

les dossiers
d'AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Compétences de la communauté scientifique



**Ressources
en eau**
Préservation et gestion

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 de Montpellier et du Languedoc-Roussillon dans le domaine des ressources en eau

Sept ans après le premier dossier thématique d'Agropolis International consacré à « l'eau : ressources et gestion », une mise à jour s'imposait tant pour que les innombrables visiteurs du site (environ 120 000 téléchargements du dossier versions française et anglaise confondues) disposent d'une information actualisée, que pour développer la visibilité et témoigner des avancées de la communauté scientifique de l'eau en région Languedoc-Roussillon.

Les lecteurs y trouveront également un annuaire mis à jour des structures de recherche, de valorisation et d'enseignement supérieur.

Ce dossier présente ainsi 18 unités de recherche de la région Languedoc-Roussillon et d'Avignon, regroupant plus de 800 scientifiques, dont tout ou partie des activités concernent le fonctionnement des hydrosystèmes, la qualité de l'eau et la gestion de la ressource. Les unités centrées sur les milieux côtiers et lagunaires, absentes de ce dossier, sont présentées dans le dossier d'Agropolis International *Ecosystèmes aquatiques* (2007).

Ce dossier présente également 10 structures de coopération internationale ou de valorisation avec lesquelles la communauté scientifique régionale dans le domaine de l'eau entretient d'étroites relations.

Enfin, il recense 43 formations supérieures diplômantes en région Languedoc-Roussillon, de Bac+2 à Bac+8, dans lesquelles le thème de l'eau est abordé.

La réédition de ce dossier en début d'année 2012 permet de démontrer le dynamisme de la recherche sur l'eau en région Languedoc-Roussillon à l'occasion du 6^{ème} Forum Mondial de l'Eau (12-17 mars 2012, Marseille) et du salon international de l'eau hydrogaïa (6-8 juin 2012, Montpellier).

C'est le premier dossier d'Agropolis International également disponible en version espagnole, en plus des versions française et anglaise.

Ressources en eau préservation et gestion

Introduction

Page 4

La ressource : identification, fonctionnement, mobilisation

Page 6

Préservation et restauration de la qualité de l'eau

Page 24

Gestion des ressources et des usages : institutions, territoires et sociétés

Page 38

Coopération internationale et partenariats

Page 54

Thématiques couvertes par les équipes de recherche

Page 64

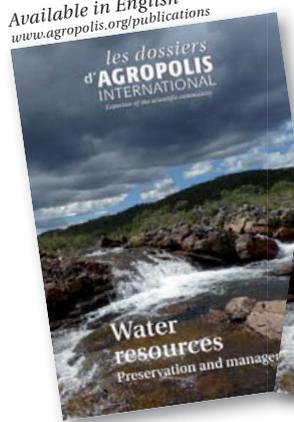
Les formations à Agropolis International dans le domaine de « l'Eau »

Page 65

Liste des acronymes et des abréviations

Page 70

Available in English
www.agropolis.org/publications



Disponible en Español
www.agropolis.org/es/publicaciones



En couverture

Parc national de "Chapada dos Veadeiros" dans le Cerrado brésilien
V. Simonneaux © IRD

Les informations contenues dans ce dossier sont valides au 01/01/2012.



LE TEMPS DES SOLUTIONS

Introduction

Au cours des dernières années, la communauté scientifique régionale a poursuivi sa structuration et consolidé sa cohésion au gré des nombreux projets de recherche (projets de l'Agence nationale de la recherche, internationaux, des 6^e et 7^e programmes cadres de l'Union européenne, investissements d'avenir...) et d'enseignement (mention de master « Eau », mastères...) qu'elle a portés et souvent réussis. Une sélection de ces projets réalisée par les unités de recherche est présentée dans ce document.

Parmi ceux-ci, le rapprochement des entreprises au travers de la création d'un pôle de compétitivité EAU à vocation mondiale est certainement le succès le plus emblématique. Ayant une mission de coordination des actions de l'ensemble des pôles « eau » nationaux et rayonnant à partir des trois Régions Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Midi-Pyrénées, son leadership est reconnu, offrant ainsi des perspectives de coopération et de développement à tous les acteurs du secteur.

Dans ce domaine, il faut également saluer la mise en place de trois chaires de recherche et d'enseignement : « Sciences des Membranes appliquées à l'Environnement » labélisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), sur le traitement de l'eau par des procédés membranaires, « Eau pour Tous » avec l'entreprise Suez-Environnement pour le renforcement des capacités des gestionnaires des services d'eau au Sud et dans les pays émergents, « Analyse des risques liés aux contaminants émergents en milieu aquatique » avec l'entreprise Veolia sur les contaminants organiques.

Les dossiers d'Agropolis International ont aussi vocation à soutenir les projets de la communauté scientifique du Languedoc-Roussillon. Pour le précédent dossier, ce fût l'organisation du XIII^e Congrès Mondial de l'Eau à Montpellier en septembre 2008, qui a ensuite facilité l'installation sur le campus de La Valette du bureau exécutif de l'*International Water Research*

Association (IWRA) en 2010. Pour le présent dossier, le premier enjeu sera le 6^e Forum Mondial de l'Eau que la France accueille en mars 2012 à Marseille.

L'ambition de cet évènement est immense puisqu'il vise non seulement un état des lieux des dernières avancées de la gestion de l'eau dans le Monde et des recommandations partagées pour atteindre un développement durable, mais aussi la production de solutions aux nombreuses questions non résolues qui perdurent et aux nouveaux défis qui apparaissent.

La communauté scientifique régionale s'engage pour y apporter sa contribution.

**Thierry Rieu (AgroParisTech,
Centre de Montpellier)**





© M. Soulié

▲ Sources d'Anjar Bekaa (Liban).

La ressource : *identification, fonctionnement, mobilisation*

Dans son dernier rapport mondial sur les ressources en eau, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) employait déjà un ton pour le moins alarmant. Il y était fait état, notamment, du fait « qu'en dépit du caractère vital de l'eau, le secteur souffre d'un manque chronique d'intérêt politique, d'une mauvaise gouvernance, et de sous-investissement » et qu'il est nécessaire « d'agir d'urgence pour éviter une crise globale ».

Et pourtant, les prélèvements annuels globaux par rapport au volume d'eau facilement accessible et « utilisable » sont évalués, aujourd'hui, à 3 800 milliards de m³ ; ce qui ne représente que 25 % des ressources utilisables. Mais cette relative abondance ne reflète pas les énormes disparités de la distribution géographique de cette ressource vitale. Certaines régions sont, en effet, d'ores et déjà en état de stress hydrique (ressources inférieures à 500 m³ par an et par habitant) lorsque d'autres ont à faire face à des catastrophes liées à la surabondance chronique des précipitations. Ces inégalités entraînent des difficultés nombreuses et de tous ordres.

Sur le plan démographique, par exemple, la croissance de la population mondiale augmente les besoins en eau de 64 milliards de m³ chaque année. Agriculture, développement économique et production d'énergie rendent indispensable une ressource toujours plus importante en fonction des choix stratégiques et des engagements qui en dépendent.

Les désordres induits par le changement climatique ont aussi des conséquences sur le cycle hydrologique et, dans de nombreuses régions, les prévisions du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) s'accordent sur des sécheresses plus longues et/ou des inondations plus fréquentes. Ces désordres viendront renforcer la dégradation, déjà constatée, des écosystèmes par ailleurs souvent surexploités en lien avec une pression anthropique sans cesse croissante.

Sur le plan sanitaire, on constate que, dans les pays en développement, 80 % des maladies sont liées à l'eau, conséquence d'un accès à une eau potable trop rare et à un criant manque d'infrastructures du fait d'un double déficit : financements et choix politico-stratégiques. Ce panorama de l'eau, comme toute inquiétant, doit aussi, désormais, prendre en compte l'appropriation croissante des questions environnementales par l'opinion publique ainsi que l'internationalisation et la globalisation de la réflexion autour de la question de l'eau. « L'or bleu » s'impose peu à peu comme un des enjeux les plus forts du XXI^e siècle avec en arrière-plan la menace des « guerres de l'eau ».

Dans un tel contexte, on conçoit aisément que, avant même toute réflexion quant à la gestion et à la gouvernance de la ressource, il soit nécessaire d'en assurer la maîtrise la plus complète possible.

Il convient, pour cela, d'être en mesure de localiser, identifier, évaluer et mobiliser la ressource en eau. Ce sont des enjeux majeurs qui passent par l'analyse, la compréhension et la modélisation de l'ensemble des processus du cycle de l'eau qu'il soit naturel ou influencé par les activités humaines.

La communauté scientifique régionale dispose pour cela des compétences qui lui permettent de se situer au meilleur niveau international afin d'apporter les réponses attendues par la société. À cette fin, en effet, elle a su développer des capacités d'observation reconnues sur lesquelles appuyer ses travaux de recherche : Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) OREME, Observatoires de Recherches en Environnement (ORE) OMERE, AMMA-Catch, OHMCV et H+, Système d'Observation « Karsts », etc. La communauté a récemment été confortée dans son rôle leader en termes de maîtrise de l'information spatiale à vocation environnementale, par l'attribution d'importantes subventions d'équipement au projet GEOSUD par le ministère français de la recherche.

Les compétences des équipes régionales dans le domaine des eaux souterraines sont reconnues au plus haut niveau depuis fort longtemps. En particulier dans le domaine des karsts qui constituent un secteur privilégié de leurs travaux de recherche et qui se révèle particulièrement stratégique sur le pourtour méditerranéen où ils renferment près de 60 % de la ressource en eau exploitée.

La diversité des travaux menés par la communauté régionale au regard des eaux de surface en fait également une référence. Si la question fondamentale de la transformation de la pluie en débit, et donc en ressource disponible sous différentes formes (infiltrée, ruisselée, stockée), est au cœur des préoccupations des hydrologues, nombre d'autres questions sont également abordées. Parmi celles-ci l'utilisation de l'eau en milieu agricole est essentielle, *a fortiori* dans le contexte méditerranéen. La question des crues, abordée notamment sous l'angle des événements extrêmes (pluies et inondations dévastatrices), est incontournable et rassemble en région un grand nombre de compétences complémentaires.

D'autres approches, enfin, se tournent vers le futur et ambitionnent, à l'aide des scénarios climatiques disponibles répondant à des hypothèses environnementales, économiques et démographiques variables, d'évaluer les ressources en eau.

Comme on le voit, les compétences régionales sont nombreuses et variées. Elles sont pleinement mobilisées pour faire face aux enjeux de demain concernant la gestion durable de la ressource en eau, vitale pour nos sociétés et pour chacun d'entre nous.

Éric Servat (UMR HSM)

La ressource : *identification, fonctionnement, mobilisation*

Les équipes principales

UPR EAU/NRE

Eau : **Nouvelles Ressources et Économie**
(BRGM)

14 scientifiques

Directeur : **Jean-Christophe Maréchal**

jc.marechal@brgm.fr

► Présentation page 16

UMR EMMAH

Environnement Méditerranéen
et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes

(Inra, UAPV)

40 scientifiques

Directrice : **Liliana Di Pietro**

liliana.dipietro@paca.inra.fr

www.umr-emma.fr

► Présentation page 14

UMR GM

Géosciences Montpellier

(CNRS, UM2)

89 scientifiques

Directeur : **Jean-Louis Bodinier**

bodinier@gm.univ-montp2.fr

dirgm@gm.univ-montp2.fr

www.gm.univ-montp2.fr

► Présentation page 10

UMR HSM

HydroSciences Montpellier

(CNRS, IRD, UM1, UM2)

57 scientifiques

Directeur : **Éric Servat**

eric.servat@msem.univ-montp2.fr

www.hydrosciences.org

► Présentation page 8

UPR LGEI

Laboratoire de Génie
de l'Environnement Industriel

(EMA)

45 scientifiques

Directeur : **Miguel Lopez-Ferber**

miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr

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

www.umr-lisah.fr

► Présentation page 15

UMS OREME

Observatoire de Recherche
Méditerranéen de l'Environnement

(CNRS, IRD, UM2)

3 scientifiques sensu stricto + 6 unités liées

Directeur : **Nicolas Arnaud**

nicolas.arnaud@gm.univ-montp2.fr

www.oreme.univ-montp2.fr

► Présentation page 13

► Présentation page 10

Biogéochimie, événements extrêmes, eaux souterraines et cycle hydrologique en régions méditerranéennes et tropicales

L'UMR HSM : *HydroSciences Montpellier* (CNRS, IRD, UM1, UM2) est totalement investie dans des recherches en sciences de l'eau qui couvrent un large éventail de domaines allant de la biogéochimie aux événements extrêmes en passant par les eaux souterraines et l'étude du cycle hydrologique.

L'UMR HSM développe l'essentiel de son activité scientifique en régions méditerranéennes et tropicales. Elle est organisée autour de quatre axes scientifiques :

- 1 Biogéochimie, contaminants, santé ;
- 2 Karsts et milieux hétérogènes : hydrogéologie, hydraulique et transferts ;
- 3 Climat, changements environnementaux et modélisation de leurs impacts sur les ressources en eau ;
- 4 Mécanismes du cycle hydrologique, transferts et interactions surface-atmosphère.

Quatre ateliers transversaux à vocation méthodologique complètent l'organisation du laboratoire :

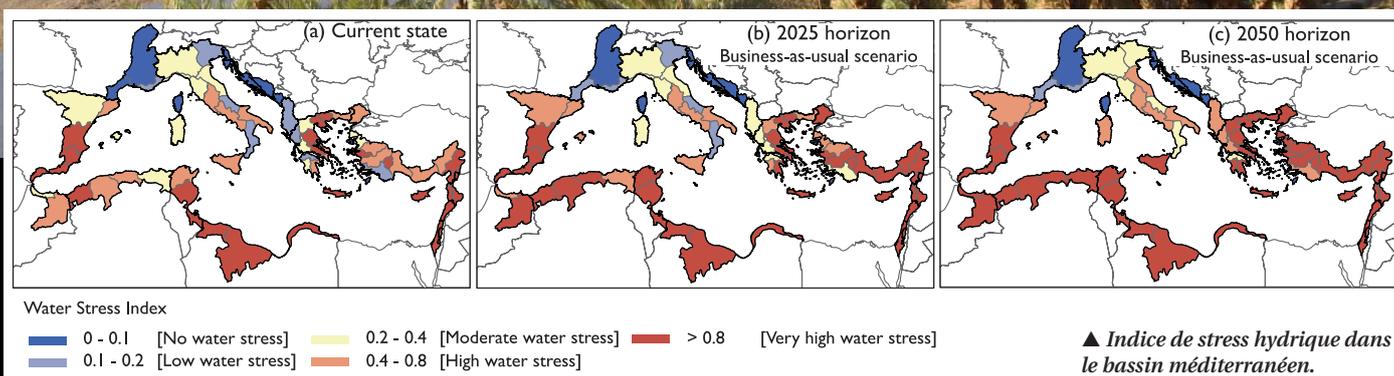
- (a) Modélisation hydrodynamique et couplages ;
- (b) Traceurs dans l'hydrosphère ;
- (c) Méthodes pour la modélisation : assimilation, spatialisation et sensibilité ;
- (d) Systèmes d'informations.

HSM a une très forte implication dans le domaine de l'enseignement et de la formation par la recherche. Les formations dans lesquelles le laboratoire intervient sont attractives pour les étudiants qui viennent de l'ensemble du territoire français et de l'étranger (notamment des pays du Sud) : Master EAU, Master « Ingénierie de la santé », Polytech'Montpellier-Sciences et technologies de l'eau. Outre ces formations, l'ensemble du personnel de l'UMR s'implique du niveau Licence au Doctorat.

Le laboratoire, pour lequel l'observation est une composante essentielle des travaux, est membre de l'Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) OREME (voir page 13). Il s'implique dans différents systèmes d'observation et observatoires de recherche en environnement (MEDYCISS, OHMCV, AMMA-CATCH, OMERE) tout en étant leader dans le montage du système d'observation Karst. Outre ses équipements en chimie des eaux et microbiologie, il appuie ses recherches sur des dispositifs techniques importants : le Grand plateau technique régional « Analyse des éléments en trace dans l'environnement » et le Laboratoire mutualisé d'analyse des isotopes stables de l'eau.

L'un des points forts de l'UMR HSM est son rayonnement, qui se mesure par son implication dans de nombreux projets nationaux et internationaux, par la reconnaissance de plusieurs de ses thématiques au meilleur niveau international, et par un important réseau de collaborations avec des laboratoires et institutions de recherche dans de nombreuses régions du monde, au Nord comme au Sud.

L'UMR HSM travaille également avec des partenaires publics (Direction Régionale de l'Environnement, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), des collectivités territoriales (Communautés de communes ou d'agglomérations, syndicats mixtes de bassin), des bureaux d'études et de nombreuses entreprises privées (SDEI, BioUV S.A., SOMEZ, etc.). Soucieuse de s'impliquer dans le domaine de la valorisation, l'Unité a déposé des brevets, en particulier dans le domaine de la métrologie, et a développé des logiciels « professionnels », notamment autour des bases de données. L'un des domaines d'excellence d'HSM, les contaminants organiques, fait l'objet d'une Chaire de formation et de recherche avec Veolia : « Analyse des risques liés aux contaminants émergents en milieu aquatique ». En outre, l'UMR est engagée dans le cadre du Pôle de compétitivité « EAU » à vocation mondiale, ainsi que dans celui « Gestion des risques et vulnérabilité des territoires ». ...



© UMR HSM & Plan Bleu

>CHANGEMENTS GLOBAUX ET RESSOURCES EN EAU

Faire face aux changements globaux en Méditerranée : quelles ressources en eau pour demain ?

Le bassin méditerranéen est caractérisé par des ressources en eau limitées et inégalement réparties ainsi que par un développement considérable des activités anthropiques. Les projections hydro-climatiques suggèrent une diminution progressive des écoulements annuels moyens dans cette région qui devrait s'accompagner de périodes de sécheresse plus fréquentes et intenses. Par ailleurs, les demandes en eau ont doublé depuis les années 50 et devraient s'amplifier avec l'extension des surfaces irriguées et des zones urbaines.

Au sein du laboratoire HSM, l'équipe RESCUE-Med développe des recherches sur l'évaluation prospective des ressources en eau sous contrainte de scénarios climatiques et d'usages de l'eau à différentes échelles en Méditerranée. Dans le cadre d'une thèse en cours en partenariat avec le Plan Bleu, une chaîne de modélisation régionale a ainsi été proposée afin d'analyser la disponibilité future des ressources en eau en fonction des évolutions possibles du climat et des prélèvements en eau pour les usages agricoles et domestiques.

Un indicateur de stress hydrique a permis de mettre en évidence les disparités régionales en termes de capacité à satisfaire les besoins en eau à différentes périodes dans le passé et le futur. Des scénarios alternatifs comme l'amélioration de l'efficacité des réseaux d'approvisionnement sont à l'essai pour évaluer l'efficacité de stratégies d'adaptation. L'équipe appréhende également l'impact de ces changements sur les ressources en eau à des échelles plus locales. Des modélisations hydrologiques couplées aux usages sont ainsi mises en œuvre sur des bassins tels que l'Ebre (Espagne) ou l'Hérault (France). Ces recherches s'appuient sur l'établissement de scénarios de changement climatique et d'évolution des demandes en eau adaptés à ces échelles de travail. Elles visent à estimer les volumes et la dynamique des écoulements en considérant les pressions anthropiques (stockages, prélèvements, consommations, transferts...) afin de fournir des éléments d'aide à la décision aux gestionnaires de la ressource.

Contact : Denis Ruelland, denis.ruelland@univ-montp2.fr

SICMED : évolution des anthropo-écosystèmes méditerranéens



▼ Paysage cultivé en Tunisie.

© R. Calvez

La région méditerranéenne est l'un des points focaux du changement global. Elle évolue rapidement sous l'effet de fortes pressions climatiques et anthropiques alors que les ressources produites ne suffisent déjà plus aux besoins des populations.

L'actuelle exploitation intense des ressources accroît les vulnérabilités sociales et

environnementales et induit des tensions fortes sur les cycles hydrologiques et biogéochimiques. Les situations critiques et les conflits d'usages se multiplient. La recherche de nouveaux modes de développement durable passe par une connaissance plus approfondie des facteurs de dégradation, de résilience, de flexibilité et de réhabilitation des anthropo-écosystèmes (AES).

Dans ce contexte, le programme SICMED « Surfaces et Interfaces Continentales en MEDiterranée » mène des activités de recherche, de formation et de transfert dédiées à la compréhension de l'évolution des AES méditerranéens ruraux et périurbains sous la pression du changement global.

Il est une des sept composantes du chantier méditerranéen Mistrals (*Mediterranean Integrated STudies at Regional And Local Scales*) et développe durant une décennie une recherche pluridisciplinaire sur les mécanismes biophysiques, techniques et sociaux avec une triple mission :

- ❶ identifier et analyser les verrous scientifiques à la prévision de l'évolution des processus bio-hydro-géo-chimiques sous les contraintes anthropiques et climatiques actuelles et futures ;
- ❷ déterminer et lever les verrous scientifiques et techniques permettant une gestion raisonnée des systèmes étudiés ;
- ❸ transmettre les connaissances acquises aux décideurs et aux gestionnaires privés et publics.

Actuellement soutenu financièrement par l'Irstea, le CNRS-INSU, l'Inra et l'IRD, le programme SICMED est fondé sur un vaste partenariat multilatéral impliquant des institutions scientifiques et des acteurs représentatifs des pays riverains de la Méditerranée, mais aussi des autres pays impliqués dans la recherche et le développement de l'espace méditerranéen.

**Contacts : Christian Leduc, christian.leduc@ird.fr
Jean-Claude Menaut, jean-claude.menaut@cesbio.cnes.fr
Marc Voltz, marc.voltz@supagro.inra.fr
& Maxime Thibon, maxime.thibon@ird.fr**

Pour plus d'informations sur SICMED : www.sicmed.net
Pour plus d'informations sur Mistrals : www.mistrals-home.org

Autres équipes concernées par ce thème

UMR ESPACE-DEV
Espace pour le développement
(IRD, UM2, UAG, UR)
60 scientifiques

Directeur : Frédéric Huynh
frederic.huynh@ird.fr
www.espace-dev.fr
▶ Présentation page 47

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
www.g-eau.net
▶ Présentation page 40

UMR ITAP
Information - Technologie - Analyse
environnementale - Procédés agricoles
(Irstea, Montpellier SupAgro)
40 scientifiques

Directeur : Tewfik Sari
tewfik.sari@irstea.fr
www.irtsea.fr/itap
▶ Présentation page 28

UMR TETIS
Territoires, Environnement, Télédétection
et Information Spatiale
(AgroParisTech, Cirad, Irstea)
70 scientifiques

Directeur : Jean-Philippe Tonneau
jean-philippe.tonneau@cirad.fr
<http://tetis.teledetection.fr>
▶ Présentation page 46

Transferts de masse et d'énergie dans les aquifères poreux, fracturés et karstiques

L'UMR GM : Géosciences Montpellier (CNRS, UM2) développe une approche globale de la dynamique terrestre et de ses manifestations de surface, prenant en compte les couplages entre les différentes enveloppes, dont l'hydrosphère. L'objectif est d'améliorer la compréhension des processus dynamiques (*sensu lato*) aux différentes échelles, en interaction avec des attentes sociétales telles que :

- l'approvisionnement en ressources non énergétiques (minérales et hydriques) ;
- les choix énergétiques pour l'avenir, qu'il s'agisse de prolonger les réserves carbonées ou de développer de nouvelles filières énergétiques (hydrogène naturel, géothermie...);
- le stockage et le confinement des déchets (aval du cycle nucléaire, CO₂, déchets miniers...);
- les risques naturels (tremblements de terre, tsunamis, risques gravitaires, inondations...);

- les changements environnementaux et climatiques à fort impact anthropique (évolution du trait de côte et intrusions salées littorales).

L'unité comprend cinq équipes pluridisciplinaires organisées autour de trois axes scientifiques :

- Géodynamique (équipes « Dynamique de la lithosphère » et « Manteau & Interfaces ») ;
- Réservoirs (équipes « Bassins » et « Transferts en milieux poreux ») ;
- Risques (équipe « Risques »).

Les thèmes de recherche sur l'eau sont portés par les équipes « Transferts en milieux poreux » et « Risques ». Ils concernent la caractérisation et la modélisation des transferts de masse et d'énergie dans les aquifères poreux, fracturés et karstiques. Les principaux défis scientifiques sont liés à la mesure de ces transferts *in situ* et à la prise en compte des hétérogénéités qui les contrôlent à toutes les échelles. Ils intègrent quatre axes de R&D portant sur le développement (1) de sites instrumentés (Majorque, Maguelone, Roussillon, Larzac,

Lodève) dédiés autant à l'observation qu'à l'expérimentation, (2) d'appareillages permettant des expériences dynamiques contrôlées, (3) de systèmes de mesures et de surveillance hydrogéophysiques aussi bien en surface qu'en forage, et (4) d'outils numériques originaux permettant d'intégrer des données obtenues à différentes échelles. Ces travaux sont réalisés dans le cadre de plusieurs projets de l'Agence Nationale de la Recherche (MOHINI, GRAIN D'SEL, LINE, COLINER, HYDROKARST-G2) et le SOERE H+ (Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement dans le domaine de l'hydrogéologie). GM est en charge de plusieurs sites expérimentaux du SOERE H+

sur le pourtour méditerranéen. GM est membre de l'Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement (OREME) et en charge de plusieurs tâches d'observation (SO-LTC, GPST2, GEK, Hydro-géophysique en Forage). L'unité est impliquée dans le grand plateau technique régional « Analyse des Éléments en Trace dans l'Environnement » et héberge certains équipements des plateformes nationales de l'Institut National des Sciences de l'Univers « Gravimétrie » et « Expérimentation » (Gravimètre absolu et MEB-EBSD).

GM est au cœur d'un vaste réseau de coopération nationale et internationale, à la fois européen (réseaux Marie-Curie, FP7),

méditerranéen (Afrique du Nord, Moyen-Orient) et ouvert vers la plupart des continents (Taïwan, Japon, Inde, Australie, Nouvelle-Zélande, Iran, Brésil, Mexique, États-Unis). GM collabore aussi avec le monde socioéconomique, notamment via la création d'entreprises par des doctorants et le financement de contrats de recherche et de thèses. Citons le *Cluster Géosciences* lancé en 2011 qui réunit les principaux acteurs en Région dans le secteur de l'entreprise (Geoter, Cenote, imaGeau, Schlumberger, Fugro, Antea, Areva, Lafarge) et ceux de la recherche et de la formation (GM, BRGM, EMA, CEFREM, HSM). Bon nombre de ces acteurs travaillent dans le domaine de l'eau. ...

> CHANGEMENTS GLOBAUX ET RESSOURCES EN EAU

OMERE : Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau



© M. Soulié

▲ Instrumentation du site de Roujan dans le cadre de l'observatoire OMERE.

L'observatoire OMERE s'inscrit dans le contexte de l'étude des changements globaux affectant les hydrosystèmes/agrosystèmes méditerranéens. Il est centré sur un contexte hydrologique intermédiaire entre milieux arides et tempérés soumis à une gamme étendue de processus hydrologiques allant des phénomènes de sécheresse intenses aux crues extrêmes et sur un contexte social et humain qui subit actuellement des évolutions considérables (intensification des productions agricoles dans les terroirs favorables, déprises dans les terroirs non intensifiables, augmentation des captages, aménagements hydro-agricoles ou de conservation du milieu) liées notamment à un accroissement rapide de la densité de population. Les différents scénarios sur le changement climatique élaborés par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat prévoient d'importantes modifications pluviométriques à ces latitudes : raréfaction des précipitations d'hiver, augmentation des pluies extrêmes...

Dans ce contexte méditerranéen particulier, l'observatoire acquiert depuis deux décennies des chroniques climatiques, hydrologiques, de flux de sédiments et de solutés, sur deux bassins versants différenciés du point de vue des sols, des aménagements hydro-agricoles, des pratiques culturales et de leur dynamique d'évolution : Roujan (France, principalement viticulture) et Kamech (Tunisie, polyculture-élevage). L'observatoire vise à i) comprendre l'impact des activités agricoles sur les flux de masse dans les bassins versants élémentaires méditerranéens (régimes et bilans hydrologiques, allocation des ressources en eau, dynamiques d'érosion, évolution de la qualité des eaux) ; ii) évaluer les intensités et vitesses d'évolution quantitative et qualitative des ressources en eau et en sol en fonction de changements d'utilisation des terres ; iii) appuyer le développement d'approches de modélisation des flux en milieu cultivé en associant étroitement observations et modélisation ; iv) fournir des bases scientifiques, des références et des outils de diagnostic à l'ingénierie agri-environnementale des paysages cultivés. L'UMR HSM, l'Institut National d'Agronomie de Tunis, l'Institut National de Génie Rural, des Eaux et Forêts tunisien et l'UMR LISAH sont les quatre partenaires en charge du pilotage et de la gestion d'OMERE. L'observatoire appartient au réseau français des bassins versants*.

**Contacts : Patrick Andrieux, patrick.andrieux@supagro.inra.fr
& Damien Raclot, damien.raclot@ird.fr**

Pour plus d'informations sur OMERE : www.umn-lisah.fr/omere
* <http://rnbv.ipgp.fr>

> CHANGEMENTS GLOBAUX ET RESSOURCES EN EAU

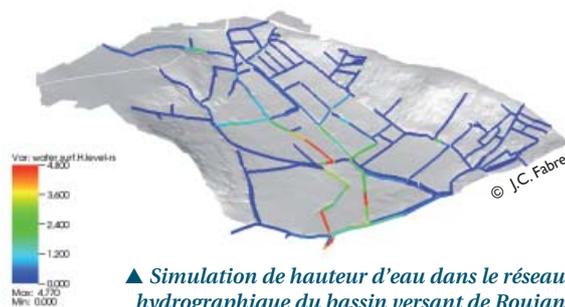
La plateforme OpenFLUID : modélisation et simulation du fonctionnement spatialisé des paysages cultivés

Le fonctionnement spatio-temporel des paysages cultivés résulte d'interactions complexes entre des processus biophysiques et les activités humaines. La modélisation du fonctionnement de tels systèmes et la simulation de leurs évolutions sous l'impact de changements climatiques et de pressions anthropiques (pollutions, aménagements, changements d'occupation des sols...) nécessitent une prise en compte explicite de l'ensemble de ces interactions et donc le couplage de nombreux processus/phénomènes distribués dans l'espace étudié. Afin de mettre en œuvre de telles modélisations et exécuter les simulations basées sur ces modèles couplés, l'UMR LISAH a développé un outil logiciel avancé et générique.

Ainsi, la plateforme OpenFLUID offre un environnement logiciel pour la modélisation et la simulation du fonctionnement spatialisé des paysages cultivés, depuis le développement de modèles jusqu'à leur mise en œuvre lors de simulations. Ces modèles sont développés sous la forme de plugins logiciels pour OpenFLUID. Ils peuvent ensuite être mobilisés pour créer des modèles couplés, adaptés (i) au contexte de modélisation, (ii) aux objectifs de simulation et (iii) aux données disponibles. Les simulations s'appuient sur des représentations numériques des paysages étudiés qui tiennent compte explicitement des géométries et des propriétés des éléments réels des paysages. OpenFLUID a été utilisé dans le cadre de nombreux projets et thèses. Il a été appliqué en milieu méditerranéen, ou encore tropical, pour la modélisation de flux d'eau et de polluants, de l'érosion, notamment sous l'impact des pratiques agricoles. OpenFLUID est également le support logiciel pour le développement et la mise en œuvre du modèle MHYDAS (Modélisation Hydrologique Distribuée des AgroSystèmes) permettant, entre autres, la représentation numérique de bassins versants cultivés et la simulation de flux d'eau et de polluants. OpenFLUID dispose d'une interface graphique utilisateur, et peut également être utilisé en ligne de commande (sur un cluster de calcul par exemple). Il est disponible sous licence libre et open-source, téléchargeable sur le site Internet d'OpenFLUID*.

Contacts : Jean-Christophe Fabre, fabrejc@supagro.inra.fr & Roger Moussa, moussa@supagro.inra.fr

* www.umr-lisah.fr/openfluid



▲ Simulation de hauteur d'eau dans le réseau hydrographique du bassin versant de Roujan par le modèle MHYDAS sous OpenFLUID.

Analyse du cycle hydrologique pour la recherche, les activités économiques et industrielles

L'UPR LGEI : Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel est l'un des trois laboratoires propres à l'École des Mines d'Alès (EMA), avec un statut d'établissement public national à caractère administratif, dépendant du ministère délégué à l'Industrie. Sa recherche pluridisciplinaire couvre un large champ d'application 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.

Le domaine de l'eau est abordé selon plusieurs perspectives : la maîtrise des impacts catastrophiques pour un territoire résilient ; la compréhension et la spatialisation de processus hydrologiques au niveau des bassins versants (modélisation) ; le diagnostic de la qualité chimique et

écologique des eaux et des effluents ; le développement de procédés et de combinaisons de couplages de procédés pour le traitement des eaux et des effluents ; la gestion intégrée de flux polluants (milieux industriels, ressources en eau) selon une approche de type « écologie territoriale » ; la géomatique et l'intelligence collective pour l'aide à la décision. Ces différents niveaux d'analyse du cycle de l'eau permettent de répondre aux questions posées non seulement au niveau de la recherche, mais aussi au niveau de l'activité économique et industrielle.

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 et Eurobiomed. Il entretient des collaborations académiques et industrielles suivies au niveau national et international, ayant participé à plusieurs projets européens et ayant assuré la coordination de deux d'entre eux*.

Les équipements qui caractérisent un laboratoire de chimie environnementale sont présents

(HPLC/MS/MS, GC/MS/MS, ICP, extracteurs...) ainsi qu'une salle 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, dont Ecotech LR (Eco-technologies pour les Agro-Bioprocédés).

Par ailleurs, le suivi hydrométrique de bassins versants expérimentaux représente une action de recherche fondamentale pour la compréhension des processus à l'origine des crues à cinétique rapide. Ce travail a été engagé depuis 2001 en collaboration avec les UMR ESPACE-DEV, HSM et TETIS. Plusieurs bassins versants expérimentaux sévères sont actuellement suivis, et la diversité des dispositifs expérimentaux permet de développer des travaux sur l'imagerie appliquée au calcul des vitesses et des débits des cours d'eau mais également sur les dispositifs *low cost* pour poursuivre et affiner l'analyse hydrométrique distribuée.

* SWIFT : Screening Methods for Water Data Information in Support of the Implementation of the WFD. KNAPPE: Knowledge and Need Assessment on Pharmaceutical Products in Environmental waters



▲ *Traçage artificiel pour la caractérisation des transferts et l'évaluation de la vulnérabilité de l'hydrosystème du Lez.*

© V. Leonardi

Observer pour comprendre la dynamique des ressources en eau et aider à leur gestion

L'UMS OREME : Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement (CNRS, IRD, UM2) est un observatoire des Sciences de l'univers (OSU) dédié à l'étude des aléas et de la vulnérabilité des milieux méditerranéens. L'Observatoire se focalise sur les risques naturels, les ressources et l'impact des changements globaux et anthropiques sur l'espace méditerranéen vivant et inerte, pour y découvrir les mécanismes de réponse de ces systèmes aux forçages naturels et anthropiques.

Sa mission consiste à récolter, intégrer et partager les données observées sur le long terme pour comprendre l'évolution des ressources et des milieux. Ces données sont aussi des éléments indispensables à la constitution de modèles explicatifs et prédictifs.

Il mène ses actions en forte interaction avec des partenaires publics (laboratoires des sciences de l'univers et de l'écologie mais aussi des sciences de l'information, collectivités territoriales, agences de l'État) et privés (notamment IBM).

Dans le domaine de l'eau, l'observatoire développe avec les laboratoires concernés plusieurs systèmes d'observation des

hydrosystèmes de l'échelle du bassin versant à celui du forage *in situ* :

- Observation géodésique, gravimétrique, géophysique/hydrogéophysique systématique en forage à toutes les échelles ;
- Système d'observation multi-échelle de la dynamique des crues et de l'hydrodynamique souterraine des systèmes fracturés et karstiques ;
- Système d'observation de la pollution et de l'adaptabilité biologique en aval des anciens sites miniers ;
- Suivi du littoral languedocien, interface entre bassin versant et espace marin.

Ces systèmes d'observation, dont la plupart appartiennent à des réseaux français et internationaux, renseignent sur la dynamique de la ressource en eau notamment dans les aquifères karstiques, et permettent également de suivre la quantité et la qualité de la ressource en aval des aquifères. Les méthodes géophysiques permettent de suivre les mouvements de l'eau dans le sous-sol, et de relier l'alimentation des aquifères avec leur décharge pour comprendre le cycle hydrologique et l'analyser aussi bien en termes de quantité de la ressource que de risque hydrologique, par exemple de décharge soudaine.

La quantité et la qualité de la ressource disponible à chaque lieu de son utilisation sont le fruit d'un système complexe qui associe la modélisation du stockage, de l'écoulement, des couplages physico-biochimiques ayant lieu dans les divers compartiments... Ces forçages sont autant de conditions aux

limites de l'anthroposystème, qui nécessitent eux-mêmes la conception de simulations complexes : modélisation de la ressource, et modélisation en temps réel de son usage et de ses effets immédiats. Agissant au cœur de ce processus de compréhension, la donnée, qu'elle soit recueillie, calculée ou associée aux usages, doit être traitée dans le continuum 'acquisition-raffinement-traitement-décision'. Grâce à son réseau de partenariat et à son expertise, l'observatoire intervient à différents moments de ce continuum, notamment l'acquisition (gestion de réseaux de capteurs), le stockage, le partage (gestion des normes et standards d'interrogation, gestion des métadonnées, web services...) et l'aide à la décision (détection de changements, fusion d'informations, raisonnement, interactions utilisateurs, visualisation, aide à la décision, recommandation, prédiction, temps réel).

La gestion de la ressource en eau doit permettre d'éviter les crises et de les gérer lorsque celles-ci surviennent. Il faut donc que la modélisation de la ressource permette une projection, et que celle-ci soit proche du temps réel, afin de permettre l'analyse du risque et la prise des décisions d'usage nécessaires en temps réel. Le passage à des modèles opérationnels d'aide à la décision est donc nécessaire. Ceci implique que des simulations « de base » appuyées sur des données fiables soient déjà réalisées lorsque celles-ci sont lourdes, de façon à éviter d'avoir à réaliser des modélisations complètes chronophages. ...



▲ Situation de hautes eaux à la source de Fontaine du Vaucluse.

© UMR EMMAH

Environnement méditerranéen et modélisation des agro-hydrosystèmes

La région méditerranéenne constitue un terrain d'étude privilégié pour les recherches de l'UMR EMMAH : *Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes (Inra Avignon, UAPV)* portant sur l'analyse de l'impact des changements globaux sur la ressource hydrique, la production agricole et leurs interactions à l'échelle du territoire (du paysage au bassin de production et de l'aquifère).

Ces recherches sont structurées selon cinq axes pluridisciplinaires. L'axe 1 vise à quantifier les impacts des changements globaux sur les interactions entre les processus biophysiques de surface (production agricole, cycle de l'eau) et les ressources hydriques, en particulier souterraines. L'objectif de l'axe 2 est d'identifier les évolutions des paysages et leurs déterminants à partir d'une analyse rétrospective portant sur plusieurs décennies. L'enjeu de l'axe 3 est d'appréhender les modifications qu'induisent des événements climatiques extrêmes (de type sécheresse/canicule) sur le fonctionnement des agro-écosystèmes. Les objectifs de l'axe 4 sont de comprendre et de modéliser les impacts de pluies intenses sur le fonctionnement hydrologique et hydrochimique du système sol-nappe.

Enfin, au sein de l'axe 5, l'UMR EMMAH s'intéresse aux questions soulevées par des techniques alternatives d'irrigation telles que l'utilisation des eaux issues de station d'épuration et cherche à quantifier les risques associés à la présence de pathogènes humains dans ces eaux usées.

Leurs travaux s'appuient sur l'utilisation de données de télédétection et de géophysique, l'observation intensive de sites instrumentés, de mesures en laboratoire et de développements méthodologiques pour mieux comprendre et modéliser le fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. L'unité a mis en place un suivi de sites observatoires représentatifs de différents contextes hydrogéologiques et agronomiques (région Crau-Camargue, aquifère karstique de Fontaine de Vaucluse, zone périurbaine d'Avignon), ainsi que deux sites ateliers dédiés à l'étude des flux hydriques vers l'atmosphère et vers la nappe. Elle dispose de laboratoires de mesures biologiques (biomasse, indice foliaire, teneur en chlorophylle...), d'analyses chimiques des eaux et des sols (chimie organique et minérale) ainsi que d'analyses isotopiques des eaux (H^3 , C^{14} , rapport C^{13}/C^{12} du carbone dissout) et de mesures des propriétés hydrodynamiques des sols. Elle bénéficie d'un accès privilégié au laboratoire souterrain à bas bruits de Rustrel (Vaucluse) au sein du massif karstique de Fontaine de Vaucluse ainsi que d'un accès au laboratoire de biologie

moléculaire de l'Inra d'Avignon. Elle dispose d'équipements permettant la prospection géophysique de la subsurface (tomographie électrique). Les chercheurs développent des modèles mécanistes de fonctionnement des hydrosystèmes, d'une part en intégrant et spatialisant les modèles élémentaires associés aux différents processus, d'autre part en développant de nouvelles approches de modélisation prenant en considération les hétérogénéités du milieu et des processus à différentes échelles.

Les compétences disciplinaires et les techniques mises en œuvre concernent l'hydrologie, l'hydrogéologie, la géochimie et la microbiologie des sols et des eaux, l'agronomie, la télédétection et la géophysique, les mathématiques appliquées, la physique des ondes dans les milieux poreux, la simulation numérique et le calcul parallèle, le traitement du signal.

Les partenaires scientifiques de l'UMR sont issus du monde académique français (Institut National de la Recherche Agronomique, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, universités, Centre National de la Recherche Scientifique...), ou international (Tunisie : École Nationale d'Ingénieurs de Sfax ; Espagne : *Institute for Sustainable Agriculture*, université de Valence ; Pays-Bas : *Dutch National Aerospace Laboratory*, University of Twente ;

États-Unis : universités du Maryland et de Boston...). L'unité développe également des partenariats avec les organismes institutionnels ou gestionnaires français (Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse, syndicats d'irrigants et d'agriculteurs, syndicats mixtes pour la gestion des ressources hydriques souterraines) ainsi qu'avec des partenaires privés (Véolia, Suez Environnement, bureaux d'études...).

À la croisée des sciences du sol, hydrologie, agronomie : le fonctionnement des paysages cultivés

L'UMR LISAH : Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème (Inra, IRD, Montpellier SupAgro) a pour thématique centrale de recherche l'étude du fonctionnement des paysages cultivés, qui résulte des interactions entre (i) le sol, support du paysage, (ii) l'agrosystème, source de forçages et de modification de la géométrie du paysage et (iii) l'hydrosystème, générateur de transferts d'eau et d'éléments.

Ses objectifs spécifiques sont de :

- développer les connaissances sur l'érosion, les transferts d'eau et de matière et le devenir de substances polluantes (pesticides) dans les sols et les bassins versants ruraux en relation avec leur organisation spatiale et leur évolution temporelle ;
- élaborer des outils permettant de diagnostiquer et prévenir les risques induits par les activités humaines (milieux cultivés) sur les régimes hydrologiques et l'évolution des ressources en eau et en sols ;
- contribuer à la définition de nouveaux modes de gestion durable de l'espace rural ;
- former des étudiants aux concepts et aux outils d'analyse et de modélisation de l'organisation spatiale et de l'hydrologie des milieux cultivés.

Le laboratoire regroupe des compétences en science du sol, hydrologie, agronomie et spatialisation. Il est structuré autour de trois équipes de recherche :

- Eau et polluants en bassins versants cultivés ;
- Érosion et transport solide en bassins versants cultivés ;
- Structure spatiale et dynamique des sols et des paysages cultivés.

Les principales actions du LISAH concernent l'étude des impacts de l'agriculture en viticulture languedocienne et bananeraie antillaise sur la pollution des sols et des eaux par les produits phytosanitaires, l'analyse du cycle hydrologique du système « sol-cultures » à l'échelle des bassins versants élémentaires (quelques km²) et ressources (quelques centaines de km²) méditerranéens, le développement de méthodes de cartographie numérique des sols et de systèmes d'information pédologique, l'analyse du déterminisme et des processus d'érosion des sols et du transfert de sédiments dans les bassins versants, ainsi que l'étude de l'influence des aménagements hydrauliques (fossés, banquettes, lacs collinaires) sur le fonctionnement hydrologique des sols et bassins versants cultivés.

La démarche scientifique du LISAH repose à la fois sur des études et expérimentations hydrologiques de terrain, sur des recherches méthodologiques pour l'acquisition et le traitement des données spatialisées concernant le sol et le paysage et sur le développement d'approches de modélisation hydrologique distribuée permettant de représenter les hétérogénéités spécifiques des paysages ruraux. ●●●

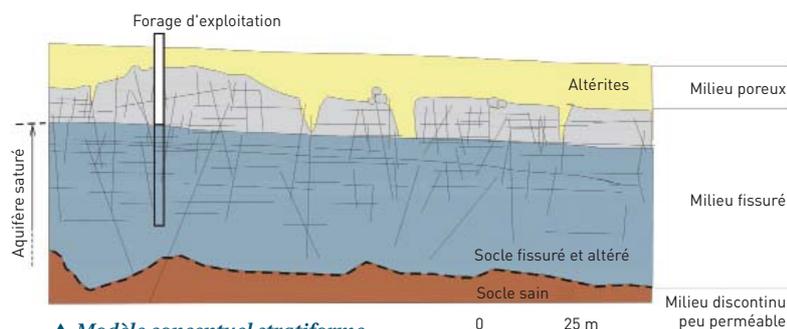
> FONCTIONNEMENT DES AQUIFÈRES COMPLEXES

Les aquifères des régions de socle : une ressource en eau à gérer

Les roches de socle (granites, schistes, gneiss, etc.) occupent des surfaces importantes tant à l'échelle du globe qu'en Europe ou en France. Leurs ressources en eau souterraine participent significativement au développement rural et économique des régions concernées, en particulier dans les pays émergents en contexte aride ou semi-aride où le recours aux eaux de surface est limité.

L'UPR EAU/NRE (Nouvelles Ressources et Économie) du BRGM contribue au développement des connaissances sur la genèse, la géométrie, les propriétés hydrauliques et le fonctionnement des aquifères de socle. Celles-ci ont fait des progrès très significatifs. Il a en particulier été démontré que les processus d'altération climatique jouent un rôle important pour leurs propriétés aquifères avec le développement de profils d'altération comprenant, de haut en bas (cf. figure ci-contre) : des altérites meubles (arènes en milieu granitique) caractérisées par une relativement faible perméabilité mais par des capacités significatives de stockage des eaux souterraines ; un « horizon fissuré », stratiforme, de 50 à 100 mètres d'épaisseur, fortement influencé lui aussi par des processus d'altération et auquel l'aquifère de socle doit l'essentiel de sa perméabilité.

De ces concepts géologiques et hydrogéologiques découlent de nombreuses applications pratiques. Il s'agit de la cartographie régionale des potentialités en eau souterraine et de la



▲ **Modèle conceptuel stratiforme de la structure et des propriétés hydrogéologiques des aquifères de socle.**

© J.C. Maréchal

régionalisation des paramètres hydrodynamiques pour la modélisation. D'autres applications concernent des outils de gestion de la ressource en eau au niveau du bassin versant, qui devient indispensable dans certains contextes d'exploitation intensive pour l'irrigation (en Inde par exemple). Elles incluent aussi les techniques et méthodes d'implantation des forages avec une amélioration du taux de succès en termes de débits exploitables.

Contacts : Jean-Christophe Maréchal, jc.marechal@brgm.fr & Benoît Dewandel, b.dewandel@brgm.fr

Le LISAH gère un observatoire de recherche en environnement intitulé OMERE (Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau, cf. page 11) qui a pour objectif l'analyse de l'impact des actions anthropiques sur l'érosion physique et chimique des sols méditerranéens et sur la qualité de l'eau. Le LISAH développe également depuis 2006 une plateforme de simulation des flux dans les paysages cultivés : la plateforme informatique de modélisation OpenFLUID (*Software Environment for Modelling Fluxes in Landscapes*, cf. page 12). Cette plateforme offre un support logiciel pour la modélisation et la simulation de flux dans le paysage.

Le LISAH est implanté en France sur le campus agronomique de la Gaillarde (Montpellier) et le pourtour méditerranéen. Il collabore avec des institutions de recherche et d'enseignement supérieures tunisiennes et marocaines : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat, Institut national de recherche du génie rural et des eaux et forêts et Institut national agronomique à Tunis, École Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Centre National de Cartographie et de Télédétection. Il travaille également en partenariat avec des acteurs publics et privés opérant dans le domaine de la gestion des ressources en eau et en sol.

Hydrogéologues et économistes au service de la gestion des ressources en eau

L'UPR EAU/NRE : Nouvelles Ressources et Économie de Montpellier est une unité de recherche du service EAU du BRGM qui regroupe 14 personnes pour la plupart permanentes.

L'équipe se compose de huit hydrogéologues et six économistes dont les recherches se focalisent sur la gestion des ressources en eau. L'activité de NRE se décline selon deux axes scientifiques majeurs :

- L'axe 1 consiste à développer des solutions alternatives aux ressources conventionnelles en eau sur lesquelles pèsent des contraintes croissantes telles que le changement climatique, la pression anthropique, l'évolution socioéconomique, l'urbanisation, etc. Plus particulièrement, les travaux visent (i) la caractérisation de la structure et du fonctionnement des aquifères complexes (karst, socle fracturé, milieux volcaniques) afin d'évaluer leurs potentialités, (ii) le développement d'outils de modélisation et d'aide à la décision pour la gestion de ces aquifères et la prévision de l'impact des changements globaux et (iii) le développement de méthodes de gestion active des ressources (recyclage d'eaux usées traitées, de recharge artificielle, de stockage inter-saisonnier et de surexploitation raisonnée).

- L'axe 2 consiste à développer les approches économiques nécessaires à l'évaluation des scénarios de gestion des ressources en eau à l'échelle des bassins. Les recherches portent en particulier sur l'évaluation économique de programmes de mesures et de politiques de gestion de la ressource en fonction des usages, l'optimisation économique de plans de gestion de la ressource *via* des analyses coût-efficacité, l'évaluation des bénéfices dans le cadre d'arbitrages entre développement économique et politique de l'environnement, la comparaison d'approches (analyse des coûts évités), l'évaluation contingente par enquête et l'élaboration de

scénarios d'évolution des usages de l'eau à moyen et long terme (analyse prospective).

Plusieurs chercheurs de NRE participent à des formations continues ainsi qu'au Master EAU de Montpellier et à des formations Master ou ingénieur dans le domaine de l'eau.

L'unité développe un fort partenariat international avec le Centre Franco-Indien de Recherche sur les Eaux Souterraines. Ce laboratoire mixte BRGM-NGRI (*National Geophysical Research Institute*) implanté à Hyderabad dans le sud de l'Inde, a développé une activité de recherche sur les aquifères de socle en région tropicale sur un système d'observation labellisé SOERE (H+). Il s'attache à développer des outils de gestion des nappes aquifères fortement impactées par les pratiques agricoles (pompages pour l'irrigation, pollutions diverses) et les changements climatiques.

L'activité scientifique de NRE est fortement orientée vers la recherche appliquée au service des collectivités locales, des agences de l'eau et des industriels. Plusieurs projets ont conduit au développement de méthodologies pour l'étude des gisements d'eau minérale et leur gestion pour les industriels *Nestlé Waters* et *Danone Eaux France* par exemple. L'unité NRE est par ailleurs impliquée dans le Pôle de compétitivité « Eau » à vocation mondiale. ■

► *Prélèvement d'écoulement dans la zone non saturée d'un karst dans la galerie du Laboratoire Souterrain Bas-Bruit à Rustrel (Vaucluse).*

> LES AQUIFÈRES KARSTIQUES MÉDITERRANÉENS : DES SYSTÈMES COMPLEXES

Les aquifères karstiques représentent une part importante des ressources en eau en France (35 % du territoire) et notamment sur le pourtour méditerranéen (> 50 %). Ces zones sont des objets complexes car hétérogènes (avec des vides de taille variable, depuis la fracture centimétrique jusqu'à l'aven pluri-métrique) et sont caractérisées par un fonctionnement hydrologique particulier. Du fait de leur complexité, ils sont encore globalement sous-exploités. De plus, l'utilisation de cette ressource doit prendre en compte les caractéristiques propres des systèmes karstiques, notamment leur vulnérabilité à la pollution et à la surexploitation. Dans des régions où l'eau est déjà un bien rare et dans un contexte de changement global, une meilleure compréhension de leur fonctionnement est devenue indispensable afin de les exploiter et/ou les protéger de manière optimale et durable. Les unités de recherche régionales développent différentes approches complémentaires en ce sens.

> FONCTIONNEMENT DES AQUIFÈRES COMPLEXES EN MÉDITERRANÉE

Étude du fonctionnement de la zone non saturée des systèmes karstiques

Le fonctionnement de la zone non saturée (ZNS) des systèmes karstiques, qui peut se développer sur plusieurs dizaines, voire centaines, de mètres, est encore mal connu et modélisé, alors qu'il est maintenant acquis qu'elle joue un rôle majeur dans la dynamique des transferts et en termes de stockage.

Du fait du creusement d'une galerie artificielle en dehors de toute considération hydrogéologique, le Laboratoire Souterrain Bas Bruit (LSBB) de Rustrel (Vaucluse) recoupe de façon aléatoire les écoulements au sein du massif calcaire des Monts de Vaucluse sur une longueur de 3 800 mètres entre 0 et 500 mètres de profondeur, permettant un accès direct à la ZNS d'un karst ; ce qui est exceptionnel. Grâce aux mesures directes (géologique, hydrodynamique, hydrochimique) et indirectes (hydro-géophysique) réalisées sur ce site, l'UMR EMMAH développe un modèle de fonctionnement de la ZNS des aquifères karstiques. À terme, il sera possible d'évaluer précisément l'impact de la ZNS sur le fonctionnement global de ces systèmes aquifères. Le site expérimental du LSBB, situé dans le bassin d'alimentation de la Fontaine de Vaucluse, servira de site de référence pour développer ce modèle qui sera ensuite validé et affiné en l'appliquant sur d'autres systèmes.

Au-delà de la notion d'aquifère karstique au sens strict, les travaux sur le bassin versant de la Fontaine de Vaucluse intègrent l'ensemble de son territoire amont, avec des travaux sur sa végétation, l'occupation du sol, la définition et la cartographie d'unités de drainage. L'impact de ce système sur le milieu en aval de la source est également étudié sous différents aspects (annonce de crue, biodiversité et tourisme vert).

**Contacts : Christophe Emblanch, christophe.emblanch@univ-avignon.fr
Charles Danquigny, charles.danquigny@paca.inra.fr
& Kostantinos Chalikakis, konstantinos.chalikakis@univ-avignon.fr**

© UMR EMMAH

Gestion multi-usages de l'aquifère karstique du bassin versant du Lez



© M. Soulié

▲ Source du Lez.

L'axe de recherche « Karst et milieux hétérogènes » du laboratoire HSM s'intéresse tout particulièrement aux transferts souterrains et de surface dans ce type d'environnement. Dans le cadre de ses activités de recherche alliant caractérisation et modélisation d'un point de vue hydrogéologique, hydrologique et hydraulique, le laboratoire participe au projet de recherche « Gestion Multi-usages des Aquifères Karstiques Méditerranéens » coordonné par le BRGM pour l'Agglomération de Montpellier, en collaboration avec l'UMR G-EAU, l'UMR TETIS, Biotope et le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique.

Le projet a débuté en juin 2009 pour une durée de trois ans (financement de l'Agglomération de Montpellier, cofinancement Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Conseil Général de l'Hérault, BRGM). Il concerne essentiellement le bassin versant du Lez (France) ainsi que l'aquifère karstique associé, tant pour des questions de gestion de la ressource que pour la gestion du risque des inondations. Les objectifs généraux du projet sont les suivants :

- 1 parfaire les connaissances du milieu souterrain d'un point de vue hydrogéologique, en améliorant à la fois la connaissance des écoulements souterrains et de la géologie de ce type d'hydrosystème périméditerranéen ;
- 2 évaluer la vulnérabilité de l'aquifère d'un point de vue qualitatif et quantitatif ;
- 3 réévaluer la ressource en eau exploitable au sein de l'aquifère et caractériser les impacts des changements globaux au moyen de différents modèles ;
- 4 caractériser le rôle de l'aquifère karstique dans le régime hydrologique du Lez afin de mieux évaluer l'aléa inondation ainsi que la qualité chimique et écologique du milieu hydrologique ;
- 5 produire un inventaire et un état des lieux de la biodiversité souterraine de l'aquifère du Lez ;
- 6 étudier les effets de la gestion active de l'aquifère karstique sur la diminution des crues à partir de modèles hydrologiques et hydrogéologiques couplés.

**Contacts : Véronique Leonardi, leonardi@msem.univ-montp2.fr
Hervé Jourde, herve.jourde@univ-montp2.fr
& Jean-Christophe Maréchal, jc.marechal@brgm.fr**

La géodésie au service de la ressource en eau en domaine karstique

L'UMR GM (Géosciences Montpellier, équipe « Risques ») mène depuis plusieurs années des recherches originales sur le suivi et la localisation des ressources en eau douce en zone karstique. Dans le cadre de l'OSU OREME, et en partenariat avec l'Institut National des Sciences de l'Univers, l'ORE H+, la Maison de l'Eau et les sociétés imaGeau (Montpellier), MicroG et GWR (États-Unis), Géosciences Montpellier a mis en place en 2011 un observatoire géodésique sur le Larzac afin d'apporter de nouvelles contraintes issues d'observations originales de très haute technologie sur de longues périodes de temps. L'observatoire accueille entre autres le premier gravimètre supraconducteur de nouvelle génération (iGrav) développé par GWR ainsi que l'un des 50 gravimètres absolus existant au monde (MicroG). La mesure de gravimétrie consiste à peser la masse du sol depuis la surface et permet sans forage de déterminer les masses d'eau et leurs variations temporelles. Ce type de mesure s'exporte désormais sur d'autres karsts comme le plateau du Vaucluse, preuve de son succès.

L'observatoire du Larzac se veut aussi un lieu d'accueil pour des chercheurs français ou étrangers souhaitant s'associer aux recherches en cours, que ce soit dans le domaine de la géophysique ou de l'hydrogéologie. L'observatoire est un lieu de formation offrant aux étudiants de l'UM2 et de toute la France, la possibilité de travailler avec des outils de pointe sur des thématiques actuelles. Les données recueillies devront permettre de mieux comprendre et modéliser les aquifères karstiques pour apporter des informations quantitatives pour l'exploitation et/ou la protection des ressources en eau du Larzac et des karsts en général.

Contacts :
**Cédric Champollion, champollion@gm.univ-montp2.fr
& Jean Chéry, jean.chery@gm.univ-montp2.fr**

> FONCTIONNEMENT DES AQUIFÈRES COMPLEXES EN MÉDITERRANÉE

Crues éclair karstiques : de la recherche à l'opérationnel

L'UPR EAU/NRE (BRGM) est impliquée depuis 2004 dans la problématique des crues éclair d'origine karstique. Ces études se sont déroulées au travers de plusieurs projets dont les objectifs ont évolué au cours des années. Un premier projet de recherche pour la Ville de Nîmes (France) visait à comprendre le fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes en crue. Il a mis en évidence le rôle écrêteur de crue lorsque l'aquifère est sous-saturé ainsi que la contribution majeure du système karstique à la genèse des crues dévastatrices nîmoises avec une importante contribution des eaux souterraines lors du pic de crue. Une surveillance étroite des eaux souterraines a alors été proposée aux autorités nîmoises.

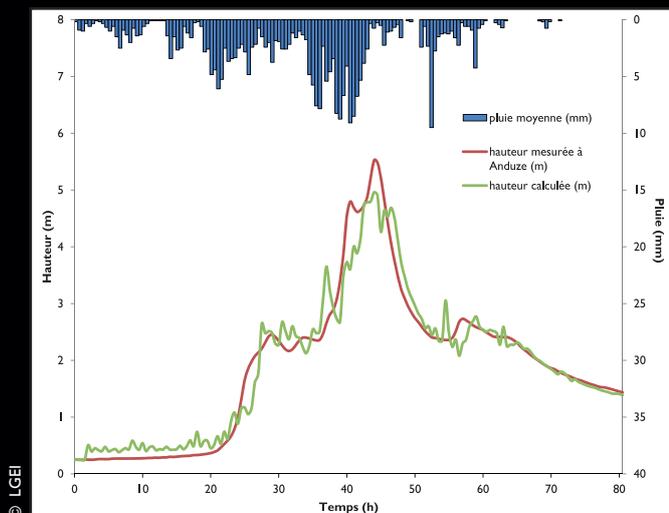
Par la suite, un outil d'aide à la gestion de l'alerte permettant de prédire l'amplitude de la crue a été développé sous la forme d'un abaque. Celui-ci prend en compte l'état de saturation du karst et les prévisions météorologiques en temps réel. Ce type d'approche a été dupliqué sur d'autres bassins versants à composante karstique à la demande du Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations. Les outils développés à destination des prévisionnistes sont actuellement testés dans les Services de Prévision des Crues.

**Contacts : Perrine Fleury, p.fleury@brgm.fr
& Jean-Christophe Maréchal, jc.marechal@brgm.fr**

▲ *Rétro-inondation d'un puits romain durant la crue nîmoise de septembre 2005 – le système karstique se sature et déborde via de nombreux exutoires.*

> RISQUES LIÉS À L'EAU

Prévision des crues en temps réel par réseaux de neurones



▲ Hydrogramme de prévision de crue à 1 heure sans prévision de pluie.

La prévision des crues en temps réel constitue un problème complexe dont les implications économiques et sociétales sont de la plus grande importance. Sa complexité résulte du couplage entre les modèles atmosphériques, les modèles hydrologiques et les modèles hydrogéologiques.

Les sites d'étude et de déploiement des méthodes développées par l'UPR LGEI (EMA) sont les bassins versants du Gardon à Remoulins et ses exutoires amont en France. Ce site est connu pour ses « gardonnades » dévastatrices. D'autres sites seront ensuite étudiés pour valider les modèles proposés : ceux de la

Cèze et de l'Ardèche, également connues pour leurs crues éclair, ainsi que le bassin versant de la Somme, réputé pour ses crues de nappe.

L'utilisation des réseaux de neurones propose une alternative nouvelle : elle consiste à tirer le meilleur parti des données expérimentales enregistrées en construisant des modèles obtenus par apprentissage artificiel. Les premiers résultats montrent que la prévision des crues du Gardon à Anduze peut être effectuée en l'absence de prévision de pluies jusqu'à des horizons assez courts (2 à 3 heures) ; ce qui permet aux autorités de prendre rapidement les premières mesures nécessaires. Cette méthode a pour vocation de permettre d'éditer la carte de vigilance vigicrues® sur internet. Ces recherches sont menées en collaboration avec le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) dans le cadre du projet FLASH (*Flood forecasting with machine Learning, data Assimilation and Semi-physical modeling*) de l'Agence Nationale de la Recherche avec des partenaires nationaux (SCHAPI, École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris, UMR « Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne »).

Contacts : Anne Johannet, anne.johannet@mines-ales.fr & Pierre-Alain Ayrat, pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr

Pour en savoir plus : Toukourou M., 2009. Application de l'apprentissage artificiel aux prévisions des crues éclair. Thèse de doctorat de l'EMA, Alès, France.

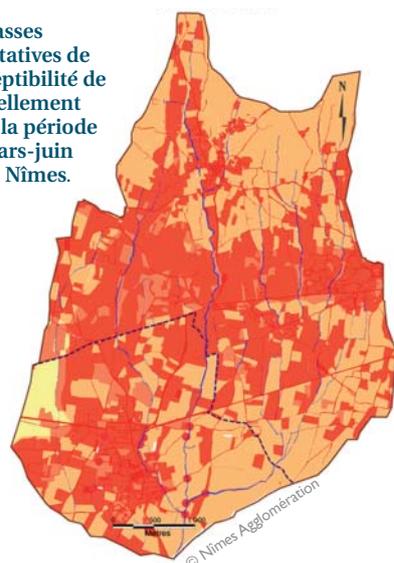
Kong A Siou L., 2011. Modélisation des crues de bassins karstiques par réseaux de neurones. Cas du bassin du Lez (France). Thèse de Doctorat de l'UM2, France.

* www.vigicrues.gouv.fr

> RISQUES LIÉS À L'EAU

Méthodologie pour l'évaluation du risque de ruissellement pluvial

► **Classes qualitatives de susceptibilité de ruissellement pour la période de mars-juin 2011, Nîmes.**



Classes de susceptibilité au ruissellement

- Très forte
- Forte
- Moyenne
- Faible
- Très faible

- Limite bassin versant
- Limite communale
- Réseau hydrographique

Le ruissellement pluvial est un phénomène encore peu pris en compte et peu traité comme un aléa à part entière. Il est souvent confondu ou associé à l'inondation. Pourtant, il peut être à l'origine de très importants dégâts. La complexité du phénomène est liée à son apparition soudaine et très localisée. Il affecte généralement les petits bassins versants, tant urbains que ruraux. Il est d'autant plus difficile de le caractériser qu'il est influencé par de nombreux paramètres physiques, mais surtout parce qu'il est aggravé par les activités humaines.

Les méthodologies couramment employées pour étudier le ruissellement sont basées principalement sur une étude quantitative et/ou des modélisations. Les travaux menés par l'UPR LGEI (EMA) s'orientent vers une approche hydro-géomorphologique pour caractériser et spatialiser le phénomène. Une méthodologie permettant de réaliser un diagnostic pluvial a été établie puis appliquée sur une commune rurale.

L'approche qualitative utilisée permet la réalisation d'un état des lieux général. Tous les types d'informations et de données sont intégrables à la cartographie qualitative. Grâce à cette approche, une analyse spatiale globale a pu être réalisée. Complétée par des mesures de perméabilité, les tendances observées par l'analyse qualitative ont été confirmées.

Contacts : Sophie Sauvagnargues, sophie.sauvagnargues-lesage@mines-ales.fr & Pierre-Alain Ayrat, pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr

Vers la mesure satellitaire du débit des fleuves

Les satellites sont des outils précieux pour quantifier les variables biophysiques à l'échelle globale et suivre leur dynamique spatiale et temporelle. Ils contribuent à la connaissance du cycle de l'eau en mesurant l'humidité atmosphérique, les précipitations, l'humidité des sols, l'évapotranspiration, la topographie des réseaux hydrographiques...

Mesurer le débit des fleuves constitue un enjeu majeur pour les futures missions satellitaires. L'UMR TETIS y consacre des travaux de recherche en partenariat avec le Centre National d'Études Spatiales (CNES), *The French Aerospace Lab* (ONERA) et des acteurs industriels du secteur spatial (*European Aeronautic Defence and Space Company, Thales Alenia Space, Collecte, Localisation, Satellites, Noveltis*), d'une part sur les technologies de mesure des variables de surface des fleuves, d'autre part sur l'intégration de ces variables pour dériver les paramètres hydrauliques des fleuves et en déduire les débits.

Trois familles de techniques spatiales sont en cours de développement. L'altimétrie radar ou Lidar permet de mesurer le niveau des fleuves ; TETIS développe les méthodes de qualification des mesures de niveau et de quantification de leur incertitude. L'interférométrie radar spatiale, objet de la mission *Surface Water and Ocean Topography* (NASA-CNES), permet de mesurer les pentes ; TETIS étudie la rugosité de surface de l'eau, son influence sur la rétrodiffusion radar, et participe à des campagnes aéroportées de validation des dispositifs radar, chaînes de traitement et modèles. Enfin, l'interférométrie temporelle permet la mesure des vitesses de surface ; TETIS participe aux campagnes aéroportées probatoires et explore la modélisation de cette technique sur les fleuves.

Pour estimer le débit des fleuves par mesures satellitaires sans mesures *in situ*, TETIS développe des méthodes d'inversion des équations hydrauliques permettant de déterminer les paramètres de fond (cote, pente, rugosité du fond, profil de vitesse) à partir des seules variables de surface. Ces méthodes fournissent un cadre cohérent pour spécifier les futures missions spatiales et améliorer d'ici 20 ans la connaissance des débits des cours d'eau à la surface de la planète.

Contact : Pascal Kosuth, pascal.kosuth@teledetection.fr

▼ *Rio Madeira, Brésil.*



> RISQUES LIÉS À L'EAU

Utilisation de données satellitaires à très haute résolution : étude de l'origine géomorphologique des chemins de l'eau sur des bassins versants méditerranéens



© P.A. Ayrat

▲ Expériences de jaugeages de débit sous épisodes pluvieux.

L'intensité et la variabilité des précipitations, ainsi que la complexité des processus hydrologiques sur les bassins versants en zone méditerranéenne limitent la prédictibilité des phénomènes extrêmes. Une meilleure compréhension des processus impliqués dans les réponses hydrologiques des bassins versants et responsables de la variabilité spatio-temporelle des chemins de l'eau peut permettre d'améliorer les modélisations de ce type d'évènement. Ces travaux (collaboration UPR LGEI/UMR TETIS) s'insèrent dans le cadre de la géomatique appliquée à l'hydrologie. Ils s'intéressent à l'apport des potentialités satellitaires (notamment des produits 3D à très haute résolution pour la caractérisation spatiale des bassins et de leurs réseaux hydrographiques) à l'étude des origines géomorphologiques des variations spatio-temporelles des réponses hydrologiques.

Un premier axe consiste à caractériser, à partir de données spatiales, le drain « potentiel » représentant le réseau géomorphologique sec formé par la suite continue des lignes de thalweg des bassins. Un algorithme original utilisant une structure de modèle numérique de terrain (MNT) sous forme triangulaire (TIN) a été développé spécifiquement, afin d'obtenir un tracé des réseaux fidèle à leur tracé réel et de fournir des éléments sur leur géomorphologie ainsi que sur celle des bassins. Le deuxième axe concerne l'étude de la dynamique drain en eau ou « réel ». Il s'agit d'améliorer la compréhension des dynamiques spatiales de mise en eau des drains à travers différents épisodes de crue. Dans ce cadre, un réseau spatialisé de capteurs légers a été distribué sur deux bassins expérimentaux (< 1 km²) situés sur le Gardon d'Anduze afin de suivre les variations spatio-temporelles des dynamiques hydrologiques au sein des réseaux en eau.

La confrontation des caractéristiques géomorphologiques et des réponses hydrologiques observées a permis de confirmer la prédominance des écoulements subsurface sur les bassins étudiés, de mettre en évidence deux types de réseaux aux fonctionnements différenciés, l'importante influence des pentes et de leur changement sur l'initiation et la pérennité des écoulements au sein des réseaux, et de proposer des hypothèses de fonctionnements différenciés en fonction des épisodes.

**Contacts : Sophie Sauvagnargues, sophie.sauvagnargues-lesage@mines-ales.fr
Pierre-Alain Ayrat, pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr
Christian Puech, puech@teledetection.fr
& Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr**

> UTILISATION DE L'EAU PAR LES CULTURES

Cartographie de l'évapotranspiration de la vigne à partir d'images satellites

Une méthode simple de cartographie de l'évapotranspiration de la vigne à partir d'images satellites a été mise au point par l'UMR LISAH. L'étude a porté sur la basse vallée de la Peyne, affluent de l'Hérault, où la vigne occupe plus de 70 % de la surface. Douze images ASTER ont été acquises (juillet 2007-octobre 2008). Ces images de température de surface (90 m de résolution spatiale), ont été converties en cartes d'évapotranspirations journalières grâce aux indices WDI (*water deficit index*) et SSEBI (*simplified surface energy balance index*) qui n'avaient jusqu'à présent pas été utilisés sur la vigne. Pour valider ces cartes, un dispositif de mesures a été mis en place sur sept parcelles de vigne, représentatives de la variabilité pédo-paysagère de la vallée de la Peyne. Des mesures directes de l'évapotranspiration, par covariances turbulentes, ont été réalisées sur deux de ces

parcelles. Un suivi régulier de l'évolution de l'humidité des sols et du niveau des nappes a aussi permis d'évaluer avec précision l'évapotranspiration journalière des sept parcelles, via le modèle de transferts hydriques HYDRUS1D. Les cartes d'évapotranspiration issues des images satellites ont pu être validées avec succès, l'indice SSEBI étant légèrement plus précis (0,8 mm/jour) que l'indice WDI (1,0 mm/jour). Les cartes d'évapotranspiration ainsi obtenues présentent une structure spatiale stable dans le temps, semblable à celle de la carte des sols au 1:25 000.

**Contacts : Frédéric Jacob, frederic.jacob@supagro.inra.fr
Philippe Lagacherie, philippe.lagacherie@supagro.inra.fr
& Laurent Prévot, laurent.prevot@supagro.inra.fr**

Spatialisation de l'état hydrique de la vigne

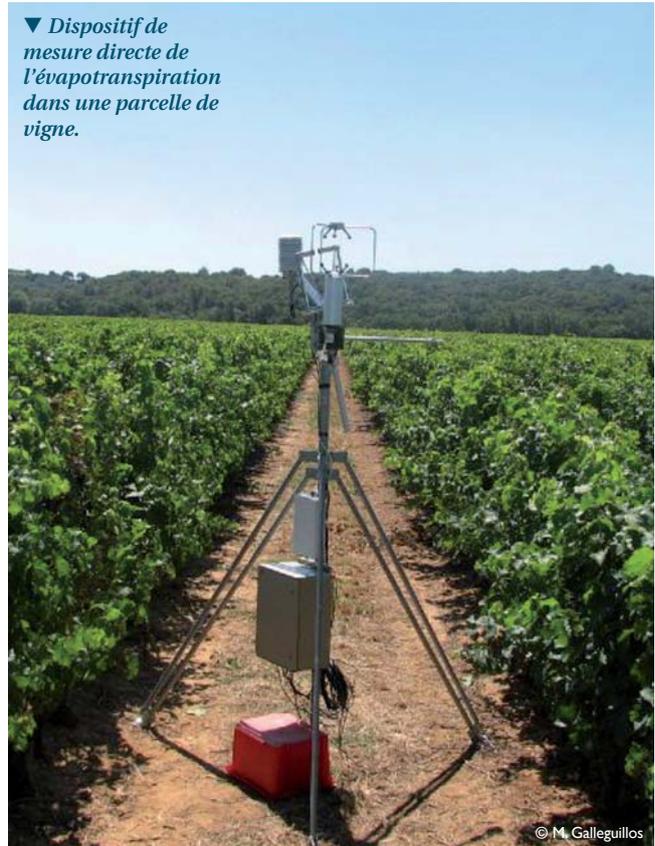
L'état hydrique de la vigne et ses variations spatiales et temporelles déterminent le potentiel quantitatif et qualitatif de la récolte. Ces connaissances sont essentielles afin de déclencher des actions correctives permettant de gérer de façon optimale la qualité du raisin et la ressource en eau dans le cas de l'irrigation. Savoir spatialiser les évolutions de l'état hydrique de la vigne sur les espaces cultivés est aussi un pré-requis incontournable pour diagnostiquer l'état actuel de la ressource en eau et éventuellement prévoir les impacts des changements climatiques dans les milieux méditerranéens cultivés où la viticulture est dominante.

L'objectif de cette recherche (collaboration UMRs ITAP, LISAH, Sciences Pour l'Œnologie, station expérimentale Inra de Pech Rouge, Institut Français de la Vigne et du Vin, Université de Sydney, Australie, Université de Talca, Chili), est de proposer un modèle d'estimation de l'état hydrique de la vigne dans le temps et dans l'espace, utilisable aux échelles de l'exploitation agricole et de l'aire de production et capable de produire une aide à la décision opérationnelle pour le pilotage de la culture. Le projet se positionne ainsi à une échelle intermédiaire intéressante pour les acteurs de la filière viticole.

Ce modèle utilise et met en synergie une nouvelle configuration de données disponibles, désormais envisageable aux échelles visées grâce aux avancées technologiques récentes permettant de caractériser les hétérogénéités des cultures (information aérienne proche infrarouge) et du sol (mesure de conductivité électrique apparente des sols avec une haute résolution spatiale grâce à des capteurs embarqués sur machines mobiles) ainsi qu'à un réseau de mesures locales géo-référencées de suivi de l'état hydrique de la vigne.

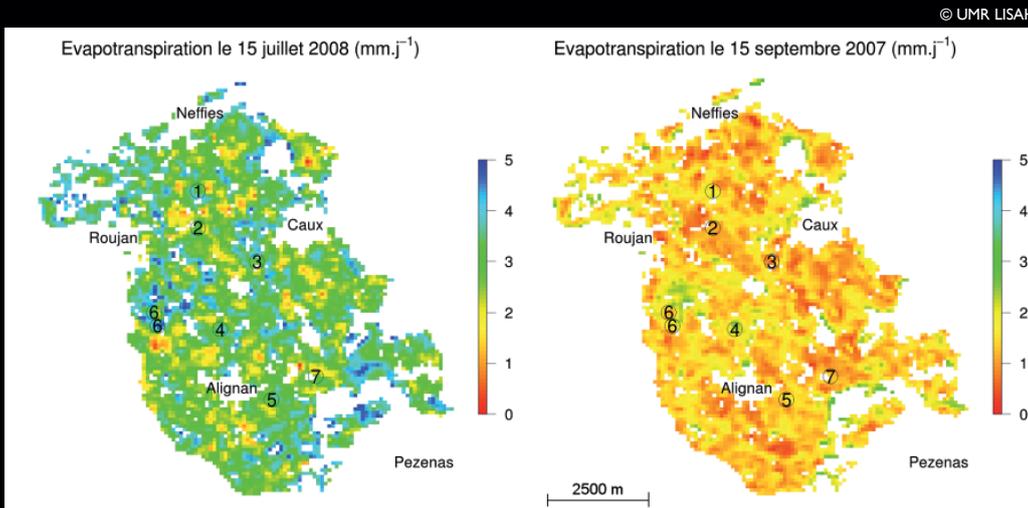
Ces réseaux de capteurs communicants (au niveau du sol et des cultures) permettent d'acquérir des informations en temps réel et en continu (*plant and soil monitoring systems*) et permettent dès à présent le suivi de variables permettant d'estimer de manière indirecte et localement l'état hydrique des plantes.

▼ Dispositif de mesure directe de l'évapotranspiration dans une parcelle de vigne.



L'approche d'extrapolation spatiale d'une mesure de référence a été validée à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation viticole. Elle est en cours de transfert auprès d'un partenaire industriel (Société Fruition Sciences) et de validation à une échelle plus grande (cave coopérative).

Contact : Bruno Tisseyre, tisseyre@supagro.inra.fr



◀ Cartographies de l'évapotranspiration sur la basse vallée de la Peyne et localisation des 7 parcelles de validation.



© D. Lacroix

▲ Cascades en Croatie.

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

Préserver 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.

■ Design de matériaux membranaires et de systèmes multifonctionnels ;

■ Interfaces et physico-chimie des polymères ;

■ Génie des procédés membranaires.

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
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
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
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
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
Aurélia Decherf, aurelia.decherf@teledetection.fr
Pascal Kosuth, pascal.kosuth@teledetection.fr
Nathalie Lalande, nathalie.lalande@teledetection.fr
& **Kenji Osé**, 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

** Pôle *Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment* : 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
www.umr-emma.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
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
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
& **Jochen Froebrich,** jochen.froebrich@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 m²

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>

> 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 & Philippe Cattan, 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
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
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
<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 m² de surface dont 1 882 m² de halle expérimentale, et d'un équipement scientifique et analytique performant, avec plus de 50 digesteurs (1 litre à plusieurs m³) 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 m²) 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



▲ 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
Corinne Casiot, casiot@msem.univ-montp2.fr
& Hélène Fenet, 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 & Karine Alary, 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 & Jérôme Hamelin, jerome.hamelin@supagro.inra.fr



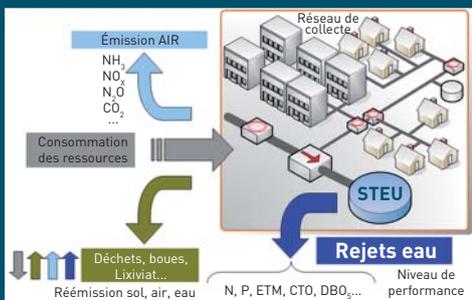
▲ Halle expérimentale du LBE à Narbonne.

© 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
Philippe Roux, philippe.roux@irstea.fr
& Sami Bouarfa, sami.bouarfa@irstea.fr**

* Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment (Iristea, Cirad, EMA, Montpellier SupAgro, Inra) : 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 Castellon 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.

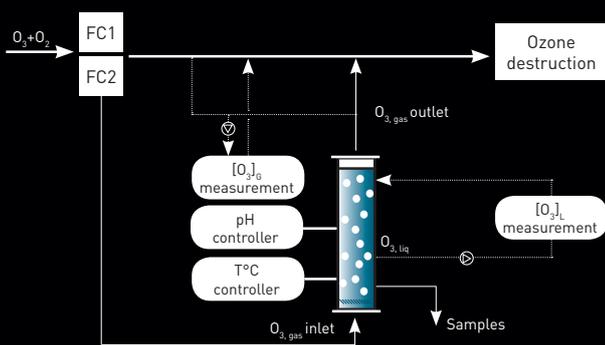


© A. Deratini

Contact :
André Deratini, andre.deratani@iemm.univ-montp2.fr

▲ *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

> VALORISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES ET DES DÉCHETS

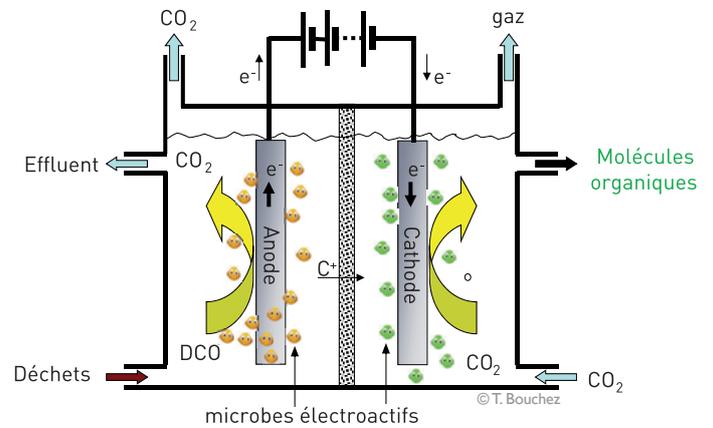
Le projet BIORARE : bioélectrosynthèse pour le raffinage des déchets résiduel

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 plateforme, 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

> 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





T. Ruf © IRD

▲ *Gestion de l'eau au Maroc.*

Gestion des ressources et des usages : *institutions, territoires et sociétés*

La rareté d'une ressource vitale comme l'eau pour l'alimentation des sociétés, pour celle de leurs troupeaux, pour l'arrosage des cultures ou la production d'énergie, les a rapidement conduites à établir des règles d'accès et de partage relevant à l'évidence du champ des sciences économiques, de gestion et sociales. Néanmoins, le recours à ces disciplines pour inverser une tendance à l'épuisement et à la dégradation de cette ressource naturelle a longtemps été l'objet de questionnements, voire de controverses.

La virulence du débat entre tenants d'une priorité aux sciences hydrologiques et tenants d'une mobilisation des sciences « non dures » s'est atténuée avec la prise de conscience de la rareté croissante de la ressource en eau au vu de l'assèchement des cours d'eau et des zones humides en période d'étiage, puis des conflits d'usages notamment dans des contextes méditerranéens et semi-arides.

La gestion de la demande en eau, dénommée « GDE » dans le jargon des sciences de l'eau, porte l'idée que réaliser des économies d'eau constitue un préalable à la mobilisation de ressources nouvelles, ou alternatives, dans l'objectif d'atteindre une gestion équilibrée de la ressource en eau et des usages associés. C'est ce constat qui conduit les directeurs de l'eau des pays méditerranéens réunis à Fréjus en 1997, à prôner la mise en œuvre du concept de GDE. Certains auteurs préconisent d'éviter le gaspillage de l'eau, voire de réaliser des économies, au sein de chaque usage, en utilisant des technologies et des incitations adaptées, ainsi que par une gestion intersectorielle en transférant, par exemple, des droits d'usage de l'agriculture, première consommatrice d'eau, vers des usages jugés plus « utiles » comme l'alimentation en eau potable des villes.

Les scientifiques empruntent alors les cadres des sciences économiques, sociales et de gestion pour comprendre, formaliser ou réguler les comportements, individuels ou collectifs, d'allocation et de consommation, dans le sens d'une économie d'eau aux échelles adéquates. Nous assistons bien à une rupture des approches en considérant, en plus des actions nécessaires à la mobilisation de la ressource, celles influant sur la demande à différentes échelles et de manière intersectorielle.

Ce changement de paradigme traduit une nouvelle façon de considérer la gestion des ressources en eau. Il est de plus en plus approprié par les acteurs du domaine. Il se retrouve progressivement dans les textes réglementaires, notamment la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE, 2000), qui est la première directive à s'appuyer aussi largement sur des concepts économiques, qui impose *a minima* des incitations à économiser l'eau au travers d'instruments tarifaires et qui préconise la gestion concertée et l'instauration d'une participation du public.

La communauté scientifique régionale dépasse, par l'étendue et la variété de ses travaux, la simple question de la GDE. Elle dispose en effet de nombreux atouts qui lui permettent :

- de contribuer à l'élaboration des politiques publiques environnementales et en particulier à leur articulation avec les politiques territoriales de développement économique, d'aménagement et d'urbanisme. Elle conduit à analyser les conditions d'une gouvernance de la ressource, des usages et des services pour l'atteinte des objectifs de qualité de l'eau et des milieux aquatiques, partagés par les acteurs aux échelles territoriales adaptées et à en dériver des modalités renouvelées de gestion et de concertation ;
- de concevoir une large gamme d'instruments réglementaires, économiques, institutionnels ou techniques susceptibles de soutenir la mise en œuvre et l'efficacité des politiques environnementales au niveau des « territoires de l'eau ». La production d'innovations dans ce domaine repose notamment sur le développement de plateformes de modélisation et de simulation permettant d'étudier les interactions entre les mécanismes biophysiques et les processus décisionnels, entre les différents niveaux de gestion et de décision, et d'accompagner les processus décisionnels des acteurs.
- La majorité des unités intervient sur un ou plusieurs terrains méditerranéens dans le cadre de projets de recherche internationaux et aborde fréquemment dans ce contexte, la gestion des risques et la vulnérabilité des territoires liés aux inondations et aux sécheresses. Selon les prévisions du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, ces événements extrêmes se renforceraient, rendant encore plus nécessaires l'amélioration de la résilience des territoires et le développement de leur capacité d'adaptation à moyen terme.

En parcourant les axes de recherche des unités et les projets de recherche inclus dans ce chapitre, deux caractéristiques des travaux de recherche se dégagent nettement :

- Le territoire, lieu d'articulation des politiques environnementales et des autres politiques publiques, est un angle d'approche quasi systématiquement considéré. Il en découle une importance grandissante des observatoires, de la gouvernance et de la maîtrise de l'information spatialisée.
- Les travaux sont réalisés à l'interface de plusieurs disciplines, soit en interne au sein des unités lorsqu'elles sont pluridisciplinaires, soit par le biais de collaborations, et témoignent d'un développement récent et remarquable de la pluridisciplinarité entre sciences hydrologiques (*sensu lato*) et sciences économiques, de gestion et sociales.

Avec ces qualités et l'appui d'un pôle de compétitivité mondial sur l'eau, la communauté scientifique régionale apparaît configurée pour contribuer à la résolution des défis posés par la société et la dégradation des ressources en eau.

Gestion des ressources et des usages : *institutions, territoires et sociétés*

Gestion durable *des ressources en eau, acteurs et usages*

L'UMR G-EAU : Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages (AgroParisTech, Irstea, Ciheam-IAMM, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro) se propose d'apporter des connaissances et d'identifier des leviers d'action pour une gestion durable des ressources en eau. Les continents européen et africain sont privilégiés avec un focus en Méditerranée. L'ambition est de développer des approches pluridisciplinaires alliant sciences de l'univers (hydrologie, hydraulique), de l'ingénieur (automatique, mécanique des fluides), du vivant (agronomie, hydrobiologie) et humaines et sociales (économie, sociologie, science politique). La modélisation est un médiateur entre disciplines et entre chercheurs et parties prenantes. Les activités de recherche de l'UMR sont structurées en trois axes auxquels s'ajoute un 4^e axe transversal dédié aux formations.

Les recherches de l'axe 1 « de la gestion opérationnelle à l'analyse de scénarios d'allocation des ressources », visent à améliorer la gestion d'une eau rare par une approche biophysique principalement quantitative ; les aspects qualitatifs étant abordés du point de vue hydrobiologique. L'UMR s'intéresse à l'eau ressource, en mouvement rapide (rivières, conduites) ou lent (aquifères), en stockage provisoire dans les retenues, dans des régions marquées par la pénurie d'eau. Les enjeux de gestion nécessitent deux types d'approche : (1) régulation de systèmes naturels ou artificiels pour une gestion opérationnelle en « temps réel » ; 2) analyse et prise en compte des impacts des changements globaux

dans la gestion stratégique des bassins anthropisés (échelles temporelles plus vastes). Les outils et démarches vont de la production de données par instrumentation de terrain jusqu'à la modélisation physique.

Les recherches de l'axe 2 « politiques publiques, gestion de services et risques liés à l'eau » abordent d'une part l'action publique, la régulation et la gouvernance multi-niveaux et d'autre part les comportements et la vulnérabilité face aux risques. Concernant l'action publique, l'unité s'intéresse plus particulièrement (i) aux équipements et à l'analyse des dynamiques institutionnelles dans la mise en œuvre d'actions collectives ; (ii) à la construction et au rôle des observatoires et des indicateurs dans le domaine de l'eau ; (iii) à la régulation et à la durabilité des services d'eau ; (iv) aux approches économiques et institutionnelles des relations entre agriculture et services rendus par les hydrosystèmes. Concernant les comportements, il s'agit de qualifier la demande en eau de différents usages pour évaluer leurs sensibilités à différentes formes de régulation ou d'analyser les dimensions économiques et sociales des vulnérabilités face aux risques (inondations, pollutions).

Les recherches de l'axe 3 « agricultures irriguées » abordent les pratiques d'irrigation à trois niveaux, du matériel aux territoires irrigués avec un focus sur les exploitations agricoles à travers trois thématiques : (i) l'analyse des processus physiques pour la conception et la durabilité des équipements d'irrigation ; (ii) l'évaluation multicritère et multi-échelle des performances des systèmes irrigués ; (iii) l'accompagnement des innovations techniques et institutionnelles en territoires irrigués. ...

Les équipes principales

UMR ART-Dev

**Acteurs, Ressources et Territoires
dans le Développement**
(CNRS, UM3, Cirad, UM1, UPVD)
55 scientifiques

Directrice : Geneviève Cortès
genevieve.cortes@univ-montp3.fr
<http://recherche.univ-montp3.fr/artdev>

► Présentation page 48

UMR ESPACE-DEV

Espace pour le développement
(IRD, UM2, UAG, UR)
60 scientifiques

Directeur : Frédéric Huynh
frederic.huynh@ird.fr
www.espace-dev.fr

► Présentation page 47

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
www.g-eau.net

► Présentation page 40

UMR GRED

**Gouvernance, Risque, Environnement,
Développement**
(IRD, UM3)
59 scientifiques

Directeur : Francis Laloe
francis.laloe@ird.fr
www.gred.ird.fr

► Présentation page 42

UPR GREEN

**Gestion des ressources naturelles
renouvelables et environnement**
(Cirad)
14 scientifiques

Directrice : Martine Antona
martine.antona@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/green

► Présentation page 49

... suite page 22



T. Ruf © IRD

▲ Assèchement du sol
dans la vallée du Tafilalet au Maroc.

> PRÉVENTION ET GESTION DES RISQUES LIÉS À L'EAU

Sécheresses et conflits

Le changement climatique va générer un accroissement dans le nombre d'événements climatiques anormaux, comme les sécheresses, les inondations et les ouragans. Ces anomalies climatiques pourraient avoir des conséquences désastreuses pour les pays ayant une offre d'eau potable faible ainsi que pour les économies qui dépendent de l'agriculture locale. Étant donné que les activités agricoles constituent 60 à 100 % du revenu des foyers africains les plus pauvres et que ces foyers n'ont souvent pas accès à l'eau potable, l'Afrique subsaharienne est l'une des régions du monde les plus affectées par le changement climatique. Il y a aujourd'hui un consensus que la sécheresse (et la désertification) est une des causes qui ont contribué à la guerre civile du Darfour car la sécheresse a accru les tensions liées à l'utilisation des terres arables et de l'eau, même si cette guerre a opposé deux ethnies différentes. On peut donc penser que le climat peut générer des conflits en accroissant la compétition pour les ressources.

Des recherches menées par le LAMETA analysent les liens existant entre le climat et l'occurrence de guerres civiles en Afrique sub-saharienne. Ces recherches font partie d'un

ensemble plus large de travaux récents de la littérature (publiés dans *Nature* par exemple) sur le rôle des facteurs naturels dans l'émergence des conflits. Les recherches antérieures ont étudié le lien entre les anomalies climatiques de court terme et l'occurrence des guerres civiles et elles ont utilisé uniquement les données brutes de précipitation et de température. Autrement dit, la littérature s'est focalisée sur l'effet de « chocs » climatiques, et aucun consensus n'a pu émerger sur l'existence même du lien. Dans nos recherches, nous nous focalisons sur la sécheresse vue comme un « stock » et non pas sur les chocs climatiques. L'indice de sécheresse de Palmer* est utilisé. Celui-ci est particulièrement bien adapté pour appréhender les conséquences des variations climatiques sur l'activité agricole tout en prenant en compte le fait que la sécheresse est un phénomène cumulatif. Les résultats démontrent l'existence d'une relation positive entre sécheresse et guerre civile et, à l'inverse des études précédentes, le résultat est très robuste.

Contact : Raphaël Soubeyran, soubeyra@supagro.inra.fr

* Voir Palmer, W., 1965. Meteorological drought. *Research Paper 45, US Dept. of Commerce*

Prévention et lutte contre les inondations, les pollutions et la submersion marine en Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur



© UMR LGEI

▲ Dispositif de mesure dans le cadre du projet HYDROGUARD.

Le projet HYDROGUARD* (2009-2012, projet labellisé par le Pôle de compétitivité « Gestion des risques et vulnérabilité des territoires ») vise à développer un système de surveillance fiable, autonome et automatisé des cours d'eau et du trait de côte des régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur. Plus généralement, il souhaite permettre aux collectivités locales d'assurer une gestion durable des masses d'eaux et des territoires. Les installations peuvent être fixes ou mobiles, sur bouée, et déployées dans les lieux sensibles, ou transportables et installées sur des zones variables lors des alertes.

Pour rentabiliser l'investissement, les balises, équipées de détecteurs /capteurs, de systèmes embarqués de communication et de calcul, ne servent pas uniquement en cas d'alerte (crues ou tempêtes), mais aussi en temps normal pour détecter les pollutions, suivre l'évolution des masses d'eaux et du trait de côte, ou bien effectuer des mesures sur l'érosion ou tout autre indicateur pertinent. Ces équipements pourront ainsi s'intégrer dans des stratégies de surveillance, d'alerte (notamment en matière de lutte contre les inondations, la submersion marine) et de gestion des masses d'eau. Ce nouveau dispositif est cohérent avec la législation européenne, nationale et les normes en vigueur. En cas d'alerte, le dispositif proposé est l'outil privilégié pour anticiper les actions, contribuer à la prise de décision, et orienter les secours grâce aux informations acquises via les détecteurs/capteurs. Hors alerte, le système remonte des informations pertinentes vers les services de l'État, des collectivités, les particuliers, les gestionnaires de sites industriels et les délégataires de services. L'originalité du système réside dans sa décentralisation, sa proximité, sa redondance et son interopérabilité avec d'autres systèmes existants (CEMER, ALADIN...).

L'échelle communale est visée par ce projet au travers de deux sites pilotes (la commune d'Alès, l'Étang de Thau avec ses communes riveraines). Ces zones sont de bons exemples des problématiques de gestion des masses d'eaux, des risques de crues rapides, de submersion marine et lagunaire et de rupture du cordon duinaire, avec des enjeux forts en termes de facteurs humains, de tourisme et d'économie.

Des outils de visualisation et de surveillance 2D/3D seront associés au système et permettront de visualiser les zones à surveiller en utilisant des flux de visualisation adaptés, et de synthétiser en temps réel les données des balises à destination des utilisateurs finaux.

Contacts : Pierre-Alain Ayrat, pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr & Catherine Gonzalez, catherine.gonzalez@mines-ales.fr

* HYDROGUARD : Équipements et technologies autonomes pour une gestion optimisée des moyens de prévention et de lutte contre les inondations, les pollutions, et la submersion marine en LR et PACA

L'unité dispose de quatre sites expérimentaux : le laboratoire d'études et de recherche des matériels d'irrigation, le canal de Gignac pour la régulation des canaux et les domaines du Merle et de La Valette pour l'étude des transferts d'eau et de solutés sous irrigation.

G-EAU contribue à l'élaboration du Programme SICMED (Surfaces et Interfaces Continentales en Méditerranée). Au niveau international, ses principaux partenaires sont l'université de Wageningen et l'université technologique de Delft aux Pays-Bas, l'UFZ (*Umweltforschungszentrum*) de Leipzig en Allemagne, le CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) et l'université nationale en Australie.

Gouvernance et gestion des ressources en eau

L'UMR GRED : Gouvernance, Risque, Environnement, Développement (IRD, UM3) a pour champ général d'investigation les relations des sociétés à « l'environnement » et les relations entre les membres de ces sociétés dans leur rapport à « l'environnement ».

Ce champ relève de la « question socio-environnementale », articulant gouvernance et environnement. Sur le plan scientifique, il s'agit de comprendre comment les nouvelles contraintes et vulnérabilités modifient la gouvernance et la gestion des territoires et des ressources.

Les équipes principales

UMR LAMETA

Laboratoire Montpellierain d'Économie Théorique et Appliquée

(CNRS, Inra, Montpellier SupAgro, UMI)
50 scientifiques

Directeur : Jean-Michel Salles
sallesjm@supagro.inra.fr
www.lameta.univ-montp1.fr

► Présentation page 44

UMR TETIS

Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale

(AgroParisTech, Cirad, Irstea)
70 scientifiques

Directeur : Jean-Philippe Tonneau
jean-philippe.tonneau@cirad.fr
http://tetis.teledetection.fr

► Présentation page 46

... suite page 44

Trois axes structurent l'UMR :
 (1) Conservation de la biodiversité et dynamique des systèmes ruraux ;
 (2) Gouvernance et gestion des ressources et des territoires ;
 (3) Risque et vulnérabilité des sociétés et des territoires. Des actions transversales portent sur des thèmes généraux d'animation (conflits et accès aux ressources...) et/ou des chantiers relatifs à des milieux spécifiques (forêts...) communs aux trois axes. Les recherches menées par l'UMR sur la thématique de l'eau s'inscrivent dans l'axe 2 de recherche. En effet, la gouvernance de l'eau et des hydrosystèmes constitue à la fois un objet prioritaire pour les politiques publiques de développement et un enjeu stratégique dans la dynamique des sociétés, que révèlent les

conflits fréquents associés à l'accès aux ressources territoriales et aux discriminations dans cet accès.

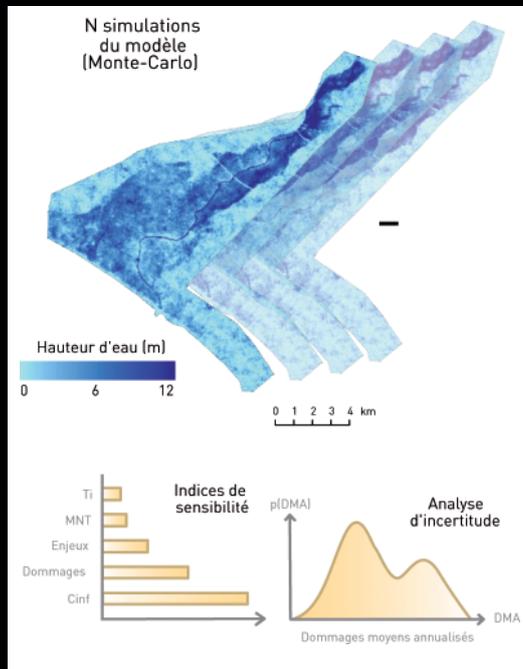
L'équipe « Gestion sociale de l'eau » se consacre aux sociétés rurales, à l'étude des mutations qui les affectent dans le cadre d'une pression croissante sur la ressource mais aussi de changement dans leur environnement économique et sociopolitique. Ces recherches portent en particulier sur les enjeux de la répartition des ressources et du pouvoir décisionnel entre les acteurs publics, privés et communautaires. Elles abordent les modes de coordination et de médiation des acteurs face aux conflits d'usage qui se renouvellent, provoquant ainsi changements et innovations, et s'inscrivent dans une approche

contextualisée et processuelle, ancrée dans l'historicité des trajectoires et des situations. Elles portent un intérêt particulier aux stratégies des acteurs individuels et collectifs qui, tout à la fois, sont contraints par les matrices institutionnelles existantes et interviennent à différentes échelles pour les faire évoluer.

L'équipe s'intéresse également à la définition des politiques publiques, et donc à l'État en tant qu'acteur central de la transformation des régimes hydriques et de la mise en place de règles formelles et de structures incitatives. Elle questionne ainsi la distribution sociale des coûts et des bénéfices attachés aux différentes options de politiques publiques et les dimensions idéologiques et cognitives des politiques publiques. ...

> PRÉVENTION ET GESTION DES RISQUES LIÉS À L'EAU

Évaluation économique des politiques de gestion des inondations : analyse de sensibilité spatiale de l'outil d'analyse coût-bénéfice – dommages évités



En France, dans le cadre de la gestion des inondations, l'État prévoit que soit systématiquement réalisée une évaluation de la pertinence économique des politiques mises en œuvre. À cette fin, il est prévu de mettre à disposition des maîtres d'ouvrage un outil d'analyse coût-bénéfice basée sur la méthode des dommages évités (outil ACB-DE). Cet outil produit divers indicateurs spatialisés qui visent à comparer l'efficacité économique de différentes politiques de prévention du risque d'inondation. Ces indicateurs s'appuient sur l'estimation des dommages potentiels liés à différents scénarios de crues ; ils sont évalués par croisement de données spatialisées relatives à l'aléa, à l'occupation du sol et à la vulnérabilité des enjeux.

La maîtrise des incertitudes de cet outil est un enjeu particulièrement important pour la quantification de ses performances. Au travers d'une collaboration scientifique avec les partenaires du Plan Rhône, un acteur en pointe du développement de l'ACB-DE en France, l'Irstea, en partenariat avec AgroParisTech et l'UM2, a développé un cadre permettant une telle analyse des incertitudes ainsi qu'une analyse de la sensibilité des indicateurs économiques à ces sources d'incertitude. Cette collaboration scientifique est construite de façon à organiser le transfert des connaissances produites vers le monde opérationnel, sous la forme d'un guide méthodologique et d'un outil informatique pour faciliter la mise en œuvre de l'ACB-DE, des analyses d'incertitudes et de sensibilité associées.

D'un point de vue scientifique, les développements en cours explorent par exemple l'influence croisée de la nature des données utilisées sur l'étendue spatiale du territoire étudié et la résolution des indicateurs produits. Les résultats permettront d'orienter la stratégie future de l'État ou du Plan Rhône quant à la production de données et aux niveaux de précision requis pour la mise en œuvre d'études ACB-DE.

Contacts :
Nathalie Saint-Geours, nathalie.saint-geours@teledetection.fr
Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr
& Frédéric Grelot, frederic.grelot@irstea.fr

N. Saint-Geours © UMR TETIS

▲ **Modèle d'évaluation des dommages dus aux crues sur la basse vallée de l'Orb (Hérault).**
 La masse bleue est une carte des hauteurs de submersion pour une crue modélisée sur la basse vallée de l'Orb. Les graphiques représentent respectivement l'incertitude sur les dommages totaux dus à cette crue (qui sont calculés par un modèle nommé ACB-DE), et les indices de sensibilité des différentes données d'entrée utilisées dans ce modèle.



▲ Irrigation dans le Lot.

Autres équipes concernées par ce thème

UPR EAU/NRE

Eau : **Nouvelles Ressources et Économie** (BRGM)

14 scientifiques

Directeur : **Jean-Christophe Maréchal**

jc.marechal@brgm.fr

► Présentation page 16

UMR HSM

HydroSciences Montpellier

(CNRS, IRD, UM1, UM2)

57 scientifiques

Directeur : **Éric Servat**

eric.servat@msem.univ-montp2.fr

www.hydrosciences.org

► Présentation page 8

UMR ITAP

Information - Technologie - Analyse environnementale - Procédés agricoles

(Irtsea, Montpellier SupAgro)

40 scientifiques

Directeur : **Tewfik Sari**

tewfik.sari@irstea.fr

www.irtsea.fr/itap

► Présentation page 28

UMR LISAH

Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème

(Inra, IRD, Montpellier SupAgro)

34 scientifiques

Directeur : **Jérôme Molénat**

jerome.molenat@supagro.inra.fr

www.umr-lisah.fr

► Présentation page 15

UPR LGEI

Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel

(EMA)

45 scientifiques

Directeur : **Miguel Lopez-Ferber**

miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr

www.mines-ales.fr/LGEI

► Présentation page 12

L'économie pour améliorer la gestion de l'eau agricole

L'UMR LAMETA : Laboratoire Montpellierain d'Économie Théorique et Appliquée (CNRS, Inra, Montpellier SupAgro, UM1) a un de ses cinq axes de recherche qui porte sur les politiques de « développement durable et gestion des ressources naturelles », plus particulièrement sur les instruments économiques d'amélioration de la gestion qualitative et quantitative de l'eau en relation avec les activités agricoles.

Le LAMETA développe des programmes de recherche communs avec diverses UMR du pôle Agropolis : l'UMR LISAH pour les aspects hydrologiques et l'UMR System pour les aspects agronomiques ; l'UMR G-EAU pour les sciences sociales et la modélisation des systèmes. Ces cinq dernières années ont aussi vu le renforcement de ses coopérations internationales en particulier avec diverses institutions australiennes (*Ministry of primary products of Victoria State, University of Melbourne, University of Western Australia, Australian National University, University of Sydney*) qui se traduisent par des séjours croisés de chercheurs et de doctorants.

Les recherches du LAMETA sur l'eau combinent trois types d'approches :

- Des approches théoriques en microéconomie et économie

publique permettent d'analyser l'efficacité des outils de gestion de l'eau et des mécanismes proposés en situation d'information incomplète entre usagers agricoles et puissance publique, et en situation d'incertitude sur la ressource. Dans le cadre du projet européen NOVIWAM (*Novel Integrated Water Management Systems for Southern Europe*), des nouvelles formes de tarification ont été développées qui incitent les agriculteurs à « réserver » à l'avance les volumes d'irrigation dont ils veulent garantir la disponibilité.

- Des approches en économie expérimentale, en laboratoire et sur le terrain, avec des usagers de l'eau, permettent de mieux évaluer leur comportement face aux instruments proposés. Ces outils font partie de la classe des « *testbed experiments* » qui permettent de tester le comportement des agents économiques face à des interventions publiques. Le LAMETA s'est doté d'un laboratoire d'économie expérimentale sur le site de Richter (LEEM, Montpellier) et d'un laboratoire mobile pour faciliter les expériences de terrain.

- Des approches de modélisation intégrée, qui exigent de se coordonner avec d'autres disciplines (hydrogéologie, agronomie, biologie des écosystèmes aquatiques, écologie, etc.) et qui s'appuient, le plus souvent, sur des études de terrain approfondies. Ces modèles prennent en compte les interdépendances entre occupation de l'espace, aménagement du territoire et programmes de gestion de l'eau. ...

Projet RISECO : contributions de l'économie des ressources à la gestion de la rareté de l'eau et des risques de sécheresse

Les épisodes récents des sécheresses en France (2003, 2004, 2005, 2006, 2011) ont rappelé l'impact important que ce phénomène avait sur l'agriculture, principal consommateur de l'eau et principal secteur économique concerné. À de nombreux endroits, les sécheresses se sont prolongées sous forme de pénuries structurelles, comme en témoigne le remplissage insuffisant des réservoirs ou nappes habituellement sollicités pour l'irrigation. De plus, les études sur le réchauffement climatique laissent présager un accroissement de la variabilité et des extrêmes à l'origine des sécheresses. Il est alors important de disposer de moyens qui permettent de réguler efficacement la demande en eau.

Le projet RISECO (projet ANR Jeunes Chercheurs) propose une analyse économique des problèmes de pénurie d'eau et des risques de sécheresse en France. Il rassemble des économistes des UMR G-EAU et LAMETA ainsi que de l'Irstea, l'Inra et Montpellier SupAgro. Le projet s'appuie sur des méthodes de modélisation dynamique, d'analyse économétrique et d'économie expérimentale. Le fonctionnement de différents instruments économiques est analysé et leur efficacité évaluée vis-à-vis de

la gestion de la pénurie d'eau et du risque de sécheresse. Le projet propose, par exemple, une étude du rôle de l'irrigation et de l'assurance récolte dans les stratégies de gestion du risque de sécheresse de l'agriculteur. Il évalue la capacité de différents droits d'eau à partager à la fois le risque et la ressource. Il étudie l'intérêt de systèmes de droits d'accès à l'eau avec différents niveaux de garantie d'approvisionnement qui permettraient ainsi aux agriculteurs de se constituer un « portefeuille de droits » plus ou moins sûrs en fonction de leur gestion du risque de pénurie. Enfin, il propose une méthode originale de tarification de l'eau qui se fonde sur une différenciation du prix de l'eau lorsque la disponibilité de la ressource est aléatoire. Ces questions ont des applications pratiques sur le terrain, pour la gestion des volumes prélevables par les organismes uniques ou pour la tarification de l'eau par les sociétés d'aménagement régional.

Contact :
Katrin Erdlenbruch, katrin.erdenbruch@irstea.fr

Pour plus d'informations : <https://riseco.cemagref.fr>

▼ Arrêtés de limitation des usages de l'eau en juillet 2011.

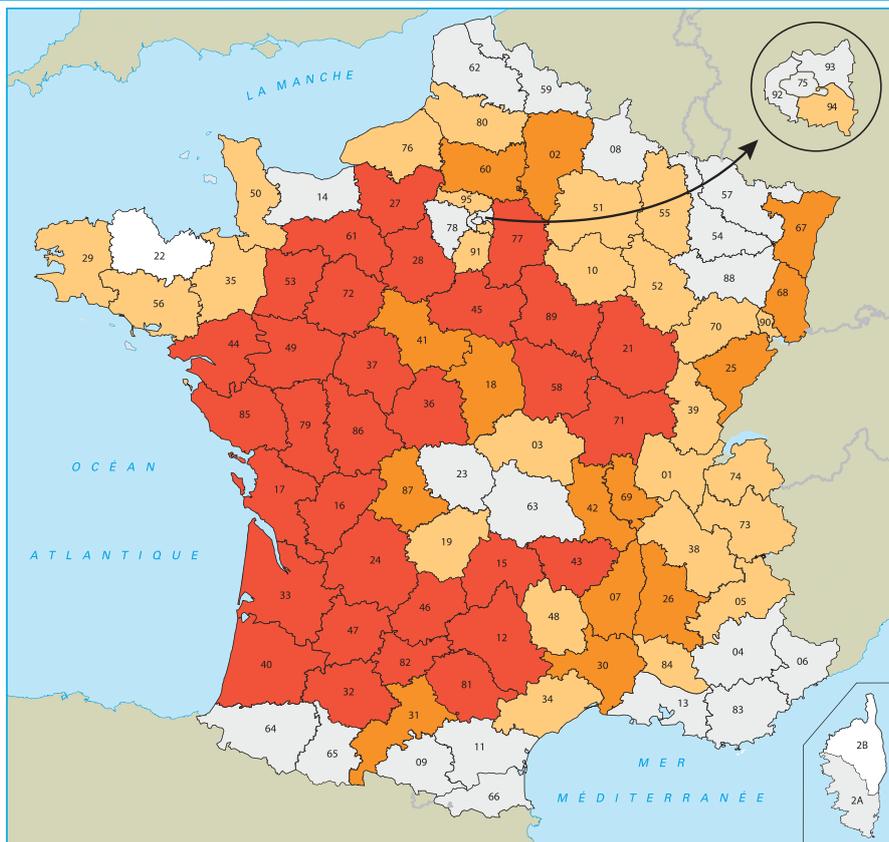
ÉTAT DES ARRÊTÉS DE LIMITATION DES USAGES DE L'EAU

71 DÉPARTEMENTS SONT CONCERNÉS PAR AU MOINS UN ARRÊTÉ PRÉFECTORAL EN VIGUEUR AU 11 JUILLET 2011 ET LIMITANT CERTAINS USAGES DE L'EAU. 7 DÉPARTEMENTS SONT EN VIGILANCE.

État des arrêtés de limitation des usages

- Néant  Aucun arrêté
- Mesures planifiées  Mesures de limitation des usages non effectives mais des mesures ont été planifiées à long terme en cas de nécessité (arrêtés-cadres)
- Mesures effectives
 -  Niveau 1 - mesures limitées : toutes mesures de limitation des usages inférieures ou égales à 1j/7 ou à 15 % du volume sur au moins un bassin versant
 -  Niveau 2 - mesures fortes : mesures de limitation des usages supérieures ou égales à 1j/7 sur au moins un bassin versant mais inférieures à 5j/7
 -  Niveau 3 - mesures très fortes : mesures de limitation des usages supérieures ou égales à 5j/7 jusqu'à restriction totale sur au moins un bassin versant
-  Nouveaux départements concernés (delta entre le 8 juillet et le 11 juillet 2011 : aucun)

Source des données : préfectures
Fonds cartographiques : IGN - BD GEOFLA©



DICO/MAISO/CAR/11055 - juillet 2011

Ressources en eau : préservation et gestion

> PRÉVENTION ET GESTION DES RISQUES LIÉS À L'EAU

Systèmes d'allocation des contrats agro-environnementaux pour limiter la pollution des eaux par les pesticides



Le projet POPS « Systèmes de Production en Grandes Cultures, Environnement Politiques Publiques » (2009-2013) est financé par l'ANR et coordonné par l'UMR « Économie publique » (Inra Versailles-Grignon). Il rassemble des économistes et des agronomes. Ce projet vise à (1) créer des méthodes pour concevoir des systèmes de cultures écologiquement performants, utilisant moins de pesticides, (2) étudier les conditions socioéconomiques de l'émergence, du développement et de l'adoption de tels systèmes, (3) évaluer l'impact des politiques actuelles d'accompagnement

d'Ecophyto2018 et proposer de nouvelles politiques publiques plus efficaces.

Le LAMETA travaille plus spécifiquement sur les raisons de la faible contractualisation des mesures agro-environnementales territorialisées de réduction des pesticides sur les territoires à enjeu « eau ». Il propose des systèmes d'allocation de contrats agri-environnementaux, individuels ou collectifs, plus performants et plus motivants pour le monde agricole (plus spécifiquement dans les territoires viticoles du Languedoc-Roussillon). Le LAMETA participe aussi à une expérience pilote de « mise aux enchères » de contrats de remise en herbe auprès des agriculteurs, en relation avec l'Agence de l'Eau Artois-Picardie.

**Contacts : Sophie Thoyer, thoyer@supagro.inra.fr
Raphaele Preget, preget@supagro.inra.fr
& Laure Kuhfuss, kuhfuss@supagro.inra.fr**

▲ Annonce d'enchères pour la création de couverts herbacés dans la plaquette de présentation du programme "eau et agriculture 2010-2012".

Maîtriser l'information spatiale pour connaître et gérer les ressources, les milieux et les territoires

L'UMR TETIS : Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (AgroParisTech, Cirad, Irstea) a pour objectif de développer les méthodes de maîtrise de l'information spatiale au service de la connaissance et de la gestion des milieux et des territoires. Dans le cadre de recherches conceptuelles, méthodologiques et thématiques, l'UMR met en œuvre une approche intégrée de la chaîne de l'information : l'acquisition – notamment satellitaire – de données spatialisées ; l'analyse et la modélisation spatio-temporelle des systèmes agro-environnementaux et territoriaux ; la conception et la gestion des systèmes d'information ; les processus d'appropriation et d'utilisation de l'information spatiale par les acteurs territoriaux.

L'UMR mène des recherches concernant la caractérisation et la gestion des milieux aquatiques et de leur biodiversité. L'imagerie satellitaire – notamment à très haute résolution spatiale – complète les dispositifs de mesure de terrain pour fournir une vision d'ensemble des structures spatiales et des dynamiques temporelles de ces milieux (hydromorphologie des

cours d'eau, distribution spatiale des habitats...) et pour quantifier les pressions qui s'y exercent. L'analyse et la modélisation spatiales permettent l'étude des phénomènes naturels et anthropiques à l'œuvre (dynamique des sédiments, suivi de la végétation dans les fleuves, lacs, lagunes ; modélisation pressions/état).

L'UMR développe des méthodes de suivi satellitaire et aéroporté des cours d'eau. La cartographie des profondeurs des cours d'eau par imagerie optique et mesures lidar aéroportées permet d'alimenter des modèles hydrobiologiques de fonctionnement des peuplements et habitats. Les techniques radar (imagerie, altimétrie, interférométrie) et des méthodes mathématiques associées sont développées avec le Centre National d'Études Spatiales et l'ONERA pour quantifier les variables de surface des cours d'eau (largeur, niveau, pente et vitesse), en déduire les paramètres hydrauliques de fond et permettre l'estimation des débits.

L'UMR développe l'imagerie radar (données micro-ondes actives) pour la quantification des caractéristiques du sol telles l'humidité, dont la connaissance représente un enjeu important pour la modélisation physique des processus hydrologiques ou pour le couplage surface-atmosphère dans le cadre du changement climatique.

Dans le domaine de l'agriculture, l'étude du stress hydrique des plantes constitue un champ de recherche important pour l'évaluation de la production agricole et l'amélioration de la gestion de l'eau : les recherches portent sur l'évaluation d'indices de stress dérivés d'images aériennes ou satellitaires en proche infrarouge et infrarouge thermique, et de mesures de température de surface. Des recherches sont également menées sur les périmètres irrigués en zone sub-sahélienne : elles portent sur les stratégies d'accès et de valorisation de l'eau, dans un cadre foncier contraint.

Dans le cadre d'une approche intégrée des politiques publiques pour la planification et la gestion du territoire, l'UMR met en œuvre, en partenariat avec le Syndicat Mixte du Bassin de Thau, un projet de recherche sur l'analyse et la conception d'observatoires territoriaux. Ces travaux portent sur la modélisation spatiale de phénomènes complexes (étalement urbain, gestion de l'eau) et sur le rôle de l'information dans les processus de gouvernance : fonctions et usages des représentations spatiales en appui à la concertation territoriale (maquettes 3D, cartographie à dire d'acteurs), recueil et légitimation des savoirs locaux, analyse de l'émergence et de l'autonomisation du territoire... TETIS mène également des travaux sur la sensibilité spatiale des méthodes d'évaluation économique des politiques de gestion du risque inondation.

Spatialisation des connaissances environnementale pour le développement durable des territoires

L'UMR ESPACE-DEV : Espace pour le développement (IRD, UM2, UAG, UR) développe et met en œuvre des méthodologies innovantes de spatialisation des connaissances en environnement pour le développement durable des territoires, depuis l'acquisition des données jusqu'au processus décisionnel. La finalité est de contribuer à l'émergence de réseaux d'observatoires de l'environnement pour le développement durable.

L'UMR ESPACE-DEV est impliquée dans le domaine de l'eau au travers de programmes de recherche et de transfert, notamment en coopération avec le Sud :

- Le programme « Flux d'inondation et variation de masse : le cas du bassin amazonien » a pour objectif général d'estimer par mesures spatiales la variation saisonnière et interannuelle des différents réservoirs du cycle hydrologique continental et de valider ces estimations par comparaison

entre différents senseurs spatiaux, par mesures *in situ* et/ou par modélisation.

- Le programme « Assimilation de données spatiales pour l'analyse hydrologique du bassin amazonien et la prévision à court et moyen terme » vise à mettre en œuvre un modèle hydrologique de type pluie-débit adapté aux grands bassins tropicaux (coopération IRD/institutions et universités brésiliennes).

- Le programme « Phénomènes hydrologiques extrêmes en Guyane : prévision, impacts et adaptation » s'inscrit dans le contexte de l'une des trois régions du monde dans lesquelles la disponibilité en eau par habitant est la plus élevée. La Guyane est confrontée, en raison de fortes variations saisonnières, à des phénomènes extrêmes d'étiage ou d'inondation qui peuvent entraîner soit des ruptures de l'alimentation en eau potable, soit des crues sévères affectant les habitats situés en bordure de fleuves. Le premier objectif du projet consiste à développer des outils opérationnels de prévision et d'évaluation des risques de crues et d'étiages, à mieux connaître la ressource hydrologique et à caractériser les phénomènes

extrêmes qui y sont associés. L'étude envisage d'analyser l'impact des phénomènes d'étiage et d'inondation sur les populations et leurs conditions de vie et d'évaluer les potentialités de mitigation. Seront mises en évidence les stratégies d'adaptation potentielles des populations locales (notamment en bordure du fleuve Maroni). Le projet propose la définition et le développement de multiples indicateurs de vulnérabilité, de résilience et d'aide à la décision.

- Programme « Alternatives à l'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau de Guyane. Apport de la télédétection » : les cours d'eau de Guyane sont soumis à des pressions anthropiques croissantes, en particulier liées à l'exploitation aurifère clandestine. La lutte contre ces pratiques passe par un contrôle régulier de la qualité de ces masses d'eau tel qu'exigé par la Directive Cadre européenne sur l'Eau. Ce type de surveillance des fleuves et rivières est difficile car il est impossible de pratiquer des prélèvements réguliers dans la plus grande partie du territoire guyanais du fait des contraintes d'accès. Ce projet explore de nouvelles méthodes de contrôle à distance de l'état des sites difficilement accessibles. ...

> PRÉVENTION ET GESTION DES RISQUES LIÉS À L'EAU

Dynamique hydrologique et paludisme en Amazonie



© J.F. Faure

▲ Fleuve Sinnamary, Guyane.

Si le sens commun associe la présence d'eau à celle de moustiques—dont l'espèce *Anopheles* vectrice du paludisme—le risque de transmission du paludisme fait en réalité intervenir des mécanismes biologiques, écologiques, climatiques, sociétaux, etc., bien plus complexes. En effet, identifier les mécanismes de transmission, voire modéliser ces derniers dans le but de prédire le risque sanitaire, dans le temps et l'espace, reste un défi et les efforts de recherche s'avèrent le plus souvent restreints à *Anopheles darlingi*, le vecteur le plus efficace en Amazonie, à des conditions environnementales, climatiques et sociétales particulières, et à des échelles temporelles et spatiales données. En collaboration étroite avec des entomologistes et des épidémiologistes de Guyane et du Brésil, l'UMR ESPACE-DEV aborde ces problématiques en focalisant son questionnement scientifique sur la notion de spatialité, et ce de l'acquisition de la donnée jusqu'à l'interprétation dans le contexte applicatif et l'appui aux prises de décision.

Ainsi, une étude fondée notamment sur la cartographie des zones humides a montré qu'à l'échelle du bassin Amazonien, les fortes dynamiques hydrologiques des fleuves et des zones d'inondation représentent un des principaux facteurs de contrôle naturel de l'incidence du paludisme. À une échelle plus locale, en Guyane, des corrélations significatives ont été mises en évidence entre dynamique hydrologique et abondance d'*An. darlingi* sur deux sites étudiés sur trois, alors que les précipitations n'apparaissent significativement corrélées que dans un seul cas.

Cependant, le rôle joué par la dynamique hydrologique et ses variabilités intra- et interannuelle sur les caractères épidémiques et endémiques du paludisme varient en fonction des régions et des paysages de l'Amazonie selon des processus encore mal connus et à des échelles très variées. Le besoin de mener des études tentant d'appréhender la complexité de ces processus a conduit l'UMR ESPACE-DEV à aborder, selon une approche multi-échelle et multidisciplinaire, la question des relations entre facteurs socio-environnementaux et paludisme dans la région de Manaus. Ce projet, financé par le centre national de la recherche scientifique et technologique du Brésil (CNPq), fait intervenir des équipes brésilienne, étatsunienne et française.

**Contacts : Emmanuel Roux, emmanuel.roux@ird.fr
Laurent Durieux, laurent.durieux@ird.fr
Naziano Filizola, naziano.filizola@gmail.com
Wanderli Pedro Tadei, tadei@inpa.gov.br**

Projet MISEEVA : vulnérabilité de la zone côtière à l'élévation du niveau de la mer

Le projet MISEEVA (*Marine Inundation hazard exposure modelling and Social, Economic and Environmental Vulnerability Assessment in regard to global changes, 2008-11*) s'inscrit dans le cadre du programme de l'ANR « Vulnérabilité Milieu Climat ». Ce projet, coordonné par le BRGM (service « Risques », Orléans), vise à évaluer la vulnérabilité sociale, économique et environnementale de la zone côtière à l'évolution de l'aléa submersion marine provoqué par le changement climatique. L'unité EAU/NRE du BRGM, en partenariat avec le LAMETA et la SOGREAH (société d'ingénierie), a mis en place et testé une méthodologie d'évaluation des impacts économiques d'une élévation du niveau de la mer liée au changement climatique dans le siècle à venir en Languedoc-Roussillon. Cette évaluation, couplée avec les résultats de



◀ Vue de la ville Sète.

modélisation « physique » de l'aléa, prend en compte les impacts sur les biens de type marchand mais aussi non marchand (plages, lagunes et zones humides, eaux souterraines) ainsi que sur les différents secteurs économiques associés, pour différents scénarios d'anticipation et/ou d'adaptation des pouvoirs publics (dénier, laisser-faire, protection, retrait). Le LAMETA a été particulièrement impliqué dans l'étude des perceptions que les populations ont de cet aléa, des types de comportements qui pourront être attendus et influencer sur la vulnérabilité ainsi que dans l'évaluation des types de réponse qui pourront être mis en œuvre par les politiques publiques pour anticiper au mieux ces changements.

**Contacts : Charlotte Vinchon, c.vinchon@brgm.fr
Cécile Hérivaux, c.herivaux@brgm.fr
& Hélène Rey-Valette, helene.rey-valette@lameta.univ-montpl.fr**

Les outils de la télédétection permettront de relier les informations recueillies par les satellites d'observation et les caractéristiques biologiques et environnementales des sites. À partir de ces informations, la représentativité de l'aval des cours d'eau sera testée pour son état général. Ces recherches permettront de proposer une méthodologie et la structuration d'un réseau opérationnel de surveillance de la qualité écologique des fleuves guyanais.

L'UMR est située à Montpellier, mais bénéficie d'implantations secondaires : Guyane française (Campus international IRD-UAG), université de la Réunion, Nouvelle-Calédonie (IRD), Brésil (Institut National de Recherches Spatiales), Éthiopie (*African Union*), Gabon (Agence Gabonaise d'Observations et d'Études Spatiales) et Madagascar.

L'expertise acquise par l'UMR dans l'utilisation des techniques de télédétection pour le suivi environnemental bénéficie à de nombreux programmes de coopération et de transfert. Ainsi, sur le continent sud-américain, le programme GUYAMAPA vise à créer des indicateurs de suivi des écosystèmes, en particulier des ressources en eau, sur le bassin de l'Oyapoque, fleuve frontalier entre le Brésil et la Guyane française. De même, un programme de coopération bilatérale entre l'Agence Nationale de l'Eau au Brésil et

l'Observatoire spatial du bassin amazonien de l'IRD s'attache à développer un dispositif de suivi des niveaux d'eau du bassin amazonien par altimétrie radar. De l'autre côté de l'Atlantique, sur le continent africain, l'unité participe au programme africain de surveillance de l'environnement AMESD, cofinancé par la Commission de l'Union Africaine et l'Union Européenne. L'un des axes de ce programme concerne le suivi de la navigation dans l'axe fluvial Congo-Oubangui et le suivi écologique de la cuvette du Congo.

Relations entre eau, territoires et sociétés dans le bassin méditerranéen

L'UMR ART-Dev : Acteurs, Ressources et Territoires dans le DEveloppement (UM3, CNRS, Cirad) implique également les Universités Montpellier I et de Perpignan Via Domitia en tant que partenaires associés et intègre l'équipe montpelliéraine du CEREC (Centre d'Étude et de Recherche sur les Qualifications). Inscrite de façon prioritaire dans le champ des sciences humaines et sociales, l'unité ART-Dev privilégie les approches interdisciplinaires puisqu'elle regroupe essentiellement des géographes et des économistes, mais aussi des sociologues et des politologues. L'unité ART-Dev développe des recherches sur les

reconfigurations des territoires tant du point de vue économique, politique et social, en mettant en relation dynamiques de globalisation et dynamiques locales. Elle centre plus particulièrement l'analyse de ces reconfigurations sur la construction et la mobilisation par la diversité des acteurs d'un ensemble de ressources, à la fois matérielles et immatérielles.

L'unité développe depuis 20 ans une analyse pluridisciplinaire autour des problématiques et des enjeux relatifs à la gestion de l'eau dans le bassin méditerranéen (Maghreb, Liban, France, Péninsule ibérique). Ses recherches s'inscrivent dans un contexte d'étude des relations entre eau, territoires et sociétés. Depuis 2004, elle contribue aux programmes lancés par le CNRS, le Ministère de l'Environnement ou l'Irstea, sur la thématique « Eau et Territoires » (programme CNRS/SHS 2004-2005 « Eau, environnement, sociétés » ; programme mobilisateur pour l'appui à la coopération pour la recherche en sciences humaines et sociales entre le Maghreb et la France, CNRS/MSH Paris 2006-2009 ; programme « Eaux et territoires » CNRS/Irstea/Ministère de l'Environnement 2008-2011). L'unité a également été partie prenante, entre 2003 et 2011, du groupement de recherche CNRS 2524 « Res-eau-ville » et plusieurs chercheurs collaborent désormais avec leurs homologues nord-américains sur le thème de l'articulation entre projets urbains et renaturation des fleuves au Canada.

WASSERMed : disponibilité en eau et sécurité en Europe du Sud et Méditerranée

▼ Accès à l'eau potable en Tunisie.

Le projet européen WASSERMed (2010-2012) s'intéresse aux impacts environnementaux et sociaux des modifications du climat qui sont autant de menaces pour les ressources en eau et leurs usages en Méditerranée.

En partant de l'évaluation des fréquences et amplitudes des précipitations extrêmes, des changements des écoulements de l'eau à la surface et dans le sous-sol, le projet s'intéresse aussi aux multiples facteurs économiques et sociaux qui augmentent la vulnérabilité des systèmes hydrologiques. WASSERMed veut ainsi contribuer à :

- Réduire l'incertitude quant aux impacts du changement climatique sur l'hydrologie en Méditerranée, en exploitant les sorties de modèles climatiques, en complétant et améliorant les modèles hydrologiques existants, et en développant des outils de simulation de scénarios sur chacun des cinq sites de référence retenus.
- Améliorer l'évaluation régionale des effets climatiques sur les ressources et usages de l'eau, en intégrant les recherches sur les cinq sites pilotes. Le projet est focalisé sur les secteurs sensibles et vulnérables de l'agriculture et du tourisme, qui illustrent bien les multiples enjeux et conflits pour l'allocation et l'usage de l'eau.
- Fournir une base de connaissance plus solide pour la sécurité en eau en identifiant et évaluant les politiques de gestion de l'eau, y compris les échanges d'eau virtuelle. Ceci devrait permettre d'améliorer la résilience des anthropo-écosystèmes



© R. Calvez

méditerranéens aux modifications hydrologiques, à court terme, et contribuer à leur adaptation au changement climatique, à long terme.

Parmi les cinq sites retenus, le bassin versant du Merguellil (près de Kairouan, en Tunisie centrale) bénéficie des multiples recherches antérieures menées conjointement par des équipes de Montpellier et de Tunis, dans le cadre de projets bilatéraux, européens et internationaux.

Contacts : Christian Leduc, christian.leduc@ird.fr & Zohra Lili Chabaane, zohra.lili.chabaane@gmail.com

Pour plus d'informations : www.wassermed.eu

Modéliser les systèmes complexes pour accompagner les processus collectifs de gestion des ressources renouvelables

Le département « Environnements et sociétés » du Cirad centre ses recherches sur les relations entre agriculture, gestion des ressources naturelles et dynamiques sociales, en lien avec les politiques publiques. Ses travaux s'effectuent à l'échelle de l'exploitation agricole et des espaces forestiers, de la région, du pays, ou au niveau international. Ils portent sur les processus d'innovation et de coordination entre acteurs et groupes sociaux, et sur les territoires en tant que lieux privilégiés de régulation. Ils font appel aux enquêtes, aux sondages et aux inventaires, aux techniques de représentation et de modélisation des systèmes complexes. Ils s'appuient sur les concepts et les outils de différentes disciplines et font une large place aux sciences humaines et sociales. Ils s'intéressent aux pratiques d'exploitation et de gestion collective des ressources renouvelables-eau, forêts, pâturages, faune sauvage-

en lien avec la production. Ils concernent également l'élaboration et l'impact des politiques publiques dans le domaine de l'agriculture et de l'environnement. Ils visent entre autres à éclairer la prise de décision relative à la gestion de biens publics et à l'organisation des marchés, par l'élaboration de normes et l'aide à la négociation entre acteurs.

Au sein de ce département, l'objectif de l'UPR GREEN : *Gestion des ressources naturelles renouvelables et environnement (Cirad)* est de fournir grâce à une approche profondément interdisciplinaire (depuis l'anthropologie juridique, l'agronomie jusqu'à la modélisation) des connaissances, des méthodes et des outils basés sur la modélisation des systèmes complexes, pour accompagner des processus collectifs de gestion des ressources renouvelables et améliorer la capacité des acteurs à maîtriser le pilotage de leur éco-socio-système.

Les enjeux sont donc triples :

- élaborer des outils conceptuels et techniques pour représenter les systèmes socio-écologiques dans leurs multiples dimensions (économiques, sociales, écologiques, spatiales et temporelles) et pour considérer la pluralité des points

de vue des parties prenantes (experts et non experts) à différents niveaux d'organisation ;

- construire des démarches d'utilisation de ces outils, qui font intervenir aussi bien les acteurs locaux que les scientifiques, dans des processus de gestion qui vont de l'apprentissage collectif à la prise de décision, en passant par la négociation ;
- situer les apports de ces approches, démarches et outils pour analyser les changements des systèmes socio-écologiques, le rôle des institutions et des connaissances dans ces changements.

L'unité développe plusieurs projets relatifs à la gestion de l'eau dans un contexte multi-usages et multi-usagers, dans la suite du projet sur la modélisation d'accompagnement (ComMod) pour la gestion résiliente de l'eau qui concernait plusieurs pays d'Asie (Thaïlande, Vietnam, Bhoutan, Philippines) (coordonné par GREEN et financé dans le cadre du *Challenge Program on Water and Food*, cf p.61). Le projet « Gestion des sous-bassins et gouvernance des eaux pluviales et des petits barrages », démarré en 2010, propose une approche comparative de bassins versants au Ghana et au Burkina, pour y analyser le rôle des petits réservoirs mis en place. ■

> ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

CLIMAWARE : élaboration de stratégies d'adaptation au changement climatique – Cas d'étude sur la gestion des barrages-réservoirs du bassin de la Seine

Le projet CLIMAWARE (2010-2013) regroupe des partenaires allemands (*Department of Hydraulic Engineering and Water Resources Management* et *Center for Environmental Systems Research* de l'Université de Kassel), italiens (*Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari*) et français (Irstea et l'EPTB Seine Grands Lacs). Il a pour objectif d'élaborer des stratégies d'adaptation de la gestion de l'eau au changement climatique.

Le cas d'étude français porte sur l'adaptation de la gestion des barrages-réservoirs du bassin de la Seine au changement climatique. L'objectif est d'évaluer la pérennité des modes de gestion actuels à court, moyen et long termes et, le cas échéant, d'en proposer de nouveaux pour permettre à Seine Grands Lacs (SGL) de répondre aux principaux objectifs de gestion, à savoir le soutien des étiages et la protection contre les crues. Cela pourrait se traduire par une adaptation de la gestion en temps réel, des règlements d'eau ou encore des capacités de stockage.



Une première phase des travaux a consisté à mettre en place un modèle hydrologique semi-distribué sur le bassin, permettant de prendre en compte les spécificités des différents affluents. Calé en temps présent sur environ 25 stations de débit, le modèle a ensuite été alimenté par des sorties désagrégées de modèles climatiques (températures et précipitations). La comparaison des résultats entre une période de référence (1961-1990) et une période future indicative du milieu de siècle (2046-2065) montre une tendance à la baisse des modules et des débits d'étiage, avec des périodes de basses eaux plus longues en automne. Les tendances sur les hautes eaux semblent beaucoup moins significatives.

La viabilité des stratégies actuelles de gestion va désormais être évaluée dans ce contexte et diverses options d'adaptation seront testées.

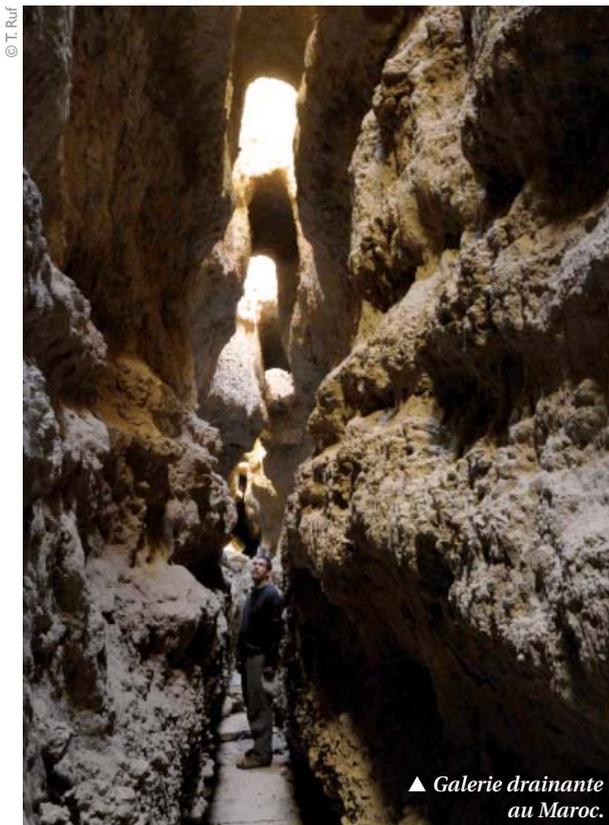
Contact : David Dorchies, david.dorchies@irstea.fr

Pour plus d'informations : www.uni-kassel.de/fb14/wasserbau/CLIMAWARE

▲ *Lac-réservoir Marne.*

> GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU

Gouvernance de l'eau et des hydro-systèmes au Maghreb et au Machrek



▲ *Galerie drainante au Maroc.*

Les études sur la gouvernance de l'eau et des hydro-systèmes de l'UMR GRED se développent actuellement en direction des régions du Maghreb et du Machrek principalement (avec l'Asie du Sud-Est et les Andes comme terrains secondaires). Elles sont menées en collaboration avec divers partenaires locaux et l'*International Water Management Institute*.

En Égypte, les recherches portent sur l'action collective dans le delta, au niveau des canaux d'irrigation tertiaires (*mesqas*) et secondaires, sur les relations entre l'État et ses ministères techniques d'une part et les paysans d'autre part, ainsi que sur l'élaboration des politiques publiques de l'eau.

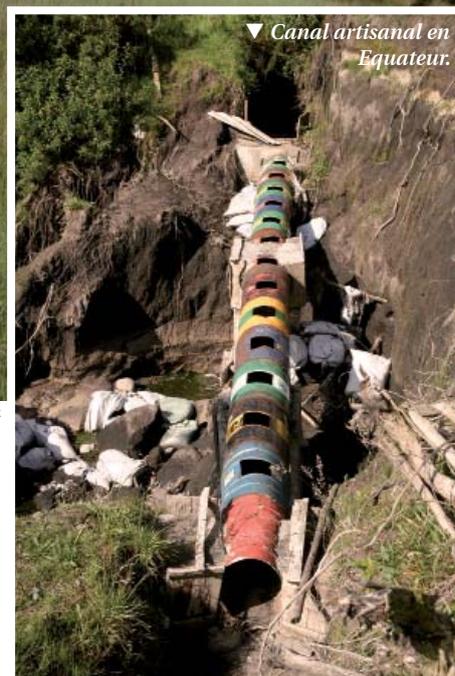
Au Maroc, les recherches sont menées à plusieurs échelles autour de la gouvernance des ressources hydriques et foncières. Un premier champ d'investigation concerne les terroirs irrigués en économie familiale et paysanne du sud-Marocain, en situation de montagne et d'oasis. Les situations de gestion collective des *khattaras* (galeries drainantes similaires aux Qanâts du Moyen-Orient) sont particulièrement étudiées. Dans un autre contexte, celui du Saïs au sud de Meknès, ont été découverts des terroirs radioconcentriques qui font l'objet de recherche comparée avec d'autres dispositifs analogues en France (Montady) et en Égypte. Sur l'échelle plus large des régions et des bassins hydrographiques, les travaux portent sur la mise en place du dispositif des agences de bassins hydrographiques, censé appliquer les principes de la gestion intégrée, et sur la mise en œuvre du plan Maroc Vert et son impact sur le périmètre irrigué du Tadla.

**Contacts : Christine Recalt, christine.recalt@ird.fr
Francis Laloë, francis.laloe@ird.fr
Thierry Ruf, thierry.ruf@ird.fr
& François Molle, francois.molle@ird.fr**



▲ En Équateur, l'UMR G-EAU accompagne la mise en place d'une gestion intégrée de la ressource hydrique.

© R. Calvez



© R. Calvez

>GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU

AGUANDES : allocation de l'eau dans les hydro-systèmes aménagés des Andes

La gestion de l'eau des bassins versants de montagne est particulière par l'importance de la gestion au fil de l'eau, les nombreux transferts interbassins, des stratégies d'usage agricole raisonnées sur plusieurs étages bioclimatiques et structurées autour d'une infrastructure hydraulique bien développée. Le bassin d'approvisionnement de Quito en Équateur en est un exemple : situé entre 2 000 et 5 900 mètres d'altitude, sur 5 000 km², il est confronté à des problématiques variées, complexes et représentatives des bassins de montagne. C'est une zone très peuplée, avec une forte croissance démographique qui génère une hausse de la demande de services de base et qui réduit l'usage agricole du sol au profit d'une urbanisation galopante.

La demande en eau concerne plusieurs secteurs concurrentiels ; elle est supérieure à la ressource disponible et des transferts d'eau importants proviennent des « páramos » situés à plus de 3 500 m d'altitude et dont le sol filtre et stocke l'eau de pluie et des glaciers, avant de la restituer de manière régulée. La fonte des glaciers, la pression démographique, le réchauffement climatique et la crise énergétique engendrent une course à leur exploitation, qui risque de fragiliser leur pérennité. Récemment, l'État a décidé de reprendre la main et prône une administration de la ressource hydrique par entité hydrographique et orientée vers la gestion intégrée.

C'est dans ce contexte que l'équipe G-EAU est installée à Quito pour apporter un appui scientifique et multidisciplinaire à la réforme en cours, tout en développant ses collaborations scientifiques sectorielles avec les institutions équatoriennes et l'université. Les activités sont concentrées sur cinq thèmes : (1) l'état des ressources en eau, leur répartition spatiale et altitudinale et leur variation au cours des 50 dernières années, (2) l'identification des demandes en eau et leur évolution récente selon différents scénarios de changements globaux, (3) les risques de défaillance du système actuel de distribution d'eau dans le bassin de Quito, (4) la construction de modèles de simulation comme aide à la répartition équitable de la ressource actuelle et future et à la planification, (5) la vulnérabilité écologique des zones d'altitude face aux ouvrages hydrauliques de prélèvement ou de stockage. Les trois premiers thèmes sont développés en collaboration avec l'Institut National de Météorologie et d'Hydrologie et l'École Polytechnique Nationale. Le quatrième est mené conjointement avec l'Entreprise Municipale d'Eau Potable et d'Assainissement et l'Irstea de Lyon à travers l'encadrement d'un travail de Master.

**Contacts : Patrick Le Goulven, Patrick.LeGoulven@ird.fr
Jean-Christophe Pouget, jean-christophe.pouget@ird.fr
Roger Calvez, roger.calvez@ird.fr
& Odile Fossati, odile.fossati@ird.fr**

> GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU

Pour une gestion participative et multi-niveau de l'eau au Ghana et au Burkina Faso



© W. Daré

▲ Atelier participatif au Ghana.

Depuis 1992, les principes de gestion intégrée de la ressource en eau (GIRE) se sont imposés aux différentes politiques de l'eau. La participation des différents acteurs dans la prise de décision est devenue un principe d'élaboration des politiques publiques décentralisées. Une gestion intégrée multi-niveau de l'eau aujourd'hui incontournable pose des questions en termes d'outils de régulation car les effets sociaux, économiques et écologiques peuvent être contradictoires selon l'échelle considérée, la hiérarchisation des enjeux sectoriels, les acteurs impliqués. La difficulté dès lors est d'élaborer des méthodes de concertation qui permettent l'expression de ces multiples points de vue afin d'aboutir à des innovations institutionnelles et techniques acceptées par l'ensemble des parties.

Depuis 1998, l'UPR GREEN au sein du collectif multi-institutionnel ComMod a développé une démarche de modélisation participative

« modélisation d'accompagnement » (ou *Companion Modeling*) pour accompagner les processus de décision et la production de connaissances sur la gestion des systèmes socio-écologiques de gestion des ressources naturelles renouvelables. L'unité poursuit notamment ses activités dans la Volta, dans le cadre du *Challenge Program on Water and Food-phase 2* (cf p.61), en collaboration avec l'*International Water Management Institute*, la *Water Resource Commission*, Secrétariat Permanent du Programme d'Appui à la Gestion Intégrée de la Ressource en Eau. Faciliter les interactions entre les différents niveaux de gestion et de décision au Burkina Faso et au Ghana afin de rendre effective la GIRE est l'objectif du projet V4 « *Sub-basin management and governance of rainwater and small reservoirs* ». Pour cela, une démarche ComMod est développée avec des acteurs d'échelles locales et intermédiaires et les décideurs politiques afin que, par le dialogue, chacun prenne conscience des contraintes de l'autre pour construire de nouveaux modes d'interaction dans la production de règles et normes de gestion. Au Burkina Faso, il existe de multiples structures de gestion de l'eau à différentes échelles. GREEN appuie ainsi l'opérationnalisation de comités locaux de l'eau, plateformes multi-acteurs créées au niveau du petit bassin versant, mais qui sont peu fonctionnels. Au Ghana, où ces plateformes intermédiaires n'existent pas, GREEN accompagne l'émergence de nouvelles formes d'organisation multi-acteurs qui prendraient en compte les enjeux des différents niveaux de gestion et de décision. Des ateliers participatifs sont organisés pour ce faire (jeux de rôles, systèmes multi-agents...). À terme, l'innovation résidera dans la mise en œuvre de nouveaux modes multi-scalaires d'interaction entre les acteurs de la GIRE.

Contacts : William's Daré, williams.dare@cirad.fr & Jean-Philippe Venot, J.Venot@cgiar.org

Pour plus d'informations : www.commod.org & www.ecole-commod.sc.chula.ac.th/pn25/index.php

> GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU

AQUADEP : gouvernance départementale de l'eau destinée à la consommation humaine

Le projet AQUADEP porte sur la gouvernance départementale de l'eau destinée à la consommation humaine. Ses principaux objectifs sont la caractérisation, l'évaluation et l'accompagnement des politiques départementales de l'eau destinée à la consommation humaine. Il s'agit plus précisément d'améliorer la connaissance de ces politiques et, sur cette base, contribuer à clarifier les termes du débat sur le design institutionnel de la gestion de l'eau destinée à la consommation humaine, notamment quant à l'échelle territoriale et au mode de gouvernance.

Parallèlement, une « recherche-intervention » plus ciblée sur le système d'information et de pilotage de la gouvernance territoriale (système d'indicateurs) est développée dans une perspective d'accompagnement critique des acteurs opérationnels. Les principaux éléments du projet sont : l'élaboration d'une typologie des politiques de l'eau destinée à la consommation humaine menées par les Conseils Généraux ; la caractérisation de la gouvernance départementale de l'eau destinée à la

consommation humaine dans quelques départements typiques des diverses situations identifiées à l'étape précédente ; l'étude de la situation en Italie et au Danemark ; des propositions méthodologiques sur les systèmes d'information et d'indicateurs. AQUADEP est un projet de recherche interdisciplinaire d'une durée de 3 ans (sept. 2008 – sept. 2011), soutenu par le programme « Eaux et Territoires » (Ministère de l'Environnement–CNRS–Irstea). Il regroupe 12 chercheurs et enseignants-chercheurs issus de cinq équipes (ENGEES : École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg–Irstea ; UPR Réseaux–Irstea Bordeaux ; UMR G-EAU et ART-Dev à Montpellier ; UMR CERTOP CNRS/Université Paul Sabatier de Toulouse). Sa coordination est assurée par Rémi Barbier (ENGEES–Irstea).

Contact :
Stéphane Ghiotti, stephane.ghiotti@univ-montp3.fr

IDEAUX : intégration des politiques de l'eau, du développement, de l'aménagement et de l'urbanisme en faveur des milieux aquatiques en France et au Québec

L'interpénétration des territoires caractérise l'évolution contemporaine des paysages et pose d'innombrables problèmes aux gestionnaires de l'eau. Les pouvoirs publics français et québécois sont conscients des limites des instruments de planification destinés à maîtriser l'étalement urbain. Les organismes publics ou associatifs chargés des politiques de l'eau s'interrogent quant à eux sur la portée de ces politiques : influent-elles en effet sur l'évolution des modes d'utilisation des sols à l'échelle des bassins versants ? En quoi les politiques d'aménagement du territoire s'articulent-elles avec les politiques de l'eau ? Quelles sont les conditions requises au « décloisonnement » de politiques si fréquemment discordantes, dans un contexte de renforcement des pouvoirs locaux, de concurrence territoriale accrue, de mondialisation et, en corollaire, d'interrogations sur le rôle de l'État en matière de gestion des ressources naturelles ?

Ces questions occupent une place centrale dans le projet de recherche IDEAUX, auquel participe l'UMR ART-DEV. Celui-ci a pour principale « entrée » l'examen critique de l'évolution récente du paradigme aménagiste en France et au Québec. Le dispositif méthodologique du programme IDEAUX est centré sur l'approche comparatiste des processus propres aux politiques d'aménagement. Ce programme franco-québécois repose sur un partenariat entre le bureau d'études privé *Sogreah consultants* (Groupe Artelia) et plusieurs organismes publics français et québécois. Il s'inscrit dans le cadre de l'appel à propositions « Eaux & Territoires » (2008).

Contact : Alexandre Brun, abrungeographe@yahoo.fr





© A. Vidal

▲ *Le Challenge Program on Water and Food (CPWF) s'intéresse aux liens entre eau, alimentation et pauvreté dans les pays en développement.*

Coopération internationale *et partenariats*

Les laboratoires de recherche en région Languedoc-Roussillon partagent de nombreux programmes entre eux et avec d'autres partenaires scientifiques en France, en Europe et dans le reste du monde, en particulier avec les pays du Sud. Plusieurs exemples des chapitres précédents le soulignent. Cependant, la grande diversité du domaine de l'eau et son importance cruciale dans la vie quotidienne des sociétés humaines les engagent aussi à s'ouvrir vers d'autres acteurs économiques et publics aux échelles régionale, nationale et internationale. La présence en Languedoc-Roussillon de la première communauté scientifique française dans le domaine de l'eau et sa géométrie largement multidisciplinaire ont favorisé l'émergence ou l'arrivée dans la région de plusieurs des organisations mutualisées qui favorisent ces échanges. On peut les regrouper en deux catégories : celles qui s'adressent au secteur économique et aux acteurs de la décision publique—l'État, ses agences et les collectivités territoriales—et celles qui représentent et animent les activités scientifiques à l'échelle nationale ou internationale.

Les actions avec le secteur économique se développent avec le soutien des collectivités et de l'État au travers de deux pôles de compétitivité, le Pôle « EAU » à vocation mondiale et le pôle « Risques ». Ils ont récemment été complétés par la création d'un cluster dans le domaine des géosciences. Le tissu régional de la filière eau est particulièrement riche en PME innovantes, tout en bénéficiant de l'expérience, de la compétence et de

la représentativité de grands groupes français dont la présence internationale est un atout particulièrement riche. Deux associations d'interface complètent ce dispositif, l'une, Transferts LR, facilitant les contacts entre PME et laboratoires, l'autre, VERSeau Développement, jouant un rôle de lien entre les laboratoires scientifiques, les décideurs publics, les institutionnels internationaux et les relais économiques, en particulier les pôles de compétitivité et les entreprises de la filière eau dont la plupart sont associées au sein du groupement régional Swelia.

Le deuxième ensemble de partenariats s'inscrit dans le champ scientifique avec des sociétés savantes qui ont choisi Montpellier pour installer leur siège et/ou dont les dirigeants relèvent des laboratoires montpelliérains. Il s'agit à l'échelon international de l'*International Water Resource Association* (IWRA) et de l'*International Association of Hydrological Sciences* (IAHS) et à l'échelon national de l'Association Française pour l'Étude de l'Irrigation et du Drainage (AFEID). Par ailleurs, Montpellier accueille une partie significative du pilotage de deux grands programmes relevant d'organismes internationaux : le *Challenge Program on Water and Food* du CGIAR (*Consultative Group for International Agricultural Research*) et le Programme Hydrologique International de l'UNESCO.

**Pierre Chevallier & Marie Mojaisky
(Association VERSeau Développement)**

Coopération internationale *et partenariats*

Coordonnées et contacts



AFEID
Association Française pour l'Eau
l'Irrigation et le Drainage
Président : François Brelle
Contact : François Brelle
afeid@irstea.fr
<http://afeid.montpellier.cemagref.fr>



IAHS AISH
Association Internationale
des Sciences Hydrologiques
Président : Pr. Gordon Young
Contact : Éric Servat
eric.servat@univ-montp2.fr
<http://iahs.info>



Association VERSeau Développement
Président : Pierre Chevallier
pierre.chevallier@ird.fr
Directrice : Yunona Videnina
yv@verseaudeveloppement.com
<http://verseaudeveloppement.com>



CGIAR
Consultative Group for International
Agricultural Research

► **CPWF**
Challenge Program on Water and Food
Directeur : Alain Vidal
a.vidal@cgiar.org
www.waterandfood.org

► **CGIAR Research Program**
« Water, land and ecosystems »
Directeur : Simon Cook
s.cook@cgiar.org

... suite page 58

Pôle de compétitivité EAU *à vocation mondiale*

Tant aux échelles régionales que planétaire, la qualité et la quantité des ressources en eau disponible sont étroitement liées aux nouveaux défis que les pressions accrues en matière de climat, d'alimentation ou d'énergie font peser sur les sociétés humaines. Devant ce constat, l'idée de création d'un pôle mondial de compétitivité à dominante technologique s'est imposée. L'orientation privilégiée est l'évaluation et la valorisation des ressources en eau, quantitativement et qualitativement, grâce aux écotecnologies associées, et ce, au profit de tous les usages qu'elle recouvre : alimentation en eau potable et assainissement, usages agricoles et industriels, incluant la production énergétique et les loisirs.

Ainsi, la stratégie du *pôle de compétitivité EAU* s'inscrit dans le cycle de l'eau (depuis sa mobilisation jusqu'à son retour aux milieux naturels, en passant par les différents usages), aujourd'hui impacté par les changements globaux. Ses axes stratégiques sont au nombre de quatre :

- 1 Identification et mobilisation des ressources en eau ;
- 2 Gestion concertée de la ressource en eau et des usages dans des contextes exacerbés par les changements globaux ;
- 3 Réutilisation des eaux de toute origine ;
- 4 Approches institutionnelles et sociétales en matière d'acteurs et de décisions (axe transversal).

En réponse à des marchés caractérisés par une internationalisation forte des produits/services de l'eau comme de la demande, et à des réglementations en évolution, le pôle se place dans une perspective mondiale. À l'horizon 2015, son ambition est de contribuer efficacement à « mieux gérer les ressources et les usages en eau contraints par les changements globaux », au travers de nouvelles offres de produits/services plus adaptées et intégrées. L'année 2015 correspond en effet aux échéances de la Directive Cadre européenne sur l'Eau et aux objectifs de Développement du Millénaire des Nations Unies.

Le Pôle EAU a été labellisé par le Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire le 11 mai 2010. Il est constitué des régions Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées et Provence-Alpes-Côte-D'azur. Il a été désigné chef de file de la coordination des pôles HYDREOS « Gestion des eaux continentales » (régions Lorraine et Alsace) et DREAM « Eaux et milieux » (région Centre).

Ses objectifs sont la création de valeur à partir de projets innovants dans le domaine de l'eau (croissance économique, emploi, création et développement de PME/PMI...), la mutualisation des compétences, des questionnements et des réponses, afin d'apporter des solutions adaptées aux multiples problèmes relatifs à la gestion de la ressource en eau ainsi que l'intégration des acteurs de l'eau au cœur d'une dynamique internationale sur les marchés de l'eau.



▲ Surveillance du littoral.

© S. Pistré

Pôle « Risques » : apporter des solutions pragmatiques aux problématiques de gestion des risques

Le pôle de compétitivité « gestion des risques et vulnérabilités des territoires », aussi appelé le Pôle « Risques », concourt à l'émergence de projets de Recherche et Développement collaboratifs depuis 2005 sur les territoires des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon. Les thématiques abordées par ce pôle peuvent être résumées aux risques chroniques et accidentels pour les territoires et ce, à tous les stades de la roue du risque (de la prévention à la gestion post-crise).

C'est ainsi bien logiquement que de très nombreux projets labellisés par le Pôle Risques (et financés par des bailleurs nationaux, régionaux et locaux) abordent le risque inondation. Par exemple, le projet HYDROGUARD (cf p.42), porté par la PME ESECO System et retenu en 2009 par le Fond Unique Interministériel (FUI), vise à développer un système de surveillance fiable, autonome, et automatisé des cours d'eau et du trait de côte. Ce système permettra aux collectivités d'assurer une gestion durable des masses d'eau et des territoires, grâce à une infrastructure d'équipements effectuant une surveillance et un contrôle continu de la ressource en eau et de l'érosion des côtes. Les équipements sont capables d'effectuer des prévisions locales sur la base de modèles scientifiques, ce

qui est particulièrement utile lors des situations de crise (inondations, pollutions accidentelles, tempêtes hivernales).

Dernièrement, toujours sur le risque inondation ou submersion, les projets KRHU et LITO-CMS ont été retenus au 13^{ème} appel à projets du FUI (premier semestre 2011). Le premier, porté par *Predict Services*, KRHU pour Karst, Ruissellement et Humidité, doit permettre d'améliorer la prévision des crues à composante karstique par la mise à disposition des personnels d'astreinte (prévisionnistes, analystes...), d'un outil de gestion de crise, basé sur des indicateurs pertinents de la saturation des sols et du karst. Le second projet, LITO-CMS (Prévision et aide à la gestion en temps réel des crises inondation et submersion en zone littorale), a pour chef de file BRL Ingénierie. Il vise à palier le manque actuel de précision des informations disponibles pour les collectivités, sur les risques de surcote marine. L'incidence de cette surcote sur l'écoulement des fleuves côtiers n'est pas prise en compte dans les services actuels.

Transferts LR : pour l'innovation dans la filière de l'eau en Languedoc-Roussillon

Créée en 2005 à l'initiative de la Région et de l'État, et soutenue aujourd'hui également par l'Europe, et les conseils généraux, l'association **Transferts LR** a pour mission de soutenir la compétitivité des entreprises en Languedoc-Roussillon par l'innovation et le transfert de

technologie. Son activité principale est de contribuer à développer l'innovation, le transfert de technologie et l'intégration de nouveaux savoir-faire et compétences au sein des entreprises régionales. Elle travaille en réseau avec l'ensemble des acteurs contribuant au développement économique.

Plusieurs axes d'intervention de Transferts LR concernent l'eau et sont abordés entre laboratoires de recherche et entreprises de toutes tailles, dont une partie est regroupée au sein de Swelia (groupement d'entreprises de la filière « Eau ») ou sont membres du pôle de compétitivité « EAU ». Ces champs d'intervention concernent :

- la connaissance, prévention et gestion des risques hydrologiques, sanitaires et de pollution des eaux ;
- la gestion concertée des ressources en eau (y compris non conventionnelles) et de leurs usages, des outils météorologiques, et des combinaisons d'indicateurs contribuant à la caractérisation et au suivi (des masses d'eau et événements) ;
- les procédés de traitement et d'épuration des eaux et de réutilisation des sous-produits de l'assainissement ;
- les réseaux de transport ;
- l'eau et l'énergie.

Des expérimentations pilotes s'effectuent au sein de laboratoires, de halles de technologies (LBE, EMA, UM2), d'instituts spécialisés (Sciences des Risques à Alès) ou de centres d'excellence privés (*IBM Water management*) présents en Languedoc-Roussillon. Les développements méthodologiques ont souvent lieu en conditions réelles de fonctionnement, sur site ou infrastructure publique. ...

Coordonnées et contacts



Chaire « Eau pour Tous »
(AgroParisTech, Fondation Suez Environnement)
Directeur : Jean-Antoine Faby
Contact : opt@engref.agroparistech.fr
www.agroparistech.fr/OpT-EaupourTous.html



FRIEND
Flow Regimes From International and Experimental Network Data
(UNESCO)
Contact : Gil Mahé
gil.mahé@ird.fr
<http://armspark.msem.univ-montp2.fr>



IWRA
International Water Resources Association
Directeur : Tom Soo
Contact : office@iwra.org
www.iwra.org



Pôle de compétitivité EAU
Président : Michel Dutang
Directeur Général : Yannick Ponton
Contact : info@pole-eau.com
www.pole-eau.com



Pôle Risques
Pôle de compétitivité « Gestion des risques et vulnérabilités des territoires »
Président : Joël Chenet
Contact : Guillaume Riou,
guillaume.riou@pole-risques.com
www.pole-risques.com



Transferts LR
Président : Christophe Carniel
Contacts : Jean-Michel Clerc
clerc@transferts-lr.org

& Christian Drakides
drakides@msem.univ-montp2.fr
www.transferts-lr.org

L'Agence de l'Eau, les services de l'État concernés et les services techniques de collectivités y sont associés.

Transferts LR propose une aide concrète, pluridisciplinaire et durable pour le montage et la réalisation de projets technologiques innovants : participation aux réflexions d'entreprises en amont, mise en relation avec les laboratoires de recherche concernés, montage et suivi du projet. Les produits/ services mis au point ont des applications régionales, nationales et européennes. Le service Europe et l'appartenance de Transferts LR au réseau « Entreprise Europe » (plus de 600 structures européennes regroupées), s'avèrent utiles pour la recherche de partenaires européens, la mise en place de rencontres d'affaire avec des entreprises spécialisées localisées dans d'autres districts industriels européens. Transferts LR propose et réalise également grâce à ses conseils scientifiques l'évaluation de certains projets pour le compte des financeurs.

Le dynamisme des TPE et PME, la synergie entre laboratoires de recherche et grands groupes permettent l'émergence de projets concrets, intégrateurs, à haute valeur ajoutée et répondant aux besoins des utilisateurs. Ils correspondent à des investissements importants (plusieurs dizaines de milliers à plusieurs millions d'euros), réalisés avec le soutien de régions (notamment la Région Languedoc-Roussillon), d'Oséo, du Fonds Européen de Développement Régional, et de l'État (Fonds Unique Interministériel, EcoIndustrie, ANR).

Entre novembre 2010 et novembre 2011, cet appui a ainsi permis le montage d'une dizaine de projets collaboratifs (durée de 24 à 36 mois, investissements de 1,2 à 4 millions d'euros), correspondant à des consortiums de tailles variables et qui intéressent le développement d'éco-technologies de l'eau, la gestion de l'eau (labellisation par le Pôle EAU), les risques d'inondations et de submersion marine (labellisation par le Pôle « Risques »), le suivi de la biodiversité du milieu

marin (labellisation par le Pôle Mer). D'autres projets, conduits en dehors des pôles, concernent le traitement des eaux, la protection des captages, la réutilisation des eaux usées épurées. Le seul aspect de la faisabilité technique de développement de nouveaux produits a concerné cinq entreprises et laboratoires.

Association VERSeau Développement : une structure d'interface et d'animation dédiée

VERSeau Développement, association fondée en 1983, a pour vocation de rassembler des membres issus de la recherche scientifique, de l'industrie et des collectivités territoriales, afin de faire émerger des projets sur le thème de la maîtrise de l'eau (aspects institutionnels, techniques et juridiques).

VERSeau Développement a pour but de renforcer et d'améliorer la gestion de l'eau au travers de missions-clés :

- mener des actions de concertation et d'animation entre ses partenaires scientifiques, industriels et les collectivités publiques ;
- contribuer à l'animation de réseaux et de projets scientifiques et techniques et à leur vulgarisation ;
- valoriser des résultats de programmes de recherche ou de développement ;
- participer à la mise en œuvre des politiques publiques de l'eau ;
- réaliser des actions d'expertise, de conseil et de formation.

Ces missions se déclinent en différentes activités telles que : la gestion et la coordination de réseaux, de projets et de programmes dans le domaine de l'eau ; l'apport d'expertise ; l'organisation de manifestations et l'animation de réseaux.

VERSeau Développement apporte son appui aux politiques publiques des collectivités territoriales (et des services de l'État), aux entreprises et industries du secteur de l'eau qui y sont implantées et aux instituts de recherche et de formation. Cet appui se traduit par des expertises ponctuelles, des recherches de partenariats, l'encadrement de stagiaires, et par des projets comme l'animation de la Charte



▲ Analyse d'eau.

© N. Arnaud

« Qualité des réseaux d'assainissement du Languedoc-Roussillon ».

VERSeau Développement possède une forte compétence internationale, que ce soit pour la mise en œuvre de projets de coopération européens en particulier dans le bassin méditerranéen, en Europe centrale, Caucase et Asie centrale, pour l'appui à la coopération décentralisée du Conseil Général de l'Hérault (Tunisie et Maroc) et pour l'animation de réseaux internationaux de projets scientifiques.

En 2008, VERSeau Développement a organisé le XIII^e Congrès mondial de l'Eau de l'IWRA (*International Water Resources Association*, cf. p. 59) en partenariat avec l'Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement (ILEE) et ENJOY Montpellier, et en association avec les acteurs institutionnels, scientifiques et privés internationaux. VERSeau héberge également le bureau exécutif de l'IWRA depuis avril 2010.

IWRA : *International Water Resources Association*

IWRA est un réseau international pluridisciplinaire d'experts dans le domaine des ressources en eau. Cette association éducative non gouvernementale à but non lucratif a été créée en 1971. Elle fournit un forum mondial aux professionnels,

étudiants, individuels, entreprises et institutions qui sont concernés par l'utilisation durable des ressources en eau dans le monde.

L'objectif de l'IWRA est de mieux comprendre les questions liées à l'eau à travers l'enseignement, la recherche et l'échange d'informations entre pays et disciplines. L'IWRA est très impliquée dans la bonne gestion des ressources en eau grâce à une meilleure compréhension des aspects physiques, écologiques, chimiques, institutionnels, sociaux et économiques de l'eau. Pour ce faire, cette association agit en :

- fournissant un forum international sur les questions liées aux ressources en eau ;
- réalisant des recherches avancées sur les ressources en eau ;
- dispensant un enseignement sur l'eau, notamment en améliorant l'accès mondial à des données et à des informations pertinentes ;
- améliorant la qualité des connaissances nécessaires à la prise de décision ;
- améliorant les échanges d'informations et les expertises ;
- mettant en réseau les organisations impliquées afin d'aller de concert vers un but et des intérêts communs.

Depuis 1973, le Congrès mondial de l'eau de l'IWRA s'est tenu tous les trois ans dans des villes différentes partout dans le monde. Chaque congrès propose un thème central en

lien avec les problématiques actuelles liées à l'eau. Ainsi, le 14^e Congrès mondial a été organisé en 2011 à Porto-de-Galinhas (Brésil), avec pour thème principal « la gestion adaptative de l'eau ». Le prochain Congrès mondial sera co-organisé en 2014 avec l'Université de Grenade (Espagne).

Depuis 1975, *Water International* est le journal officiel de l'IWRA. Il est publié depuis 2008 par un éditeur international, Taylor & Francis, pour le compte de l'IWRA. Cette publication est une source majeure d'informations en matière de recherche et de politique internationale sur les ressources en eau. Les articles et les notes techniques de *Water International* s'intéressent à la gestion, la politique et la gouvernance de l'eau et s'adressent à un large lectorat interdisciplinaire. Le journal permet aux membres d'être informés et connectés à un réseau d'universitaires et d'opérateurs dans le monde entier grâce à la publication d'informations importantes issues de conférences, de revues, de livres, de discussions, etc.

L'IWRA reconnaît la contribution majeure en matière de gestion de l'eau d'organisations, de professionnels et de chercheurs. Ainsi, durant le congrès mondial de l'eau de l'IWRA, des récompenses sont décernées à des particuliers, des auteurs ou des organisations pour leur participation à l'amélioration de l'état des ressources en eau dans le monde. ...

AISH : Association Internationale des Sciences Hydrologiques

L'AISH, Association Internationale des Sciences Hydrologiques, est une organisation scientifique au service des sciences hydrologiques et de la communauté internationale des hydrologues. Créée en 1922, elle compte plus de soixante comités nationaux et plus de 5 000 adhérents individuels venant de 130 pays. L'objectif de l'AISH est la promotion de l'hydrologie en tant que science de la Terre et fondement de la gestion de l'eau. Il s'agit principalement d'impulser et de coordonner la recherche sur les problèmes hydrologiques au niveau international, d'offrir des moyens de discussion et de publication en matière de recherche hydrologique, de soutenir les sciences hydrologiques dans les pays en développement et la formation des hydrologues.

Les dix commissions scientifiques internationales de l'Association s'intéressent aux divers aspects du cycle hydrologique, aux ressources en eau et à des techniques spécifiques. L'AISH publie le « *Journal des sciences hydrologiques* » bilingue français/anglais (8 numéros par an) et des comptes rendus de conférences dans la collection des « Livres rouges » (350 volumes parus). Nombreux sont les hydrologues montpellierains qui se sont impliqués et s'impliquent encore au sein de l'AISH. À l'heure actuelle, par exemple, Éric Servat (UMR HSM) est président de la Commission Internationale des Eaux de Surface, Frédérique Seyler (UMR Espace-DEV) est vice-présidente de la Commission Internationale de Télédéttection et Gil Mahé (UMR HSM) est membre associé de la Commission Internationale sur les Systèmes de Ressources en Eau.

AFEID : gérer l'eau pour une agriculture durable

L'Association Française pour l'Eau, l'Irrigation et le Drainage (AFEID) est une association à but non lucratif et d'intérêt général créée en 1954. L'AFEID regroupe l'expertise française sur les questions d'eau pour l'alimentation et le développement des territoires ruraux. Ses membres sont des experts adhérents à titre individuel et des organisations : profession agricole, sociétés d'aménagement régional, organismes de recherche, agences de l'eau, bureaux d'études, associations, fondations.

L'AFEID est un lieu privilégié d'échanges sur les questions d'eau pour l'alimentation et le développement des territoires ruraux. En effet, l'AFEID contribue au débat sur les enjeux agricoles et environnementaux liés à l'eau par l'organisation régulière de rencontres régionales ou nationales et de conférences internationales.

L'AFEID est le comité français de la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage (CIID). Elle participe à ses groupes de travail, aux conférences annuelles et contribue aux publications de la revue de la CIID *Irrigation and Drainage*.

Au sein du Partenariat Français pour l'Eau, l'AFEID participe à l'élaboration et à l'expression de la position française dans les grandes instances et les conférences internationales, en particulier les Forums Mondiaux de l'Eau.

L'AFEID est engagée dans une démarche de coopération technique avec l'Agence Française de Développement et le Ministère des Affaires Etrangères et Européennes dans le cadre de l'aide publique au développement.

En France, l'AFEID travaille sur des thématiques communes avec l'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement, la Société Hydrotechnique de France et l'Académie de l'Eau avec le soutien du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement et de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Son organisation est la suivante : un Comité Technique organisé en groupes de travail thématiques structure les réflexions et les travaux de l'association : quelle qualité d'eau pour quel usage ? ; ingénierie écologique pour la restauration des cours d'eau ; instruments économiques, financiers et fiscaux de la gestion de l'eau ; prospective eau et changements globaux ; gestion participative de l'irrigation et co-ingénierie ; échanges d'expérience sur la gestion des systèmes d'irrigation ; gestion des ressources en eau souterraine.

L'animation et la diffusion des informations de l'AFEID sont assurées par un secrétariat permanent basé à Montpellier, siège de l'association.

La recherche sur l'eau dans les systèmes de production au CGIAR

Depuis 2010, Montpellier accueille le siège du *Consortium du CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research)*. Le CGIAR est un partenariat stratégique rassemblant 64 donateurs publics et privés qui appuient 15 centres internationaux travaillant en collaboration avec des centaines de gouvernements, d'organisations de la société civile et d'entreprises privées de par le monde. Au sein du CGIAR, les recherches sur l'eau se déclinent à travers deux programmes : le CPWF (*Challenge Program on Water and*



▲ Extension de l'irrigation moderne dans une oasis du Tafilalet (Maroc).

© T. Ruf

Food), mis en place en 2002, et le CRP5 (CGIAR Research Program) "Water, Lands and Ecosystems", mis en œuvre à partir de 2012.

► CPWF: Challenge Program on Water and Food

Depuis 2002, le CPWF s'intéresse au lien entre l'eau, l'alimentation et la pauvreté dans les pays en développement. Ce programme développe des innovations dans le domaine de l'eau avec les objectifs de réduire la pauvreté, d'améliorer la sécurité alimentaire, de renforcer les communautés rurales et de maintenir les services écosystémiques. Pour ce faire, le CPWF utilise une approche novatrice de recherche et de développement qui rassemble scientifiques, spécialistes du développement, décideurs et communautés rurales dans différents bassins versants.

Le CPWF a déjà produit de nombreuses innovations, notamment dans dix bassins incluant les Andes et le São

Francisco en Amérique du Sud, les bassins du Limpopo, du Niger, du Nil et de la Volta en Afrique ainsi que ceux du Gange, de l'Indus, du Karkheh, du Mékong et du Fleuve Jaune en Asie. Ces bassins couvrent 13,5 millions de km² et abritent environ 1,5 milliard de personnes dont la moitié sont parmi les plus pauvres au monde.

Le CPWF a publié en 2011 les conclusions d'une vaste étude sur l'eau, l'alimentation et la pauvreté dans ces dix bassins. Selon Simon Cook, directeur du CRP5, « *la découverte la plus étonnante est que, malgré toutes les pressions exercées sur nos bassins aujourd'hui, il existe des possibilités relativement directes pour satisfaire nos besoins de développement et pour soulager la pauvreté de millions de personnes sans épuiser notre ressource naturelle la plus précieuse* ».

En effet, les ressources existent pour satisfaire les besoins des populations en 2050, mais la voie vers la durabilité dépend des politiques et

des institutions, particulièrement en ce qui concerne le partage des bénéfices. Citons parmi les résultats majeurs de cette étude :

- Il n'existe que peu de rapport entre rareté de l'eau et pauvreté. Le défi est bien plus complexe que la simple rareté de l'eau. Celle-ci engendre des compétitions pour la ressource en eau et une distribution inéquitable des produits et services issus des bassins (eau, aliments, énergie, services écosystémiques régulateurs).
- Des gains importants de productivité agricole peuvent être réalisés dans les zones en agriculture pluviale, particulièrement en Afrique. Le CPWF a constaté que seuls 4 % de l'eau disponible y sont utilisés pour l'agriculture et l'élevage. Avec de modestes améliorations en Afrique subsaharienne, deux à trois fois plus d'aliments pourraient être produits. De même, l'augmentation de productivité n'est pas simplement dépendante de l'amélioration technologique, mais aussi de celle des marchés (infrastructures, accès aux marchés...). ●●●



▲ Irrigation en Tunisie.

© R. Calvez

- Les agriculteurs sont de plus en plus exposés à des risques du fait du changement et des irrégularités climatiques ainsi que de l'instabilité des marchés.
- Il est important que de nouvelles technologies et politiques renforcent la résilience des agriculteurs (leur capacité à faire face en s'adaptant ou en transformant leurs activités) et améliorent la productivité.
- La gestion de l'eau est habituellement axée sur les besoins d'un secteur sans considérer le fait que l'eau est utilisée à d'autres fins (agriculture, industrie...).
- Les ressources en eau devraient être gérées à l'échelle du bassin, plutôt que par pays ou par secteur. Cette fragmentation institutionnelle peut en effet engendrer des conflits et des politiques inéquitables. De nouvelles approches concernant le partage des bénéfices doivent être identifiées plutôt que de se concentrer uniquement sur l'allocation de l'eau à différents secteurs.

► CRP5 : CGIAR Research Program « Water, Lands and Ecosystems »

Selon les prévisions, la population mondiale atteindra 9 milliards d'habitants à l'horizon 2050. La production agricole devra nécessairement être intensifiée afin de satisfaire une demande alimentaire croissante. Cependant, cette intensification ne pourra pas se faire au détriment de notre environnement, au risque d'affecter de manière irréversible les écosystèmes qui sous-tendent notre agriculture. C'est le défi que doit relever le programme de recherche "Water, Lands and Ecosystems" du CGIAR : comment augmenter

la productivité agricole tout en préservant l'environnement et en réduisant la pauvreté de millions de familles rurales ?

Ce programme, coordonné par l'IWMI (*International Water Management Institute*), rassemble les ressources des 15 centres du CGIAR et de nombreux partenaires extérieurs dans une approche intégrée de la recherche sur la gestion des ressources naturelles. Le programme se concentre notamment sur trois questions critiques : la pénurie d'eau, la dégradation des terres et les services écosystémiques. En filigrane, les questions de sécurité alimentaire, de réduction de la pauvreté et de nutrition et santé sont omniprésentes.

Le programme examinera la façon dont l'évolution des facteurs extérieurs influence les systèmes de production et la façon dont les réponses à ces changements en termes de gestion affectent à leur tour les services écosystémiques : quels sont les impacts sur les ressources naturelles à l'échelle du bassin et du paysage ? Comment mesurer les modifications des services écosystémiques ? Comment utiliser ces informations pour améliorer les décisions en termes de gestion et de politiques des terres et de l'eau ?

Le programme se décline en cinq thèmes de recherche stratégiques :

- Les systèmes irrigués ;
- Les systèmes pluviaux ;
- Récupération et réutilisation des ressources ;
- Bassins hydrologiques ;
- Systèmes d'informations ;

et en deux thèmes transversaux :

- Les services écosystémiques ;
- Les institutions et la gouvernance.

Chaque thème s'attachera à promouvoir la résilience des écosystèmes et à augmenter les services rendus par les écosystèmes tout en minimisant les impacts négatifs. L'objectif est d'améliorer l'adaptation des systèmes de production agricoles et pastoraux aux changements environnementaux en cours.

FRIEND: Flow Regimes from International and Experimental Network Data

FRIEND est le programme phare du Programme Hydrologique International de l'UNESCO (PHI). Il se décline en une dizaine de groupes régionaux à travers le monde et rassemble plus de 100 pays participants. L'objectif est de promouvoir une recherche collaborative internationale visant à développer, par l'échange de données, de connaissances et de techniques, au niveau régional, une meilleure compréhension de la variabilité hydrologique et des similitudes temporelles et spatiales. La connaissance avancée des processus hydrologiques et des régimes d'écoulement acquise grâce à *FRIEND* contribue à améliorer les méthodes applicables en termes de ressources en eau et de planification de leur gestion.

Les thèmes de recherche majeurs étudiés dans chaque groupe *FRIEND* varient selon les régions et

concernent principalement l'érosion et le transport solide, l'écohydrologie, les étiages et eaux souterraines, les événements extrêmes et les crues, la modélisation hydrologique, l'impact du changement global sur les régimes hydrologiques et les ressources en eau, y compris en altitude. Une base de données partagée a été élaborée dans chaque groupe régional et est accessible aux chercheurs associés, via les sites web développés. Les activités développées dans le cadre de FRIEND sous l'égide de l'UNESCO sont de divers types : ateliers scientifiques, conférences internationales, formations, échanges scientifiques...

Les hydrologues montpelliérains sont très présents dans ce grand programme international. Jean-François Boyer (HSM) coordonne les bases de données de plusieurs groupes régionaux : MEDFRIEND (Bassin méditerranéen), FRIEND-AOC (Afrique de l'Ouest et centrale), FRIEND AMIGO (Amérique latine et Caraïbes). La coordination générale de MEDFRIEND est assurée par HydroSciences Montpellier depuis 1999. L'UMR HSM a également assuré pendant près de 10 ans la coordination technique et financière de FRIEND-AOC et reste le partenaire privilégié de cette communauté de chercheurs africains. Enfin, des membres de HSM siègent au sein du Comité de coordination inter-groupes FIREND.

La chaire « Eau pour Tous » pour un accès universel à l'eau et à l'assainissement

Des milliers de villes de plusieurs centaines de milliers d'habitants souffrent d'un service urbain de l'eau à la gestion déficiente. La connaissance, en particulier celle concernant la gestion des services urbains de l'eau et de l'assainissement, constitue un des facteurs limitants pour atteindre les Objectifs de Développement pour le Millénaire dans les pays les plus pauvres. Ce constat a motivé le lancement de la chaire « Eau pour Tous » par la Fondation Suez Environnement et ParisTech en juin 2009. Cette chaire, abritée par l'Institut de France et portée par deux des écoles de ParisTech (AgroParisTech et Mines ParisTech), est née de la volonté de nouer un partenariat de long terme sur le thème du développement de l'accès à l'eau et de l'assainissement dans les pays en développement, émergents ou en transition.

La chaire « Eau pour Tous » a pour ambition de contribuer à la diffusion des connaissances, des savoir-faire et des pratiques opérationnelles de gestion des services urbains d'eau potable et d'assainissement en réseau dans ces pays. Pour ce faire, elle propose à Montpellier un

executive master d'AgroParisTech (cf. p.69), alternativement francophone et anglophone, pour renforcer les compétences des gestionnaires et accompagner les processus de changement dans les services. Elle vise également à créer un réseau constitué des auditeurs et des professionnels largement impliqués dans toutes les étapes de cette formation.

La chaire a également la volonté de constituer un pôle international de référence en adossant la formation à un programme de recherche dédié au développement de l'accès à l'eau et à l'assainissement. Sa structuration scientifique et son contenu sont conçus en lien étroit avec des unités de recherche de Mines ParisTech et d'AgroParisTech (Centre de Gestion Scientifique, UMR G-EAU...). Les axes de recherche sont les suivants :

- faciliter l'accès universel et durable aux services de l'eau et de l'assainissement ;
- analyser les conditions d'accès à ces services ;
- étudier la gouvernance des services d'eau potable et d'assainissement dans les pays en développement et émergents. ■



Thématiques couvertes par les équipes de recherche

(Janvier 2012)

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

1. La ressource : identification, fonctionnement, mobilisation
2. Préservation et restauration de la qualité de l'eau
3. Gestion des ressources et des usages: institutions, territoires et sociétés

Les thématiques « principales » de chacune des équipes sont signalées en rouge (●) dans le tableau ci-dessous.

Page : présentation de l'équipe

Unités	page	1	2	3
UMR ART-Dev - Acteurs, Ressources et Territoires dans le Développement (CNRS, UM3, Cirad, UM1, UPVD) Genevieve Cortès	48			●
UMR EMMAH - Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes (Inra, UAPV) Liliana Di Pietro	14	●	●	
UMR ESPACE-DEV - Espace pour le développement (IRD, UM2, UAG, UR) Frédéric Huynh	47	●		●
UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages (AgroParisTech, Irstea, Ciheam-IAMM, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro) Patrice Garin	40	●	●	●
UMR GM - Géosciences Montpellier (CNRS, UM2) Jean-Louis Bodinier	10	●		
UMR GRED - Gouvernance, Risque, Environnement, Développement (IRD, UM3) Francis Laloë	42			●
UMR HSM - HydroSciences Montpellier (CNRS, IRD, UM1, UM2) Éric Servat	8	●	●	●
UMR IEM - Institut Européen des Membranes (CNRS, ENSCM, UM2) Philippe Miele	26		●	
UMR ITAP - Information - Technologie - Analyse environnementale - Procédés agricoles (Irstea, Montpellier SupAgro) Tewfik Sari	28	●	●	●
UMR LAMETA - Laboratoire Montpellierain d'Économie Théorique et Appliquée (CNRS, Inra, Montpellier SupAgro, UM1) Jean-Michel Salles	44			●
UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème (Inra, IRD, Montpellier SupAgro) Jérôme Molénat	13	●	●	●
UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (AgroParisTech, Cirad, Irstea) Jean-Philippe Tonneau	46	●	●	●
UMS OREME - Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement (CNRS, IRD, UM2) Nicolas Arnaud	13	●		
UPR GREEN - Gestion des ressources naturelles renouvelables et environnement (Cirad) Martine Antona	49			●
UPR EAU/NRE - Eau : Nouvelles Ressources et Économie (BRGM) Jean-Christophe Maréchal	16	●		●
UPR LBE - Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (Inra) Jean-Philippe Steyer	29		●	
UPR LGEI - Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel (EMA) Miguel Lopez-Ferber	12	●	●	●
US « Analyse » - Analyse des eaux, sols et végétaux (Cirad) Daniel Babre	31		●	

Les formations à Agropolis International

dans le domaine de l'eau

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, mastère spécialisé, 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 de l'eau. Ils précisent les niveaux de diplômes, les intitulés des formations et les établissements opérateurs.

Formations entièrement centrées sur la thématique « Eau »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +3	Licence	Sciences de la Vie et de la Terre, parcours Terre et Eau	UAPV
	Licence professionnelle	Gestion Automatisée des Systèmes de Traitement de l'Eau	UM2, Montpellier SupAgro, EPLEFPA de Lozère
Bac +5	Master	Eau - Spécialité « Eau et Société »	AgroParisTech, IAMM, Montpellier SupAgro, UM1, UM2, UM3
		Eau - Spécialité « Eau et Agriculture »	AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM2
		Eau - Spécialité « Eau et Ressources »	UM2
		Eau - Spécialité « Contaminants - Eau - Santé »	UM1, UM2
		Hydrogéologie, Sols et Environnement	UAPV
	Ingénieur	Ingénieur agronome - Option « Gestion de l'eau, des milieux cultivés et de l'environnement »	Montpellier SupAgro
Bac +6	Mastère spécialisé	Ingénieur Polytech' Sciences et technologies de l'eau	UM2
		Gestion de l'Eau	AgroParisTech
		Eau pour Tous - <i>Water for All</i>	AgroParisTech

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

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +2	DUT	Génie Biologique, option Génie de l'Environnement	UPVD
		Chimie : Analyse Chimique Appliquée à l'Environnement	UM2
Bac +3	Licence	Géographie	UM3
		Biologie	UNîmes
		Géosciences, Biologie, Environnement	UM2
		Sciences de la Terre et de l'Environnement	UPVD
		Biologie, Écologie	UPVD
		Gestion et Aménagement Durable des Espaces et des Ressources	UPVD
	Licence professionnelle	Analyse Chimique appliquée à l'Environnement	UM2
		Métiers des Risques et des Impacts Environnementaux	UNîmes
	Métiers du Démantèlement, des Déchets et de la Dépollution et de la Maîtrise des Risques Industriels	UNîmes	

Suite des formations centrées sur d'autres thématiques dont des composantes significatives portent sur la thématique « Eau »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +5	Master	Ingénierie et Gestion Territoriales	UM1, UM2, UM3
		Sociétés Rurales, Territoires et Gestion des Ressources Naturelles en Méditerranée	IAMM
		Gestion Agricole et Territoires	IAMM, UM3
		STIC pour l'Environnement	UM2
		Territoires et Sociétés, Aménagement et Développement	UM3
		Développement Durable et Aménagement	UM3
		Géosciences	UM2
		Écologie-Biodiversité, spécialités : Biodiversité - Évolution, Environnement et Développement Durable	UM2, Montpellier SupAgro (pour BE)
		Géosciences Marines et Environnements Aquatiques	UPVD
		Eau - spécialité : Gestion des Littoraux et des Mers	UM3, UM2, UM1
	Master Européen Développement Agricole Durable / <i>European Master Sustainable Development in Agriculture (AGRIS MUNDUS)</i>	Montpellier SupAgro, 5 universités européennes	
	Ingénieur	Management des Risques et Environnement	EMA
		Ingénieur ISTOM Agro-développement International	ISTOM
		Chimie et Bioprocédés pour un Développement Durable (Chimie verte - Chimie durable)	Montpellier SupAgro
		Ingénieur Agronome, Dominante "Ingénierie de l'Eau et des Déchets"	AgroParisTech
		AgroTIC - Technologies de l'Information et de la Communication	Montpellier SupAgro
Territoires et Ressources : Politiques Publiques et Acteurs		Montpellier SupAgro	
Bac +6	Mastère spécialisé	Sécurité Industrielle et Environnement	EMA
Bac +8	Doctorat	Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences, Environnement (ED 477 SIBAGHE)	AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM1, UM2
		Territoires, Temps, Sociétés et Développement (ED 60 TTSD)	UM3
		Sciences et AgroSciences (ED 536 SAS)	UAPV

Formations courtes non diplômantes

Établissement	Intitulé de la formation
AgroParisTech	Ouvrages de ralentissement dynamique des crues et prévention des inondations (5j)
	Hydrosystèmes : hydromorphologie, hydroécologie, évaluation environnementale (4j)
	Instruments financiers pour le renforcement et le développement des services d'eau et d'assainissement (4j)
	Gestion des ressources humaines d'un service d'eau et d'assainissement (4j)
	Planification stratégique des services d'eau et d'assainissement (12j)
	Ingénierie des digues fluviales existantes (5j)
	Qualité des eaux et Santé (4j)
	Principes et outils pour la gestion des services d'eau et d'assainissement (4j)
	Les trames verte et bleue : outil d'aménagement du territoire (4j)
	Préparation à la négociation d'une délégation de service public pour l'eau ou l'assainissement (4j)
Montpellier SupAgro	Réutilisation des eaux usées par irrigation (21 heures)
UM2	DU Technicien spécialisé en aquaculture
	DU Chef de projet et d'exploitation en aquaculture et halieutique



MASTERS & ÉCOLES DOCTORALES

en rapport avec le thème de « l'Eau »

© H. Jourde

Zoom sur *quelques masters* dans le domaine de l'eau

► Master « Eau » : une formation unique déclinée en cinq spécialités

Montpellier dispose d'un potentiel de recherche et d'enseignement supérieur dans le domaine de l'eau de premier plan au niveau européen avec une diversité disciplinaire unique. Dans un tel contexte, les établissements partenaires (UM1, UM2, UM3, Montpellier SupAgro, AgroParisTech, Ciheam-IAMM) proposent une formation qui couvre l'ensemble des problématiques liées à l'eau. Les cinq spécialités proposées par ce master (dont une spécialité offrant 2 parcours) ont une double finalité, professionnelle et de

recherche. L'orientation définitive se fait en Master 2 en fonction du type de stage, en laboratoire (recherche) ou en entreprise/organisme (professionnel). Les cinq spécialités proposées sont les suivantes :

- Eau et agriculture ;
- Contaminants - eau - santé ;
- Eau et société ;
- Eau et littoral ;
- Eau et ressource (parcours HYDRE « Hydrologie, risque, environnement » ; parcours H3E « Hydrogéologie qualitative et quantitative, Environnement »).

Les principaux débouchés à l'issue de cette formation se trouvent dans les domaines d'activités suivants : Sciences de l'Eau et de l'Environnement ; Gestion des territoires ; Politiques publiques ; Conseil, médiation, évaluation ; Droit de l'environnement, assurances ;

Enseignement supérieur / Recherche ; Contrôle et analyse des eaux ; Risques écotoxicologiques et sanitaires ; Service eau qualité dans les structures publiques ou privées ; Agronomie.

L'accès en Master 1 se fait sur dossier pour les titulaires d'un diplôme de niveau L3 ou équivalent dans des domaines variés (sciences, géographie, droit, administration économique et sociale, santé), selon la spécialité visée. L'accès en M2 est réservé prioritairement aux étudiants ayant validé le M1 Mention Eau, puis sur dossier selon la capacité d'accueil et les pré-requis pour les titulaires d'autres M1. La formation est également ouverte aux salariés en formation continue ou par alternance ainsi qu'à la VAE, au niveau du M1 ou du M2. ...

► **Master « Hydrogéologie, Sols et Environnement »**

Le Master « Hydrogéologie, Sols et Environnement » (HSE) est proposé dans la continuité des formations dispensées à l'Université d'Avignon (UAPV) depuis le début des années 80 pour la recherche et l'ingénierie dans les sciences de l'eau.

L'objectif de ce master est de former des praticiens capables d'appréhender la ressource en eau dans son cadre paysager (impact des modifications de l'occupation du territoire sur la ressource) et dans sa relation avec le sol (rôle quantitatif et qualitatif de cette interface et fragilité vis-à-vis de la pollution). Pour cela, l'acquisition de ces connaissances s'articule autour de trois axes :

- ① Fonctionnement de la zone non saturée
- ② Fonctionnement des aquifères
- ③ Modélisation.

Des relations nouées puis entretenues avec des laboratoires, unités de recherche ou entreprises du secteur de l'eau et de l'environnement permettent à son équipe pédagogique d'être composée à 40 % d'enseignants extérieurs à l'UAPV : des professionnels d'organismes publics de gestion des eaux et de l'environnement et de bureaux d'étude ou sociétés spécialisés dans la protection ou l'exploitation de la ressource en eau ainsi que de chercheurs d'organismes publics partenaires.

Au niveau Recherche, le Master s'appuie sur l'UMR EMMAH qui fait partie de l'ED « Sciences et Agrosciences » de l'UAPV. Le Master HSE est indifférencié Pro et Recherche. La poursuite en doctorat ou la sortie dans le milieu professionnel se fera sur la base du type de stage choisi.

Les étudiants sont recrutés sur dossier au niveau M1 à l'issue d'une licence de Sciences de la Terre ou de Sciences de l'Environnement. Ils intègrent automatiquement le niveau 2 si le M1 est validé. Un recrutement complémentaire de quelques étudiants est réalisé en 2^e année. Le Master 2 est co-habilité avec l'Université de la Réunion (UR).

Les partenaires du département de Sciences de la Terre de l'UR assurent des enseignements spécifiques dans la formation et participent à l'encadrement des stages.

► **Master « Eau pour Tous » : pour renforcer les compétences des futurs managers**

Afin de former et de renforcer les compétences de futurs managers des services urbains d'eau et d'assainissement des pays en développement, émergents ou en transition, la chaire « Eau pour Tous » propose un international executive master « Eau pour Tous » (OpT). Cette formation (dispensée en français et en anglais) offre à des professionnels confirmés de ce secteur des outils, méthodes et technologies pour :

- impulser le changement dans les services ;
- définir et engager les dynamiques de réforme à l'échelle de leur service ou de leur pays ;
- évaluer la durabilité technique, sociale et financière des services ;
- élaborer des stratégies pour les améliorer.

Cette formation de 12 mois, dispensée au centre AgroParisTech de Montpellier, est construite sur un partenariat opérationnel entre :

- l'entreprise qui définit la mission de son auditeur ;
- l'auditeur qui forge le plan d'actions répondant à sa mission ;
- l'équipe de formation, intégrant des professionnels, qui forme et accompagne les auditeurs sur leur mission à Montpellier pour les périodes pédagogiques et dans son service pour la réalisation de sa mission.

Par ailleurs, pour mieux appréhender les problématiques opérationnelles, cette formation en alternance avec le service de l'entreprise d'origine prévoit des périodes pédagogiques et deux périodes au sein de l'organisme (public ou privé) du futur manager pour la mise en application de la mission confiée, ainsi qu'un stage dans un service de référence en Europe.

Les étudiants sont recrutés avec un niveau Bac+5, sur dossier présenté par leur entreprise ou leur autorité de tutelle.

Contacts et coordonnées

Master « Eau »

(UM1, UM2, UM3, Montpellier SupAgro, AgroParisTech, Citeam-IAMM)

Responsable : **Séverin Pistre**

mastereau@msem.univ-montp2.fr

www.master-eau.um2.fr

Master « Hydrogéologie, Sols et Environnement » (HSE)

(UAPV, UR)

Responsable : **Vincent Marc**

vincent.marc@univ-avignon.fr

<http://agrosociences.univ-avignon.fr/fr/mini-site/miniagro/master-hydrogeologie-et-environnement.html>

Master spécialisé « Eau Pour Tous » (OpT)

(AgroParisTech, Mines-ParisTech)

Responsable : **Jean-Antoine Faby**

Contact : opt@engref.agroparistech.fr

www.agroparistech.fr/International-Executive-Master-OpT,2132.html

École doctorale « Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences, Environnement » (ED 477 SIBAGHE)

(UM2, AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM1)

Directeur : **Denis Brouillet**

godelle@univ-montp2.fr

www.sibaghe.univ-montp2.fr

École doctorale « Territoires, Temps, Sociétés et Développement » (ED 60 TTSD)

(UM3, UM1, Montpellier SupAgro, IRD, ENSA)

Directeur : **Denis Brouillet**

denis.brouillet@univ-montp3.fr

Responsable administrative :

Dominique Basty

dominique.basty@univ-montp3.fr

www.univ-montp1.fr/recherche

École doctorale « Sciences et Agrosciences » (ED 536 SAS)

(UAPV)

Directeur : **Philippe Obert**

secretariat-ed@univ-avignon.fr

<http://ed536.univ-avignon.fr>



▲ Promotions 2010 et 2011 du master « Eau pour tous ».

© Chaire Eau pour Tous

> ÉCOLES DOCTORALES

D'une durée de trois ans, le doctorat sanctionne un travail de recherche dans un laboratoire. Tout étudiant s'inscrivant en doctorat est en outre rattaché à une école doctorale. Les écoles doctorales regroupent les unités de recherche ou laboratoires d'accueil autour de grandes thématiques. Elles ont pour mission, outre l'encadrement scientifique direct des doctorants, d'offrir des compléments de formation apportés pendant les trois années de préparation de la thèse sous forme de séminaires et conférences scientifiques et de modules de formation. Ces modules ont pour but d'améliorer la formation scientifique des doctorants et de mieux préparer leur avenir professionnel. Trois écoles doctorales sont concernées par la thématique de « l'Eau ».

Écoles doctorales en lien avec le thème "eau"

► École doctorale « Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement » (SIBAGHE)

L'ED 477 SIBAGHE (Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement), est une école de l'UM2 pour les Sciences de la Vie et de la Terre. Elle est co-accréditée avec Montpellier SupAgro, l'UM1 et AgroParisTech.

L'école doctorale SIBAGHE compte environ 400 doctorants et s'appuie sur 40 unités de recherche qui lui sont rattachées, 450 encadrants HDR et plusieurs équipes de recherche extérieures associées. Chaque doctorant de l'école doctorale SIBAGHE doit justifier du suivi de deux modules de formation scientifique et de deux modules d'ouverture professionnelle.

L'école doctorale gère les inscriptions en thèse, assure le suivi des doctorants, veille au respect de la charte de thèse, organise les cours de thèse et aide à l'insertion professionnelle.

Dans le domaine de l'eau, l'école doctorale accueille des thèses sur le fonctionnement des hydrosystèmes, la qualité de l'eau, les dynamiques d'usage et la gestion de la ressource et des risques. Les aspects quantitatifs aussi bien que qualitatifs sont abordés, en balayant un large spectre de disciplines allant de l'hydrogéologie à la microbiologie.

► École doctorale « Territoires, Temps, Sociétés et Développement » (TTSD)

L'ED 60 TTSD (Territoires, Temps, Sociétés et Développement) est localisée à l'UM3, sur le site de St Charles. Elle regroupe 10 centres de recherche de différents établissements de Montpellier : l'UM3, l'UM1, Montpellier SupAgro, l'IRD, et l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier (ENSA).

L'ED 60 regroupe 65 directeurs de recherche, 280 doctorants dont 32 % de doctorants étrangers et 13 doctorats délivrés. Les principaux axes de recherche comprennent entre autres :

- l'espace rural, le développement durable, la prévention des risques et la préservation des espaces naturels ;
- les relations entre société (groupes humains, institutions, entreprises...) et l'environnement (territoires, ressources...) ;
- les propriétés physiques et ressources (naturelles ou technologiques) des territoires ruraux ou urbains...

Dans le domaine de l'eau, l'école doctorale accueille des thèses sur la gouvernance et la gestion de la ressource, l'accès à l'eau et les conflits d'usages...

► École doctorale « Sciences et Agrosociétés » (SAS)

L'ED 536 SAS (Sciences et Agrosociétés) rassemble les unités de recherche constitutives du domaine « Sciences, Technologie, Santé » de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse ainsi que certaines unités propres du Centre Inra unique PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur). L'ED SAS fédère ainsi, au niveau local, des équipes de recherche complémentaires au plan disciplinaire, avec des origines liées à la biologie, la physique, la chimie, les mathématiques, les agrosociétés, les sciences de l'eau ou du mouvement humain ou encore l'informatique.

Son potentiel de recherche repose sur 15 unités de recherches reconnues, déclinées en quatre équipes d'accueil, quatre UMR (en association avec à l'Inra, le CNRS ou l'IRD), six unités propres et une unité expérimentale de l'Inra, regroupant ainsi 151 enseignants-chercheurs et chercheurs, dont 80 habilités à diriger des recherches. La proximité géographique des unités de recherche constitutives de l'ED (université et Inra) ainsi que l'interdisciplinarité sont des éléments importants qui président à la conduite de son projet.

L'école doctorale SAS accueille des thèses dans le domaine de l'eau sur le fonctionnement des hydrosystèmes, l'écophysiologie végétale, la qualité des eaux... ■

Liste des acronymes *et abréviations*

ACB-DE	Analyse Coût-Bénéfice-Dommages Evités	IMECA	<i>Instituto de Tecnologia Ceramica de Castillon de la Plana</i>
ACV	Analyse du Cycle de Vie	Inra	Institut National de la Recherche Agronomique
AES	Anthropo-EcoSystèmes	INSA	Institut National des Sciences Appliquées
AFEID	Association Française pour l'Étude de l'Irrigation et du Drainage	INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
AISH	Association Internationale des Sciences Hydrologiques	IRD	Institut de Recherche pour le Développement
AMESD	<i>African Monitoring of Environment for Sustainable Development</i>	Irstea	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (ex-Cemagref)
ANR	Agence Nationale de la Recherche	ISTOM	Ecole supérieure d'agro développement international
ART-Dev	Acteurs, Ressources, Territoires pour le Développement	ITAP	Information – Technologie – Analyse environnementale- Procédés Agricoles
BRGM	Bureau des Ressources Géologiques et Minières	IWMI	<i>International Water Management Institute</i>
CEFREM	Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens	IWRA	<i>International Water Resource Association</i>
CERTOP	Centre d'Étude et de Recherche Travail Organisation Pouvoir	LAMETA	Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée
CGIAR	<i>Consultative Group on International Agricultural Research</i>	LBE	Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement
Ciheam	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes	LGEEI	Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel
CIID	Commission Internationale des Irrigations et du Drainage	LISAH	Laboratoire d'étude des Interactions Sols- Agrosystèmes-Hydrosystèmes
Cirad	Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement	LR	Languedoc-Roussillon
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales	LSBB	Laboratoire Souterrain Bas Bruit
CNPq	<i>National Council for Scientific and Technological Development (CNPq)</i>	NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	NGRI	<i>National Geophysical Research Institute</i>
CPWF	<i>Challenge Program on Water and Food</i>	NRE	Nouvelles Ressources et Economie
DCE	Directive Cadre européenne sur l'Eau	OMERE	Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau
DPSIR	<i>Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses</i>	ORE	Observatoires de Recherches en Environnement
ECOSYM	Laboratoire écologie des systèmes marins côtiers	OSU	Observatoire des Sciences de l'Univers
ED	École Doctorale	OREME	Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement
ELSA	<i>Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment</i>	PCRD	Programme-Cadre de Recherche et de Développement de l'Union Européenne
EMA	École des Mines d'Alès	PME	Petites et Moyennes Entreprises
EMMAH	Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes	PMI	Petites et Moyennes Industries
ENSA	École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier	R&D	Recherche et Développement
ENSCM	École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier	SCHAPI	Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
EPLFPA	Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole	SGL	Seine Grands Lacs
ESPACE-DEV	Espace pour le Développement	SOERE	Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement
FP7	<i>European Union 7th Framework Programme</i>	TETIS	Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale
FRIEND	<i>Flow Regimes From International and Experimental Network Data</i>	TPE	Très Petite Entreprise
FUI	Fond Unique Interministériel	UAG	Université des Antilles et de la Guyane
GDE	Gestion de la Demande en Eau	UAPV	Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
G-EAU	Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages	UM1	Université de Montpellier 1
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat	UM2	Université de Montpellier 2
GIRE	Gestion Intégrée de la Ressource en Eau	UM3	Université de Montpellier 3
GM	Géosciences Montpellier	UMR	Unité Mixte de Recherche
GREC	Gouvernance, Risque, Environnement, Développement	UMS	Unité Mixte de Service
GREEN	Gestion des Ressources naturelles renouvelables et ENvironnement	UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
HSM	HydroSciences Montpellier	UNîmes	Université de Nîmes
IAHS	<i>International Association of Hydrological Sciences</i>	UR	Université de la Réunion
IAMM	Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier	UPR	Unité Propre de Recherche
IEM	Institut Européen des Membranes	UPVD	Université de Perpignan Via Domitia
Ifremer	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer	US	Unité de Service
ILEE	Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement	USD	<i>United States Dollar</i>
		VAE	Validation des Acquis de l'Expérience
		ZNS	Zone Non Saturée

Cette publication a été réalisée avec le soutien de l'État et de la Région Languedoc-Roussillon.



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

AgroParisTech
BRGM
Ciheam-IAMM
Cirad
CGIAR
CNRS
EMA
ENSCM
Inra
IRD
Irstea
ISTOM
Montpellier SupAgro
Pôle de compétitivité EAU
Pôle de compétitivité Risques
Transferts LR
UAPV
UM1
UM2
UM3
UNîmes
UPVD

VERSeau Développement

Directeur de la publication : Bernard Hubert

Coordinateur scientifique : Thierry Rieu (AgroParisTech)

Coordinateurs Agropolis International et iconographie :
Mélanie Broin, Paul Luu, Michel Soulié

Rédaction scientifique : Isabelle Amsalem
(Agropolis Productions)

Communication : Nathalie Villeméjeanne

Ont participé à ce numéro : Karine Alary, Patrick Andrieux, Martine Antona, Sandra Ardoïn-Bardin, Nicolas Arnaud, Marc Audibert, Pierre-Alain Ayral, Daniel Babre, Jean-Stéphane Bailly, Pierre Balzergue, Dominique Basty, Christelle Batiot-Guilhe, Véronique Bellon-Maurel, Nicolas Bernet, Jean-Louis Bodinier, Fabien Boulier, Sami Bouoarfa, François Brelle, Stéphan Brosillon, Denis Brouillet, Alexandre Brun, Roger Calvez, Corinne Casiot, Philippe Cattani, Emmanuelle Celier, Flavie Cernesson, Zohra Lili Chabaane, Isabelle Chaffaut, Kostantinos Chalikakis, Cédric Champollion, Jean Chéry, Pierre Chevallier, James Clarke, Jean-Michel Clerc, Simon Cook, Geneviève Cortès, Charles Danquigny, William's Daré, Aurélie Decherf, André Deratini, Benoît Dewandel, Liliana Di Pietro, David Dorchies, Christian Drakidès, Laurent Durieux, Michel Dutang, Christophe Emblanch, Katrin Erdlenbruch, Jean-Christophe Fabre, Jean-Antoine Faby, Hélène Fenet, Naziano Filizola, Perrine Fleury, Sébastien Fonbonne, Odile Fossati, Jochen Froebrich, Patrice Garin, Stéphane Ghiotti, Bernard Godelle, Catherine Gonzalez, Philippe Gouze, Alain Grasmick, Frédéric Grelot, Olivier Grünberger, Jérôme Hamelin, Cécile Hérivaux, Marina Héry, Frédéric Huynh, Frédéric Jacob, Anne Johannet, Hervé Jourde, Pascal Kosuth, Laure Kuhfuss, Philippe Lagacherie, Nathalie Lalande, Serge Lallemand, Lucile Lallié, Francis Laloë, Patrick Le Goulven, Christian Leduc, Véronique Leonardi, Xavier Litrico, Miguel Lopez-Ferber, Gil Mahé, Vincent Marc, Jean-Christophe Maréchal, Gilles Massardier, Jean-Claude Menaut, Philippe Miele, Chantal Miralles, Marie Mojaïsky, Jérôme Molénat, Roger Moussa, Philippe Obert, Kenji Osé, Charles Perrin, Séverin Pistre, Yannick Ponton, Jean-Christophe Pouget, Raphaëlle Preget, Laurent Prévot, Christian Puech, Damien Raclot, Christine Recalt, Pierre Renault, Hélène Rey-Valette, Thierry Rieu, Guillaume Riou, Véronique Rousseau, Emmanuel Roux, Philippe Roux, Denis Ruelland, Stéphane Ruy, Nathalie Saint-Geours, Jean-Michel Salles, Tewfik Sari, Sophie Sauvagnargues, Michel Seranne, Éric Servat, Tom Soo, Raphael Soubeyran, Jean-Philippe Steyer, Wanderli Pedro Tadei, Maxime Thibon, Sophie Thoyer, Bruno Tisseyre, Jean-Philippe Tonneau, Marie-George Tournoud, Jean-Philippe Venot, Michael Victor, Alain Vidal, Yunona Videnina, Marc Vinches, Charlotte Vinchon, Marc Voltz

Remerciements pour l'iconographie : la photothèque Indigo de l'IRD et tous les contributeurs au dossier

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

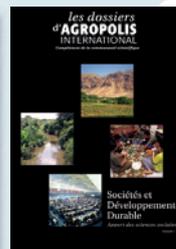
Impression : Les Petites Affiches (Montpellier)
ISSN : 1628-4240 • Dépot légal : Février 2012



Quatorze dossiers parus dans la même collection dont :



Octobre 2007
68 pages
Français et Anglais



Décembre 2008
68 pages
Français et Anglais



Juin 2009
52 pages
Français et Anglais



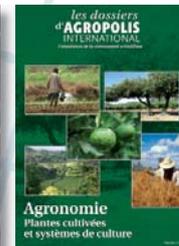
Février 2010
68 pages
Français et Anglais



Février 2010
28 pages
Français et Anglais



Juin 2010
48 pages
Français et Anglais



Juillet 2010
68 pages
Français et Anglais



Octobre 2010
84 pages
Français et Anglais

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.



AGROPOLIS
INTERNATIONAL

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