen.froebriech@wur.nl](mailto:jochen.froebriech@wur.nl)

- Mise en œuvre des installations de contrôle des pulvérisateurs neufs et des procédures associées ;
- Modélisation numérique des dépôts de produits phytosanitaires ;
- Atomisation des sprays agricoles : influence de certaines propriétés du liquide ;
- Influence de la qualité de la pulvérisation phytosanitaire sur le transfert des pesticides dans l'environnement ;
- Dérive des produits phytosanitaires appliqués à la vigne : test en grandeur réelle en environnement contrôlé ;
- Modèle DRIFTX de transfert des pesticides dans l'air lors des applications de produits phytosanitaires en vigne ;
- Logiciel *Ticsad* de traçabilité des pesticides ;
- Eco-conception et développement de méthodologies de fabrication innovante de machine d'épandage ;
- Analyse du cycle de vie des systèmes d'assainissement des eaux usées.

Elle est impliquée dans différents programmes de recherche portant sur le thème de l'eau tels que le projet « Copolymères pour le traitement des eaux et la récupération des métaux » ou encore le projet action de recherche « Analyse environnementale de cycle de vie du système assainissement »...

Pour ses travaux de recherches, elle s'appuie sur une plateforme technologique de 3 000 m<sup>2</sup>

pour l'évaluation des systèmes de pulvérisation : RéducPol. Il s'agit d'un des quatre plateaux expérimentaux de la plateforme régionale « Écotecnologies pour les agrobioprocédés ».

L'UMR est également impliquée dans la relation industrielle et encourage la création d'entreprises (Lisode, l'Avion Jaune, Oléobois, 3Liz, Ondalys...) à travers sa plateforme d'accueil MINEA\*\*\*.

## Transformation des éléments polluants

*L'UPR LBE : Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (Inra)*, situé à Narbonne, est rattaché, pour la partie scientifique, aux départements « Environnement et Agronomie » et « Microbiologie et Chaîne Alimentaire » et au centre Inra de Montpellier pour la partie administrative. Ses recherches se résument par : *Les écosystèmes « pour » et « dans » les procédés dans un concept de bioraffinerie environnementale.*

Depuis plus de 25 ans, les recherches du LBE visent en effet 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 (par exemple liées à la présence de résidus pharmaceutiques, de détergents et/ou de pathogènes...).

Les processus de transformation des éléments polluants sont étudiés à différentes échelles :

- *du processus* par la caractérisation des cinétiques, des systèmes-clés physiologiques et des dynamiques de populations microbiennes ;
- *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 physico-chimiques de co-traitement. ...

\*\*\* <http://minea.montpellier.cemagref.fr>

&gt; POLLUTION DES EAUX PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES

# Étude d'une pollution chronique des eaux par un pesticide : cas de la chlordécone aux Antilles



© J.B. Charlier

▲ Bananeraie aux Antilles.

Insecticide organochloré utilisé de 1971 à 1993 dans les bananeraies aux Antilles, la chlordécone persiste toujours dans l'environnement, en particulier dans les sols des parcelles où elle a été appliquée. Il s'en suit une contamination chronique des cours d'eau et des nappes, dont d'importantes ressources en eau potable, ainsi que de certaines cultures. On connaît peu les modalités de dispersion de ce pesticide fortement adsorbé sur des sols riches en matière organique dans des milieux à forte pluviométrie, pas plus que celles aboutissant à la contamination des plantes.

Dans le cadre du Plan National Chlordécone et du projet Chlordexco (programme « Contaminants, Écosystème, Santé » de l'ANR), des études sur la contamination des masses d'eau

sont menées par les UPR HortSys et Systèmes bananiers (Cirad) l'UMR LISAH (Inra, IRD, Montpellier SupAgro), l'Inra Guadeloupe, l'IRD Martinique et l'Agrosphere Institute (Allemagne). Elles visent :

- La recherche des déterminants du relargage de la molécule au sein du profil du sol et de son transfert vers les nappes : les caractéristiques de l'adsorption / désorption de la chlordécone sont examinées selon le type de sol, la qualité de leurs matières organiques et les caractéristiques de la phase minérale. Un modèle de prévision de migration de la chlordécone est élaboré selon les propriétés hydrodynamiques des sols et les événements climatiques.

- L'identification des sources et dynamiques de contamination des rivières à l'échelle du bassin versant : différentes stations de mesures ont été installées en Guadeloupe pour caractériser le fonctionnement hydrologique d'un bassin élémentaire (20 ha) et d'un bassin ressource (400 ha). La contamination du milieu est analysée dans les sols et suivie dans les eaux de nappe et de rivière. Les voies de transfert du polluant et sa dynamique font l'objet d'une modélisation.

Ces travaux visent à identifier les principales zones contributrices de la pollution et l'évolution de la pression polluante au cours du temps à différentes échelles. Ils contribuent au diagnostic de l'importance et de l'évolution à court et long terme de la contamination des eaux souterraines et de surface et à la compréhension des stress chimiques subis par les organismes aquatiques. Ils contribuent aussi à une meilleure gestion du milieu par les acteurs concernés.

**Contacts : Marc Voltz, [marc.voltz@supagro.inra.fr](mailto:marc.voltz@supagro.inra.fr) & Philippe Cattan, [philippe.cattan@cirad.fr](mailto:philippe.cattan@cirad.fr)**

## Autres équipes concernées par ce thème

### UPR LGEI

Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel (EMA)

45 scientifiques

Directeur : Miguel Lopez-Ferber  
[miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr](mailto:miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr)  
[www.mines-ales.fr/LGEI](http://www.mines-ales.fr/LGEI)

► Présentation page 12

### UMR LISAH

Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème (Inra, IRD, Montpellier SupAgro)

34 scientifiques

Directeur : Jérôme Molénat  
[jerome.molenat@supagro.inra.fr](mailto:jerome.molenat@supagro.inra.fr)  
[www.umar-lisah.fr](http://www.umar-lisah.fr)

► Présentation page 15

### UMR TETIS

Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (AgroParisTech, Cirad, Irstea)

70 scientifiques

Directeur : Jean-Philippe Tonneau  
[jean-philippe.tonneau@cirad.fr](mailto:jean-philippe.tonneau@cirad.fr)  
<http://tetis.teledetection.fr>

► Présentation page 46

La prise en compte de ces deux échelles dans un contexte de filières durables a toujours guidé les actions de recherches du LBE, 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 grands axes de recherche sont abordés :

- ① recherche d'indicateurs génériques de caractérisation de la matière organique et des coproduits associés ;
- ② connaissance et rôle des paramètres biotiques/abiotiques vis-à-vis des services rendus ;
- ③ moyens d'action et de pilotage des procédés et des écosystèmes associés pour agir et ne plus subir ;
- ④ évaluation et gestion du devenir et des impacts environnementaux et sanitaires des produits issus des procédés de traitement ;
- ⑤ modèles descriptifs/explicatifs/prédictifs en ingénierie et en écologie ;

⑥ ingénierie et éco-conception des filières.

Ces recherches couvrent un large spectre de compétences disciplinaires : microbiologie, écologie microbienne, génie biologique, génie des procédés, modélisation, automatique, analyse en cycle de vie, ingénierie de projet et transfert industriel.

Le LBE est un des laboratoires leader mondial dans le domaine de la digestion anaérobie. Il mise sur une recherche d'excellence, une pluralité des thématiques abordées, une approche pluridisciplinaire mais aussi le savoir-faire en termes de transfert de technologie et d'innovation (6 brevets, 11 contrats de licence, prix de l'innovation à Pollutec 2007, 2009, 2010). Il bénéficie d'une implantation de 4 757 m<sup>2</sup> de surface dont 1 882 m<sup>2</sup> de halle expérimentale, et d'un équipement scientifique et analytique performant, avec plus de 50 digesteurs (1 litre à plusieurs m<sup>3</sup>) en opération 24 heures sur 24 et 365 jours par an.



## Analyse des constituants minéraux contenus dans les eaux

**L'US ANALYSE : Analyse des eaux, sols et végétaux (Cirad)** est une équipe de 19 personnes située sur le pôle montpelliérain du Cirad. Elle intervient dans l'analyse des constituants minéraux, y compris les éléments traces métalliques, contenus dans les végétaux, les eaux, les sols ainsi que dans d'autres milieux en lien avec l'agronomie (résidus de récoltes), l'environnement (boues de stations d'épuration), ou l'alimentation (huile de table). Elle a un rôle transversal puisqu'elle déploie ses activités principalement au service d'autres unités de recherche du Cirad ou d'autres organismes publics (Inra, CNRS, IRD...).

L'unité, autorisée à importer des sols d'origine non européenne et habilitée par le ministère de l'Agriculture pour réaliser des analyses de sols, dispose d'équipements bien adaptés à l'analyse des éléments qui lui sont demandés (Plasma à Couplage Inductif [ICP], spectromètre de masse à plasma à couplage inductif [ICP-MS], colorimètres à flux continu, granulomètre automatique, automate de pH-métrie, analyseurs élémentaires de C, H et N, spectromètre d'absorption atomique avec atomisation électrothermique, chaîne de polarographie). Elle a également la capacité à réaliser la formation d'étudiants ou de chercheurs sur les techniques d'analyses, à conduire des études méthodologiques sur des aspects liés à l'analyse ou au comportement des milieux ainsi qu'à effectuer des expertises sur le fonctionnement

de laboratoires œuvrant dans son domaine de compétences ou sur des thèmes plus spécialisés comme la métrologie ou la qualité en laboratoire.

L'unité est certifiée selon le référentiel ISO-9001-2008 par l'Association Française pour l'Amélioration et le management de la Qualité depuis 2000 dans les quatre types de prestations (analyse, formation, expertise et adaptation de méthodes) qui font partie de ses missions. Son activité dans le domaine de l'eau concerne l'analyse des éléments contenus dans les eaux naturelles (rivières, lacs, eaux souterraines) ou après utilisation (eaux usées), y compris les substances caractéristiques de pollutions (métaux lourds). ■

> POLLUTION DES EAUX PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES

## L'hydrogéophysique en forage pour le suivi des intrusions d'eau salée : l'Observatoire de Campos, Majorque (Baléares)



© M. Soulié

▲ Cultures de plaine, Majorque.

Le site expérimental et d'observation de Campos (12 000 m<sup>2</sup>) permet l'étude des intrusions salées dans les aquifères côtiers. Il est situé en contexte carbonaté récifal (Miocène), très perméable, et présentant quelques cavités karstiques d'échelle métrique. Dans cette partie de l'île, l'agriculture intensive et l'irrigation provoquent une surexploitation de la nappe phréatique côtière, avec pour conséquence une intrusion d'eau de mer (jusqu'à 15 km à l'intérieur de l'île) et la pollution progressive des nappes en chlorures. Le site expérimental comprend un réseau de 14 forages profonds (100 m en moyenne, plus un de 250 m), dont six ont été carottés.

Ce site a été développé avec l'aide du Service d'Études et de Planification du Département des Ressources en Eau (ministère de l'Environnement des Baléares) dans le cadre du projet européen ALIANCE (programme-cadre de recherche de l'Union

Européenne, PCRD5, 2002-2005) coordonné par le Laboratoire de Tectonophysique de Montpellier (intégré dans l'UMR GM depuis 2007). Dans le cadre du Service d'observation et de recherche environnementale dans le domaine de l'hydrogéologie et de l'OSU OREME, il est aujourd'hui suivi par l'équipe « Transferts en milieux poreux » de GM. Les principaux objectifs scientifiques concernent :

- la caractérisation *in-situ* de ce site géologiquement très hétérogène par des campagnes de mesures en forage : structures géologiques traversées (imagerie de parois), caractérisation pétrophysique sur carottes et *in-situ* (électrique, acoustique, radioactivité naturelle) et caractérisation des écoulements par un ensemble de méthodes hydrogéophysiques (débit, potentiel spontanée, comportement hydro-dispersif) ;
- le suivi continu en forage de l'aquifère avec une instrumentation originale conçue au sein du laboratoire : d'une part en géophysique (igeo-SER), pour une mesure périodique (quotidienne) de paramètres tels que la résistivité électrique ou le potentiel électrocinétique, et, d'autre part, en hydrodynamique (piézomètres Hydreka ou sondes Schlumberger) pour une mesure des champs de pression, de température ainsi que de la charge ionique des fluides *in-situ* (à l'aide d'un tubage multi-packers WestBay).

Il s'agit principalement d'étudier la réponse du réservoir aux sollicitations extérieures, qu'elles soient anthropiques, naturelles ou induites dans le cadre d'expériences contrôlées. Récemment, la mise en place de routines systématiques d'observation de la dynamique des fluides du sous-sol a bénéficié d'un partenariat entre GM et les sociétés imaGeau (Montpellier) et Schlumberger-Westbay (Canada).

**Contact : Philippe Gouze, [gouze@gm.univ-montp2.fr](mailto:gouze@gm.univ-montp2.fr)**



▲ Prélèvement d'eau dans le Carnoulès.

▼ Eau polluée provenant de la mine de Camoulès.



© M. Héry

© O. Bruneel

> POLLUTION DES EAUX PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES

## Transformations des contaminants du milieu aquatique : le rôle des microorganismes

Les sources de contamination chimique de l'eau se sont accrues et diversifiées au cours du siècle dernier du fait des activités humaines. Elles concernent des substances de nature organique ou inorganique d'origine naturelle ou anthropique. Des travaux de recherche menés par l'UMR HSM visent à une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans le devenir de ces contaminants chimiques (métaux, métalloïdes, organométalliques, perturbateurs endocriniens, résidus de médicaments) dans l'environnement, notamment dans le cycle de l'eau.

Outre les caractéristiques physico-chimiques du milieu, l'activité des microorganismes joue un rôle crucial dans la dynamique de ces contaminants en conditionnant leur forme chimique et/ou mobilité dans l'environnement. Grâce à leur capacité d'adaptation, les microorganismes ont développé des mécanismes, métaboliques ou de détoxification, leur permettant d'interagir avec des contaminants chimiques, y compris les xénobiotiques. L'activité microbienne entraîne soit une biodégradation des formes organiques, soit une modification de la forme chimique du composé ou son immobilisation par précipitation ou complexation, entraînant des répercussions sur sa mobilité et/ou toxicité.

Étant donné la complexité des facteurs qui interviennent, il est primordial de développer des approches pluridisciplinaires,

alliant microbiologie et chimie, afin de comprendre, prévoir et éventuellement contrôler les processus de transfert des contaminants dans l'environnement. Ceci est parfaitement illustré par les travaux de recherche de l'UMR HSM sur les drainages miniers acides. Ces travaux ont permis de déchiffrer en partie les mécanismes biogéochimiques impliqués dans la dynamique des éléments métalliques et métalloïdes dans l'hydrosystème en aval de l'ancienne mine de Carnoulès (Gard), incluse dans l'OSU OREME. Les microorganismes sont à la fois les acteurs de la génération des drainages acides à partir des déchets miniers en contrôlant les réactions d'oxydation des sulfures, et ceux de l'atténuation naturelle de la pollution dans l'eau en promouvant les réactions d'oxydation du fer et de l'arsenic, résultant en leur immobilisation au niveau des sédiments.

Cette approche est également développée pour l'étude des transferts et de l'écotoxicité de polluants métalliques et organométalliques issus de sédiments portuaires, dans le cadre du projet de FUI ECODREDGE-MED ou pour l'étude du devenir de résidus de médicaments en milieu côtier dans le cadre du projet ANR PEPSEA.

**Contacts : Marina Héry, [marina.hery@univ-montp2.fr](mailto:marina.hery@univ-montp2.fr)  
Corinne Casiot, [casiot@msem.univ-montp2.fr](mailto:casiot@msem.univ-montp2.fr)  
& Hélène Fenet, [hfenet@univ-montp1.fr](mailto:hfenet@univ-montp1.fr)**

## Système d'épuration, à l'échelle familiale, de l'eau contaminée par l'arsenic pompée dans la nappe du Mékong au Cambodge et au Vietnam et utilisée pour la boisson



© Davin Uu

Un projet sur « l'évaluation des caractéristiques des eaux souterraines dans les zones contaminées par l'arsenic au Cambodge et au Vietnam pour développer un système d'épuration de l'eau à l'échelle familiale » (2009-2010, financement Agence Universitaire de la Francophonie) a été coordonné par l'Institut Technologique du Cambodge (Pnom-Penh), et conduit en collaboration avec l'Université Technologique de Hochiminh (Vietnam) et l'US « Analyse » (Cirad). Son objectif était de mettre au point un dispositif simple, peu coûteux et efficace pour réduire la teneur en arsenic de l'eau pompée dans la nappe du Mékong au

Cambodge et au Vietnam et utilisée comme eau de boisson par les populations villageoises.

▲ *Effet de la consommation régulière d'eau contaminée par de l'arsenic sur des villageois cambodgiens.*

La présence en concentration importante (de 40 à 1 200 µg/l alors que la teneur maximale recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé pour la consommation humaine se situe à 10 µg/l) de cet élément dans l'eau est en partie d'origine anthropique (pesticides) mais essentiellement naturelle par simple dissolution à partir de pyrites arsenifères présentes dans la partie amont de ce grand fleuve asiatique. La toxicité de l'arsenic, mise en évidence récemment, cause dans ces régions des nécroses de la peau (arsenicose) pouvant conduire à la mort. Le dispositif mis au point se présente comme un simple biofiltre à sable ; il n'utilise que des matériaux ordinaires : un système d'aération en forme de poire d'arrosoir, un lit de clous pour enrichir le milieu en fer et favoriser la formation d'hydroxyde ferrique piégeant l'arsenic, un filtre à sable de granulométrie croissante et un dispositif final de polissage fait de cendre de balle de riz. Cet appareil est facile à utiliser, simple d'entretien et efficace à l'échelle d'une famille ou d'un petit village. L'intervention de l'US « Analyse » dans cette étude a consisté à apporter un soutien analytique pour la caractérisation des eaux prélevées en différents sites dans les deux pays et la validation de l'efficacité du dispositif par la mesure de teneurs faibles (< 10 µg/l) en arsenic après traitement.

**Contacts : Daniel Babre, [daniel.babre@cirad.fr](mailto:daniel.babre@cirad.fr) & Karine Alary, [karine.alary@cirad.fr](mailto:karine.alary@cirad.fr)**

## Projet CreativERU : concept de rupture appliqué au traitement intensif et à la valorisation des eaux résiduaires urbaines

Le projet CreativERU (collaboration unités de recherche IEM, LBE, Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés de l'INSA de Toulouse, Veolia Eau Recherche et Innovation) est financé dans le cadre du programme ANR Ecotech ouvert à la collaboration franco-chinoise. Il porte sur le développement de technologies avancées de traitement des eaux, plus particulièrement le traitement d'effluent urbain, avec un enjeu novateur d'atteinte de très faibles impacts carbone et eau.

Ce projet doit lever les derniers verrous scientifiques et valider au stade pilote industriel une nouvelle filière intensive de traitement des eaux usées urbaines permettant d'atteindre de très grandes qualités d'eaux traitées, avec possibilité de réutilisation directe (car désinfectées), tout en réduisant la taille des ouvrages et les coûts opérationnels, voire les coûts d'équipement. Ce projet souhaite définir un nouveau concept de traitement, en rupture avec les systèmes conventionnels sur les points suivants :

■ générer une eau traitée de qualité par une filtration sur membranes poreuses, permettant une réutilisation directe et une protection plus grande des ressources ;

- diminuer fortement les besoins en oxygène (donc en énergie) en extrayant physiquement la fraction organique pour la concentrer à un stade où elle est facilement fermentescible ;
- optimiser une production importante de biogaz ;
- optimiser le traitement des nutriments pour favoriser leur élimination et/ou leur récupération ;
- montrer la possibilité de traiter des eaux usées urbaines pour obtenir une eau douce de qualité d'usage définie, avec un bilan positif en énergie et un impact environnemental minimal dans un contexte de développement durable.

Une telle filière se présenterait comme une réelle avancée technologique en comparaison avec les systèmes intensifs actuels uniquement définis en termes de réponse à des exigences de qualité d'eaux traitées au regard de la fragilité du milieu récepteur sans prendre en compte les impacts carbone et eau liés à la demande énergétique et l'intérêt de recycler les eaux traitées.

**Contacts : Alain Grasmick, [Alain.Grasmick@univ-montp2.fr](mailto:Alain.Grasmick@univ-montp2.fr) & Jérôme Hamelin, [jerome.hamelin@supagro.inra.fr](mailto:jerome.hamelin@supagro.inra.fr)**



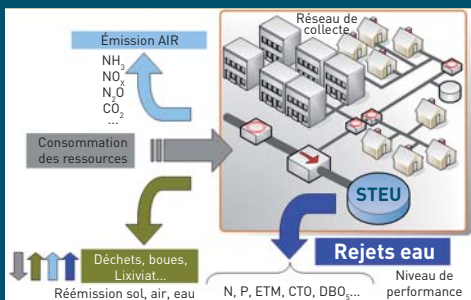
▲ Halle expérimentale du LBE à Narbonne.

© J.P. Steyer

> TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DES EFFLUENTS

## Évaluation environnementale de la gestion et des usages de l'eau : quantifier les impacts et identifier les transferts de pollution avec l'analyse du cycle de vie (ACV)

> L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)



© P. Roux

L'ACV est un moyen efficace et systématique pour évaluer l'effet sur l'environnement d'un produit, d'un service ou d'un procédé. Dans la logique de pensée « cycle de vie », le but recherché est de réduire la pression d'un produit sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la mise au rebut en fin de vie, cycle souvent qualifié de « berceau à la tombe ». L'ACV est à la fois un cadre conceptuel, une procédure (suite d'étapes standardisées) et un ensemble de modèles permettant de convertir des flux de substances émises ou consommées en impacts environnementaux potentiels.

▲ *Apports de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) dans l'évaluation des systèmes d'assainissement : Quels coûts environnementaux pour quelle qualité de rejets ?*

Que ce soit pour des usages agricoles, domestiques ou en termes d'assainissement, la qualité de l'eau ou l'efficacité de son usage et de son traitement est toujours affaire de compromis entre l'usage de la ressource en eau elle-même et l'utilisation de technologies gourmandes en matériaux et en énergie qui permettent de l'économiser ou de la traiter. Ainsi, l'efficacité d'une station de traitement des eaux usées se mesure classiquement par la qualité de ses rejets uniquement. Mais ce traitement génère d'autres impacts environnementaux lors de la construction, de l'exploitation, du fonctionnement et du démantèlement du système d'assainissement dans sa globalité. Ainsi, la réduction d'impacts locaux tels que l'eutrophisation des milieux aquatiques ou l'écotoxicité en eaux douces, se payent par des transferts de pollution sur des impacts régionaux ou globaux liés à l'infrastructure et au fonctionnement de la station. L'ACV environnementale est la seule méthode d'évaluation capable de quantifier ces impacts sur l'ensemble du cycle de vie : depuis l'extraction des matières premières utilisées jusqu'à la fin de vie des systèmes étudiés. Associée à des approches locales telles que les études d'impacts qui prennent en compte les spécificités du site, l'ACV permet d'éviter les transferts de pollution.

Le pôle montpellierain ELSA\*, associant notamment les unités de recherche ITAP, LBE et LGEI, travaille en étroite collaboration avec l'UMR G-EAU sur ces questions d'évaluation environnementale en lien avec la gestion et les usages de l'eau. Depuis 2010, un projet financé par l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques vise à évaluer les performances environnementales du système d'assainissement pour petites et moyennes collectivités dans son ensemble (réseau d'égouts et stations d'épuration). D'autres travaux de recherche sont en cours au sein du pôle ELSA en lien avec les usages de l'eau : ACV territoriale appliquée au Bassin de Thau, ACV d'un périmètre irrigué, ACV des usages de l'eau d'une mégapole ainsi que des travaux sur la production de micro ou de macro-algues (Inra-LBE et Montpellier SupAgro). Tous ces travaux et les questions de recherche qui leurs sont associées visent à mieux prendre en compte l'eau et son traitement dans les ACV car c'est à la fois un milieu récepteur des impacts et une ressource plus ou moins renouvelable suivant sa provenance et l'usage qui en est fait.

**Contacts : Véronique Bellon-Maurel, [veronique.bellon@irstea.fr](mailto:veronique.bellon@irstea.fr)  
Philippe Roux, [philippe.roux@irstea.fr](mailto:philippe.roux@irstea.fr)  
& Sami Bouarfa, [sami.bouarfa@irstea.fr](mailto:sami.bouarfa@irstea.fr)**

\* Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment (Iristea, Cirad, EMA, Montpellier SupAgro, Inra) : [www.elsa-lca.org](http://www.elsa-lca.org)

# Traitement d'effluents industriels pour la réutilisation de l'eau : cas de l'industrie de la céramique

L'eau devient une préoccupation et un enjeu majeur pour les prochaines décennies du fait d'une consommation croissante dans tous les secteurs d'activité conjugué à un déséquilibre avec le renouvellement de la ressource. Cette situation est particulièrement critique dans les pays du pourtour méditerranéen. Les eaux de rejet deviennent donc une ressource potentiellement et économiquement intéressante pour les industriels à condition de pouvoir les valoriser par un traitement approprié. Dans ce contexte, l'utilisation de procédés membranaires pour le traitement d'effluents s'avère une des solutions à envisager.

L'industrie espagnole de la céramique est la première en Europe et la seconde au niveau mondial. Elle présente la particularité d'être concentrée sur un petit territoire dans la province de Castellón, autour de la ville de Castellón de la Plana. Les principaux verrous pour la réutilisation des eaux de rejet de cette industrie résident, d'une part, dans une haute teneur en ions calcium et sulfate et d'autre part, dans la présence de sels de bore qui sont des contaminants pour la consommation humaine et la culture des agrumes.

Le projet Nanoboron (Séparation membranaire du bore dans les effluents, collaboration IEM, *Instituto de Tecnologia Ceramica de Castillon de la Plana* [IMECA], *Gardenia Quimicas S.A.*, *Estudio*

*Ceramico S.L.*) s'est développé en trois temps : (1) définition des procédés applicables et de la faisabilité à l'échelle du laboratoire, (2) modélisation et conception d'un pilote de démonstration et (3) tests sur sites et adaptation aux conditions d'exploitation avec un bilan économique.

L'étape de faisabilité en laboratoire (IEM) a permis de définir un couplage de procédés de microfiltration et de nanofiltration ; ce qui a conduit à la conception du pilote de démonstration. Les essais sur site et l'étude technico-économique réalisés par l'IMECA ont validé l'approche.

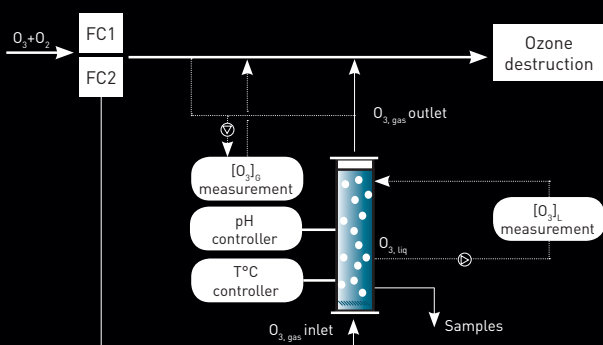


© A. Deratini

**Contact :**  
**André Deratini, [andre.deratani@iemm.univ-montp2.fr](mailto:andre.deratani@iemm.univ-montp2.fr)**

▲ *Pilote de démonstration couplant la microfiltration et la nanofiltration pour le traitement d'effluents industriels. Conception et construction Institut Européen des Membranes de Montpellier et IMECA PROCESS (Clermont l'Hérault).*

# Projet PETZECO : traitement d'effluents aqueux 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 IEM, Institut Charles Gerhardt Montpellier, 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 nouvel 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](mailto:stephan.brosillon@univ-montp2.fr)**

&gt; VALORISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES ET DES DÉCHETS

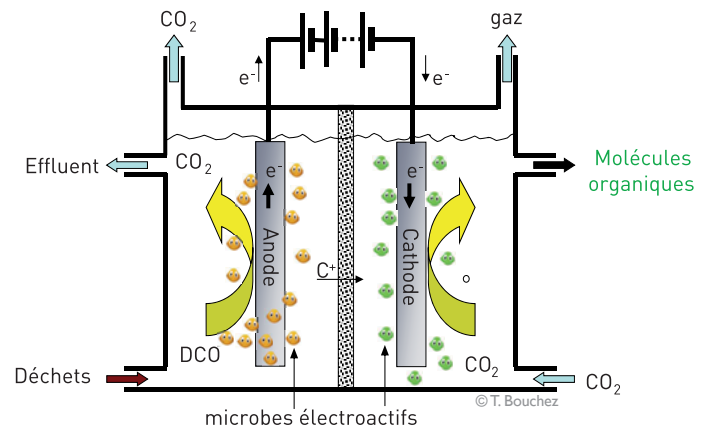
## Le projet BIORARE : bioélectrosynthèse pour le raffinage des déchets résiduel

Le projet BIORARE (collaboration UPR « Hydrosystèmes et bioprocédés » et « Gestion environnementale et traitement biologique des déchets » [Irstea], Laboratoire de Génie Chimique [UMR CNRS-INPT-UPS], LBE [Inra], Suez-Environnement) porte sur des modalités d'utilisation du concept d'électrosynthèse microbienne pour la bioraffinerie des déchets et des effluents.

Cette découverte récente pourrait permettre la production de molécules à haute valeur ajoutée à partir de la matière organique et de l'énergie contenue dans les déchets. L'idée principale consiste à utiliser la technologie des systèmes bioélectrochimiques, non pas pour produire de l'électricité comme dans les « biopiles », mais pour orienter les réactions métaboliques du bioprocédé vers la production de molécules plateformes, à valeur ajoutée, utilisables en chimie verte. Ces systèmes d'électrosynthèse microbienne présentent des avantages essentiels :

- 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 ;
- une possibilité 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, les composants clés seront identifiés ainsi que les spécifications associées pour l'élaboration d'une stratégie de développement industriel ultérieure. Les fondements scientifiques et techniques de l'électrosynthèse microbienne devront tout d'abord être renforcés. Les relations entre les conditions opératoires et les molécules effectivement synthétisées seront validées expérimentalement



▲ Schéma de la bioélectrosynthèse.

à l'échelle laboratoire. Des approches pluridisciplinaires seront combinées afin de mieux comprendre et cerner le potentiel technologique de ces systèmes. En parallèle, l'évaluation environnementale des stratégies de couplage de ces systèmes aux installations industrielles existantes sera réalisée. Ce travail sera conduit en s'appuyant sur des scénarios de référence qui permettront d'identifier des composantes sensibles d'un point de vue environnemental afin d'orienter les choix techniques ou industriels. Enfin, une analyse économique, sociétale et réglementaire sera prise en compte pour mieux cadrer les stratégies futures de développement industriel. Les mesures associées de protection de la propriété intellectuelle seront prises le cas échéant.

Contact : Nicolas Bernet, [nicolas.bernet@supagro.inra.fr](mailto:nicolas.bernet@supagro.inra.fr)

&gt; VALORISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES ET DES DÉCHETS

## Irriguer avec des eaux usées traitées : pour une meilleure évaluation des risques

Le monde est confronté à un problème de ressources en eau dû au réchauffement de la Terre, à l'accroissement des populations et à la diversification des usages de l'eau. La réutilisation des eaux usées traitées peut aider à y faire face. Elle permet d'utiliser prioritairement les eaux conventionnelles pour les usages exigeants en qualité, et d'éviter la surexploitation et la salinisation des aquifères côtiers. L'irrigation avec des eaux usées traitées évite leur rejet en rivières, dans les aquifères ou la mer, l'agriculture bénéficiant de leur valeur fertilisante en azote et phosphates. Irriguer avec des eaux usées traitées présente des risques pour l'environnement et la santé humaine. Elles peuvent contenir divers composés toxiques pour la flore, la faune et l'homme, ainsi que des pathogènes de l'homme d'origine entérique. Leur salinité peut affecter les sols. Les risques dépendent de l'origine des eaux, de leur traitement, de leur gestion, de l'état sanitaire des populations et de la réglementation.

L'UMR EMMAH participe actuellement à un point à l'échelle européenne : pratiques, diversité des risques, épidémies d'origines hydriques, devenir des polluants et pathogènes dans l'environnement, quantifications du risque, réglementations avec leurs atouts et leur difficultés de mise en œuvre. Elle a initié des travaux sur le devenir de virus dans l'environnement, notamment

avec un substitut du virus de l'hépatite A (*Mengovirus murin*). Elle souhaite étendre son travail au *Norovirus* responsable de la plupart des gastroentérites d'origine virale, voire au *Rotavirus* responsable des mêmes troubles chez l'enfant. Elle s'intéresse au devenir de ce virus dans le sol, ainsi qu'à sa surface et dans l'atmosphère. Elle s'intéressera aussi au devenir de certaines bactéries antibio-résistantes détectées en entrée comme en sortie de stations d'épuration, ainsi qu'aux effets de la salinité des eaux usées sur la stabilité structurale des sols. L'UMR utilise des méthodes variées et développe des modèles couplant des processus différents : visite de sites avec réutilisation d'eaux usées traitées, expérimentations de terrain et en laboratoire, analyse des processus sous-jacents au devenir des pathogènes étudiés.

L'UMR EMMAH souhaite ainsi aider la décision publique en matière de réutilisation d'eaux usées traitées grâce à une meilleure connaissance des processus associés au devenir de certains virus et bactéries dans le milieu, et à leur intégration dans des modèles mécanistes. Elle participera à l'effort pour la définition de nouveaux capteurs permettant d'alerter.

Contact : Pierre Renault, [pierre.renault@avignon.inra.fr](mailto:pierre.renault@avignon.inra.fr)

