



*les dossiers*  
**d'AGROPOLIS**

*Compétences de la communauté scientifique*

# Ressources en eau et gestion

# Agropolis

agriculture • alimentation • environnement • sociétés

*Agropolis associe les institutions de recherche et d'enseignement supérieur de Montpellier et du Languedoc-Roussillon, en partenariat avec les collectivités territoriales, des sociétés et entreprises régionales, en liaison avec des institutions internationales. Cette communauté scientifique travaille autour d'un objectif principal : le développement économique et social des régions méditerranéennes et tropicales.*

Agropolis est un campus agronomique international. Il représente un potentiel de compétences scientifiques et techniques exceptionnel : plus de 2 000 cadres scientifiques dans plus de 100 unités de recherche à Montpellier et en Languedoc-Roussillon, ainsi que 500 scientifiques à l'étranger répartis dans 60 pays.

S'appuyant sur ses pôles de compétences thématiques, Agropolis apporte des réponses aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement :

- Agronomie et filières de productions agricoles méditerranéennes et tropicales,
- Biotechnologie et technologie agroalimentaire,
- Biodiversité, ressources naturelles et écosystèmes,
- Eau, environnement et développement durable,
- Développement rural et sociétés,
- Génomique et biologie intégrative végétale et animale,
- Alimentation et santé,
- Qualité et sécurité alimentaire.

Lieu de capitalisation et de valorisation des savoirs, espace de formation et de transfert technologique, plate-forme d'accueil et d'échanges internationaux, la communauté scientifique Agropolis développe des actions d'expertise collective et contribue à fournir des éléments scientifiques et techniques permettant l'élaboration et la mise en place de politiques de développement.

## Introduction

Les sciences de l'eau se trouvent au carrefour de préoccupations majeures de nos sociétés. Elles concernent tous les acteurs locaux, régionaux, nationaux, européens, pour lesquels il est crucial d'apporter des réponses aux questions posées, d'une part, par la gestion d'une ressource renouvelable, mais mal distribuée dans l'espace et dans le temps, et, d'autre part, par des événements (crues, inondations, sécheresses, pollutions, etc.) qui causent des dommages aux personnes et aux biens. Elles sont aussi bien sûr au cœur des questions posées par le développement des pays du Sud.

S'il existe en Europe, dans le domaine de la recherche, de nombreuses équipes qui s'intéressent aux ressources en eau et à leur gestion, Montpellier et le Languedoc-Roussillon constituent un pôle où le nombre de chercheurs et d'établissements concernés, ainsi que l'amplitude et la complémentarité des questions abordées, traduisent une exceptionnelle richesse.

Les établissements d'enseignement supérieur et les organismes de recherche se sont organisés pour mutualiser, dans les domaines de la formation et de la recherche, leurs compétences, leurs moyens analytiques et certains équipements de terrain. Lorsque les questions scientifiques le permettent, ils s'efforcent de partager des chantiers de recherche et des observatoires en région, en Europe et dans les pays méditerranéens et tropicaux.

# Ressources en eau et gestion

<i>Impact de la variabilité climatique</i>	Page 4
<i>Organisation et évolution des versants cultivés</i>	Page 10
<i>Milieux hydrologiques discontinus</i>	Page 12
<i>Contamination des milieux aquatiques</i>	Page 18
<i>Hydrosystèmes aménagés, territoires et sociétés</i>	Page 22
<i>Risques naturels et anthropiques</i>	Page 34
<i>Traitement des eaux et assainissement des eaux usées</i>	Page 42
<i>Thématiques couvertes par les équipes de recherche</i>	Page 46
<i>Les formations Agropolis dans le domaine de l'eau</i>	Page 48
<i>Liste des acronymes et des abréviations</i>	Page 54

# Impact de la variabilité climatique

*Le climat change : la surface de la Terre se réchauffe. Impact des activités anthropiques ou processus naturel...*

*Il est urgent de comprendre le phénomène et d'en évaluer les conséquences à plus ou moins long terme : désertification, inondations, fonte des glaciers tropicaux, etc.*

*Dans les pays du Sud, la question est primordiale.*

*Les données des continents de l'hémisphère Sud sont insuffisantes alors que leur rôle est majeur dans la variabilité climatique planétaire et que ces régions souvent très peuplées sont particulièrement sensibles aux changements. Les basses latitudes subissent un forçage énergétique plus intense que les latitudes tempérées.*

*Il s'y produit des phénomènes singuliers, comme El Niño qui prend naissance dans l'océan Pacifique.*

**I**nstallés sur les sommets enneigés des Andes ou dans les étendues désertiques du Sahel, les scientifiques analysent les interactions complexes de la terre, de l'atmosphère et de l'océan. Ils s'efforcent d'évaluer les conséquences des activités humaines sur l'environnement et le système climatique. Ils puisent de précieuses informations dans les glaciers, les coraux, les sédiments lacustres et reconstituent ainsi les relations entre conditions climatiques et environnementales passées. Leur projet : mieux comprendre les phénomènes actuels, déterminer plus précisément leur impact, affiner les scénarios des modifications de l'environnement en réponse aux changements climatiques à venir.

Par son instabilité et la variabilité de ses impacts à différentes échelles spatiales et temporelles, la variabilité du climat et ses conséquences environnementales se sont imposées dans les dernières décennies comme une priorité de la recherche. L'incidence des variations climatiques sur les sociétés apparaît déterminante dans de nombreux secteurs de l'économie. La prospective à moyen et long terme, propre au concept du développement durable, implique la prise en compte, dans les politiques de gestion de l'eau, des modifications du cycle hydrologique causées tant par les variabilités du climat que par les activités humaines. Associés au réchauffement climatique global, les changements régionaux concerneront aussi la nature et la fréquence des événements météorologiques extrêmes.

La sensibilité particulière des régions tropicales, d'altitude et du pourtour de la Méditerranée à la variabilité climatique en font des régions privilégiées pour mener à bien ce type d'études :

- les zones arides<sup>1</sup>, du fait de la vulnérabilité de leur environnement souvent soumis à une pression anthropique lourde (mises en culture, déforestation, sédentarisation, etc.) ;
- les milieux d'altitude qui offrent des conditions environnementales contrastées, associées à leur fort relief, conditions particulièrement intéressantes pour caractériser la variabilité des conditions hydro-cryo-climatiques et pour offrir aux sociétés, outre leur capacité de château d'eau aux populations aval, des conditions favorables à de rapides adaptations ;
- les zones méditerranéennes qui associent sur des régions côtières de fortes variabilités saisonnières des densités de population et des conditions climatiques.

Ainsi, les recherches tentent actuellement de caractériser les variations actuelles et passées du climat et, en particulier, de mieux comprendre l'impact de ces variations sur la quantité et la qualité de l'eau dans les différents réservoirs continentaux (lacs, rivières, sols, aquifères, neiges et glaces) et sur les autres facteurs de l'environnement aux échelles locales et régionales.

**Anne Coudrain,  
(UR Great Ice, IRD)**

1. Par commodité d'usage, les « zones arides » incluent l'ensemble des zones concernées par la désertification, c'est-à-dire les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches.

*Gouffre de Balaà,  
dans la montagne de Laqluq,  
à Tannourine, dans le nord  
du Mont Liban*



## Impacts climatiques et anthropiques sur les ressources en eau en milieux méditerranéen et tropical

Les travaux développés au sein de l'Unité Mixte de Recherche 5569 (UMR 5569, CNRS, IRD, UMI, UMII) *HydroSciences Montpellier* portent essentiellement sur l'étude des impacts climatiques et anthropiques sur les ressources en eau en milieux méditerranéen et tropical. La finalité de ces travaux passe à la fois par l'analyse et la modélisation des processus mis en jeu et par la caractérisation de phénomènes régionaux et le développement d'approches en modélisation conceptuelle. *HydroSciences Montpellier* développe son activité scientifique autour des mots-clés que sont : (1) l'eau dans l'environnement, (2) l'eau ressource et (3) liens entre variabilité hydro-climatique et ressources en eau. Parmi les quatre axes qui structurent la recherche au sein du laboratoire, deux sont principalement concernés par le défi « impact de la variabilité climatique ».

• « Variabilité hydrologique : analyse, mécanismes et impacts sur les ressources en eau » qui se situe dans le cadre de l'étude des

changements hydrologiques, d'origine climatique et/ou anthropique, dans les zones tropicales et semi-arides. La notion de ressource en eau est, ici, omniprésente tant du point de vue de ses fluctuations que de son évolution.

• « Risques hydrologiques liés aux aléas extrêmes » qui fait apparaître la notion de risque, qu'il soit lié à des événements hydro-climatiques extrêmes ou aux pollutions associées aux flux qu'ils génèrent.

## Évolution des glaciers andins et himalayens

L'Unité de Recherche (UR 032 *Great Ice*) *Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude - Indicateurs Climatiques et Environnementaux* (IRD) étudie l'évolution des glaciers dans les Andes et dans l'Himalaya afin d'évaluer le devenir des ressources en eau d'origine nivo-glaciaire (21<sup>e</sup> s.) et de caractériser la variabilité climatique récente en se concentrant sur le Petit Âge de Glace (15<sup>e</sup> - 19<sup>e</sup> s.) qui permet l'analyse convergente de nombreuses séries de données au pas décennal. Les recherches menées depuis 1991 avec des partenaires sud-américains, européens et plus récemment indiens ont permis d'établir une banque de données de qualité en météorologie, hydrologie et glaciologie. L'unité est responsable dans les Andes de l'Observatoire de Recherche en

### Les principales équipes

#### UMR 5569

##### HydroSciences Montpellier

une centaine de scientifiques \*

(CNRS, IRD, UMI, UMII)

Directeur : **Éric Servat**,

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

fax : +33 (0)4 67 14 47 74

#### US 019

##### OBHI Observatoires hydrologiques et ingénierie

24 scientifiques (IRD)

Directeur : **Bernard Thébé**,

[Bernard.Thebe@mpl.ird.fr](mailto:Bernard.Thebe@mpl.ird.fr)

fax : +33 (0)4 67 91 72 69

#### UR 032

##### Great Ice - Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude - Indicateurs Climatiques et Environnementaux

30 scientifiques dont 19 permanents (IRD)

Directeur : **Anne Coudrain**,

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

fax : +33 (0)4 67 14 90 71

### Autres équipes concernées par ce thème

#### Unité EAU/RMD

##### Évaluation de la Ressource, Milieux Discontinus

19 scientifiques (BRGM)

Directeur : **Patrick Lachassagne**,

[p.lachassagne@brgm.fr](mailto:p.lachassagne@brgm.fr)

fax : +33 (0)4 67 15 79 75

#### UPR Green

##### Gestion des ressources renouvelables, environnement

17 scientifiques (Cirad)

Directeur : **Jean-Pierre Müller**,

[jean-pierre.muller@cirad.fr](mailto:jean-pierre.muller@cirad.fr)

fax : +33 (0)4 67 59 38 27

#### US 166

##### Désertification

9 scientifiques (IRD)

Directeur : **Jean-Marc d'Herbès**,

[dherbes@mpl.ird.fr](mailto:dherbes@mpl.ird.fr)

fax : +33 (0)4 67 16 31 99

L'Unité EAU/RMD, l'UMR 5569, l'UR 032 *Great Ice*, l'US 019 OBHI et l'US 166 Désertification font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)

Directeur : **Pierre Chevallier**,  
[chevalli@msem.univ-montp2.fr](mailto:chevalli@msem.univ-montp2.fr)

## Hausse paradoxale de la nappe phréatique de Niamey (Niger)

Les très nombreuses mesures réalisées par *HydroSciences Montpellier* depuis 1991 dans la région de Niamey (Niger) montrent une hausse continue de la nappe phréatique. Ce phénomène existe en fait depuis plusieurs décennies (hausse moyenne de 3 mètres en 30 ans) et a perduré, y compris pendant les périodes de sécheresse sévère qui ont affecté tout le Sahel dans les années 70 et 80. Cette hausse de la nappe, en contradiction apparente avec les fluctuations climatiques, s'explique en fait par un changement très important de la végétation. La savane arborée naturelle a été supprimée par les paysans au profit de cultures de mil. Ceci augmente très sensiblement le ruissellement à la surface du sol et donc la concentration de l'eau dans les bas-fonds dans des mares temporaires et, de là, l'infiltration vers la nappe phréatique. Les analyses isotopiques de la nappe montrent que la recharge annuelle de la nappe phréatique a été multipliée par 10 en 50 ans.

Ce phénomène a été identifié pour la première fois au Sahel mais des travaux dans d'autres zones proches ont montré que le phénomène affecte une très large bande géographique. À l'heure où l'on parle beaucoup du changement climatique global, on constate une fois de plus que les modifications de la surface du sol par l'homme ont un impact bien plus important sur l'évolution des ressources en eau que les fluctuations du climat.

Contact : **Christian Leduc**, [christian.leduc@ird.fr](mailto:christian.leduc@ird.fr)

Environnement « *GlacioClim* ». Elle conjugue des mesures instrumentales pour les périodes récentes sur lesquelles les forçages anthropiques doivent être pris en compte et des études sur les indicateurs indirects (archives environnementales et historiques) pour les périodes anciennes des quinze mille dernières années. *Great Ice* mène des carottages de glace, conduit des observations en haute altitude ou le long de trajectoires des flux atmosphériques tout en développant des méthodes d'imagerie spatiale, de datation et d'utilisation de traceurs environnementaux. L'ensemble permet de calibrer des modèles hydro-glaciologiques utilisant ou motivant des simulations climatiques. L'unité a trois implantations secondaires dans les Andes (Bolivie, Pérou et Équateur) et a aussi des chantiers en cours au Chili et dans l'Himalaya.

### *Développer un outil pour l'évaluation et la gestion des ressources en eau : les observatoires*

Le *Système Mondial d'Observation du Cycle Hydrologique* - WHYCOS - initié en 1993 par l'*Organisation Météorologique Mondiale* - OMM - vise à améliorer la connaissance des ressources en eau pour un

développement durable en renforçant les capacités techniques et institutionnelles des Services Hydrologiques. WHYCOS met en œuvre un réseau d'observatoires hydrologiques nationaux chargés de fournir des informations d'une qualité homogène, transmises en temps réel ou quasi-réel aux bases de données nationales et régionales. Par ailleurs, WHYCOS facilite la diffusion et l'exploitation des informations sur l'eau, notamment via Internet.

L'Unité de Service (US 019) *Observatoires Hydrologiques et Ingénierie* (OBHI, IRD) participe activement à la mise en œuvre des composantes régionales MED-HYCOS, NIGER-HYCOS (Afrique de l'Ouest), VOLTA-HYCOS et CARIB-HYCOS (composante insulaire). À cette fonction d'observatoire se rattachent des activités de conception, de réalisation et de gestion de bases de données hydrométéorologiques, essentiellement constituées jusqu'à présent de données pluviométriques et de données hydrométriques. De plus, cette unité coordonne des activités d'ingénierie, en particulier en matière de formation.

L'essentiel des ressources en eau douce mobilisables est constitué des précipitations atmosphériques (pluie, neige, glace), des eaux de surface (rivières, lacs, barrages) et

des eaux souterraines. La gestion efficace et durable des ressources en eau implique une excellente connaissance de leur disponibilité et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace. Cette connaissance est fondée sur la mise en œuvre de systèmes d'information qui doivent faciliter l'accès à des données hydrologiques fiables et homogènes sur les pluies, les débits des rivières, la qualité de l'eau, etc.

### *Évaluation et surveillance des causes, des mécanismes et des conséquences de la désertification dans les zones arides et semi-arides*

L'US 166 *Désertification* (IRD) a deux missions principales :

1. la définition et la mise en place d'un réseau d'observatoires locaux pour la surveillance de la désertification (associée à la définition de sa représentativité, de son rôle et de ses fonctions), de l'harmonisation des données et des méthodologies de collecte, de traitement, de stockage et de mise à disposition de l'information. Cette mission induit également l'étude des conditions de la pérennisation du réseau sur le long terme. ●●●



*Remplissage accru des mares naturelles par augmentation du ruissellement (Niger)*



© Michel Soulié



© Michel Soulié

*Glaciers Serrano et Grey  
en Patagonie (Chili)*

## Réchauffement climatique et glaciers andins

Depuis plus de dix ans, en collaboration avec des chercheurs boliviens, péruviens et équatoriens, l'Unité de Recherche 032 *Great Ice* (UR IRD) étudie la fonte des glaciers andins afin de prévoir leur évolution à venir. Des dispositifs de mesures sont installés sur plusieurs glaciers de taille et d'orientation différentes situés entre 4 500 et 6 000 mètres d'altitude pour caractériser leur fonctionnement.

Des carottes sont prélevées dans la glace qui a archivé des indicateurs de la variabilité passée du climat et de son impact sur le cycle de l'eau. L'analyse de la composition de la glace (chimique et isotopique) et des pollens, poussières et insectes déposés dans la glace au cours du temps offre des informations sur les anciens climats. Cependant, reconstituer des valeurs, par exemple de la température de l'air ou de la précipitation neigeuse, à partir de ces indicateurs indirects, est passablement complexe. L'étude de l'enregistrement de ces valeurs sur les périodes récentes est un préalable nécessaire pour caler ces indicateurs indirects des conditions passées. Ainsi, par exemple, pour répondre à la question de l'augmentation de la fréquence des événements El Niño faut-il caractériser leur influence sur les glaciers. Durant les événements El Niño, observés actuellement environ tous les 3 à 7 ans, les précipitations sur les Andes boliviennes diminuent de 25%. Dans ces conditions, la couche de neige superficielle fraîche et blanche qui protège habituellement les glaciers disparaît davantage

et plus vite que les autres années et la poussière s'accumule. La surface du glacier s'assombrit et ce dernier capte plus de chaleur et fond plus rapidement.

Les chercheurs ont également déterminé le rôle de l'humidité de l'air et du vent sur la fonte des glaciers. Lorsque le temps est sec et venteux, la sublimation, transformation de la glace en vapeur, est plus importante. Lorsque l'air est saturé en eau, c'est le passage à l'état liquide (fonte) qui devient prépondérant. Or, la fonte de la glace nécessite 8 fois moins d'énergie que la sublimation. Pour la même quantité d'énergie, le glacier disparaît alors 8 fois plus vite. Les glaciers de petite taille (<0,5 km<sup>2</sup>) sont menacés de disparition complète dans les 15 prochaines années. Ces glaciers perdent environ une épaisseur de un mètre d'eau par an et ne sont plus alimentés de façon permanente dans leur partie supérieure. Ces reculs du front des glaciers des Andes centrales affectent de façon significative la ressource en eau. De façon générale, cette ressource en eau, alimentée par de grands glaciers de plus d'un kilomètre carré, augmente depuis ces dernières décennies. Lorsqu'un certain seuil de la réduction de la superficie de ces glaciers aura été atteint, le volume annuel de fonte diminuera, réduisant la contribution glaciaire à l'alimentation en eau des grandes villes (La Paz, Lima, Quito) et à la production d'énergie hydroélectrique.

**Contact : Anne Coudrain, [coudrain@ird.fr](mailto:coudrain@ird.fr)**



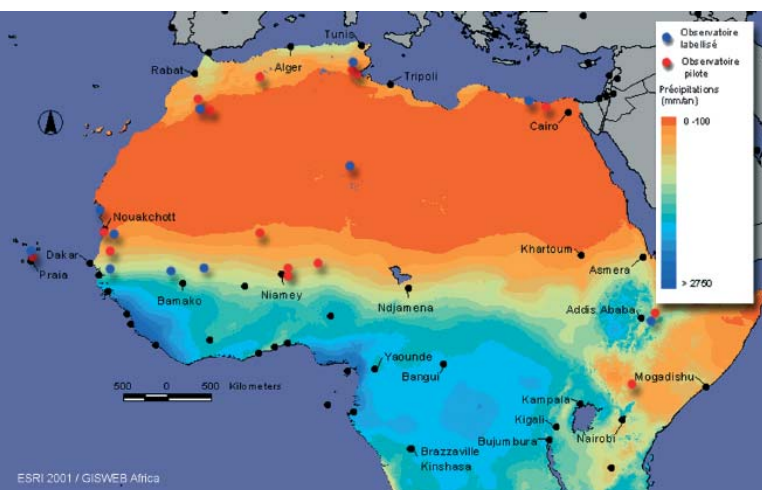
2. une recherche scientifique et méthodologique en amont (identification, valorisation des données et informations historiques) et en aval (valorisation du réseau d'observatoires pour la recherche thématique en réseau sur des chantiers renseignés) de la mise en place du dispositif d'observation pérenne. L'évaluation scientifique et le suivi des impacts de la mise en œuvre des projets de développement font partie intégrante de cette approche scientifique.

L'US 166 *Désertification* s'est structurée autour du programme ROSELT (*Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme*) en Afrique, dont l'OSS (*Observatoire du Sahara et du Sahel*) est maître d'ouvrage. Elle participe au Projet Intégré européen *Desurvey* (*A Surveillance System for Assessing and Monitoring Desertification*) et répond à des demandes concernant

l'Amérique Latine (à travers Agropolis). Elle fédère des thèmes de recherches spécifiques en zones arides et semi-arides, en liaison avec le réseau ROSELT : (1) la modélisation environnementale pour l'élaboration d'un *Système intégré de traitement d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale* (SIEL), (2) le développement de bases de métadonnées pour l'élaboration d'un système de gestion et diffusion de l'information (MdWeb), (3) les dynamiques hydriques et éoliennes à la surface des sols avec les techniques de la très haute résolution spatiale (THR, photos numériques à basse altitude/drône-Pixy) et des dispositifs de mesures au sol, (4) la régulation de l'accès à l'espace et aux ressources ainsi que la gestion patrimoniale de l'environnement, (5) la biodiversité paysagère, floristique et faunistique. Dans le cadre du réseau ROSELT/OSS, l'US 166 *Désertification* est présente

depuis 1998, en partenariat avec des institutions de recherche ou de développement, dans 12 pays africains : Algérie, Égypte, Libye, Maroc et Tunisie (Afrique nord-saharienne), Cap Vert, Mali, Mauritanie, Niger et Sénégal (Afrique sud-saharienne), et Kenya, Éthiopie (Afrique de l'Est). Le Projet Intégré européen *Desurvey* qui a débuté en 2005 comprend 40 laboratoires dont 4 en Afrique liés à ROSELT (Algérie, Maroc, Sénégal et Tunisie) et un au Chili (*Agrimed/Universidad de Chile*). Les travaux de modélisation environnementale se font en partenariat avec le CSIC (*Museo Nacional de Ciencias Naturales*) en Espagne, coordinateur du projet, le King's College de Londres et l'Université de Leeds en Grande-Bretagne, le RIKS (*Research Instituut voor KennisSystemen*) aux Pays-Bas et enfin Medias-France/Toulouse. L'US 166 *Désertification* fait partie de l'IFR 123 ILEE. ■

## Programme régional ROSELT : la recherche au service de la lutte contre la désertification



Implantation des observatoires sur la désertification

La première mission du programme ROSELT/OSS (*Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme / Observatoire du Sahara et du Sahel*) dans le cadre de la Convention internationale de lutte contre la désertification (UNCCD) est de suivre sur le long terme (plusieurs décennies) l'évolution des ressources naturelles dans une trentaine de territoires d'observatoires circum-sahariens en zone aride et semi-aride. Le but essentiel est de fournir aux niveaux national, sous-régional et régional un état critique de ces ressources et de déterminer les tendances au changement de celles-ci ainsi que d'élaborer des pronostics pour une aide à la décision. L'accent est mis sur les ressources renouvelables considérées comme parties identifiables des systèmes écologiques et agro-écologiques productifs ; la ressource en eau en fait partie.

Actuellement, le suivi-évaluation de la ressource en eau se fait essentiellement selon deux axes :

1. suivi pluviométrique en relation avec la végétation et les autres paramètres du climat susceptibles de permettre de mieux quantifier la ressource en eau (températures, etc.) ;
2. suivi des points d'eau (puits, forages, canaux, etc.) en points focaux, des dynamiques d'installation ou de disparition en relation avec les usages et avec la répartition spatiale des pratiques d'exploitation des ressources.

Certains observatoires, en fonction de leur histoire (projets antérieurs) et/ou de la dynamique hydrologique de surface et de profondeur qui les caractérise, ont installé des dispositifs de mesures au sol spécifiques : 1) pour le suivi des nappes phréatiques en termes de disponibilité et d'accès à l'eau pour les hommes et les animaux (Oued Mird au Maroc, Dantiandou au Niger, Ferlo au Sénégal) ou plus spécifiquement pour le suivi de la salinité des nappes (Ribeira Seca au Cap Vert) et 2) pour le suivi des eaux de surface (Ribeira Seca au Cap Vert, Dantiandou au Niger, Haddej Bou Hedma en Tunisie). Les méthodes de collecte et de traitement des informations liées à la thématique « eau » sont progressivement harmonisées dans le réseau. D'autres méthodes de collecte et de traitement des données sur les thématiques centrales de ROSELT (végétation, pratiques d'exploitation des ressources) sont déjà suffisamment consensuelles pour être rapportées dans un guide méthodologique ROSELT. La finalité des observations à long terme est l'intégration des données (au sol et par télédétection), d'une part, dans des bases de données et un outil commun de gestion des méta-données (MdWeb) et, d'autre part, dans un *Système d'Information sur l'Environnement Local*. Ce travail interdisciplinaire permet d'élaborer des diagnostics sur la vulnérabilité des systèmes sociaux et écologiques ainsi que des simulations numériques à partir des forces directrices, climat et démographie qui sont autant d'éléments d'aide à la décision.

**Contacts :** Jean-Marc D'Herbès, [dherbes@mpl.ird.fr](mailto:dherbes@mpl.ird.fr)  
Maud Loireau, [loireau@mpl.ird.fr](mailto:loireau@mpl.ird.fr)

# Organisation et évolution *des versants cultivés*

*Le sol occupe une position clé au sein des hydrosystèmes terrestres du fait de sa position d'interface entre l'atmosphère, le couvert végétal, d'une part, et le substrat géologique et les réserves en eau souterraine, d'autre part.*

*Les écoulements dont il est le siège déterminent aussi bien la distribution spatiale des contraintes hydriques subies par le milieu biologique que des transports de masse dont les conséquences sont marquées sur les plans environnementaux et agronomiques. Toutefois, la mesure, la compréhension et la modélisation des processus d'écoulement restent encore insuffisantes pour répondre efficacement à de nombreux enjeux environnementaux et agronomiques dans les milieux cultivés.*

*Dans ce contexte, le développement d'une hydrologie des milieux cultivés qui prenne en compte à la fois les interactions entre le sol, siège des écoulements, les agrosystèmes, source de forçages et de modification de la géométrie du milieu, et l'état de l'hydrosystème est nécessaire.*

**L**a poursuite de la croissance démographique et l'intensification des modes d'utilisation des sols conduisent à des enjeux environnementaux et agronomiques essentiels dans les milieux cultivés : maîtriser les crues et l'érosion hydrique, préserver, restaurer et évaluer la qualité des ressources en eau et en sols, diagnostiquer les risques environnementaux liés aux utilisations actuelles et futures des sols, créer des réseaux de surveillance de la qualité des eaux et du milieu. L'analyse de l'action de l'homme sur les processus de transfert d'eau et de matière dans les versants cultivés reste alors fondamentale. Ces processus relèvent essentiellement de l'hydrologie de surface (y compris la prise en compte des nappes superficielles). Les démarches utilisées sont à la confluence de l'hydrologie de surface, de la biogéochimie et de l'agronomie.

La communauté scientifique, fortement interpellée par la société pour prévoir et maîtriser les impacts hydrologiques à moyen et long terme des actions anthropiques, a développé de nombreux outils pour représenter l'hétérogénéité des hydrosystèmes, suivre leur évolution et modéliser leur fonctionnement : cartographie par télédétection, systèmes d'information géographiques, modèles hydrologiques spatialisés permettant de simuler les écoulements, les transports solides et la qualité de l'eau. De nombreuses questions restent toutefois en suspens, parmi lesquelles on peut citer :

- les problèmes de changement d'échelles ;
- les effets des discontinuités naturelles ou artificielles sur la production et le transfert d'eau, de sédiments et de solutés sur la dégradation des polluants ;

- la détermination des processus et temps caractéristiques de réponse des hydrosystèmes aux forçages conjugués du climat et de l'action de l'homme.

Dans ce contexte, le modèle méditerranéen demeure privilégié pour affiner les observations sur le milieu cultivé et développer une recherche sur les processus hydrologiques le caractérisant. En effet, ce milieu subit de fortes contraintes hydrologiques (crues extrêmes, sécheresses prolongées) avec des implications économiques significatives. De plus, l'accroissement rapide de la densité de population a des conséquences notables sur la gestion de l'espace cultivé et sa productivité (intensification des productions agricoles dans les terroirs favorables, déprises dans les terroirs non intensifiables, augmentation des captages, aménagements hydro-agricoles). Pour la durabilité économique et environnementale des modes de gestion des milieux cultivés méditerranéens, il importe donc de comprendre les impacts de l'évolution des activités anthropiques sur la quantité et la qualité des ressources en eau et en sols, de développer des outils de diagnostic des risques et de rechercher des modes de gestion durable des hydrosystèmes cultivés.

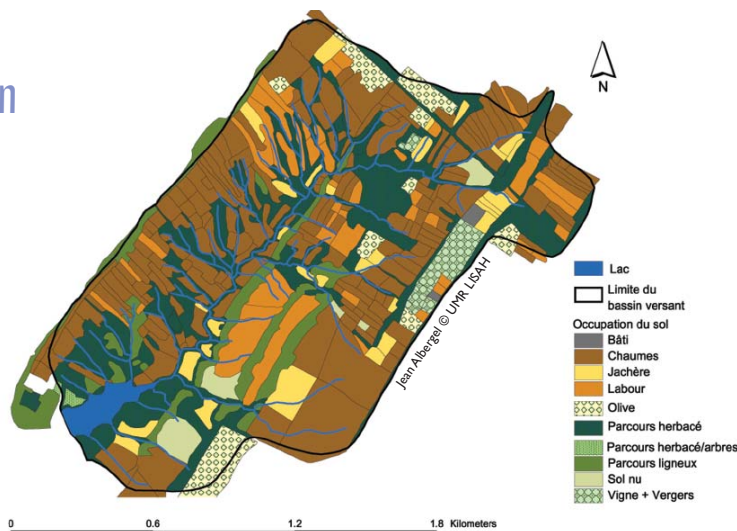
Les chantiers mis en œuvre par les équipes intéressées par cette thématique sont non seulement méditerranéens mais aussi tropicaux. Ils concernent les processus hydrologiques, l'impact des aménagements anthropiques et des activités agricoles, l'impact de l'irrigation sur l'environnement, les ressources en eau et les transferts de matières (érosion et polluants).

**Jean Albergel et Marc Voltz  
(UMR 1221 LISAH, Agro. M, Inra, IRD)**

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

La région méditerranéenne est soumise à de fortes contraintes sur le plan hydrologique (crues extrêmes, sécheresses prolongées) avec des implications économiques fortes. L'accroissement rapide de la densité de population entraîne une intensification des modes d'utilisation des sols et une évolution de la gestion des espaces cultivés. Depuis une cinquantaine d'années, ces évolutions modifient le régime d'écoulement des petites rivières et torrents des campagnes du pourtour méditerranéen et accélèrent les phénomènes d'érosion. L'usage de plus en plus important de produits phytosanitaires conduit à une dégradation de la qualité des eaux de ruissellement et d'infiltration et à des accumulations de substances toxiques dans les nappes phréatiques ou dans les lagunes côtières exutoires des écoulements. Dans ce contexte méditerranéen particulier aux enjeux environnementaux et agronomiques essentiels, l'observatoire a pour objectif de documenter les travaux de recherche sur l'impact des actions anthropiques sur l'érosion physique et chimique des sols et sur la qualité de l'eau sur deux sites : le bassin versant de Kamech (Tunisie) et celui de Roujan (France). L'observatoire veut ainsi contribuer

i) à l'analyse de l'impact de l'occupation du sol et de l'aménagement du milieu sur les régimes et bilans hydrologiques, ii) à l'évaluation des dynamiques et intensités respectives des phénomènes d'érosion aréolaire et ravinatoire en relation avec l'anthropisation du milieu,



*Kamech (Tunisie) : occupation du sol au 4/10/2004*

iii) à l'analyse des mécanismes d'évolution à moyen et long terme de la qualité des eaux en réponse à un changement de pression polluante par les xénobiotiques organiques utilisés en agriculture, iv) au développement d'une structure générique de « modélisation hydrologique distribuée » en milieu cultivé.

**Contacts :** Jean Albergel, [albergel@ensam.inra.fr](mailto:albergel@ensam.inra.fr)  
 Marc Voltz, [voltz@ensam.inra.fr](mailto:voltz@ensam.inra.fr)

## Développement d'une hydrologie des milieux cultivés

Le Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème (UMR 1221 LISAH) est une Unité Mixte de Recherche qui regroupe des chercheurs de l'Inra et de l'IRD et des enseignants-chercheurs de l'École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (Agro. M). Sa thématique centrale de recherche est l'étude de l'hydrologie des milieux cultivés. Ses objectifs spécifiques sont :

- développer les connaissances sur l'érosion, les transferts d'eau et de matière et le devenir de substances polluantes (pesticides et métaux) 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.

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. Le LISAH gère un observatoire de recherche en environnement intitulé OMERE (Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau, voir l'encadré ci-dessus) 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 est implanté, d'une part, en France sur le campus agronomique de la Gaillarde, à Montpellier, et, d'autre part, dans plusieurs pays méditerranéens (Maroc, Syrie et Tunisie) dans le cadre de collaborations avec des institutions de recherche et d'enseignement supérieur agronomiques de ces pays : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat, *Arabic Center for the Studies of Arid zones and Dry lands* à Damas, Institut national de recherche du génie rural et des eaux et forêts et Institut national agronomique à Tunis. ■

## Les principales équipes

**UMR 1221 LISAH**  
**Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème**  
 70 scientifiques (Agro. M, Inra, IRD)  
**Directeur : Marc Voltz,**  
[voltz@ensam.inra.fr](mailto:voltz@ensam.inra.fr)  
 fax : +33 (0)4 67 63 26 14

### Autres équipes concernées par ce thème

**UMR 5474 LAMETA**  
**Laboratoire Montpellierain d'Économie Théorique et Appliquée**  
 une centaine de scientifiques (Agro. M, CNRS, IAM.M, Inra, UMI)  
**Directeur : Daniel Serra,**  
[serra@lameta.univ-montp1.fr](mailto:serra@lameta.univ-montp1.fr)  
 fax : +33 (0)4 67 15 84 67

**UMR 5569**  
**HydroSciences Montpellier**  
 une centaine de scientifiques (CNRS, IRD, UMI, UMII)  
**Directeur : Éric Servat,**  
[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)  
 fax : +33 (0)4 67 14 47 74

**US 49**  
**Laboratoires d'analyses physico-chimiques des sols, eaux et végétaux**  
 30 scientifiques (Cirad)  
**Directeur : Alain Aventurier,**  
[alain.aventurier@cirad.fr](mailto:alain.aventurier@cirad.fr)  
 fax : +33 (0)4 67 61 56 42

**US 166**  
**Désertification**  
 9 scientifiques (IRD)  
**Directeur : Jean-Marc d'Herbès,**  
[dherbes@mpl.ird.fr](mailto:dherbes@mpl.ird.fr)  
 fax : +33 (0)4 67 16 31 99

L'UMR 1221 LISAH, l'UMR 5569 et l'US 166 Désertification font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)  
**Directeur : Pierre Chevallier,**  
[chevall@mse.univ-montp2.fr](mailto:chevall@mse.univ-montp2.fr)

# Milieus hydrologiques *discontinus*

*Les dernières décennies ont vu la mise au point d'une large panoplie d'outils de gestion de la ressource en eau, en particulier dans le domaine de la gestion intégrée des eaux de surface et souterraines.*

*La transposition de ces outils dans le domaine opérationnel a autorisé la mise en œuvre de politiques de développement économique de vastes régions de par le monde, tant au sein des pays développés qu'en développement. Grâce à ces méthodes et outils, les ressources en eau souterraine des aquifères à porosité d'interstices (alluvions, sables, grès, calcaires poreux, etc., des bassins sédimentaires) ont pu être largement mises en valeur et exploitées selon les règles du développement durable.*

**D'** autres types de milieux naturels, les aquifères discontinus, en raison de leur plus grande complexité apparente, ne disposent pas encore de ce type d'outils. Les aquifères karstiques qui se développent au sein des roches calcaires et les aquifères dits de « socle » présents dans les roches plutoniques et métamorphiques (granites, schistes, etc.) sont qualifiés de « discontinus » principalement en raison du caractère « discret » de leur perméabilité : celle-ci varie de plusieurs ordres de grandeur entre un vide karstique ou la fracture d'un granite et la matrice rocheuse qui les entoure. Ces aquifères se caractérisent également par les difficultés rencontrées pour la caractérisation de la distribution spatiale des zones

perméables et très peu perméables. Ils présentent donc des propriétés (structure, fonctionnement) très différentes de celles des aquifères à porosité d'interstices (milieux « poreux ») qui renferment les aquifères les plus classiquement rencontrés en hydrogéologie et sur lesquels ont porté, jusqu'à présent, l'essentiel des travaux de recherche.

Les aquifères discontinus représentent néanmoins de très forts enjeux à moyen terme (aussi bien à l'échelle européenne que mondiale) tant par la surface des régions concernées et le contexte climatique (semi-aride à aride, en particulier) auquel nombre d'entre elles sont soumises que par l'importance des ressources en eau mobilisables.

## Le projet MEDITATE : pour capter l'eau douce des sources sous-marines sur le pourtour méditerranéen

De nombreux pays méditerranéens vont être confrontés à des problèmes d'alimentation en eau potable au cours des prochaines décennies. Le captage des sources sous-marines karstiques représente une alternative possible. L'analyse des sources sous-marines du point de vue géologique et hydrogéologique (détermination du débit à l'aide d'un engin autonome sous-marin, développé par le Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de l'UMII, et suivi en continu des paramètres physico-chimiques) constitue un des objectifs du projet MEDITATE (*Mediterranean Development of Innovative Technologies for integrAted waTer managemEnt*), coordonné par le BRGM (Géosciences pour une Terre durable, Montpellier). L'UMR 5569 (CNRS, IRD, UMI, UMII) *HydroSciences Montpellier* est également impliquée dans ce projet avec, notamment, la caractérisation du fonctionnement des systèmes karstiques associés à ces résurgences sous-marines. De nombreuses sources sous-marines ont été identifiées en Méditerranée et localisées à des profondeurs variables (-5 mètres jusqu'à quelques -150 mètres) comme c'est le cas au Liban, en Syrie et en Turquie où sont situés les sites tests du projet. Durant le Quaternaire et le Messinien (-5,5 millions d'années), le niveau de la mer était situé entre -120 et -1 500 mètres sous le niveau actuel, permettant ainsi le développement de la karstification en profondeur. Une fois les débits déterminés ainsi que le fonctionnement et la structure des systèmes karstiques analysés, des modèles hydrologiques seront ensuite développés. Ils seront intégrés à un système d'aide à la gestion de la ressource comprenant des scénarios divers de besoin en eau, développés à partir d'une analyse socio-économique sur les besoins en eau pour les horizons 2025 pour les zones d'étude des pays concernés, incluant le bassin de l'Amman Zarqa en Jordanie.



Source  
sous-marine de la Vise  
(Étang de Thau,  
Hérault, France)

Nathalie Dörfliger © BRGM

Contact : Nathalie Dörfliger, [n.dorfliger@brgm.fr](mailto:n.dorfliger@brgm.fr)



Source du Lez  
(Hérault, France)

© Michel Soulié

### *Les aquifères karstiques : des ressources en eau pour le futur*

Les aquifères karstiques des régions calcaires font encore le plus souvent l'objet d'une économie de cueillette (exploitation du débit de débordement des sources) alors que les volumes d'eau stockés en leur sein sont souvent considérables et que leur très bonne aptitude à la recharge par les précipitations autorise la mise en œuvre de politiques très efficaces de « gestion active » : méthode d'exploitation durable qui veille à respecter les conditions de reconstitution des réserves tout en préservant l'environnement (maintien de débits réservés au sein des cours d'eau, par exemple). La méthode consiste à s'affranchir des variations saisonnières par des prélèvements supérieurs au débit d'étiage, compensés par une recharge en période de hautes eaux. Ces ressources en eau constituent l'une des clés de la réponse à l'augmentation des besoins en eau, tout particulièrement sur tout le pourtour du bassin méditerranéen, très richement doté en aquifères karstiques.

Des méthodologies permettant l'évaluation et la mise en valeur de la ressource en eau souterraine karstique, basées sur des approches pluridisciplinaires (géologie, géomorphologie, métrologie des sources et traitement du signal, hydrogéochimie, etc.) ont été développées très récemment et sont d'ores et déjà opérationnelles. L'amélioration des techniques et méthodes se poursuit, en particulier pour ce qui concerne les aquifères karstiques littoraux, avec la métrologie des sources sous-marines.

### *Les aquifères de socle : des ressources en eau bien réparties spatialement*

Les aquifères de socle (roches de type granitique et métamorphique) concernent de très vastes régions de par le monde, en particulier au sein des zones tropicales : la grande majorité des continents africain, sud et nord-américain, l'Inde, etc. Ils présentent des ressources en eau souterraine beaucoup plus modestes que celles des aquifères karstiques mais très bien réparties spatialement, ce qui explique le caractère en général dispersé de la distribution des populations dans ces régions. Les dernières décennies ont néanmoins vu le développement de techniques efficaces d'exploitation des eaux souterraines qui ont permis d'accompagner le développement économique des régions concernées. Ainsi, à titre d'exemple, l'autosuffisance alimentaire indienne est, pour une part très significative, basée sur l'irrigation à partir des eaux souterraines issues d'aquifères de socle. La forte augmentation de l'utilisation de ces « nouvelles » ressources en eau requiert la mise au point d'outils/méthodologies permettant d'en assurer une gestion durable à l'échelle du bassin versant.

Les équipes impliquées dans ce thème ont tout particulièrement contribué à ces développements méthodologiques au cours des dernières années, en particulier en mettant au point une méthodologie permettant de cartographier la distribution spatiale des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, porosité) des aquifères de socle à l'échelle de régions de plusieurs dizaines à centaines de kilomètres carrés. Cette méthodologie a été déclinée sous la forme de

modèles de gestion de la ressource en eau. Une des principales ambitions actuelles des chercheurs consiste à mettre au point des méthodologies permettant de procéder à un nouveau changement d'échelle. Il s'agit de disposer d'outils et de méthodologies de gestion quantitative de la ressource en eau à l'échelle d'une unité de gestion de type administratif (par exemple un état indien), ce qui correspond à des domaines de plusieurs milliers à des dizaines de milliers de kilomètres carrés.

### *D'autres aquifères non conventionnels : ceux des régions volcaniques*

En valeur absolue, les régions volcaniques représentent des domaines relativement réduits à l'échelle du globe. Leurs ressources en eau peuvent néanmoins revêtir une importance cruciale, en particulier dans de nombreux milieux insulaires exclusivement volcaniques. Même si leur spécificité requiert des approches très différentes, la problématique est assez similaire à celle des milieux karstiques et de socle : le passage d'une économie de cueillette à la gestion active de la ressource en eau et le développement de méthodes de gestion à l'échelle du bassin versant.

La mise au point d'outils permettant la mise en valeur et la gestion durable de ces aquifères « non conventionnels » constitue l'un des enjeux majeurs à court terme (4 ans). À plus long terme (10 ans), les aspects qualitatifs de la question (transferts de polluants au sein de ces milieux) devront être traités.

**Patrick Lachassagne**  
**(Unité EAU/RMD, BRGM)**

### Des outils, méthodologies et connaissances pour la mise en valeur, la gestion et la protection des ressources en eau



© Michel Soulié

Géothermie (Açores, Portugal)

L'unité RMD « Évaluation de la Ressource, Milieux Discontinus » est rattachée au service EAU du BRGM. Elle constitue, avec le Service Géologique Régional Languedoc-Roussillon, l'établissement du BRGM de Montpellier. Son activité de recherche a pour principal objectif de mettre à disposition des décideurs, français et étrangers, des connaissances, outils et méthodologies permettant d'assurer la mise en valeur, la gestion et la protection des ressources en eau et de fonder sur celles-ci des politiques de développement économique efficaces, durables et respectueuses de l'environnement.

Cette unité est organisée autour de trois principaux thèmes de recherche :

- **Le thème de recherche « Hydrosystèmes complexes »** porte sur les hydrosystèmes spécifiques, et notamment les aquifères, que renferment les régions de socle cristallin (roches granitiques et métamorphiques), les régions calcaires karstiques et les régions volcaniques. Il vise à l'amélioration des connaissances et des concepts concernant leur structure et leur fonctionnement et au développement des méthodes et des outils destinés à la prospection, l'exploitation, la gestion et la préservation de la ressource en eau de ces régions.
- **Le thème de recherche « Socio-économie »** vise à développer des méthodes et outils d'aide à la gestion intégrée des bassins versants, en lien étroit avec les exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Il est structuré en quatre axes principaux : l'évaluation économique des mesures de gestion des ressources en eau (analyses coûts/efficacité et

#### Les principales équipes

**Unité EAU/RMD**  
Évaluation de la Ressource,  
Milieux Discontinus  
19 scientifiques (BRGM)  
Directeur : Patrick Lachassagne,  
[p.lachassagne@brgm.fr](mailto:p.lachassagne@brgm.fr)  
fax : +33 (0)4 67 15 79 75

**UMR 5569**  
HydroSciences Montpellier  
une centaine de scientifiques (CNRS, IRD, UMI, UMII)  
Directeur : Éric Servat,  
[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 47 74

#### Autres équipes concernées par ce thème

**UMR 1221 LISAH**  
Laboratoire d'étude des Interactions  
entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème  
70 scientifiques (Agro. M, Inra, IRD)  
Directeur : Marc Voltz,  
[voltz@ensam.inra.fr](mailto:voltz@ensam.inra.fr)  
fax : +33 (0)4 67 63 26 14

**UMR 5568**  
Laboratoire de Tectonophysique  
une soixantaine de scientifiques (CNRS, UMII)  
Directeur : Jean-Louis Bodinier,  
[bodinier@dstu.univ-montp2.fr](mailto:bodinier@dstu.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 36 03

L'unité EAU/RMD, l'UMR 1221 LISAH et l'UMR 5569 HydroSciences Montpellier font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)  
Directeur : Pierre Chevallier,  
[chevallier@msem.univ-montp2.fr](mailto:chevallier@msem.univ-montp2.fr)

## Évaluation des risques liés aux crues souterraines exceptionnelles en milieu karstique pour la protection d'infrastructures

Le climat méditerranéen se caractérise par des précipitations irrégulières et des cumuls de pluies pouvant être très importants. Lors de tels événements pluvieux, les débits aux exutoires karstiques augmentent très fortement entraînant des inondations catastrophiques, récurrentes dans notre région. Ces dernières années, *HydroSciences Montpellier* a développé différents outils (approche hydrodynamique couplée à la modélisation, utilisation de traçages naturels et artificiels) qui ont permis d'améliorer la connaissance du fonctionnement et de la gestion des systèmes karstiques. Les recherches s'orientent également sur l'impact que peuvent avoir ces hydrosystèmes sur la genèse de crues catastrophiques.

Il s'agit d'évaluer le risque de hausse piézométrique jusqu'à une cote altimétrique donnée (qui peut être la cote du sol ou la cote des fondations du bâtiment), susceptible d'endommager les installations de surface et souterraines. Il est en premier lieu nécessaire de caractériser les crues souterraines exceptionnelles (crues centennales ou millénales). Il est ensuite possible d'évaluer les épisodes pluvieux qui les déclenchent et d'identifier leurs périodes de retour. Des simulations de crues souterraines exceptionnelles sont effectuées à partir d'un modèle adapté aux réservoirs fracturés et/ou karstifiés. Le fonctionnement hydrodynamique du réservoir en question peut ainsi être appréhendé. Les résultats de la simulation servent à dimensionner des dispositifs de drainage pour les bâtiments dont les fondations risquent d'être soumises à des surpressions (contrôle hydrodynamique du site).

**Contacts : Séverin Pistre, [pistre@msem.univ-montp2.fr](mailto:pistre@msem.univ-montp2.fr)**  
**Hervé Jourde, [jourde@msem.univ-montp2.fr](mailto:jourde@msem.univ-montp2.fr)**

coûts/bénéfices) ; le développement de méthodes de participation des acteurs à la planification de la gestion de l'eau ; la mise en œuvre d'analyses prospectives et l'élaboration de scénarios tendanciels ; la modélisation microéconomique afin de simuler l'impact de divers instruments de gestion de l'eau sur les comportements des usagers.

• **Le thème de recherche « Modélisation intégrée »** vise principalement à développer des outils de modélisation de bassins versants intégrant le fonctionnement physique (hydrologique, hydrogéologique, écologique, etc.) des hydrosystèmes et les activités humaines (socio-économie).

L'unité EAU/RMD mène son activité de recherche en partenariat avec des équipes de recherche françaises et internationales, en particulier au sein de l'IFR ILEE et avec les autres unités du BRGM, tout particulièrement celle mettant au point des outils hydrogéochimiques et les équipes spécialisées en modélisation numérique, en géologie

et en géophysique. Elle intervient en métropole, Outre-Mer (DOM/TOM) et à l'étranger, en particulier sur le pourtour du bassin méditerranéen. Par ailleurs, le centre franco-indien de recherche sur les eaux souterraines d'Hyderabad (Inde), centre mixte BRGM/NGRI (*National Geophysical Research Institute*) est rattaché au thème de recherche « Hydrosystèmes complexes » de l'unité EAU/RMD. Ses travaux portent principalement sur les aquifères de socle en contexte semi-aride.

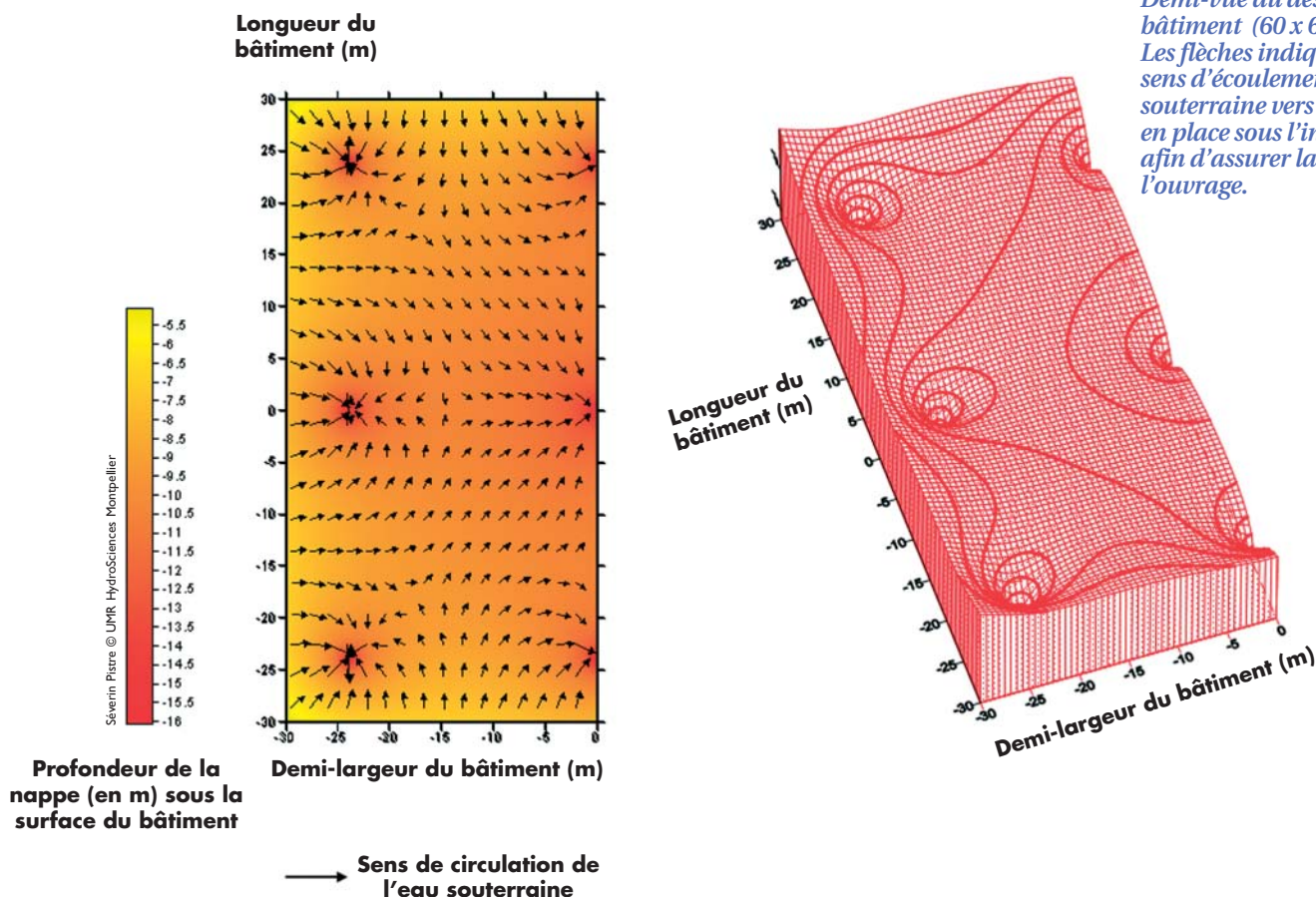
### Ressources en eau d'origine karstique en milieux méditerranéen et tropical

Les travaux développés au sein de l'UMR 5569 *HydroSciences Montpellier* (CNRS, IRD, UMI, UMII) portent essentiellement sur l'étude des impacts climatiques et anthropiques sur les ressources en eau en milieux méditerranéen et tropical. La finalité de ces travaux passe à la fois par l'analyse et la modélisation des processus mis en jeu et par

la caractérisation de phénomènes régionaux et le développement d'approches en modélisation conceptuelle. *HydroSciences Montpellier* développe son activité scientifique autour des mots-clés que sont : (1) l'eau dans l'environnement, (2) l'eau ressource et (3) liens entre variabilité hydro-climatique et ressources en eau.

Parmi les axes qui structurent la recherche au sein du laboratoire, l'un d'eux est principalement concerné par le défi « Milieux hydrologiques discontinus » : « Karsts et Milieux fissurés » qui s'intéresse aux roches fissurées et particulièrement aux karsts et aux roches carbonatées dont l'importance est considérable en tant qu'aquifères et qui constituent des ressources en eau privilégiées, notamment en milieu méditerranéen. ■

*Carte piézométrique de l'aquifère karstique lors des crues milléniales. Demi-vue du dessus du bâtiment (60 x 60 m). Les flèches indiquent le sens d'écoulement de l'eau souterraine vers les drains mis en place sous l'infrastructure afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage.*



# Les aquifères des régions granitiques et métamorphiques : une ressource en eau enfin reconnue

Les roches de socle (*figure 1* - granites, roches métamorphiques : schistes, gneiss, etc.) occupent des surfaces importantes tant à l'échelle du globe qu'en Europe ou en France.

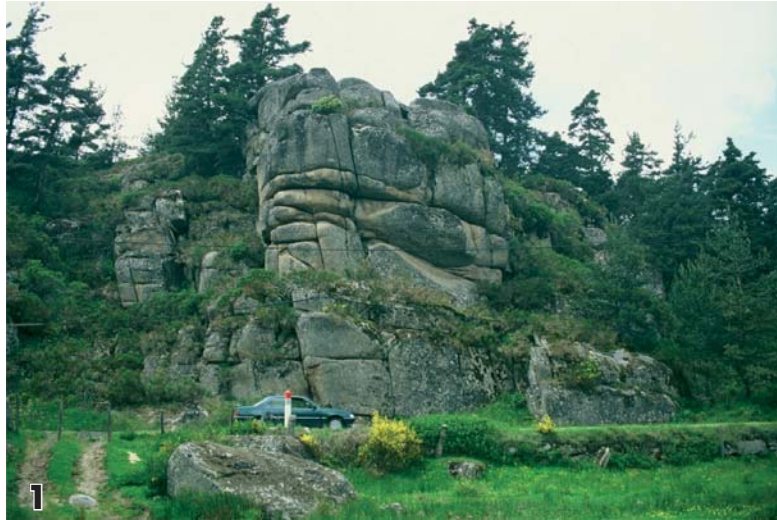
Leurs ressources en eau souterraine participent significativement au développement rural et économique des régions concernées, en particulier en contexte aride ou semi-aride où le recours aux eaux de surface est limité.

Les connaissances sur la genèse, la géométrie, les propriétés hydrauliques et le fonctionnement des aquifères de socle ont fait récemment l'objet de progrès très significatifs. Il a en particulier été démontré que ce sont les processus d'altération climatique (hydrolyse des minéraux) qui sont à l'origine de leurs propriétés aquifères avec le développement de profils d'altération comprenant, de haut en bas (*figure 2*) : 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 m d'épaisseur, résultant lui aussi des processus d'altération et auquel l'aquifère de socle doit l'essentiel de sa perméabilité.

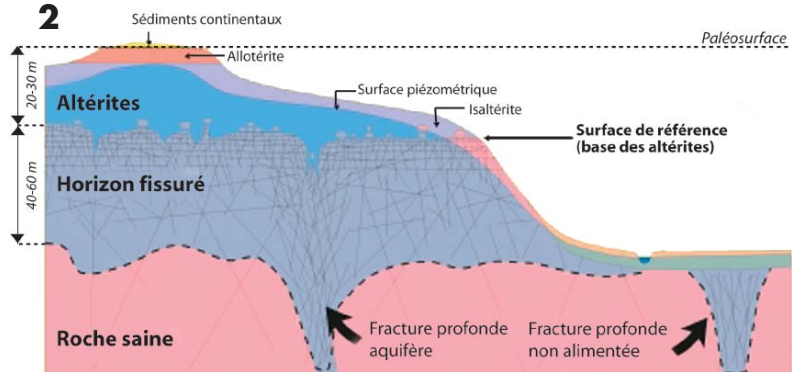
De ces nouveaux concepts géologiques et hydrogéologiques découlent de nombreuses applications pratiques : depuis l'échelle régionale de cartographie des potentialités en eau souterraine (*figures 3a et 3b*) jusqu'à celle des outils de gestion de la ressource en eau au niveau du bassin versant qui devient indispensable dans certains contextes d'exploitation intensive (en Inde par exemple, *figure 4*), en passant par les techniques et méthodes d'implantation des forages (amélioration du taux de succès en termes de débit exploitable).

**Contacts :** Patrick Lachassagne, [p.lachassagne@brgm.fr](mailto:p.lachassagne@brgm.fr)  
& Jean-Christophe Maréchal, [jc.marechal@brgm.fr](mailto:jc.marechal@brgm.fr)

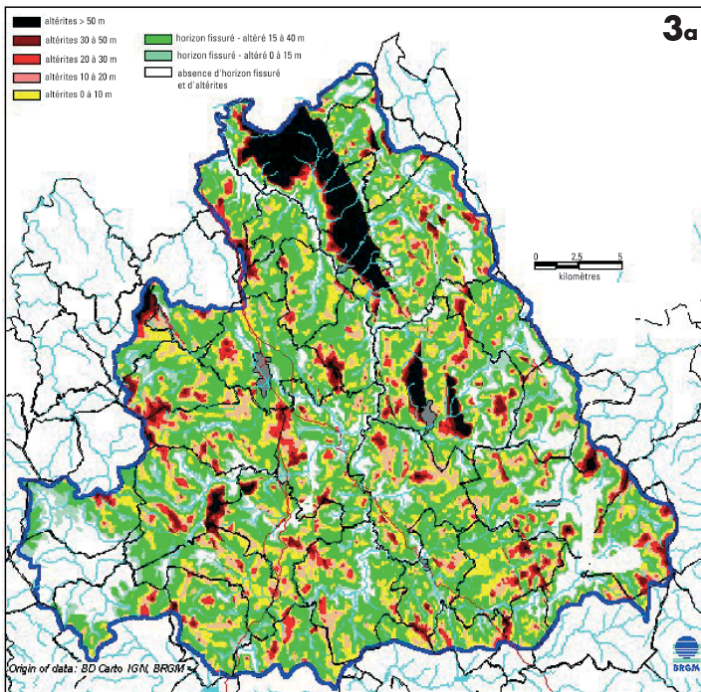
Patrick Lachassagne © BRGM



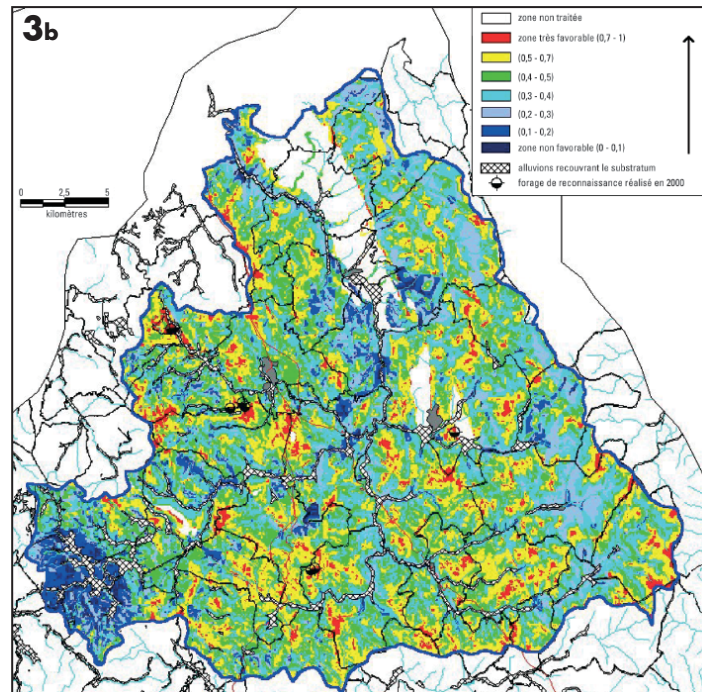
2



Patrick Lachassagne © BRGM



3a



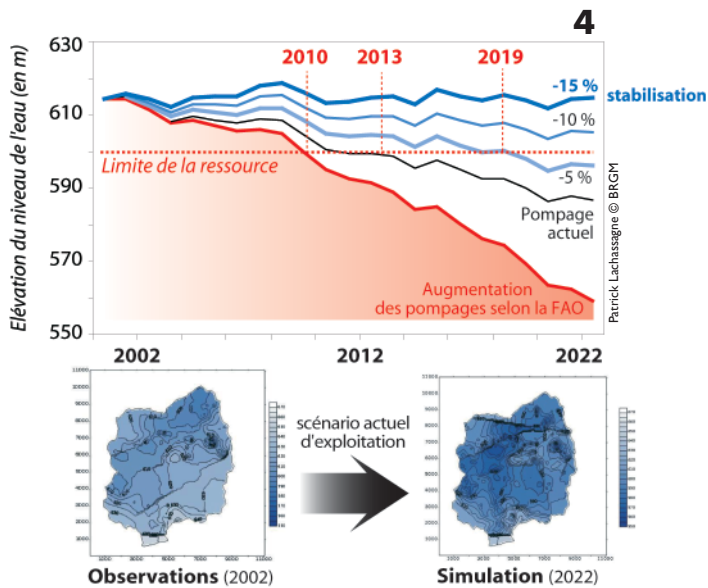
3b

Patrick Lachassagne © BRGM

- Couleurs jaune, rouge, noir : épaisseurs croissantes d'altérites
- vert : horizon fissuré-altéré
- blanc : roche saine

- du noir au rouge : potentialités en eau souterraine croissantes





1. L'horizon fissuré-altéré (partie médiane à inférieure) au sein de granites (Margeride, Massif Central français)

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

3. Bassin versant lozérien de la Truyère (Lozère), 700 km<sup>2</sup>.

a. carte de l'épaisseur des altérites et de l'horizon fissuré – altéré.

b. carte des potentialités en eau souterraine (analyse multicritères)

4. Prévisions de l'évolution de la ressource en eau souterraine pour différents scénarios de politiques agricoles. Bassin versant de Maheshwaram, Andhra Pradesh, Inde.

Hervé Jourde © UMR HydroSciences Montpellier



**A. B.** Le Coulazou et la résurgence karstique du Puits de l'Aven (rive gauche de la rivière, débit proche de 10 m<sup>3</sup>/s). Décembre 2002.

**C.** Puits de l'Aven en période d'étiage (aucun débit sortant de la résurgence et Coulazou à sec dans cette zone). Août 2002.

## Rôle du karst sur l'amplitude des crues de surface

Ces dernières années, on a pu observer une recrudescence des dommages liés aux inondations dans les régions méditerranéennes. La majorité des cours d'eau, sièges de ce type d'événements extrêmes, s'écoule en grande partie sur des terrains fracturés et karstiques du fait de la prépondérance des dépôts calcaires sur le pourtour méditerranéen. Le rôle des apports souterrains lors de ces crues catastrophiques est vraisemblablement significatif mais peu connu car la quantification des flux depuis le karst vers les zones de drainage en surface (cours d'eau) est difficile.

Afin d'étudier les transferts et les flux de matières à partir d'observations hydrodynamiques et hydrochimiques, le laboratoire *HydroSciences Montpellier* a instrumenté un karst méditerranéen traversé par un cours d'eau intermittent, ce dernier alimentant ou drainant l'aquifère suivant la période considérée. L'objectif est de mieux appréhender les interactions entre les parties souterraines et superficielles de l'hydrosystème au cours du cycle hydrologique et, notamment, le risque hydrologique lié aux apports souterrains karstiques associés aux crues catastrophiques. Le site actuellement suivi pour la compréhension et la caractérisation de ces phénomènes correspond au système hydrogéologique karstique du Causse d'Aumelas qui constitue une part importante du bassin versant de l'Étang de Thau. Ce dernier est traversé par un cours d'eau superficiel, le Coulazou, en étroite interaction avec le milieu souterrain. En quelques heures, l'ensemble du système karstique peut se mettre en charge et participer à l'écoulement superficiel du cours d'eau, entraînant une crue brutale, rapide et dévastatrice. Un suivi hydrodynamique et hydrochimique est actuellement mené par le laboratoire *HydroSciences Montpellier* sur différents points de l'aquifère ainsi que sur le cours d'eau. Les variations des niveaux piézométriques en différents points de l'aquifère karstique sont suivies en continu, ainsi que le débit de ses principales exurgences. Les débits du cours d'eau à l'entrée et à la sortie du système karstique sont également suivis en continu.

Une modélisation hydrologique d'une crue du cours d'eau (Coulazou, Hérault, France) a montré que la seule prise en compte des écoulements de surface issus du bassin versant ne permet pas de prévoir de façon rigoureuse les débits de surface.

D'après cette première étude, l'aquifère karstique semble agir comme un réservoir stockant les eaux de façon temporaire et les restituant au réseau de surface avec un certain décalage dans le temps, ce qui se traduit par un pic de crue retardée avec une amplitude beaucoup plus forte que celle prévue par la modélisation hydrologique.

Pour plus d'informations, lire Jourde H., Roesh A., Bailly-Comte V., Batiot C., 2005. Dynamics and contribution of spring discharge to surface flow during Mediterranean floods - Characterization and Protection of Water Quality and Quantity in Karst and Carbonate Terrains, University of Texas, Austin, USA, 8 and 9 February. Scientific workshop sponsored by the France-UT Institute for Interdisciplinary Studies and the Scientific Services of the French Embassy.

**Contacts :** Hervé Jourde, [jourde@msem.univ-montp2.fr](mailto:jourde@msem.univ-montp2.fr)  
& Christelle Batiot, [batiot@msem.univ-montp2.fr](mailto:batiot@msem.univ-montp2.fr)

# Contamination *des milieux aquatiques*

*Nombre de substances et agents potentiellement toxiques ou pathogènes (métaux, pesticides, hydrocarbures, substances médicamenteuses, bactéries, virus, parasites, etc.) sont introduits dans les eaux par des processus naturels ou par l'activité humaine. Ils affectent la qualité de la ressource en eau et présentent un risque potentiel pour les écosystèmes aquatiques. La récente Directive Cadre Européenne sur l'Eau rend obligatoire l'obtention d'un bon état chimique et écologique de l'ensemble des ressources en eau (eaux de surface et souterraines notamment) à l'horizon 2015. Sa mise en œuvre impose la connaissance des concentrations en polluants dans les eaux, le développement de techniques d'évaluation du risque qu'ils génèrent pour les écosystèmes aquatiques et la mise en place de techniques de remédiation.*

**T**rois unités de l'*Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement* (IFR 123 ILEE) ont inclus ces problématiques dans leurs programmes de recherche : l'UMR 5569 *HydroSciences Montpellier*, le LGEI *Centre de recherche Environnement industriel et risques industriels et naturels* et l'UMR 1221 LISAH *Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème*.

Les études concernent les métaux lourds, l'arsenic, l'antimoine, les pesticides, la pollution médicamenteuse des eaux et, en particulier, la dispersion de perturbateurs endocriniens. L'approche utilisée met en œuvre des observations sur le terrain (détermination des concentrations totales et spéciation), des mesures en laboratoire comme la détermination de la toxicité à des doses sublétales sur des organismes tests, modélisation des transferts et essais sur pilotes.

## **Plusieurs chantiers de recherche en cours dans la région Languedoc-Roussillon**

- Le Bassin de Roujan (Vallée de l'Hérault) est un des sites de l'Observatoire de Recherches en Environnement OMERE (Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau, cf. p.11) dont l'objectif est de modéliser les processus de transfert des pesticides organiques, de l'arsenic, du cuivre et du zinc dans un hydrosystème méditerranéen en zone viticole.
- Le bassin de l'Hérault est également utilisé comme cadre pour l'étude de l'impact des eaux usées sur les ressources en eau potable au travers d'un projet de recherche financé par le Conseil général de l'Hérault.
- Les transferts d'arsenic et métaux associés à partir des sites miniers et

leurs risques pour les écosystèmes en aval sont étudiés sur le site de l'ancienne mine de plomb-zinc de Carnoules (Gard) dans le cadre de deux projets de recherche. Le projet « Processus de transfert et écotoxicité de l'arsenic et des métaux associés dans un hydrosystème en aval d'un drainage minier », financé par le programme national ECODYN (*ECOtoxicologie et écoDYNamique des contaminants*), intègre les contrôles physico-chimiques et microbiologiques ainsi que l'étude de l'impact sur les populations de poissons. Un second projet est financé par le programme GEOMEX (*GEOMicrobiologie des Environnements Extrêmes*, INSU- CNRS).

Sur ce même site, le projet Vercapol (projet RITEAU [*Réseau de recherche d'Innovation Technologique « Eau et technologie de l'environnement »*], ministères de la Recherche et de l'Industrie) vise à mettre au point un système analytique autonome à base de nouveaux capteurs pour le suivi en continu de polluants écotoxiques.

- Les étangs littoraux constituent une ressource halieutique et conchylicole importante pour le Languedoc-Roussillon. Le problème des contaminants dans l'Étang de Thau est étudié dans divers projets de recherche dans le cadre de programmes nationaux et européens. Les échanges de métaux à l'interface eau-sédiment ont été étudiés par le projet MICROBENT (*Programme National de l'Environnement côtier* [PNEC], INSU-Ifremer). Le projet SOUBITHAU qui lui a succédé étudie plus généralement la biogéochimie des contaminants dans la lagune et la quantification des apports de polluants chimiques (nutriments, métaux) et microbiologiques par le bassin versant.

- Le bassin de Thau sert également de site expérimental pour le projet « PANACHE » (labellisé RITEAU) qui a pour objectif le développement et la commercialisation d'une chaîne



Marc Leblanc © UMR HydroSciences Montpellier

**Open-pit minier avec eaux  
acides riches en métaux  
(Rio Tinto, Espagne)**

d'instrumentation pour identifier et évaluer les panaches d'émergences karstiques sous-marines. Les essais sont menés sur la source sous-marine de la Vise. Parallèlement, cette source fait l'objet d'un suivi régulier de qualité en coopération avec la DIREN Languedoc-Roussillon et l'unité EAU/RMD du BRGM.

En ce qui concerne le développement de nouveaux systèmes de traitement de l'eau ou l'optimisation de procédés existants, divers programmes sont en cours : l'un financé par le Conseil général de l'Hérault vise à développer un modèle couplé chimie-biologie-hydrologie d'une lagune d'épuration sur le site de la station de Mèze ; d'autre part, le projet Arsenic5 (labellisé RITEAU) étudie un procédé de désarsénisation de l'eau.

Au niveau national, l'UMR 5569 *HydroSciences Montpellier* participe au programme PIREN (*Programme Interdisciplinaire de Recherches en Environnement - PIREN-Seine*) par la mesure intégrative des métaux dissous bio-disponibles dans le réseau hydrographique de la Seine et au Programme ENIMED du Programme National d'EcoTOxicologie (PNETOX-II) qui vise à identifier et quantifier des substances à visées thérapeutiques ou diagnostiques (hormones de synthèse, AINS, Gadolinium, I-131, etc.) dans les stations d'épuration et leurs effets potentiels sur des organismes non cibles (perturbation endocrinienne, stress oxydant, activités métaboliques).

Parmi les chantiers internationaux dans lesquels des unités de recherche sont impliquées, on peut citer, notamment, celui du Rio Tinto (Espagne) où *HydroSciences Montpellier* étudie les signatures de la vie en collaboration avec l'Université d'Huelva (*Programme International de Coopération Scientifique - PICS-CNRS SDU*) ainsi que le projet concernant le Ghana, le Laos et le Soudan pour l'étude et la réduction de la contamination des eaux et des sols par le mercure, pollution résultant de l'exploitation artisanale des mines d'or (contrats de recherche ONUDI -BRGM).

**Jean-Luc Seidel et  
Françoise Elbaz-Poulichet  
(UMR 5569 HydroSciences  
Montpellier, CNRS, IRD,UMI, UMII)**

# La contamination en arsenic issu des anciennes mines



Contamination en arsenic du Reigous

Le drainage des zones minières riches en sulfures par les eaux de pluie conduit à la formation d'eaux acides (pH 2-4) très riches en sulfate, fer, métaux lourds (Pb, Cu, Zn, etc.) et métalloïdes (As, Sb) toxiques. Ces effluents représentent un risque considérable pour le milieu aquatique et la ressource en eau ; ils peuvent affecter tout un écosystème de façon durable. Sur le site de l'ancienne mine de Carnoulès (Gard, France), les

déchets de pyrite arsénifère entreposés sur le cours amont du Reigous contaminent la rivière Amous, affluent du Gardon d'Anduze. Ce cours d'eau présente des concentrations en arsenic pouvant atteindre 100 µg/l sous sa forme la plus toxique, l'arsénite [As(III)]. La concentration en As(III) est abaissée vers l'aval du ruisseau par des phénomènes de dilution tandis que la concentration en As(V) augmente. Cette oxydation naturelle facilite la rétention de l'arsenic par les sédiments ; elle n'élimine cependant pas tout l'arsenic de la colonne d'eau puisqu'on retrouve jusqu'à 20 µg/l d'As(V) dans le Gardon d'Anduze.

Pour plus d'informations, lire Casiot C., Morin G., Bruneel O., Personné J.C., Leblanc M., Duquesne K., Bonnefoy V. and Elbaz-Poulichet F. 2003. Bacterial immobilisation and oxidation of arsenic in acid mine drainage (Carnoulès creek, France). *Water Research*. 237:2929-2936

Contact : Corinne Casiot, [casiot@msem.univ-montp2.fr](mailto:casiot@msem.univ-montp2.fr)

## Les principales équipes

**LGEI Centre de recherche  
Environnement industriel et risques  
industriels et naturels**  
52 scientifiques (EMA)

Directeur : Miguel Lopez-Ferber,  
[miguel.lopez-ferber@ema.fr](mailto:miguel.lopez-ferber@ema.fr)  
fax : +33 (0)4 66 78 27 01

**UMR 1221 LISAH  
Laboratoire d'étude des Interactions  
entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème**  
70 scientifiques (Agro. M, Inra, IRD)

Directeur : Marc Voltz,  
[voltz@ensam.inra.fr](mailto:voltz@ensam.inra.fr)  
fax : +33 (0)4 67 63 26 14

**UMR 5569**

**HydroSciences Montpellier**  
une centaine de scientifiques (CNRS, IRD, UMI, UMII)  
Directeur : Éric Servat,  
[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 47 74

**US 49**

**Laboratoires d'analyses physico-  
chimiques des sols, eaux et végétaux**  
30 scientifiques (Cirad)  
Directeur : Alain Aventurier,  
[alain.aventurier@cirad.fr](mailto:alain.aventurier@cirad.fr)  
fax : +33 (0)4 67 61 56 42

**Autres équipes  
concernées par ce thème**

**UMR 183 G-EAU  
Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages**  
64 scientifiques (Cemagref, Cirad, ENGREF, IRD)  
Directeur : Patrice Garin,  
[garin@montpellier.cemagref.fr](mailto:garin@montpellier.cemagref.fr)  
fax : +33 (0)4 67 63 57 95

**UMR TETIS**

**Territoires, Environnement,  
Télé-détection et Information Spatiale**  
60 scientifiques (Cemagref, Cirad, ENGREF)  
Directeur : Pascal Kosuth,  
[pascal.kosuth@teledetection.fr](mailto:pascal.kosuth@teledetection.fr)  
fax : +33 (0)4 67 54 87 00

**UMR 5568**

**Laboratoire de Tectonophysique**  
une soixantaine de scientifiques (CNRS, UMII)  
Directeur : Jean-Louis Bodinier,  
[bodin@dstu.univ-montp2.fr](mailto:bodin@dstu.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 36 03

Le LGEI, l'UMR 1221 LISAH, l'UMR TETIS et l'UMR HydroSciences Montpellier font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)  
Directeur : Pierre Chevallier,  
[chevalli@msem.univ-montp2.fr](mailto:chevalli@msem.univ-montp2.fr)

## Pollution et toxicité au sein des milieux aquatiques

Parmi les axes qui structurent la recherche au sein de l'UMR 5569 *HydroSciences Montpellier*, l'un d'eux est principalement concerné par le défi « Contamination des milieux aquatiques » : « Processus biogéochimiques, risque écologique et remédiation » qui permettent d'aborder les questions de pollution et de toxicité pour les écosystèmes aquatiques en prenant également en compte les aspects de remédiation et de recyclage des eaux.

## Une expertise au service de la recherche

Les *Laboratoires d'analyses physico-chimiques des sols, eaux et végétaux*, basés à Montpellier et à Saint-Denis de la Réunion (US 49, Cirad), certifiés ISO 9001 par l'AFAQ, réalisent des analyses de sols, végétaux, amendements, eaux d'irrigation et eaux usées.

Les analyses pratiquées viennent en accompagnement à l'aide à la décision pour établir un diagnostic de culture et déterminer les apports minéraux qui amélioreront son potentiel. Il aide également à l'analyse des éléments polluants trouvés dans les cultures ou les espaces urbains. L'unité de Service apporte son expertise dans ces problématiques d'environnement, à savoir les teneurs en polluants des boues résiduelles et des eaux de baignade, la recherche de résidus de métaux lourds et l'aménagement d'espaces.

Le LGEI (*École des Mines d'Alès*, EMA) développe également depuis plusieurs années des systèmes d'analyse, de caractérisation et de mesure rapide (capteurs, procédures, modèles, etc.) en évoluant fortement vers la recherche de solutions relevant d'une démarche de biodiagnostic, basée sur l'usage soit d'outils des biotechnologies, soit de techniques physico-chimiques pour la détection de substances ou de propriétés dans les domaines de l'environnement, notamment pour le contrôle de la qualité des eaux. ■

# Des méthodes de screening pour le contrôle de la qualité chimique et biologique de l'eau

Les exigences en matière de surveillance de la qualité de l'eau, liées à la mise en place de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (WFD « *Water Framework Directive* », établie en 2000) dépendent directement des techniques disponibles capables de fournir des données fiables à un coût raisonnable. Le développement et la validation de méthodes de screening (capteurs, kits, analyseurs) jouent un rôle clé, dans le cadre de l'application de la Directive européenne, pour le contrôle de la qualité chimique et biologique de l'eau. Ces méthodes de screening sont complémentaires des analyses classiques de laboratoire.

Par ailleurs, la Directive Cadre européenne constitue un outil performant de gestion des ressources en eau si, et seulement si, les données fournies sont de qualité comparable.

Dans ce contexte, le LGEI Centre de recherche Environnement industriel et risques industriels et naturels (École des Mines d'Alès) coordonne un STREP (*Specific Targeted Research Project*) du 6<sup>ème</sup> PCRD (*call FP6-2002-SSP-1, Domain 8.1.B.1.5 (Task 6)*). Ce projet SWIFT-WFD (*Screening methods for Water data InFormaTion in support of the Water Framework Directive*) regroupe 40 partenaires, organismes de recherche (instituts, universités) et entreprises (laboratoires privés, consultants, petites et moyennes entreprises et industries), provenant de 18 pays européens. Ce projet porte sur la validation et le développement de méthodes rapides de mesure de la qualité chimique et écologique des milieux aquatiques.

Contact : Catherine Gonzalez, [Catherine.Gonzalez@ema.fr](mailto:Catherine.Gonzalez@ema.fr)

## Les nonylphénols, perturbateurs endocriniens



Elena Gomez © UMR HydroSciences Montpellier

Les nonylphénols, produits de dégradation des agents tensioactifs et conservateurs, sont connus comme perturbateurs endocriniens. Leur activité oestrogénique a été étudiée par l'UMR 5569 *HydroSciences Montpellier* sur des lignées cellulaires MELN exprimant le récepteur aux oestrogènes, travaux réalisés en collaboration avec l'Unité 540 *Endocrinologie moléculaire et cellulaire des cancers* (Inserm). Les nonylphénols sont actifs à des concentrations voisines de  $10^{-7}$  M (mol/kg H<sub>2</sub>O). Sur des échantillons d'eaux et de sédiments de rivière, les concentrations en nonylphénols et les activités oestrogéniques sont mesurées en parallèle. Il apparaît que les nonylphénols

*Les cours d'eau véhiculent des contaminants à l'état de trace comme les nonylphénols*

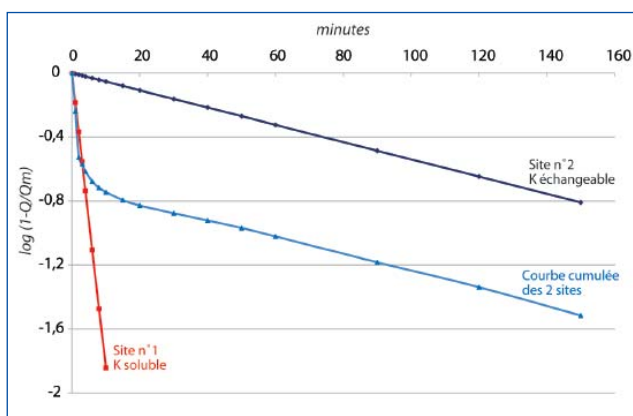
participent à l'activité oestrogénique détectée dans les sédiments et peu à l'activité oestrogénique détectée dans les eaux. L'activité *in vivo* des nonylphénols est en cours d'étude sur un poisson tropical *Sarotherodon melanotheron* (tilapia). Ces poissons résistent à des concentrations élevées de nonylphénols dans leur nourriture.

Pour plus d'informations, lire Fenet H., Gomez E., Pillon A., Rosain D., Nicolas J.C., Casellas C. et Balaguer P. 2003. *Arch. Environ. Contam.* 44 :1-6.

Contact : Elena Gomez, [egomez@univ-montp2.fr](mailto:egomez@univ-montp2.fr)

## Étude de la compartimentation d'un élément dans le sol : le potassium (K)

La détermination conventionnelle du potassium échangeable ne permet pas de mettre en évidence la présence de potassium soluble. Les *Laboratoires d'analyses physico-chimiques des sols, eaux et végétaux* du Cirad ont mis au point une technique permettant de décrire la cinétique du potassium selon un modèle à deux compartiments : un premier à vitesse de libération rapide correspondant au K soluble, un second correspondant au K échangeable. Le principe de cette technique est une dissolution en continu à travers une colonne contenant 10 grammes de sol et traversée par une solution de CaCl<sub>2</sub> N/50.



Cinétique du potassium selon le modèle à deux compartiments

Pour plus d'informations, lire Bourgeon, G., 2000. *Étude de la fertilité des sols de Wallis & Futuna*. Rapport de fin d'études, Cirad - Amis, Montpellier, France. 81 p.

Contact : Alain Aventurier, [alain.aventurier@cirad.fr](mailto:alain.aventurier@cirad.fr)

# Hydrosystèmes aménagés, *territoires et sociétés*

*Quand la ressource en eau est limitée, la nécessaire gestion de la pénurie favorise la construction d'aménagements hydrauliques et l'émergence de sociétés fortement structurées. En effet, la maîtrise, l'exploitation et la répartition des ressources hydriques disponibles conduisent à la mise en place d'hydrosystèmes complexes dans lesquels l'utilisation intensive de la ressource remet en cause les équilibres naturels. L'usage agricole de l'eau est souvent au centre des tensions. En effet, les périmètres irrigués constituent aujourd'hui le principal consommateur d'eau dans presque tous les pays, à l'exception des pays d'Europe septentrionale.*

**P**our pallier les déphasages entre ressource, demandes et usages, on peut, dans un premier temps, étudier des mesures techniques visant à intensifier et à généraliser les économies d'eau. Mais c'est une solution transitoire et il sera nécessaire soit de réorienter l'agriculture vers des ressources en eau marginales ou dégradées, soit de réduire volontairement les parts des ressources allouées à l'agriculture, malgré des demandes alimentaires croissantes et les désirs d'autosuffisance de nombreux pays.

Les chercheurs travaillant dans le domaine de l'eau et de l'agriculture tentent de répondre aux défis posés par la gestion de l'eau dans les bassins versants irrigués. Les compétences rassemblées permettent de rendre compte, d'une part, du déterminisme et du fonctionnement des usages et, d'autre part, de leurs impacts environnementaux, depuis la parcelle jusqu'au bassin versant - ou au territoire - où ils peuvent servir les approches intégrées.

Dans cette perspective, il faut prendre en considération une demande « sociale » forte accentuée par la mise en application de la *Directive Cadre Européenne sur l'Eau* qui établit la nécessité d'un état des lieux et d'une gestion intégrée des ressources en eau et des milieux aquatiques à l'échelle des districts hydrographiques pour atteindre des objectifs de bonne qualité des milieux dès 2015. Au-delà des frontières communautaires, les institutions nationales et régionales, ainsi que certaines organisations

non gouvernementales tentent de mettre en place des mécanismes de régulation ou de réhabilitation pour subvenir aux besoins des populations (adduction d'eau potable, irrigation, industries) et faire face aux exigences des activités de tourisme et de loisirs dont l'importance croît, y compris dans les pays du Sud.

Il est alors nécessaire de remettre en cause les connaissances et les méthodes aujourd'hui disponibles mais encore insuffisantes, compte tenu de la complexité des objectifs de gestion sur des territoires en évolution rapide. En effet, les opérateurs de gestion et les services techniques publics ou privés ont une capacité limitée pour élaborer eux-mêmes des solutions pertinentes et durables et doivent s'appuyer sur une recherche forte et capable de supporter les risques de l'innovation.

Les approches intégrées pour une gestion durable de l'eau à l'échelle des bassins versants sont encore balbutiantes. Il faut dépasser le simple couplage de modèles physiques incluant la biosphère et de représentations socio-économiques. Disposer de concepts et de méthodes validées pour une approche intégrée des territoires méditerranéens et tropicaux tout en apportant une critique scientifique des interventions envisagées constitue ainsi un défi important pour les unités de recherche impliquées dans cette thématique.

**Thierry Rieu  
(ENGREF)**



© Michel Soulié

### Canal de drainage d'une rizière (Valencia, Espagne)

## Des recherches sur la gestion technique, économique et sociale de l'eau

L'UMR 183 G-EAU *Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages* (Cemagref, Cirad, ENGREF, IRD) est constituée des unités *Irrigation* (Cemagref), *DIVHA Dynamiques, Impacts et Valorisation des Hydro-Aménagements* (IRD), *GEA Gestion de l'Eau et Assainissement* (ENGREF) et *Gestion de l'eau* (Cirad). Elle développe des recherches sur la gestion technique, économique et sociale de l'eau à différentes échelles territoriales, en privilégiant la formalisation des interactions entre les mécanismes biophysiques et les processus décisionnels individuels ou collectifs en jeu, sous l'influence de forçages (climat, politiques sectorielles, législation et contexte économique).

Ses objectifs spécifiques sont :

- d'améliorer la compréhension des interactions entre ces processus aux différentes échelles pertinentes ;
- d'établir des diagnostics interdisciplinaires sur des situations de référence ;
- d'élaborer des outils et des méthodes pour une gestion durable de la ressource et des services d'eau ;

- de concevoir des systèmes de culture valorisant l'eau agricole et durables ;
- d'initier des démarches d'évaluation de ces recherches-interventions ;
- de former des étudiants et des professionnels du Sud et du Nord dans ces domaines.

Les activités scientifiques s'organisent selon trois axes :

• **L'axe 1 « Eaux, Territoires et Sociétés »** s'intéresse principalement aux questions de planification de la gestion de l'eau, de coordination des politiques publiques et d'allocation des ressources dans un contexte d'usages multiples, souvent concurrents, et d'une grande pluralité d'acteurs concernés.

Les espaces considérés sont alors ceux du fonctionnement des hydrosystèmes et les unités administratives et politiques dans lesquels ils s'imbriquent.

• **L'axe 2 « Fonctionnement et gestion des services d'eau »** aborde le fonctionnement des services d'eau, qu'ils soient supportés par des réseaux collectifs de distribution d'eau (agricole, urbaine, assainissement) ou par des aménagements individuels. Une analyse de tels services s'intéresse aux aspects techniques et physiques

des transferts d'eau, à la performance technique de la distribution, à la gestion et la coordination entre acteurs pour réaliser ou contrôler ce service, aux jeux et stratégies d'acteurs et aux systèmes d'incitation. Plus spécifiquement sont abordés dans cet axe les outils de pilotage du gestionnaire, les modes de coordination entre représentants des collectivités et gestionnaires et la participation des usagers.

• **L'axe 3 s'intéresse aux « Pratiques et usages de l'eau »** grâce à l'analyse et à la modélisation des systèmes de production et du comportement des usagers de l'eau sur un territoire, la détermination des centres de décision et des modes de rationalité individuels et collectifs, l'identification des connaissances et indicateurs mobilisés, et à l'évaluation de la sensibilité des pratiques à des variables de forçage (aléas, incitations) en croisant les analyses sociologiques, agronomiques et économiques. Cet axe aborde également l'évaluation des conséquences des pratiques d'usages sur l'environnement et l'identification des systèmes techniques innovants pour améliorer l'efficacité des usages en réduisant les risques d'impacts environnementaux. ...

# Mise en œuvre d'outils d'aides pour l'efficacité de la gestion décentralisée de l'eau et de la décision publique

Une étude sur le bassin de Roujan (Hérault, France, UMR 1221 LISAH et UMR 5474 LAMETA) a conduit à développer une simulation de la réponse des agriculteurs, en termes d'usage de pesticides et d'herbicides, à des incitations économiques. La question de la dimension des collectifs et de la cohérence des territoires concernés a été prise en compte. Les problèmes informationnels spécifiques de ce contexte de pollution diffuse amènent en effet à réfléchir sur la segmentation spatiale pertinente pour un système de contrôle. Cette réflexion implique parallèlement l'introduction d'une forte flexibilité des unités spatiales traitées par le modèle hydrologique utilisé. La modélisation des déterminants des choix de pratiques comme celle du modèle hydrologique, par opposition à une approche lourdement paramétrée, permet à la fois d'assurer cette flexibilité et l'adaptation de l'outil, dans une perspective d'accompagnement de la décision collective ou publique. Un travail spécifique d'identification des pratiques a été mené et a conduit à mettre en évidence des alternatives multiples entre le désherbage chimique intégral et l'absence de recours aux molécules chimiques. L'adoption d'un itinéraire technique principal en fonction de caractéristiques parcellaires (notamment l'âge des vignes et l'écart des rangs) ou de structure des exploitations a pu être mise en évidence à l'échelle des communes. Ce programme se poursuit dans deux directions : une attention accrue aux pesticides dont l'usage résulte d'une perception du risque de rendement très différente de celui des herbicides chez les viticulteurs ; la poursuite d'un chantier visant à construire des outils d'accompagnement des phases de formulation des problèmes qui précèdent la recherche d'instruments ou de pratiques visant à réduire les impacts environnementaux de l'activité viticole.

**Contact : Patrick Rio, [rio@ensam.inra.fr](mailto:rio@ensam.inra.fr)**

Les travaux se focalisent sur l'évaluation, l'amélioration et la résilience des systèmes de productions irriguées, étant donné l'importance de l'eau agricole.

En plus de ces trois axes de recherche, l'UMR propose également de développer un centre de ressources pédagogiques pour les métiers de l'eau (services d'eau agricole ou domestique) et pour les problématiques des pays du Nord et du Sud (formations initiales et continues).

## *Des connaissances et des méthodes pour aider et accompagner les acteurs gestionnaires de la ressource Eau*

Maîtriser et gérer l'eau sur les territoires à dominante agricole sont les objectifs de l'unité de recherche *Irrigation* (Cemagref) qui est intégrée dans l'UMR 183 G-EAU. Cette unité est organisée en trois équipes :

**1. Le thème de recherche TRASCAN** développe des connaissances, des

méthodes et des outils afin de mieux gérer le transport et la répartition de l'eau dans les systèmes hydrauliques, en appliquant en particulier des concepts issus de l'automatique.

**2. Le thème de recherche ENVIRRI** travaille à la maîtrise de l'irrigation et de ses impacts sur la qualité des sols et des eaux par l'identification de pratiques de pilotage appropriées et de recherche sur les conditions d'usage optimal des matériels d'arrosage.

**3. Le thème de recherche USAGES** aborde les conditions économiques, institutionnelles et sociales d'une gestion concertée de l'eau et des réseaux. Le recours aux instruments économiques (tarification, quotas, marchés de l'eau) pour la régulation des usages et la gestion durable des réseaux, les modalités de participation des acteurs de l'eau et du grand public, le développement de supports de discussion (jeux de rôles, SMA, systèmes d'information) pour faciliter le processus de décision collective sont les principaux thèmes traités par cette équipe. Son animation scientifique est commune avec le laboratoire *Gestion de l'Eau et Assainissement* (ENGREF) et

## Les principales équipes

### Unité EAU/RMD

Évaluation de la Ressource,

Milieux Discontinus

19 scientifiques (BRGM)

Directeur : Patrick Lachassagne,

[p.lachassagne@brgm.fr](mailto:p.lachassagne@brgm.fr)

fax : +33 (0)4 67 15 79 75

### UMR 183 G-EAU

Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages

64 scientifiques (Cemagref, Cirad, ENGREF, IRD)

Directeur : Patrice Garin,

[garin@montpellier.cemagref.fr](mailto:garin@montpellier.cemagref.fr)

fax : +33 (0)4 67 63 57 95

### UMR 5474 LAMETA

Laboratoire Montpellierain d'Économie

Théorique et Appliquée

une centaine de scientifiques

(Agro. M, CNRS, IAM.M, Inra, UMI)

Directeur : Daniel Serra,

[serra@lameta.univ-montp1.fr](mailto:serra@lameta.univ-montp1.fr)

fax : +33 (0)4 67 15 84 67

### UMR 5045

Laboratoire « Mutations

des Territoires en Europe »

une cinquantaine de scientifiques (CNRS, UMR III)

Directeur : Alain Berger,

[alain.berger@univ-montp3.fr](mailto:alain.berger@univ-montp3.fr)

fax : +33 (0)4 67 14 25 22

### UPR Green

Gestion des ressources renouvelables, environnement

17 scientifiques (Cirad)

Directeur : Jean-Pierre Müller,

[jean-pierre.muller@cirad.fr](mailto:jean-pierre.muller@cirad.fr)

fax : +33 (0)4 67 59 38 27

### UR 044

Dynamiques sociales de l'irrigation

9 scientifiques (IRD)

Directeur : Thierry Ruf,

[thierry.ruf@ird.fr](mailto:thierry.ruf@ird.fr)

fax : +33 (0)4 67 63 87 78

L'unité EAU/RMD fait partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement »

(ILEE, IFR 123)

Directeur : Pierre Chevallier,

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

... suite page 26



l'UMR *Gestion des Services Publics* (Cemagref-ENGEES) à Strasbourg qui s'intéressent aux services d'eau domestique.

Si l'allocation des ressources en eau et l'amélioration de l'efficacité de l'eau agricole constituent encore les enjeux prioritairement étudiés par ces thèmes de recherche, ils initient des actions sur la gestion des risques (inondation - aspects vulnérabilités) et sur la qualité des eaux, en partenariat avec des équipes dont c'est le champ de recherche principal.

L'ensemble de ces travaux vise à fournir aux décideurs publics et aux gestionnaires de la ressource en eau des connaissances et des méthodes leur permettant d'améliorer leurs décisions et gestion.

L'eau est une ressource fondamentale mobilisée principalement par l'agriculture mais de plus en plus un bien commun partagé par de multiples utilisateurs de sorte que la concurrence entre ses différents usages s'accroît.

Le désengagement progressif de l'État dans la gestion des infrastructures hydrauliques, la diminution de l'appui à l'agriculture et la plus grande

confrontation des producteurs aux aléas des marchés font de la durabilité des systèmes de production agricole et des ressources en eau un enjeu de taille.

Ce terme de durabilité se décline aux niveaux (a) des ressources (quantité et qualité de l'eau, qualité des sols, environnement), (b) technico-économique (maintien des unités de production et des infrastructures) et (c) social (institutions et tissu social).

### *Gérer et valoriser l'eau avec les acteurs agricoles et non agricoles dans les pays tropicaux et méditerranéens*

Par un travail pluridisciplinaire (hydrologie, agronomie, économie, sociologie) centré sur l'analyse du comportement des acteurs, l'Unité Propre de Recherche *Gestion de l'eau* (UPR 74 Gedô, Cirad), intégrée dans l'UMR 183 G-EAU, a pour objectif principal d'accompagner la genèse d'innovations techniques et institutionnelles au sein des systèmes agricoles et des systèmes ruraux et périurbains à usages multiples dans lesquels ces systèmes agricoles

s'insèrent. Il s'agit de permettre aux acteurs concernés de développer et d'adopter des options plus durables et d'amener ainsi ces systèmes sur des trajectoires viables : demande en eau maîtrisée, qualité des eaux et des sols maintenue, rentabilité minimale assurée, risques minimisés.

Les outils à construire doivent permettre :

- de comprendre le fonctionnement technique (pratiques et leurs effets) et institutionnel (règles, normes, dispositifs de gestion) des hydrosystèmes étudiés,
- d'accompagner des négociations entre les différents acteurs ou porteurs d'enjeux,
- de participer à la co-construction d'innovations techniques et institutionnelles qui améliorent la gestion et la valorisation des ressources en eau.

Ces outils correspondent à différentes échelles d'études physiques (parcelle, périmètre irrigué, bassin versant) ou sociales (exploitation, organisations d'usagers, territoire) ...

## Le canal de Gignac : un laboratoire de recherche grandeur nature sur les canaux d'irrigation



*Le Canal de Gignac (Hérault)*

Dans un contexte de raréfaction des ressources en eau, il est important d'œuvrer pour une irrigation plus économe, plus efficace et plus sûre. La modernisation de la régulation par l'automatisation est une des principales voies d'augmentation de l'efficacité des canaux. Elle participe à la limitation des prélèvements et à la protection des milieux aquatiques. Afin d'étudier les méthodes de régulation automatique des canaux d'irrigation, la Station

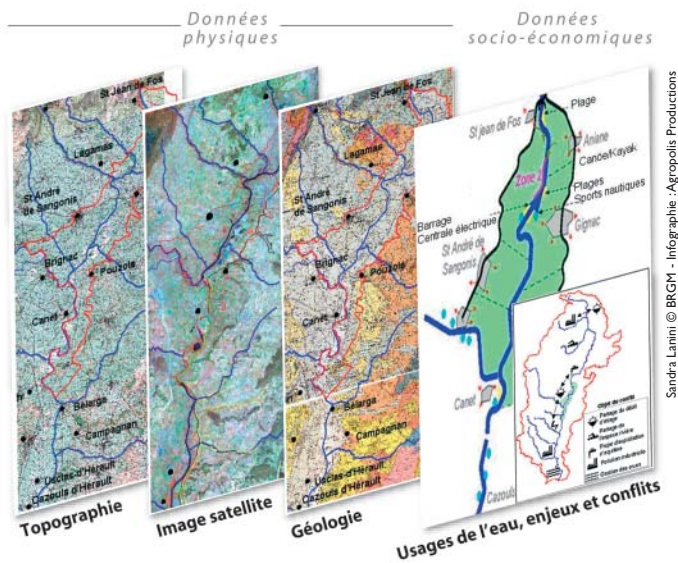
expérimentale de recherche pour la modernisation des canaux d'irrigation (Cemagref) a mis en œuvre un programme de recherche dans le bassin versant de l'Hérault financé dans le cadre du contrat de plan État/Région (2000-2006), par le Conseil général de l'Hérault et l'Agence de l'Eau. Des modèles de gestion des canaux d'irrigation (algorithmes complexes composant des programmes informatiques) sont développés puis testés sur le terrain. Afin d'éprouver la robustesse de ces algorithmes en réponse aux perturbations du système réel, le canal de Gignac (Hérault, France) a été doté d'une instrumentation permettant de maîtriser les flux (motorisation de vannes) et mesurer différentes variables (débits, niveaux, pluviométrie).

Tous ces matériels sont reliés par radio à un poste de commande centralisé et lui fournissent les éléments nécessaires à l'analyse de la situation en temps réel. Grâce aux algorithmes développés par l'équipe, celui-ci décide alors de l'ouverture ou non des vannes radiocommandées tout en anticipant les besoins à venir et en assurant la linéarité de fonctionnement du canal.

Un Groupement d'Intérêt Scientifique regroupant de nombreux partenaires dont l'Association Syndicale des Arrosants de Gignac, des bureaux d'études, des centres de recherche et des écoles d'ingénieurs, a été créé afin de favoriser les collaborations autour de cette plate-forme expérimentale.

**Contact : Pierre-Olivier Malaterre,**  
[pierre-olivier.malaterre@cemagref.fr](mailto:pierre-olivier.malaterre@cemagref.fr)

# Modélisation intégrée pour la gestion durable des ressources en eau dans la moyenne vallée de l'Hérault



*La méthodologie repose sur la collecte, l'analyse et le croisement de données physiques et socio-économiques spatialisées*

La gestion des ressources en eau dans la moyenne vallée de l'Hérault doit concilier les différents usages que sont l'agriculture, l'alimentation en eau potable dans une zone à forte croissance démographique et les activités de loisirs et de tourisme (baignade, pêche, canoë, etc.).

En s'appuyant sur des entretiens avec les principaux acteurs et usagers de l'eau, ainsi que sur une synthèse géologique et hydrogéologique de la zone étudiée, un modèle de fonctionnement de ce socio-hydrosystème a été proposé. Basé sur une approche globale des transferts hydrologiques, ce modèle intègre tous les aspects du cycle de l'eau : de la pluie à la nappe et au fleuve, en incluant les acteurs humains et les éléments susceptibles d'avoir une influence sur la ressource en eau ou qui dépendent directement de celle-ci (gestionnaire du canal d'irrigation, viticulteurs, loueurs de canoës).

Un prototype numérique, WASS-Hérault, a ensuite été développé. Permettant de simuler l'évolution de la quantité d'eau disponible dans l'Hérault (débit) et dans la nappe alluviale (piézométrie) en fonction de différents scénarios de gestion, WASS-Hérault se veut un outil d'aide à la discussion entre les différentes parties prenantes de la gestion des ressources en eau dans le bassin.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche du BRGM AGIRE (*Aide à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau*).

**Contact : Sandra Lanini, [s.lanini@brgm.fr](mailto:s.lanini@brgm.fr)**

## Autres équipes concernées par ce thème

... suite de la page 24

### UMR 1221 LISAH

Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème

70 scientifiques (Agro. M, Inra, IRD)

Directeur : Marc Voltz,

[voltz@ensam.inra.fr](mailto:voltz@ensam.inra.fr)

fax : +33 (0)4 67 63 26 14

### UR 032

Great Ice - Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude - Indicateurs Climatiques et Environnementaux

30 scientifiques dont 19 permanents (IRD)

Directeur : Anne Coudrain,

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

fax : +33 (0)4 67 14 90 71

### US 49

Laboratoires d'analyses physico-chimiques des sols, eaux et végétaux

30 scientifiques (Cirad)

Directeur : Alain Aventurier,

[alain.aventurier@cirad.fr](mailto:alain.aventurier@cirad.fr)

fax : +33 (0)4 67 61 56 42

L'UMR 1221 LISAH, l'UPR 74 Gedô, l'UR Irrigation, l'UR 032 Great Ice, l'US 048 DIVHA et l'US 166 Désertification font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)

Directeur : Pierre Chevallier,  
[chevalli@msem.univ-montp2.fr](mailto:chevalli@msem.univ-montp2.fr)

mais ils devront permettre également certains changements de dimension (des dimensions physiques aux dimensions sociales, institutionnelles) et d'échelles (parcelle  $\Rightarrow$  exploitation, exploitation  $\Rightarrow$  périmètre, exploitation  $\Rightarrow$  bassin).

Dans le cadre d'un hydrosystème, les questions de recherche sont de plusieurs ordres :

- Comment identifier, caractériser et représenter les mécanismes de coordination (marché, règles, normes, système de gestion) qui permettent une gestion durable de la ressource en eau, des infrastructures afférentes et des sous-systèmes qui le composent ?
- Comment construire en partenariat des innovations techniques susceptibles d'améliorer les performances et la résilience des systèmes étudiés (augmentation de l'efficacité et de la qualité de l'eau, diminution de la consommation, adaptation à de nouvelles règles de partage de la ressource, maîtrise des conséquences environnementales) ?
- Quelles sont les interactions (synergies, antagonismes) entre

innovations techniques et mécanismes de coordination pour la gestion de la ressource et comment modifier ces interactions pour influencer les trajectoires des systèmes étudiés ?

Le dispositif géographique intègre divers types de situation (grands périmètres, petits aménagements, continus pluvial-irrigué, bas fonds) rencontrés dans des zones écologiques variées (sèches, humides, péri-urbaines, de montagne) : Afrique du Sud, Australie, Bolivie, Brésil, Inde, Indonésie, Madagascar, Maghreb, Mali, La Réunion, Sri Lanka, Viêt Nam. Les partenaires de l'UPR sont les associations d'usagers, les offices d'irrigation, les universités, les instituts de recherche du Sud, les centres internationaux et régionaux ainsi que les autres équipes de l'IFR 123 ILEE.

Les résultats attendus sont de natures diverses. Tout d'abord, l'unité doit construire et documenter des outils et des méthodes pour relever le défi de la valorisation durable des ressources en eau à différentes échelles techniques et sociales :

- des outils de diagnostic pour la compréhension du fonctionnement des hydro-systèmes étudiés et l'évaluation d'impacts des projets (typologies, diagnostics biophysiques, diagnostics agraires, jeux de rôles) ;
- des outils de représentation et de simulation des systèmes qui, selon les situations traitées, se focalisent sur une échelle donnée ou permettent des changements d'échelles et des travaux pluri-disciplinaires : modèles de plantes, modèles hydrologiques spatialisés, modèles économiques aux échelles pertinentes, systèmes multi-agents ;
- des méthodes de négociation/ concertation et les outils de modélisation d'accompagnement permettant de faciliter celles-ci : systèmes multi-agents, plates-formes avec plusieurs porteurs d'enjeux, jeux de rôles ;
- des modules pour des formations académiques et des formations professionnelles pour les opérateurs de terrain, basés sur les résultats de recherche, *dans le but d'obtenir des impacts tangibles* :

- mise au point des techniques de gestion eau/cultures pour mieux valoriser l'eau et minimiser les nuisances pour l'environnement ;
  - co-construction d'innovations institutionnelles au sein des hydrosystèmes ;
- ou de produire des connaissances :**
- des monographies sur les situations techniques, socio-économiques et institutionnelles dans les systèmes d'exploitation et de partage de la ressource en eau, leurs évolutions au sein de systèmes irrigués, de systèmes agraires, de systèmes ruraux et périurbains multi-usagers ;
  - des références techniques caractérisant les ressources en eau et leur gestion dans des contextes agro-économiques variés ;
  - des synthèses et analyses comparatives entre situations des modes d'organisation et de gestion et leurs impacts sur les milieux, pays et continents que permet la diversité de ses terrains et des partenariats avec les autres équipes de l'UMR 183 G-EAU.

Le succès de ces recherches sera évalué par le degré d'appropriation des outils par les opérateurs du développement (gestionnaires, groupements d'usagers ou d'irrigants, paysans) et par leur impact sur la durabilité des systèmes et de la ressource ainsi que la rentabilité des usages de l'eau (innovations, références validées, outils et démarches). L'expertise, la formation diplômante et professionnelle sont intimement associées à la démarche de recherche afin de former et d'informer les acteurs du secteur. ...

## Gestion optimisée des barrages du fleuve Sénégal

Le Sénégal, fleuve de 1 800 km de long dont le bassin versant est peuplé d'environ 2 millions d'habitants, recouvre une partie de la Guinée, du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal. L'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal, organisme chargé de promouvoir une gestion intégrée de la ressource en eau sur le bassin, a impulsé la réalisation des barrages de Diama et Manantali. Pour ces ouvrages, la difficulté consiste à satisfaire des objectifs concurrentiels entre eux (Manantali), dans le respect de règles de sécurité très contraignantes (Diama). Pour résoudre ces problèmes de gestion, l'US 048 DIVHA (IRD) a réalisé une étude pour définir un mode de gestion opérationnel des barrages leur permettant d'atteindre au mieux leurs différents objectifs, tout en minimisant les impacts environnementaux. Dans ce cadre, plusieurs logiciels d'aide à la gestion des ouvrages ont été développés. La recherche de règles optimales



Jean-Pierre Laigner © IRD

de gestion du barrage de Diama a nécessité une modélisation du fonctionnement hydraulique de cet ouvrage.

La forme optimale de l'hydrogramme de crue annuelle à réaliser grâce à Manantali a également été déterminée en fonction des objectifs de l'agriculture traditionnelle de décrue. Pour aider le choix d'une stratégie de gestion du barrage de Manantali, une vaste gamme de scénarios de gestion a été simulée à l'aide d'un logiciel spécifique. L'utilisation de prévisions saisonnières de pluie réalisées par Météo-France a enfin été testée pour faciliter la prise de décision concernant le soutien de crue à partir de Manantali. Les équipes en charge de la gestion opérationnelle des deux barrages utilisent les logiciels développés par le projet et auxquels elles ont été formées.

**Contact : Patrick Le Goulven, US 048 DIVHA**

*Barrage de Manantali au Mali dans le haut bassin du fleuve Sénégal*

### Évaluation économique des politiques de gestion et de protection des ressources en eau souterraine

Comment assurer la cohérence entre les politiques de développement économique, d'aménagement du territoire et de planification de la gestion et de la protection des eaux souterraines ? Comment évaluer les impacts socio-économiques de projets ou politiques alternatifs de gestion de l'eau, en tenant compte des rapides évolutions de l'environnement économique, technique et réglementaire ? Et comment impliquer le public dans le développement de la politique de l'eau à l'échelle locale pour mieux appréhender la nature des enjeux économiques liés à l'eau ?

La cellule « Économie de l'eau » de l'équipe EAU / RMD du BRGM cherche à répondre à ces nouvelles préoccupations des décideurs publics en développant des outils et méthodes pluridisciplinaires, mobilisant les cadres théoriques de l'économie, de la sociologie, de la prospective. Ces développements qui cherchent à produire des réponses opérationnelles pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau s'appuient sur des terrains aussi variés que le bassin de l'Hérault, le Roussillon, les bassins internationaux du Rhin et de la Meuse, des bassins miniers en Estonie et en Russie et plusieurs bassins du pourtour méditerranéen (Syrie, Liban, Jordanie, Turquie).

Les travaux s'articulent autour de quatre axes principaux :

- **Évaluation économique des mesures de protection des ressources en eau** : la Directive Cadre Européenne sur l'Eau impose aux États membres d'évaluer le coût (et dans certains cas les bénéfices) des mesures devant être mises en œuvre pour restaurer le bon état des masses d'eau en 2015. Des méthodes opérationnelles mobilisant les outils classiques de l'ingénierie économique (analyse coût-efficacité et coûts-bénéfices) et les méthodes de l'économie de l'environnement (évaluation économique des biens

non marchands) sont développées et testées dans des cas concrets, en s'attachant tout particulièrement à résoudre les problèmes de changement d'échelle.

- **Impact économique et instruments de contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole** : l'équipe du BRGM développe et teste des méthodes d'évaluation du coût de la pollution diffuse d'origine agricole des eaux souterraines. Des modèles économiques agricoles sont également développés pour simuler l'impact de différents instruments réglementaires, contractuels ou incitatifs sur les choix de production agricole et sur le risque de pollution azotée.
- **Prospective et développement de scénarios économiques à l'échelle de bassins versants** : le projet AGIRE développe des méthodes

de construction participative de scénarios, définis comme des visions cohérentes de l'évolution probable des activités économiques sur un territoire et de l'état des ressources en eau qu'elles utilisent ou polluent. Les acquis méthodologiques sont appliqués dans plusieurs bassins européens (Hérault, Rhin, Meuse), méditerranéens (projet MEDITATE) et en Arabie Saoudite (aquifère du Saq).

- **Participation du public** : dans le cadre de plusieurs projets de recherche européens et nationaux, l'équipe du BRGM, en étroite collaboration avec l'unité *Irrigation* du Cemagref, teste et compare plusieurs méthodes de participation du public (enquête auprès d'acteurs porteurs d'enjeux, sondages d'opinion, groupes de citoyens) susceptibles d'être utilisées pour l'application de la Directive Cadre.

## Intercommunalité et durabilité des services d'eau et d'assainissement en France et en Europe

Suite à un appel à propositions des ministères chargés de l'Équipement et de l'Écologie, le laboratoire *Gestion de l'Eau et Assainissement* (ENGREF), en partenariat avec d'autres équipes, a reçu un financement pour étudier en quoi l'intercommunalité permet d'améliorer ou non la durabilité des services.

Le premier volet du projet se propose de développer des outils d'analyse et d'évaluation :

- une grille d'analyse des formes d'intercommunalité issue d'un travail d'analyse historique en France ;
- des indicateurs permettant de caractériser la durabilité d'un service, sur la base des principes de la grille d'analyse dite des 3E (écologie, économie, éthique).

Le deuxième volet du projet consiste à sélectionner des services d'eau français et européens qui ont en commun une réorganisation récente des services d'eau, tels que l'intégration au sein d'un des Établissements Publics de Coopération Intercommunale (France), d'un service à périmètre optimal de gestion (Italie) ou d'une compagnie municipale (Portugal).

Le traitement méthodologique de ces études de cas consiste à :

- mobiliser les indicateurs élaborés précédemment pour qualifier le type de développement envisagé (degré de durabilité) ;
- identifier les mécanismes précis par lesquels l'intercommunalité permet le développement durable des services d'eau et d'assainissement.

Le troisième volet du projet se propose de comparer la durabilité respective des services d'eau et d'assainissement français et italien précédemment analysés avec celle de deux des dix services régionaux anglais, sur la base des indicateurs élaborés dans le cadre du premier volet.

**Contact : Christelle Pezon, [pezon@engref.fr](mailto:pezon@engref.fr)**

# Projet SMILE : viabilité économique et institutionnelle des petits périmètres irrigués en Afrique du Sud



Sylvain Perret © Cirad

Séance de travail dans un périmètre irrigué du Venda (Afrique du Sud) : application de la démarche SMILE

Les petits périmètres irrigués sud-africains rencontrent actuellement des problèmes importants : manque d'organisation locale, faible légitimité institutionnelle, accès limité à la plupart des marchés, etc. Les autorités centrales et provinciales ont pourtant initié un processus de réhabilitation et de transfert de la gestion de l'eau, malgré de nombreux enjeux et problèmes non résolus.

Dans ce contexte, le projet SMILE (*Sustainable Management of Irrigated Land and Environment*), mené par l'UPR Gestion de l'eau (Cirad) s'attache à accompagner cette réhabilitation à travers la recherche-action au niveau local. Ce projet est conduit en partenariat étroit avec les décideurs locaux et vise à aider la prise de décision et la planification, à appuyer les associations d'utilisateurs dans leur rôle de gestionnaire et à mettre en place une plate-forme commune de discussion, de formation, de sensibilisation et de renforcement des capacités. L'approche nécessite une collecte des données au niveau des périmètres, l'analyse de ces données et le développement d'une typologie sur les systèmes culturaux et d'exploitation agricole. Un logiciel permet de stocker les données et de tester différents scénarios. Pour cela, une plate-forme de simulation (logiciel SMILE) a été établie et permet un travail prospectif par l'analyse de la situation actuelle puis le test de scénarios mettant en scène des changements techniques, économiques, institutionnels, légaux ou socio-économiques, discutés avec les acteurs.

Contact : Sylvain Perret, [sylvain.perret@cirad.fr](mailto:sylvain.perret@cirad.fr)

## Vers une gestion intégrée de l'eau

L'eau est devenue un élément comptable représentatif de la richesse des nations, source de conflits entre usagers et levier de pouvoir. Devenue rare et chère, sa gestion est de plus en plus complexe. La gestion intégrée des ressources en eau est un cadre de raisonnement approuvé par la communauté internationale. C'est le cadre de travail de l'US 048 DIVHA *Dynamiques, Impacts et Valorisation des Hydro-Aménagements* (IRD), intégrée dans l'UMR 183 G-EAU, qui a pour objectifs de :

**1. développer des méthodes, des concepts et un environnement de modélisation** pour (i) représenter le fonctionnement global d'un système d'eau complexe sous contraintes, de toutes ses composantes (milieu et société) et de leurs interactions, en mettant en évidence les impacts et les performances des aménagements ; (ii) simuler la sensibilité du système et de ses performances à différents forçages internes (anthropisation du bassin, suppressions ou

rajouts d'ouvrages, évolutions et dynamiques des usages, changement des règles de gestion) ou externes (changement climatique, évolution de l'environnement socio-économique) ; **2. transférer des outils dédiés et y former les utilisateurs pour faciliter les processus de décision et construire des scénarios adaptés à des objectifs de gestion rationnelle et durable** : valorisation des aménagements en place, impacts des solutions proposées, dynamiques d'évolution à long terme.

Si tous les usages sont considérés, la demande en eau environnementale (écosystèmes aquatiques) et la demande agricole (irrigation) font l'objet d'attentions particulières. Pour la période 2005-2008, les activités de recherche menées en collaboration avec les partenaires scientifiques du Sud, les gestionnaires de bassins et les divers usagers de l'eau se situent autour des grands fleuves africains (Limpopo, Niger et Sénégal), les petits bassins du pourtour méditerranéen (Tunisie, Algérie, Maroc) et les bassins andins (Équateur, Pérou, Bolivie, Chili).

## Accompagner les processus collectifs de gestion des ressources

Dans un contexte de mondialisation et de décentralisation, les problèmes rencontrés dans la gestion des ressources renouvelables, en général, et de l'eau, en particulier, sont : la difficulté de mettre en place des processus de gestion intégrée à différents niveaux d'organisation, les conflits d'usage, l'asymétrie d'information et de participation des différents acteurs concernés, la difficulté de comprendre et faire comprendre des processus socio-écologiques complexes afin d'en assurer la viabilité.

Dans ce contexte, l'objectif de l'UPR Green (*Gestion des Ressources renouvelables et de l'Environnement*, Cirad) est de fournir des connaissances, des méthodes et des outils pour l'accompagnement de processus collectifs de gestion des ressources renouvelables afin d'améliorer la capacité des acteurs à maîtriser le pilotage des systèmes complexes ...



Jean-Daniel Rinaudo © BRGM

*Un forage individuel*

## Un modèle économique pour évaluer le risque de développement des forages individuels

La hausse du prix de l'eau potable à laquelle on assiste depuis le début des années 1990 incite de plus en plus de ménages résidant en zone pavillonnaire à se doter de forages individuels qu'ils utilisent à la fois pour l'arrosage des jardins et pour des usages intérieurs (chasses d'eau, machines à laver).

Cette multiplication

des forages, qui ne sont pas toujours réalisés selon les règles de l'art, représente une menace pour les aquifères tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Elle est également à l'origine de difficultés de gestion de la part des services d'eau potable et d'assainissement, en particulier en matière de prévision de la demande en eau et de recouvrement des coûts.

Une enquête réalisée par l'Unité EAU/RMD (BRGM) et le Cemagref auprès de ménages de la vallée de l'Hérault révèle que la principale motivation des ménages investissant dans un forage est de réduire le montant de leur facture d'eau. L'enquête montre que les ménages réalisent, avant d'investir, un calcul sommaire de rentabilité dans lequel ils prennent en compte à la fois des informations de nature économique (prix du service d'eau et d'assainissement, coût du forage) et hydrogéologique (profondeur de l'eau, incertitude relative à la présence d'eau souterraine). Un modèle microéconomique représentant ce processus de décision a ensuite été développé. Le modèle estime, à l'échelle communale, la proportion de ménages susceptible de faire un forage, ainsi que la réduction de la demande en eau potable qui en résulte et l'impact financier (déficit) généré pour les services d'eau et d'assainissement. Le modèle est couplé à une base de données hydrogéologiques et économiques développée à l'échelle communale. Il est finalement utilisé pour simuler l'impact de différents scénarios d'instruments économiques permettant le contrôle du développement des forages individuels.

**Contacts :** Jean-Daniel Rinaudo, [jd.rinaudo@brgm.fr](mailto:jd.rinaudo@brgm.fr)  
& Marielle Montginoul, [marielle.montginoul@brgm.fr](mailto:marielle.montginoul@brgm.fr)

que sont les éco-sociosystèmes. Les recherches reposent particulièrement sur les hypothèses que, d'une part, les processus individuels et collectifs de gestion des ressources renouvelables et de l'environnement reposent sur la construction de représentations partagées des interactions entre les acteurs concernés et leurs milieux et, d'autre part, la gestion de ces interactions est facilitée par le recours à des outils informatiques de modélisation et de simulation de ces systèmes complexes. Les recherches de l'UPR s'intéressent spécifiquement : aux processus de décision (individuels et collectifs) ; à la réalisation de modèles biophysiques, sociaux et économiques ; à la réalisation de plates-formes génériques de modélisation et de simulation ; et, enfin, à l'usage des outils et des modèles en accompagnement des processus collectifs de décision et d'apprentissage.

Parmi les nombreux modèles et jeux de rôles conçus au sein de l'UPR, on peut citer le modèle et jeu de rôles AWARE (cf. p.31), de type socio-économique, d'aide à la négociation pour la gestion des bassins versants

en Afrique du Sud dans le cadre de la mise en application de la loi sur l'eau (*Water Act*), le projet CPWF « *Companion modelling for resilient water management* » sur le bassin du Mékong, la construction de règles de partage de l'eau au Bouthan, l'appui au projet NEGOWAT de gestion de l'eau au Brésil et en Bolivie. Sur ces thèmes, l'UPR collabore fortement avec l'UMR 183 G-EAU.

### *Sociétés et irrigation*

Les régions irriguées du monde sont soumises à une très forte restructuration institutionnelle et économique marquée par le désengagement de l'État, le transfert de la gestion des périmètres irrigués mis en place par les États à des associations d'usagers, la disparition des aides publiques directes et l'ouverture économique des marchés.

L'UR 044 DSI-THERMES « *Dynamiques sociales de l'irrigation - territoires hydrauliques et ruraux, mondialisation, eaux, sociétés* » (IRD) travaille dans les régions parmi les plus peuplées du monde et les plus ouvertes à la mondialisation. Elle

se consacre aux sociétés rurales et hydrauliques, à leur développement et aux enjeux de la répartition des eaux entre acteurs publics, privés et communautaires. Les dimensions économiques et sociales du développement de l'irrigation sont abordées par une démarche historique et comparative. Les régions irriguées ont connu des siècles d'organisation hydro-politique. Elles connaissent des dynamismes démographiques accélérés et deviennent extrêmement dépendantes des phénomènes d'urbanisation (du fait des marchés induits, des migrations pendulaires, des contrôles politiques qui s'ensuivent et des emprises urbaines sur les zones agricoles). Dans les territoires aménagés par l'irrigation, le maillage territorial est structuré par les réseaux d'irrigation et de drainage. Il connaît des mutations rapides et d'amplitude, en relation avec l'évolution des systèmes de production, la diversification ou l'intensification des productions, les recompositions des activités familiales et les pressions accrues sur l'ensemble des ressources naturelles. Ces transformations sont à la base du renouvellement des enjeux fonciers et des accès à l'eau.

Dans ce contexte évolutif, les modes de coordination et la médiation des conflits d'usage changent : l'eau est une ressource commune fortement convoitée, la plupart du temps gérée de manière collective, et la manière dont son usage est coordonné révèle l'état de la société. Trois grands modes de régulation existent et souvent se combinent : administré et centralisé, communautaire et autonome, industriel et privé. Lorsqu'un mode dominant s'avère inefficace, l'émergence de comportements individuels annonce une rupture ou une refonte du lien social existant. La question des innovations dans les institutions et dans les sociétés locales pratiquant l'irrigation est, dans des situations de très fortes pressions sociales sur les ressources disponibles, commune et centrale pour les approches de l'UR.

## Étudier les rapports entre Eau, Territoires et Sociétés

L'UMR 5045 *Mutations des Territoires en Europe* (CNRS, UMI11) poursuit une recherche autour de plusieurs axes : figures et trajectoires des systèmes territoriaux (territoires de la transition : trajectoires et processus d'intégration, recomposition des territoires de faible densité, métropolisation et figures émergentes des nouveaux territoires de l'urbain) ; milieux et territoires : développement, régulation et aménagement (les enjeux de la gestion territoriale de l'eau en milieu méditerranéen, gestion et évaluation des paysages, ressources naturelles et développement territorial) ; qualifications territoriales (qualification des hommes et des produits associés aux territoires, systèmes de production, économie territoriale).

Pour le second axe, les recherches menées visent essentiellement à dégager les principales

caractéristiques de la gestion et des pratiques collectives de l'eau. Elles s'inscrivent dans ce contexte et étudient la dynamique des relations entre « Eau, Territoires et Sociétés » à travers la construction des territoires de l'eau ou encore en analysant les relations entre politique de l'eau et politiques d'aménagement et de développement du territoire. Il ne s'agit pas d'étudier des modalités ni des régions en particulier mais de réaliser des études de cas en divers pays (Espagne, Liban, Maroc, Portugal) afin de disposer, notamment, de visions à différentes échelles et d'éléments comparatifs susceptibles de permettre de dégager les principales évolutions à long terme. L'ensemble des recherches se fixe des objectifs d'ordre théorique afin de dégager des règles d'explication générale visant à la compréhension des dynamiques sociétales ayant pour objet l'appropriation et la gestion des ressources en eau. ...

## Projet CPWF : amélioration de la gestion de l'eau dans des bassins versants d'Asie du Sud-Est

L'unité Green du Cirad, en partenariat avec l'*International Rice Research Institute* (IRRI), le Cemagref, les Universités thaïlandaises de Chiang-Mai, Chulalongkorn et Ubon Ratchatani, l'Université de Cantho au Viêt Nam et le ministère de l'Agriculture du Bhoutan, a soumis un projet dans le cadre de l'appel à propositions du *Challenge Program Water and Food*. Ce projet a été sélectionné et a débuté en 2005. L'objectif poursuivi est de :

- bâtir une méthodologie et des outils qui améliorent la prise en compte de l'existence de plusieurs points de vues sur la gestion de l'eau et facilitent l'évaluation collective des problèmes rencontrés par les différents acteurs ;
  - permettre d'améliorer la coordination entre les acteurs ;
  - former un groupe de scientifiques et de techniciens engagés dans des problèmes concrets de gestion concertée de l'eau.
- Les bassins versants étudiés par ce projet se situent en différents points de la toposéquence sur le fleuve Mékong (montagnes au Nord de la Thaïlande, plateau du Nord-Est de la Thaïlande et delta du fleuve au Viêt Nam). Un autre site est localisé au Bhoutan.

Contact : François Bousquet, [francois.b@chula.ac.th](mailto:francois.b@chula.ac.th)

## Projet AWARE : accompagnement à la négociation et à la prise de décision collective pour la gestion de l'eau au niveau de bassins versants en Afrique du Sud

La récente loi sur l'Eau sud-africaine (*National Water Act, 1998*) favorise la gestion intégrée et décentralisée de la ressource hydrique dans un contexte institutionnel rénové. De nouvelles entités [*Catchment Management Agencies (CMAs)* et *Water Users' Associations (WUAs)*] sont en cours de constitution aux niveaux régional et local. Au-delà des questions concernant les critères de priorité dans l'allocation des droits d'usage de la ressource, on observe l'émergence de réseaux de politique publique formés d'un côté par les CMAs et, de l'autre, par les associations d'usagers de l'eau (WUA) ou les organisations sectorielles (syndicats, etc.). Le projet AWARE (*Action Research and Watershed Analysis for Resource and Economic Sustainability*) mené par l'UPR Green (Cirad) adopte une démarche de modélisation et d'accompagnement visant à faciliter les négociations et les processus de prise de décision collective autour de la ressource hydrique dans deux bassins versants sud-africains : le *Steelpoort* et le *Kat River*. Un outil de simulation (AWARE) spécifiquement conçu pour modéliser des dynamiques des systèmes au niveau du bassin versant a été réalisé. Un jeu de rôles basé sur ce modèle est actuellement en phase de développement. Le modèle évalue différents scénarii représentant des stratégies potentielles de gestion de l'eau en fonction de leur efficacité économique, viabilité environnementale et équité sociale. L'aspect central des stratégies simulées est représenté par l'attribution de priorités à certains groupes d'usagers de la ressource dans un contexte de compétition entre ceux-ci. AWARE évalue l'impact économique (production, création d'emploi) et environnemental (préservation de la réserve écologique) des différents scénarii simulés représentant des stratégies alternatives de gestion de l'eau.

Contact : Stefano Farolfi, [stefano.farolfi@cirad.fr](mailto:stefano.farolfi@cirad.fr)

## Mise en œuvre d'outils d'aide pour la gestion décentralisée de l'eau et de la décision publique

L'augmentation rapide des prélèvements, l'émergence de nouveaux besoins récréatifs et paysagers et les revendications croissantes pour un développement durable ont donné un écho nouveau à des problèmes qui existent depuis longtemps. On observe aujourd'hui un mouvement important de réforme des politiques de gestion de l'eau dont l'objectif est de résoudre simultanément les problèmes de conflits entre usagers et de dégradation des biens environnementaux. Les projets de réforme ont pour point commun de proposer un renouvellement du rôle et des responsabilités de la puissance publique, traditionnellement fortement impliquée dans le financement et la gestion des usages, notamment des systèmes irrigués ou d'alimentation en eau potable. Trois types de démarches sont souvent combinés : la délégation de certaines tâches au secteur privé ; la décentralisation des décisions de gestion de l'eau et la négociation entre les usagers de l'eau pour se doter d'un programme intégré de gestion de l'eau à l'échelle des sous-bassins versants ; le recouvrement des vrais coûts de la fourniture d'eau. Il se pose alors des questions cruciales d'efficacité de la décision publique lorsqu'elle s'appuie sur une procédure décentralisée et négociée, très éloignée du cadre standard de l'économie publique. C'est sur ce thème de gestion décentralisée de l'eau que travaille, entre autres, l'UMR 5474 LAMETA, en abordant simultanément les problèmes qualitatifs (plus particulièrement sur les pollutions diffuses) et les problèmes quantitatifs. L'étude de la gestion durable de la ressource en eau est réalisée par l'analyse de situations concrètes mais aussi par l'identification des éléments caractérisant la durabilité au niveau théorique.

Trois grands thèmes sont développés actuellement.

### 1) Les outils de modélisation des bassins versants (couplant modèles hydrologiques et modèles de décision économique) pour l'aide à la décision et à la négociation

Plusieurs projets de recherche portent sur l'évaluation de différents types de modélisation et de couplage de modèles. Ce sont des programmes interdisciplinaires alliant sciences du sol et hydrologie, agronomie et économie :

- Le programme européen DITTY, coordonné par l'Université Montpellier I, concerne un ensemble de lagunes et bassins versants du sud de l'Europe représentatifs de la diversité des écosystèmes lagunaires méditerranéens.

Son principal objectif global est de réaliser une intégration des connaissances et préoccupations des principaux acteurs scientifiques

(centres de recherche, universités), techniques (agences de l'eau, organisations professionnelles), administratifs et politiques (collectivités territoriales) fortement impliqués dans l'étude et/ou la gestion de ces systèmes, pour améliorer ladite gestion. Une telle intégration devra notamment permettre la mise au point et l'exploitation d'un système d'aide à la décision (DSS : *Decision Support System*) valorisant au mieux, dans cette direction, les technologies actuelles de recueil, stockage, traitement et diffusion de l'information relative aux ensembles visés (bases de données, Systèmes d'Information Géographiques, modèles, réseaux). Au-delà des principales disciplines scientifiques traditionnellement vouées à l'étude des milieux et des systèmes en question (sciences de l'ingénieur, de la nature et de la vie), ce programme mobilise, dans chacun des pays partenaires, des chercheurs représentant les sciences dites

## Une approche agro-économique pour raisonner les économies d'eau réalisables sur un périmètre irrigué à l'île de la Réunion

Dans un contexte de ressource en eau limitée, les périmètres irrigués de la côte sous le vent de l'île de la Réunion sont aujourd'hui confrontés à une concurrence croissante avec les usages urbains pour l'accès à l'eau. La priorité donnée à l'alimentation en eau potable dont les besoins s'accroissent rapidement avec l'urbanisation et l'émergence des préoccupations pour la protection des milieux aquatiques mettent en cause le niveau des prélèvements d'eau pour l'agriculture et les pratiques actuelles d'irrigation.

Les UR *Gestion de l'eau et Systèmes canne à sucre* du Cirad associées à l'UR *Irrigation* du Cemagref mettent en œuvre une approche intégrée agronomique et économique aux différentes échelles de la parcelle cultivée, de l'exploitation agricole et du périmètre irrigué dans son ensemble pour traiter la question des économies d'eau réalisables. Les périmètres irrigués étudiés sont marqués par une grande diversité des structures de production et des facteurs pédo-climatiques. La méthode employée vise à tenir compte de cette diversité par un zonage du milieu physique et des besoins en eau des cultures et par une typologie des exploitations agricoles. L'analyse et la modélisation des comportements des irrigants s'attachent à expliquer l'excès de consommation d'eau par rapport aux besoins optimaux et à rendre compte des moyens nécessaires pour réaliser des économies d'eau potentielles. La démarche combine une modélisation des règles de pilotage des irrigations pour estimer la demande en eau au niveau individuel et une modélisation économique agrégée de l'offre agricole (et de la demande en eau dérivée) à l'échelle du périmètre irrigué.

Contacts : Jean-Louis Fusillier, [jean-louis.fusillier@cirad.fr](mailto:jean-louis.fusillier@cirad.fr)  
Jean-Louis Chopart, [jean-louis.chopart@cirad.fr](mailto:jean-louis.chopart@cirad.fr)





© Michel Soulié

### Réutilisation des eaux usées traitées (Malte)

« humaines » (économie, sociologie, droit). Cette interdisciplinarité permet de mieux cerner les dimensions sociétales et autres enjeux liés à la gestion des systèmes en question afin d'exploiter au mieux l'ensemble des connaissances rassemblées et de les traduire, autant que faire se peut, en des termes susceptibles d'éclairer les décisions des principaux acteurs.

- Un autre programme porte sur les émissions de polluants par herbicides et pesticides dans la zone viticole de Roujan en Languedoc. Ce travail, conduit en relation avec l'UMR 1221 LISAH, simule les réponses des viticulteurs à des mesures incitatives individuelles (taxes sur les intrants et valorisation du produit) évaluées d'abord à l'échelle d'un bassin versant

élémentaire (de l'ordre du km<sup>2</sup>) puis à une échelle plus large intégrant alors les procédures négociées entre parties.

- Dans des travaux menés au sein de l'ASS Aquae, sont développés, en collaboration avec le Cemagref, des outils de simulation de la négociation fondés sur des modèles de marchandage multilatéral. Ces modèles ont permis de mieux évaluer l'importance de la structure de la négociation sur les compromis obtenus. Ils ont été développés à partir d'exemples dans l'Adour et dans le Tarn-et-Garonne. Des comparaisons avec le système californien ont aussi été menées, en collaboration avec l'Équipe *Agricultural and Resource Economics* de l'Université de Berkeley.

## 2) La gestion des externalités dynamiques

Dans de nombreux périmètres irrigués dans le monde, le développement de l'irrigation (souvent non associé à celui du drainage) a induit des effets de remontée de nappes salées allant quelquefois jusqu'à la submersion, réduisant ainsi la production ou rendant impropres à la culture des millions d'hectares. Ces phénomènes peuvent être analysés dans leur double dimension de pollution de stock et de pollution diffuse. Une recherche est conduite, en relation avec l'*Australian National University* (Canberra), sur la conception d'instruments de politiques publiques : marchés de droits d'irrigation avec contraintes zonales (*cap and trade*), taxations différenciées selon l'état de la nappe, etc. Sont étudiés aussi les instruments de groupe, combinant incitations individuelles et incitations collectives. La démarche combine analyse théorique et tests expérimentaux. Les applications portent sur des périmètres irrigués en Australie.

## 3) Les instruments d'allocation de la rareté de l'eau

Une attention croissante est portée à l'amélioration des débits environnementaux afin de préserver la vie aquatique des rivières. Il est donc parfois nécessaire de restreindre l'accès à l'eau pour les usagers et les consommateurs. En France, c'est plutôt l'outil réglementaire qui est utilisé (interdictions d'irriguer) mais d'autres instruments de type marchand pourraient être développés, à l'instar de ce qui existe en Australie ou aux États-Unis. Un travail est conduit sur l'utilisation des enchères multi-unitaires comme moyen d'allocation le plus efficace de la rareté de l'eau entre usagers. Ces travaux sont pour l'instant théoriques mais des projets de collaboration sont en discussion avec la *Georgia State University* et la *Western Australia University*. ■

# Risques naturels *et anthropiques*

*Un risque est un événement dommageable, doté d'une certaine probabilité, conséquence d'un aléa survenant dans un milieu vulnérable. Le risque résulte donc de la conjonction d'un aléa et d'un enjeu. La vulnérabilité étant la mesure des dommages de toutes sortes rapportée à l'intensité de l'aléa : inondations, érosion, crues, pollutions... À cette définition technique du risque doit être associée la notion d'acceptabilité pour intégrer une composante sociale.*

**L**es risques naturels définissent un domaine spécifique qui peut être structurant parce que ses enjeux comportent implicitement des notions multiples d'aménagement, de gestion, de caractérisation du territoire, d'aspects spatiaux et sociaux.

La compréhension et la gestion des risques passent par les notions d'aléa (par exemple la crue) et de vulnérabilité (par exemple les zones habitées) puis par des techniques d'analyse conjointe de ces informations pour une meilleure aide à la décision. À travers l'aléa, c'est le phénomène complet qui doit être connu et modélisé sur le domaine concerné, avec une précision adéquate.

Pour les risques liés à l'eau, toutes les questions de compréhension et de caractérisation des éléments du cycle de l'eau sont largement étudiées par les diverses équipes d'Agropolis : nappes et circulations souterraines, irrigation, fossés, parcelles, bassins versants et même glaciers. Le fonctionnement hydrologique est étudié à travers des observatoires hydrologiques ou des événements particuliers pour une meilleure compréhension des risques. L'étude de la vulnérabilité permet d'aborder les aspects anthropiques et les interrogations sociales.

Les nouvelles techniques spatialisées (télétection, Systèmes d'Information Géographiques) permettent de prendre en compte la dimension spatiale des deux composantes du risque, aléa et vulnérabilité, et ouvrent de nouveaux champs de recherche pour une meilleure connaissance et maîtrise du risque. Les méthodes d'analyse mises en œuvre s'appuient sur la notion d'agrégation/désagrégation de l'information et

nécessitent le développement de protocoles d'observation adaptés et de composantes de recherche transversales qui relèvent de la géomatique. On peut citer par exemple :

- les spécifications des systèmes d'observation de l'aléa et de la vulnérabilité, en particulier par imagerie aérienne et satellitaire, les techniques de traitement de ces données d'observation, notamment comme entrées de modèles ;
- la structuration de ces données au sein de bases de données spatio-temporelles et l'interopérabilité entre les différents systèmes d'information pour la création d'indicateurs pour les aménagements, la gestion, l'alerte, le traitement de crises ;
- la maîtrise des différentes représentations spatiales du risque (au niveau cognitif et au niveau du média) pour faciliter la communication entre les acteurs sociaux concernés.

Ces problématiques sont donc en équilibre entre la connaissance et la compréhension des risques et les aspects opérationnels de gestion et d'action pour réduire l'impact des phénomènes naturels. Elles peuvent servir de liant pour des travaux interdisciplinaires. Plusieurs équipes de la communauté Agropolis sont fortement impliquées dans l'étude des risques liés au cycle de l'eau : inondations, érosion, pollutions diffuses d'origine agricole, écotoxicologie, impact de l'état hydrique sur les risques de feux de forêt. Elles forment un groupe important qui place la région de Montpellier en pointe sur ces problématiques.

**Christian PUECH**  
**(UMR TETIS, Cemagref,**  
**Cirad, ENGREF)**



Service de communication © Ville de Nîmes

*Inondations dans les rues de Nîmes  
(Gard, France, 1988)*

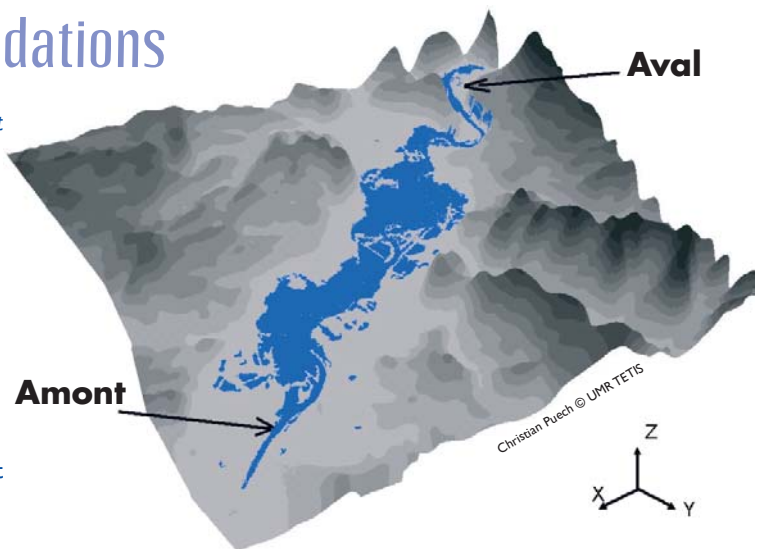


## Imagerie satellitaire et inondations

L'équipe Eau de l'UMR TETIS *Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale* (Cemagref, Cirad, Engref) travaille sur l'utilisation de données spatialisées pour le suivi, la compréhension et la modélisation des hydrosystèmes, avec un regard particulier sur les risques environnementaux.

Dans ce cadre, des travaux sont actuellement menés sur l'utilisation d'imagerie satellitaire d'inondation. Les caractéristiques spatialisées d'un champ d'inondation peuvent s'avérer difficilement mesurables directement sur le terrain pendant la crue et les techniques de télédétection aériennes ou satellitaires procurent un complément très utile aux mesures *in situ*. Les satellites Radar, en particulier, ont la capacité d'acquérir des images de jour comme de nuit, quelles que soient les conditions d'enneigement, ce qui est particulièrement intéressant compte tenu de la couverture nuageuse souvent importante en cas de crues. Cependant, la « donnée RADAR » est imparfaite, voire incomplète, et permet seulement une cartographie incertaine d'un champ d'inondation. Aussi, les problèmes techniques sont-ils loin d'être résolus.

Actuellement, un travail de thèse est en cours sur une partie de la Moselle, près de Thionville, et concerne la fusion des données d'inondation issues des images satellitaires (en bleu sur la figure) avec les informations de relief numérique à différentes résolutions (modélé en gris sur la figure). Un premier objectif porte sur la qualité de la cartographie de l'aléa et s'intéresse aux incertitudes et à l'amélioration de la précision de la cartographie d'une inondation à partir des images. L'étape suivante est le développement de méthodes de valorisation de ces cartographies de l'aléa pour fournir des images rapides et spatialisées de l'étendue des débordements



*Inondations par imagerie satellitaire*

(utilisables en gestion de crise) afin de connaître rapidement les dégâts probables (problèmes d'assurances) et avoir des précisions nouvelles sur la réalité des débordements (aide au calage ou à la validation des modélisations hydrauliques, assimilation des données spatialisées dans les modèles, aide pour la gestion et le retour d'expérience).

**& Contacts : Christian Puech, [puech@teledetection.fr](mailto:puech@teledetection.fr)  
Renaud Hostache, [renaud@teledetection.fr](mailto:renaud@teledetection.fr)**

## Nouveaux sites expérimentaux pour l'étude des aquifères: le Centre Expérimental et d'Enseignement de Lavalette (CEEL) et l'observatoire côtier de Maguelone (Hérault, France)



Sites expérimentaux pour applications fondamentales et environnementales

© CEEL

Avec le développement d'un site expérimental pour la géophysique et l'hydrodynamique en forage à La Valette, à proximité de l'UMII, le *Laboratoire de Tectonophysique* (CNRS, UMII) a choisi d'appliquer au sous-sol proche des techniques de mesure initialement conçues pour l'exploration pétrolière. Les applications de cette approche allant de l'échelle du millimètre (pour la résolution des images *in situ*) à celle de quelques centaines de mètres (pour la profondeur des forages ou la taille du site en surface) sont à la fois fondamentales et environnementales. Ce site expérimental comprend plusieurs forages de 100 mètres de profondeur, distants de quelques mètres et connectés hydrauliquement. Il est dédié à la fois à l'enseignement, à l'étalonnage d'un jeu d'outils géophysiques et à la conception de nouveaux outils, comme dans le cadre du programme européen ALIANCE. Ce dernier, dédié thématiquement à l'étude des intrusions d'eau salée en zone côtière, a conduit à développer près de Montpellier un second site expérimental en zone littorale, le long de l'étang du Prévost (Hérault). Ce site permet à la fois de décrire par forage la distribution des fluides dans le sous-sol et d'en étudier la dynamique temporelle. À terme, cette approche et ces sites ont pour but la mise en place de nouvelles méthodes de suivi (« *monitoring* ») géophysique, hydrodynamique et/ou géochimique de la qualité des eaux dans le sous-sol.

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

### Les principales équipes

#### LGEI

Centre de recherche Environnement industriel et risques industriels et naturels

52 scientifiques (EMA)

Directeur : Miguel Lopez-Ferber,  
[miguel.lopez-ferber@ema.fr](mailto:miguel.lopez-ferber@ema.fr)  
fax : +33 (0)4 66 78 27 01

#### UMR TETIS

Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale

60 scientifiques (Cemagref, Cirad, ENGREF)

Directeur : Pascal Kosuth,  
[pascal.kosuth@teledetection.fr](mailto:pascal.kosuth@teledetection.fr)  
fax : +33 (0)4 67 54 87 00

#### UMR 5569

HydroSciences Montpellier

une centaine de scientifiques (CNRS, IRD, UMI, UMII)

Directeur : Éric Servat,  
[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 47 74

#### UMR 5568

Laboratoire de Tectonophysique

une soixantaine de scientifiques (CNRS, UMII)

Directeur : Jean-Louis Bodinier,  
[bodin@dstu.univ-montp2.fr](mailto:bodin@dstu.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 36 03

#### UMR 5573

Laboratoire Dynamique de la Lithosphère

15 scientifiques (CNRS, UMII) travaillent sur l'eau.

Directeur : Serge Lallemand,  
[lallemand@dstu.univ-montp2.fr](mailto:lallemand@dstu.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 36 42

... suite page 38

### La géomatique : pour une meilleure évaluation et prévention des risques liés à l'eau

L'UMR TETIS *Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale* (Cemagref, Cirad, ENGREF) a remplacé depuis peu l'UMR 3S qui regroupait des ingénieurs et chercheurs de l'ENGREF et du Cemagref depuis 1988. Cette unité est spécialisée dans la mise au point de nouvelles méthodes et applications dans le domaine de la géomatique. En cohérence avec ses activités de recherche, elle développe une offre de formations variées (initiales et continues) ainsi qu'une activité d'expertise et d'appui technique auprès des ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement et des collectivités territoriales. Elle est localisée dans la Maison de la Télédétection à Montpellier où elle est associée depuis septembre 1994 à des équipes de recherche du Cirad et de l'IRD pour constituer un pôle de recherche appliquée en télédétection et information géographique de dimension européenne. L'UMR 3S a notamment développé des

compétences méthodologiques, d'une part, pour caractériser l'espace rural et péri-urbain en tant que support de ressources ou d'activités à partir d'images de télédétection et, d'autre part, pour la modélisation de la dynamique spatiale de systèmes territoriaux où interagissent des processus relatifs au fonctionnement du milieu physique et aux activités anthropiques qui transforment ces territoires : couplages de modèles et Systèmes d'Information géographiques, développement de modèles spatiaux. Dans le domaine de l'eau, l'UMR développe l'apport des techniques et méthodologies de l'analyse spatiale et des Systèmes d'Information géographiques à la connaissance et à l'évaluation quantitative des ressources en eau et aux risques associés. Les recherches visent à prendre en compte la variabilité spatiale et temporelle des apports, des transferts d'eau et de matière, ainsi que des écoulements à différentes échelles. Leur finalité consiste à améliorer les connaissances et outils pour les aménageurs et les gestionnaires et à permettre une meilleure évaluation et prévention des risques liés à l'eau.

## Comportement in situ de l'eau

Afin de mieux appréhender le comportement *in situ* de l'élément eau dans son contexte géologique et structural, l'UMR 5568 *Laboratoire de Tectonophysique* (CNRS, UMII) conduit plusieurs types d'investigations : mesures géophysiques et hydrodynamiques de terrain, en particulier dans les forages ; mesures pétrophysiques, géophysiques et hydrodynamiques en laboratoire ; mise en œuvre d'expérimentations dynamiques en laboratoire ; développement de modèles numériques, de l'échelle des processus microscopiques à celle du réservoir. Les principaux chantiers de recherche concernent : (i) la caractérisation et le suivi des aquifères soumis aux intrusions marines et aux forçages anthropogéniques - par exemple la mise en œuvre de sites expérimentaux et d'outils originaux de mesure en forage dans le cadre du programme européen ALIANCE et de l'*Observatoire de Recherche sur l'Environnement* (ORE), Programme national H+ ; (ii) l'étude de faisabilité de la séquestration géologique des excédents de CO<sub>2</sub> atmosphériques dans les grands aquifères et les réservoirs pétroliers abandonnés -

par exemple, mise œuvre d'expérimentations de laboratoire haute pression dans le cadre de conventions de recherche avec TOTAL SA et des groupes de recherches nationaux ACI-CNRS-INSU, ACI-CNRS-SPI (Programme IFP/DIREM PICOR).

## De nouvelles recherches pour l'évaluation quantitative de la ressource en eau et la prévention de certains risques

L'UMR 5573 *Laboratoire Dynamique de la Lithosphère* (CNRS, UMII) s'intéresse à quatre thèmes majeurs en relation avec l'eau. Le premier thème, la quantification de la vapeur d'eau troposphérique par GPS, est développé dans l'exemple en page 39. Le deuxième thème s'intéresse à l'évaluation des stockages et des flux dans les aquifères par gravimétrie absolue. Un effet gravimétrique est créé par le stockage de l'eau dans le sol, notamment par l'existence de nappes phréatiques d'extension limitée, libres ou captives. Un gravimètre absolu permet d'effectuer des études sur les aquifères karstiques de la région des Grands Causses.

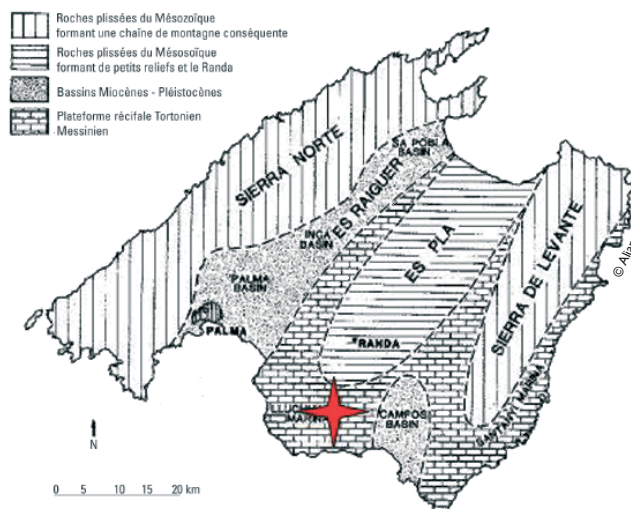
Le troisième thème concerne les événements climatiques catastrophiques (crues, tempêtes) au cours de l'Holocène et leurs impacts sur l'environnement et les sociétés humaines dans la partie occidentale du bassin méditerranéen. Il vise à identifier et estimer la récurrence de ces événements à partir de l'étude d'archives sédimentaires prélevées par carottages dans les lagunes du Golfe d'Aigues-Mortes (France). L'étude de l'hydrodynamique sédimentaire dans la zone littorale (Golfe d'Aigues-Mortes) grâce à des outils de modélisation numérique et de mesures *in situ* à l'aide d'une embarcation adaptée à la prospection littorale constitue le quatrième thème de recherche. Cette caractérisation des forçages hydrodynamiques susceptibles de contrôler la morphodynamique littorale est essentielle pour l'évaluation des deux risques naturels majeurs dans la zone littorale, à savoir les risques d'érosion du trait de côte et les risques de submersion du littoral par la mer. Basés sur des recherches fondamentales sur les interactions houles-courants-sédiments, divers projets à buts très appliqués sont menés en collaboration avec les services maritimes de l'État et les collectivités locales. ●●●

# Projet européen ALIANCE : développement de nouveaux outils d'investigation des réservoirs en zone côtière et de suivi temporel des intrusions salines



Le projet européen ALIANCE (« *Advanced Logging Investigation in Coastal Environments* ») a pour objet le développement de méthodes

d'investigation, de caractérisation et de suivi (« monitoring ») des aquifères côtiers. Il s'agit en particulier d'en évaluer le degré de vulnérabilité face aux sollicitations anthropiques et aux intrusions salines. Dans ce but, ALIANCE a développé un ensemble de méthodes géophysiques pour le suivi quantitatif de telles intrusions ainsi que de nouveaux outils d'investigation géophysique ou hydrodynamique du milieu par forage. Deux sites expérimentaux opposés en termes de structure géologique et de comportement hydrodynamique ont été développés et caractérisés (de l'échelle du micron à celle de la centaine de mètres) d'un point de vue géologique, géophysique, pétrophysique et hydrodynamique. Ces développements ont été réalisés à Ploemeur (Bretagne) dans des granites peu fracturés et à Majorque (Baléares) dans des carbonates récifaux du Miocène pour la mise en œuvre des nouveaux outils ainsi que la validation de nouveaux modèles ou protocoles expérimentaux. Ces sites sont également équipés progressivement pour le suivi à long terme de la qualité de l'eau dans le sous-sol. Des simulations d'injections d'eaux de salinité variable peuvent ainsi être réalisées. Au-delà des méthodes traditionnelles, le suivi à long terme des fluctuations de l'interface eau douce/eau salée est basé sur l'utilisation de méthodes



### Intrusion salée sur le site de Campos (Majorque, Espagne)

électriques soit actives avec l'injection momentanée de courant basse fréquence, soit passives avec l'analyse de courants naturels spontanés.

Contact : Philippe Pezard, [pezard@dstu.univ-montp2.fr](mailto:pezard@dstu.univ-montp2.fr)



*Décrue sur le Vidourle (Gard, France, septembre 2002)*

### Autres équipes concernées par ce thème

... suite de la page 36

**Unité EAU/RMD**  
Évaluation de la Ressource,  
Milieux Discontinus  
19 scientifiques (BRGM)  
Directeur : Patrick Lachassagne,  
p.lachassagne@brgm.fr  
fax : +33 (0)4 67 15 79 75

**UMR 183 G-EAU**  
Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages  
64 scientifiques (Cemagref, Cirad, ENGREF, IRD)  
Directeur : Patrice Garin,  
garin@montpellier.cemagref.fr  
fax : +33 (0)4 67 63 57 95

**UMR 1221 LISAH**  
Laboratoire d'étude des Interactions  
entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème  
70 scientifiques (Agro. M, Inra, IRD)  
Directeur : Marc Voltz,  
voltz@ensam.inra.fr  
fax : +33 (0)4 67 63 26 14

**UPR Green**  
Gestion des ressources  
renouvelables, environnement  
17 scientifiques (Cirad)  
Directeur : Jean-Pierre Müller,  
jean-pierre.muller@cirad.fr  
fax : +33 (0)4 67 59 38 27

**UR 032**  
Great Ice - Glaciers et Ressources en Eau  
d'Altitude - Indicateurs Climatiques  
et Environnementaux  
30 scientifiques dont 19 permanents (IRD)  
Directeur : Anne Coudrain,  
coudrain@msem.univ-montp2.fr  
fax : +33 (0)4 67 14 90 71

**US 019**  
**OBHI Observatoires hydrologiques  
et ingénierie**  
24 scientifiques (IRD)  
Directeur : Bernard Thébé,  
Bernard.Thebe@mpl.ird.fr  
fax : +33 (0)4 67 91 72 69

L'unité EAU/RMD, le LGEI, l'UMR 1221 LISAH, l'UMR TETIS, l'UMR 5569, l'UR 032 Great Ice, l'UR Irrigation et l'US 019 OBHI font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)  
Directeur : Pierre Chevallier,  
chevalli@msem.univ-montp2.fr

### Analyse des aléas extrêmes en milieux méditerranéen et tropical

Parmi les autres axes qui structurent la recherche au sein du laboratoire de l'Unité Mixte de Recherche 5569 *HydroSciences Montpellier* (CNRS, IRD, UMI, UMII), l'un d'eux est principalement concerné par le défi « risques naturels et anthropiques ». Il s'agit des « Risques hydrologiques liés aux aléas extrêmes » qui font apparaître la notion de risque, qu'ils soient liés à des événements hydro-climatiques extrêmes ou aux pollutions associées aux flux qu'ils génèrent.

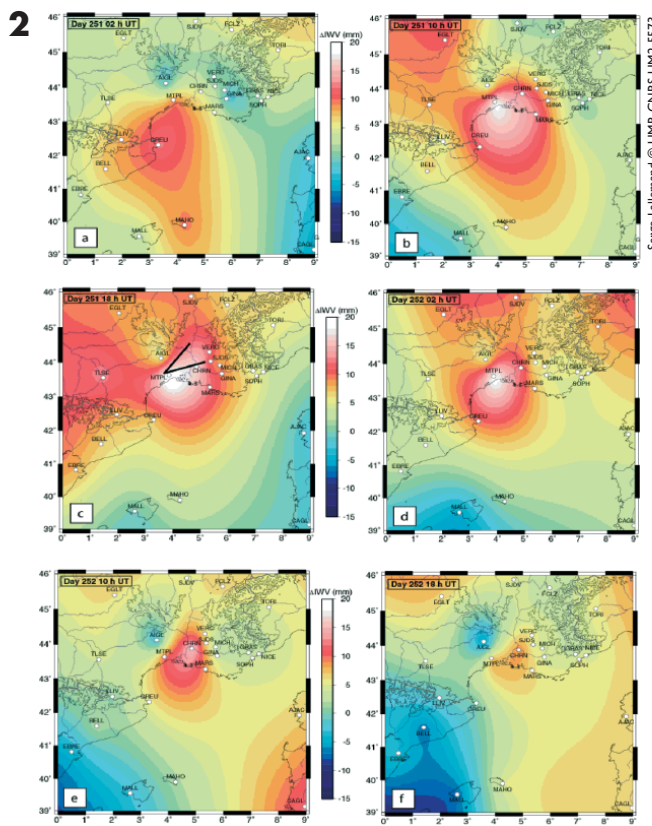
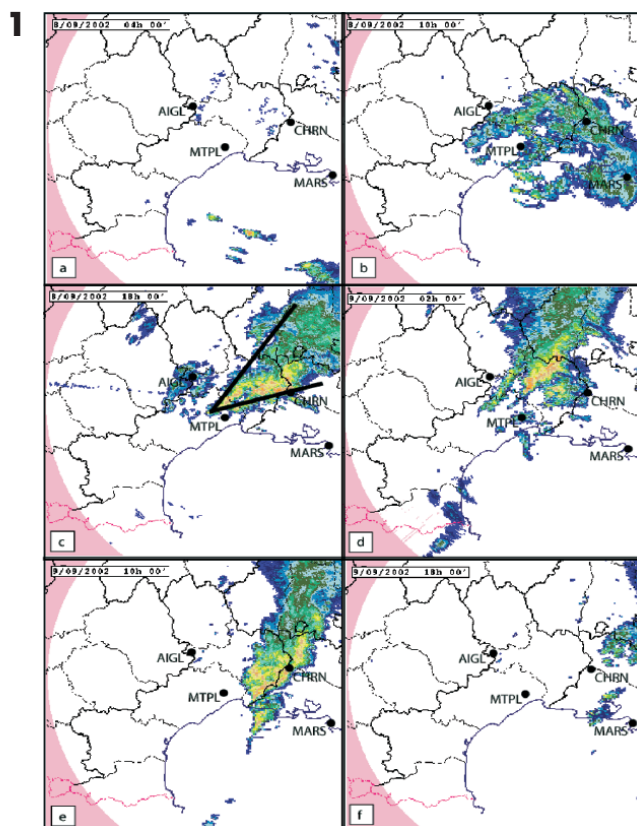
### L'évaluation des risques naturels : la modélisation des crues éclair

Le LGEI (École des Mines d'Alès, EMA) focalise ses recherches sur la proposition de nouvelles approches de la gestion des risques (mais aussi sur de nouveaux procédés et filières de traitement et de recyclage adaptés à certains types d'effluents industriels). Dans le domaine des risques, le Centre élabore des outils opérationnels d'aide à la décision en situation de crise tels que la modélisation des crues éclair (« flash flood »), l'étude de l'infiltration des eaux de ruissellement en vue de l'amélioration de la prévision des crues sur des bassins versants sensibles

ou encore la pollution accidentelle de cours d'eau. L'ensemble de ces approches est validé par des protocoles expérimentaux *in situ*.

Le *Service d'Annonce des Crues du Gard* (SAC-30) a en charge la surveillance des principaux cours d'eau de son département. Pour ce faire, il dispose d'un réseau de stations de télémesures implantées en des points stratégiques de ces rivières. Le phénomène climatique dit *Cévenol*, récurrent sur ce territoire, entraîne un type de crue éclair de forte intensité qui peut surprendre par sa rapidité sur les petits bassins versants (< 500 km<sup>2</sup>). C'est pour répondre au mieux à ces phénomènes que le SAC-30 développe, depuis 5 ans, un système de prévision des crues permettant une gestion spatialisée et anticipée des événements pluvieux intenses. Les travaux entrepris ont pour objectif d'optimiser le modèle de prévision « ALHTAÏR » (cf. p.40). Ils visent essentiellement à élaborer une « couche d'informations » sur la capacité d'infiltration des sols lors d'épisodes pluvieux majeurs. Une double approche a ainsi été mise en place pour répondre à la problématique. En effet, cette couche d'informations est réalisée en tenant compte des paramètres intrinsèques aux sols (mesure *in situ* de l'infiltration) mais aussi de paramètres exogènes tels que l'occupation du sol ou la géologie (analyse spatiale à l'aide des Systèmes d'Information géographique). ■

# Quantification de la vapeur d'eau troposphérique par GPS



La vapeur d'eau est une grandeur thermodynamique très variable dans l'atmosphère à diverses échelles temporelles et spatiales. Elle agit sur la dynamique de l'atmosphère et contrôle une grande partie des transferts de matière et d'énergie. Évaluer sa distribution spatiale et temporelle est fondamentale pour améliorer les modèles météorologiques, notamment pour les prévisions des précipitations, et plus encore dans le cas où elles s'avèrent extrêmes. Les techniques actuelles de sondage de la vapeur d'eau sont multiples mais ont de nombreuses limitations. L'apport du GPS fournit des observations par tous les temps (même en présence de précipitations) et avec une résolution temporelle horaire. Il permet de déterminer les quantités avec une précision de 1 à 2 kg/m<sup>2</sup> (c'est-à-dire 1 à 2 mm d'eau précipitable).

Le laboratoire *Dynamique de la Lithosphère* travaille depuis plusieurs années à (1) l'amélioration des estimations des paramètres troposphériques issus du GPS et (2) leur utilisation en météorologie. Pour cela, plusieurs campagnes de mesures GPS ont été effectuées et, notamment en région, des campagnes dites « OHM-CV » dédiées à l'étude des épisodes cévenols. Pour chacune de ces campagnes, l'évolution spatio-temporelle de la vapeur d'eau a été calculée, comparée aux résultats obtenus avec d'autres instruments et analysée. À partir de ces campagnes, des modèles 4D de vapeur d'eau par tomographie troposphérique (thèse de recherche Cédric Champollion, cofinancée CNRS/Région Languedoc-Roussillon) sont réalisés. Ces modèles 4D sont intéressants pour différentes études en relation directe avec des laboratoires travaillant sur l'atmosphère.

Pour plus d'informations, lire Champollion C., Masson F., Van Baelen J., Walpersdorf A., Chéry J., Doerflinger E., 2004. GPS monitoring of the tropospheric water vapor distribution and dynamics during the September 9, 2002, torrential precipitations episode in the Cévennes (Southern France). *J. Geophys. Res.* Vol. 109, No. D24, D24102, 10.1029/2004JD004897, 17 December 2004.

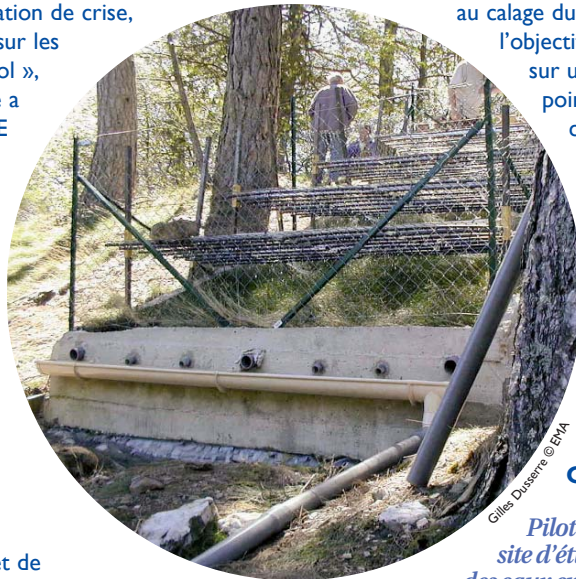
**Contacts : Serge Lallemand, [Serge.Lallemand@dstu.univ-montp2.fr](mailto:Serge.Lallemand@dstu.univ-montp2.fr)  
Frédéric Masson, [Frederic.Masson@dstu.univ-montp2.fr](mailto:Frederic.Masson@dstu.univ-montp2.fr)**

**1. Carte des pluies observées par le radar de Nîmes à (a) 0400 UTC, (b) 1000 UTC, (c) 1800 UTC, le 8 septembre et à (d) 0200 UTC, (e) 1000 UTC, (f) 1800 UTC, le 9 septembre 2002. Les points noirs indiquent la localisation des stations GPS. Sur la figure c, les lignes noires représentent la forme en V typique de ce genre de système de pluie.**

**2. Carte des IWV mesurés par GPS à (a) 0200 UTC, (b) 1000 UTC, (c) 1800 UTC, le 8 septembre et à (d) 0200 UTC, (e) 1000 UTC, (f) 1800 UTC, le 9 septembre 2002, relativement à la valeur mesurée le 7 septembre à 1800 UTC.**

## Un outil d'aide à la décision : le modèle de prévision des crues ALHTAÏR

Dans le but d'établir, en situation de crise, un outil d'aide à la décision sur les crues éclair de type « cévenol », un programme de recherche a été mis en place avec la DDE (Direction Départementale de l'Équipement du Gard, Service d'Annonce des Crues). Ce programme de recherche vise à optimiser le modèle de prévision des crues en temps réel « ALHTAÏR », développé depuis 5 ans par ce service opérationnel. Les essais *in situ* réalisés par l'École des Mines d'Alès apportent en effet une connaissance générale des processus d'infiltration et de ruissellement et permettent d'en étudier la complexité tout en dégageant des paramètres destinés



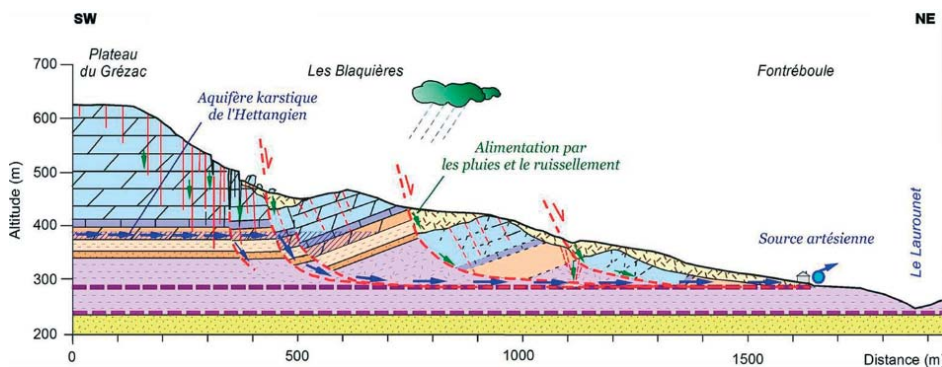
au calage du modèle de prévision ALHTAÏR. Parallèlement, l'objectif de spatialisation de la capacité d'infiltration sur une zone importante (le Gard) et la mise au point d'indicateurs de risque pour l'annonce des crues constituent un volet de développement particulièrement intéressant.

Les simplifications nécessaires à la réalisation de cette cartographie, les tests avec des données issues des événements torrentiels réels enregistrées au SAC-30 permettent une confrontation permanente avec les besoins et les aspirations en matière de prévision des crues.

**Contacts : Sophie Sauvagnargues-Lesage, [Sophie.Sauvagnargues-Lesage@ema.fr](mailto:Sophie.Sauvagnargues-Lesage@ema.fr)  
Gilles Dusserre, [Gilles.Dusserre@ema.fr](mailto:Gilles.Dusserre@ema.fr)**

*Pilote d'expérimentation sur les inondations :  
site d'étude de la capacité d'infiltration  
des eaux en vue de l'établissement  
d'un indicateur pour l'annonce des crues*

## Les mouvements de terrain du Nord Lodévois : projet de site expérimental



*Les mouvements de terrain du Nord Lodévois*

Les reculées karstiques du Nord Lodévois (vallées du Laurounet, de la Lergue et de la Soulondres, Hérault, France) sont sujettes à de nombreux mouvements de terrain qui ont un impact direct sur les aménagements urbains et routiers et donc sur le développement économique de cette région. L'activation de ces phénomènes est due à la conjonction de nombreux facteurs (topographiques, lithologiques, hydrologiques, anthropiques, etc.) dont on ne connaît pas avec exactitude le rôle dans le déclenchement des phénomènes. Notamment, les glissements de terrain observés dans ce secteur ne correspondent à aucun modèle géotechnique simple décrit dans la littérature. Dans ce contexte, la création d'un site

expérimental dans le Nord Lodévois est proposée par le Laboratoire de la Dynamique de la Lithosphère, le Centre d'Étude Technique de l'Équipement Méditerranée, le Laboratoire de géophysique et hydrodynamique en forage et HydroSciences Montpellier. Ce site doit ainsi fédérer sur le long terme la communauté scientifique et technique montpelliéraine et nationale autour de cette thématique. Ce projet, clairement pluridisciplinaire, a l'ambition de

rapprocher différentes équipes des Géosciences et du Risque autour de deux objectifs :

- apporter des éléments de réponse pour mieux maîtriser la prévention et assister les décideurs dans l'expertise des risques géologiques d'origine gravitaire ;
- servir de site de formation pour les futurs spécialistes dans le domaine de l'environnement et des risques géologiques (Bac + 4 et 5).

**Contact : Hervé Philip, [Herve.Philip@dstu.univ-montp2.fr](mailto:Herve.Philip@dstu.univ-montp2.fr)**



# Risques hydrologiques liés aux aléas extrêmes



L'équipe *Risques Hydrologiques* de l'UMR HydroSciences Montpellier étudie principalement les risques d'inondations et de pollutions associés aux événements pluvieux intenses, notamment dans le Languedoc-Roussillon.

Les questions traitées sont par exemple : quelles sont les périodes de retour de ces événements et des dommages associés ? Quelle est l'influence du changement climatique sur la fréquence de ces événements ? Comment améliorer les modèles de prévision en temps réel ? En ce qui concerne les flux de matières solides et chimiques véhiculées par les crues, encore très mal connus, les travaux portent sur l'établissement de bilans événementiels et annuels, sur les processus d'évolution de ces

matières au cours de leur transfert dans le bassin, sur l'origine de ces matières : atmosphère, agriculture, industrie, urbanisation, sur la généralisation des observations à une échelle régionale.

À travers les sites languedociens, l'équipe participe ainsi à différents programmes nationaux et européens : exploitation de l'information historique sur le bassin de l'Hérault pour l'estimation des crues rares (MEDD-Risques, Décisions et Territoires), cartographie des inondations en zone urbaine, exemple de la ville de Nîmes (MEDD- Risques d'Inondations), étude des pluies intenses et des crues-éclair dans la région Cévennes-Vivarais (ORE OHM-CV), bases de données sur l'Étang de Thau et les systèmes lagunaires méditerranéens (programme de la Commission Européenne *Development of an Information Technology Tool for the management of European Southern Lagoons under the influence of river-basin runoff*), modélisation de la qualité de l'eau sur le bassin de la Vène (programme de la Commission Européenne *Evaluation and improvement of water quality models for application to temporary waters*).

Contact : **Christophe Bouvier**,  
[bouvier@msem.univ-montp2.fr](mailto:bouvier@msem.univ-montp2.fr)

## La contribution des eaux souterraines aux crues en milieu urbain : le cas du réseau karstique de la Fontaine de Nîmes



© Michel Soulié

Les eaux souterraines contribuent aux écoulements des cours d'eau en étiage, quel que soit le type de milieu géologique, mais qu'en est-il en période de crues et plus particulièrement dans les régions calcaires karstiques ? Caractériser et quantifier la contribution des eaux souterraines aux crues et aux inondations

est un des principaux objectifs du projet de recherche mené par le BRGM en partenariat avec Nîmes Métropole et le MEDD (avec la participation de l'École des Mines d'Alès). Ce projet, d'une durée de 3 ans, a débuté en 2004. Cette caractérisation passe notamment par une phase d'instrumentation (réseau piézométrique, débitmètre sur la Fontaine de Nîmes, etc.) complémentaire au réseau « eaux de surface et pluie » existant (projet ESPADA), par une redélimitation du bassin d'alimentation de la Fontaine et par une interprétation des chroniques de pluies, débits et niveaux d'eau. Deux échelles d'analyse ont été retenues. L'une concerne la totalité du bassin versant souterrain, d'environ 80 km<sup>2</sup>, l'autre se focalise sur des sous-bassins versants (les « cadereaux » de Nîmes). La relation eaux de surface/eaux souterraines (hydrologie, hydrochimie), la caractérisation de la recharge/infiltration (tests d'infiltration par simulateur de pluies), la caractérisation du fonctionnement et le rôle des bassins de rétention sont abordés à ces deux échelles. Si le rôle des eaux souterraines dans le processus des crues est confirmé, des points de surveillance pertinents associés à des seuils d'alerte « eaux souterraines » seront sélectionnés et intégrés au réseau d'alerte ESPADA ; le dispositif de réduction du risque inondation (bassins de rétention) sera alors adapté.

Contacts : **Jean-Christophe Maréchal**, [jc.marechal@brgm.fr](mailto:jc.marechal@brgm.fr)  
**Nathalie Dörfliger**, [n.dorfliger@brgm.fr](mailto:n.dorfliger@brgm.fr)

# Traitement des eaux *et assainissement des eaux usées*

*Le traitement et l'assainissement des eaux usées, rejetées par le consommateur après utilisation, ont pour objectif de collecter puis d'épurer ces eaux avant de les rejeter dans le milieu naturel.*

*Le « nettoyage » des eaux usées obéit donc à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement, mais représente également une ressource potentielle en eau « non conventionnelle » pour divers usages (agricole, industriel ou urbain).*

**I**l existe trois grandes catégories d'eaux usées (ou eaux résiduaires) : les eaux domestiques, les eaux industrielles et les eaux pluviales. Les eaux usées domestiques sont essentiellement porteuses de pollution organique mais aussi de germes divers et de micropolluants. Celles issues de l'industrie sont très différentes et leurs caractéristiques varient selon l'industrie, le type d'unités de traitement mises en place et l'effort de protection de l'environnement fait sur le site, liés essentiellement aux contraintes réglementaires imposées. Les eaux pluviales peuvent, elles aussi, être la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air mais elle peut aussi se charger de résidus présents sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, etc.).

Les eaux usées, après collecte, sont généralement acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. Le but de ces différents traitements est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées pour que l'eau traitée puisse être réutilisée sur site ou ne dégrade pas le milieu dans lequel elle est finalement rejetée. Les traitements reposent sur des procédés unitaires ou couplés associant des voies physiques ou

physico-chimiques (décantation, filtration, adsorption), biologiques, voire thermiques. Ils intègrent souvent plusieurs étapes selon leur degré d'intensification. En milieu urbain, par exemple, les filières débutent par des prétraitements (simples étapes de séparation physique consistant à débarrasser les eaux usées des polluants les plus grossiers (dégrillage, dessablage, dégraissage). Sont alors distinguées les filières extensives (lagunage, infiltration-percolation) et les filières intensives reposant sur des voies de traitement physico-chimiques (coagulation et précipitation) ou biologiques (boues activées, lit bactérien, biofiltre, bioréacteur à membrane) plus ou moins associées. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible (eaux de baignade, zones d'élevage de coquillages, etc.). Les traitements tertiaires peuvent comprendre des traitements de désinfection. Dans tous les cas, le traitement des eaux usées conduit à la production de concentrats souvent solides constituant les boues de station dont la stabilisation et le conditionnement doivent être assurés pour envisager une valorisation agricole ou énergétique.

**A. Grasmick**  
**(Laboratoire de Génie  
des Procédés et d'Élaboration  
de Bioproduits LGPEB/UMII)**



Pilote de nanofiltration

## Procédés de traitement des eaux usées

L'UMR 016 *Génie des procédés et élaboration des bioproduits* (Cirad, ENSIA/SIARC, UMI, UMII) s'implique particulièrement dans le domaine du génie des procédés intensifs de traitement des eaux et des effluents. L'objectif principal de cette unité est l'étude de procédés unitaires appliqués au problème de clarification des eaux (abattement des matières en suspension et turbides) et à l'élimination de la matière soluble (organique ou minérale). Les procédés étudiés reposent sur des systèmes dits conventionnels (coagulation, floculation, décantation, lit bactérien, boues activées) mais les travaux s'orientent aujourd'hui majoritairement sur le recours à une étape de séparation sur membranes pour assurer une grande qualité de traitement (traitement par ultrafiltration couplée à une adsorption et une précipitation en préparation d'eau potable). Ces travaux envisagent aussi la récupération de molécules industrielles à haute valeur ajoutée grâce à une séparation directe sur site par ultra / nano-filtration ou osmose inverse (pigments de peinture, colorants, sels divers...), voire en

assurant une désinfection des eaux en milieux urbains ou industriels par l'emploi de bioréacteurs à membranes (qui permet alors une réutilisation des eaux traitées en eau d'irrigation ou de lavage, par exemple). Les travaux sont conduits dans le but d'identifier les paramètres de dimensionnement et de maîtrise industrielle de l'opération. Ils intègrent des approches académiques mais aussi des réponses à des cas concrets au travers, notamment, des projets industriels réalisés dans le cadre de la formation d'ingénieurs de l'École Polytechnique Universitaire de Montpellier.

## Techniques et outils de gestion pour les services d'eau et d'assainissement

Le Laboratoire *Gestion de l'Eau et Assainissement* (UP GEA, ENGREF, intégré dans l'UMR 183 G-EAU) développe et diffuse des informations, des méthodes et des outils qui permettent d'améliorer la gestion des services des eaux. Ses travaux se développent autour de deux thèmes :

- outils et modes d'organisation des services d'eau,
- libéralisation et régulation des services d'eau.

Le premier thème met en œuvre un niveau d'analyse centré plutôt

sur le service local. Il s'agit de développer des outils à destination principalement des collectivités ou, par ricochet, aux conseillers des collectivités. Il s'agit, par exemple, de travaux sur les indicateurs de performance (qualité de service sur le court et le long terme) des services des eaux qui visent à donner de nouveaux moyens aux collectivités pour définir leurs attentes, piloter le service et introduire, grâce à la comparaison entre services, un ferment de concurrence par comparaison.

Le second thème renvoie à des analyses plus globales portant sur le marché de l'eau et l'exercice de la concurrence. L'analyse du contexte économique et juridique de l'eau (développement des entreprises privées, déroulement de la concurrence, évolutions du contrôle et de la régulation des services à travers l'Europe...) permet de mieux saisir les évolutions en cours et leurs conséquences, afin d'aider à la prise de décision au niveau national. La question de la régulation est en fait transverse à ces deux thèmes : elle suppose un cadre national, mais s'exerce au niveau local. L'objectif majeur des recherches est donc de contribuer à une meilleure régulation des services publics locaux tels que ceux de l'eau et de l'assainissement. ■

## Bioréacteur à membranes et traitement des eaux usées



*Bioréacteur à membranes immergées en traitement d'eau résiduaire*

Le Laboratoire de Génie des Procédés et d'Elaboration de Bioproduits LGPEB (UMII) développe une thématique de recherche forte dans le domaine des procédés permettant de rendre une eau conforme pour un usage défini (clarification des eaux de consommation, dessalement et traitement d'eaux usées urbaines ou industrielles pour réutilisation). Des recherches s'intéressent notamment aux réacteurs biologiques intensifs permettant l'élimination des composés

organiques et minéraux (azote et phosphates) sous forme particulaire ou dissoute des eaux usées pour autoriser leur rejet en milieu naturel ou mieux, permettre leur réutilisation directe.

Depuis une dizaine d'années, ces recherches sont développées en associant au réacteur biologique une étape de séparation par membranes poreuses (cette association constituant des systèmes appelés bioréacteurs à membranes) qui autorise, d'une part, le développement d'une masse épurative importante au sein du réacteur (donc une intensification des réactions) et, d'autre part, une sélectivité contrôlée au niveau de la barrière membranaire.

Les performances en traitement d'eaux usées de tels systèmes sont remarquables puisqu'ils permettent :

- de par la présence de la membrane, un abattement total des matières en suspension et des supra-colloïdes ainsi qu'un arrêt quasi absolu des germes (dépendant toutefois du seuil de coupure des membranes) ;
  - de par l'intensification des réactions, un abattement conséquent des polluants bio-assimilables en solution ;
  - une réduction, en fonction des conditions de travail imposées, de la masse de co-produits (boues et matières organiques résiduelles dans l'eau traitée).
- La qualité de l'eau traitée, notamment grâce à l'absence de germes et des teneurs résiduelles en substrats très faibles, permettent d'envisager :
- pour les eaux industrielles, une réutilisation directe sur site comme eau de lavage ou de refroidissement ;
  - pour les eaux usées urbaines, une recharge de nappe, un apport d'eau d'irrigation ou de lavage...

Pour plus d'informations, lire Ognier S., Wisniewski C., et Grasmick A. 2004. Membrane bioreactor fouling in subcritical filtration conditions: a local critical flux concept. *Journal of Membrane Science*. 229 : 171-177.

**Contact : Alain Grasmick, [grasmick@univ-montp2.fr](mailto:grasmick@univ-montp2.fr)**

### Les principales équipes

#### UMR 016

##### Génie des procédés et élaboration des bioproduits

27 scientifiques (Cirad, ENSIA/SIARC, UMI, UMII)

Directeur : Alain Grasmick,  
[grasmick@univ-montp2.fr](mailto:grasmick@univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 48 54

#### UMR 183 G-EAU

##### Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages

64 scientifiques (Cemagref, Cirad, ENGREF, IRD)

Directeur : Patrice Garin,  
[garin@montpellier.cemagref.fr](mailto:garin@montpellier.cemagref.fr)  
fax : +33 (0)4 67 63 57 95

#### LGEI Centre de recherche Environnement industriel et risques industriels et naturels

52 scientifiques (EMA)

Directeur : Miguel Lopez-Ferber,  
[miguel.lopez-ferber@ema.fr](mailto:miguel.lopez-ferber@ema.fr)  
fax : +33 (0)4 66 78 27 01

### Autres équipes concernées par ce thème

#### UMR 5474 LAMETA

##### Laboratoire Montpellierain d'Économie

##### Théorique et Appliquée

une centaine de scientifiques

(Agro. M, CNRS, IAM.M, Inra, UMI)

Directeur : Daniel Serra,  
[serra@lameta.univ-montp1.fr](mailto:serra@lameta.univ-montp1.fr)  
fax : +33 (0)4 67 15 84 67

#### UMR 5569

##### HydroSciences Montpellier

une centaine de scientifiques

(CNRS, IRD, UMI, UMII)

Directeur : Éric Servat,  
[eric.servat@msem.univ-montp2.fr](mailto:eric.servat@msem.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 47 74

#### US 49

##### Laboratoires d'analyses physico-chimiques des sols, eaux et végétaux

30 scientifiques (Cirad)

Directeur : Alain Aventurier,  
[alain.aventurier@cirad.fr](mailto:alain.aventurier@cirad.fr)  
fax : +33 (0)4 67 61 56 42

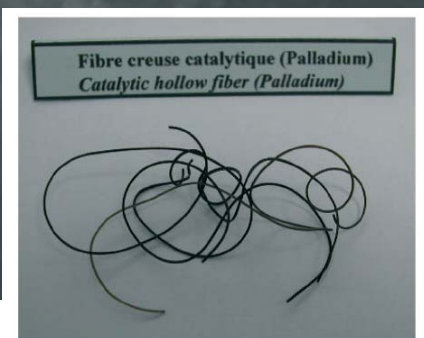
Le LGEI et l'UMR 5569

HydroSciences Montpellier font partie de l'Institut Fédératif de Recherche

« Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123)

Directeur : Pierre Chevallier,  
[chevalli@msem.univ-montp2.fr](mailto:chevalli@msem.univ-montp2.fr)

Fibre creuse de chitosane



## Techniques de récupération de métaux ou de composés organiques

100  $\mu\text{m}$

Le LGEI développe depuis de nombreuses années une activité de recherche dans le domaine de la récupération de métaux (U, Mo, V) ou de composés organiques (colorants) sur des matériaux d'origine biologique et plus particulièrement sur des biopolymères (chitosane).

Extrait des carapaces de crustacés, ce biopolymère présente des propriétés originales par rapport aux autres polymères naturels. C'est un matériau très versatile, aisément modifiable chimiquement (greffage de groupements fonctionnels spécifiques) et physiquement (conditionnement du matériau : billes de gel, membranes, fibres, fibres creuses).

Dans ses interactions avec les ions métalliques, le chitosane met à profit la présence de fonctions chélatantes (groupes aminés) mais aussi son caractère cationique qui favorise les mécanismes d'échange d'ions.

Plus récemment, les efforts ont porté sur la récupération sélective de métaux nobles (Pd, Pt, Os, Ir, Au) en utilisant des dérivés spécialement modifiés du chitosane. Ces efforts s'inscrivent dans le cadre d'un programme européen. Ce travail a permis de mettre en évidence d'importantes propriétés d'adsorption des métaux nobles sur les dérivés de chitosane : les capacités de fixation peuvent atteindre 200 à 500 mg (métal/g) pour le palladium et le platine.

Contacts : **Éric Guibal**, [Eric.Guibal@ema.fr](mailto:Eric.Guibal@ema.fr)  
& **Jean Roussy**, [Jean.Roussy@ema.fr](mailto:Jean.Roussy@ema.fr)

# Thématiques couvertes par les équipes de recherche

(Octobre 2005)

Les différentes unités et équipes de recherche apparaissent dans les tableaux par ordre de citation dans le texte du dossier Agropolis.

1. Impact de la variabilité climatique  
2. Organisation et évolution des versants cultivés  
3. Milieux hydrologiques discontinus

4. Contamination des milieux aquatiques  
5. Hydrosystèmes aménagés, territoires et sociétés  
6. Risques naturels et anthropiques  
7. Traitement des eaux et assainissement des eaux usées

Unité	1	2	3	4	5	6	7
<b>IFR 123 ILEE « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement »</b> P. Chevallier	•	•	•	•	•	•	•
<b>LGEI Centre de recherche Environnement industriel et risques industriels et naturels</b> (EMA) M. Lopez-Ferber				•		•	•
<b>UMR 183 G-EAU Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages</b> (Cemagref, Cirad, ENGREF, IRD) P. Garin				•	•	•	•
<b>UMR 016 Génie des procédés et d'élaboration des bioproduits</b> (Cirad, ENSIA-SIARC, UMI, UMII) A. Grasmick							•
<b>UMR 1221 LISAH Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème</b> (Agro. M, Inra, IRD) M. Voltz		•	•	•	•	•	
<b>UMR TETIS Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale</b> (Cemagref, Cirad, ENGREF) P. Kosuth				•		•	
<b>UMR 5045 Laboratoire « Mutations des Territoires en Europe »</b> (CNRS, UMIII) A. Berger					•		
<b>UMR 5474 LAMETA Laboratoire Montpellierain d'Économie Théorique et Appliquée</b> (Agro. M, CNRS, IAM.M, Inra, UMI) D. Serra		•			•		•
<b>UMR 5568 Laboratoire de Tectonophysique</b> (CNRS, UMII) J.-L. Bodinier			•	•		•	
<b>UMR 5569 HydroSciences Montpellier</b> (CNRS, IRD, UMI, UMII) É. Servat	•	•	•	•		•	•
<b>UMR 5573 Laboratoire Dynamique de la Lithosphère</b> (CNRS, UMII) S. Lallemand						•	
<b>Unité EAU/RMD Évaluation de la Ressource, Milieux Discontinus</b> (BRGM Montpellier) P. Lachassagne	•		•	•	•	•	
<b>UPR Green Gestion des ressources renouvelables, environnement</b> (Cirad) J.P Müller	•				•	•	
<b>UR 032 Great Ice Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude Indicateurs Climatiques et Environnementaux</b> (IRD) A. Coudrain	•				•	•	
<b>UR 044 Dynamiques sociales de l'irrigation</b> (IRD) T. Ruf					•		
<b>US 019 OBHI Observatoires Hydrologiques et Ingénierie</b> (IRD) B. Thébé	•					•	
<b>US 048 DIVHA Dynamiques, Impacts et Valorisation des Hydro-Aménagements</b> (IRD) P. Le Goulven					•		
<b>US 49 Laboratoires d'analyses physico-chimiques des sols, eaux et végétaux</b> (Cirad) A. Aventurier		•		•	•		•
<b>US 166 Désertification</b> (IRD) J.-M. d'Herbès	•	•			•	•	



*Amou Daria  
(Ousbékistan)*

# Les formations Agropolis dans le domaine de l'eau

**A**gropolis, 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, 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.

## Les formations diplômantes Formations entièrement centrées sur la thématique « Eau »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation	Établissement
Bac +5	DU	Gestion intégrée de la ressource en eau	CREUFOP / Polytech' (UM II)
	Ingénieur	Sciences et technologies de l'eau	Polytech' (UM II)
		Spécialisation « Hydraulique agricole »	ISTOM
		Spécialisation « Gestion des eaux et des sols »	
		Spécialisation (DAA) « Gestion de l'eau, des milieux cultivés et de l'environnement »	Agro. M
	Master Recherche	Sciences et Technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement Spécialité : « Terre, eau, environnement »	Agro. M / ENGREF / UMI / UMII
	Master Professionnel	Agronomie et Agroalimentaire - Mention « Sciences et techniques pour la gestion de l'eau en milieu rural »	Agro. M / Cnearc / ENGREF
		Droit, Sciences Politiques - Mention Environnement-Risque <i>ou</i> Sciences et Technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement <i>ou</i> Sciences de l'Homme, des Territoires et de la Société - Mention Dynamiques spatiales, gestion des territoires et développement Spécialité « Gestion des littoraux et des mers »	UM I / UM II / UM III
		Sciences et Technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement Spécialité : « Géosciences et Hydrosciences appliquées »	UM II
Bac +6	Ingénieur	Ingénieur en Agronomie Tropicale Option « Gestion sociale de l'eau »	Cnearc
	Master Spécialisé	Développement agricole tropical Option « Gestion sociale de l'eau »	Cnearc
Bac +7	Master Spécialisé	Gestion de l'eau	ENGREF
	Ingénieur	Ingénieur GREF, Voie d'approfondissement Eau	ENGREF
Bac +8	Doctorat	Différentes Écoles Doctorales permettent la préparation d'un Doctorat en lien avec la thématique « Eau » (cf. p.52)	



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

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation	Établissement
Bac +2	DEUST	Génie des préventions et traitement des pollutions	UM II
	DUT	Génie Biologique	IUT Perpignan (UP)
	DU	Gestion des espaces et des ressources naturelles agricoles méditerranéennes	CREUFOP (UP)
Bac +3	Licence	Sciences et Technologies - Mention Biologie	UM II
		Sciences et Technologies - Mention Sciences de la Terre et de l'Environnement	UM II
		Sciences et Technologies - Mention Biologie, Environnement et Évolution	UP
		Sciences de l'Homme et de la Société – Mentions Géographie et Aménagement	UM III
		Sciences et Technologies - Mention Géosciences	UP
		Sciences et Technologies - Mention Génie des Systèmes Industriels	UP
Bac+5	Ingénieur	Option « Environnement, procédés et développement durable »	EMA
	Master Recherche	Sciences et Technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement Spécialité : « Écologie, Biodiversité et évolution »	UMII / Agro. M
		Sciences et Technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement Spécialité : « Fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés »	UMII / Agro. M
		Sciences et Technologies - Mention Écologie fonctionnelle	UP
		Sciences de l'Homme, des Territoires et de la Société Mention Dynamiques spatiales, gestion des territoires et développement - Spécialité : « Acteurs et nouvelles territorialités »	UMIII
		Sciences et Technologies - Mention Environnements Méditerranéens et Développement Durable	UP
	Master Professionnel	Sciences de l'Homme, des Territoires et de la Société Mention Dynamiques spatiales, gestion des territoires et développement Spécialité : « Gestion des catastrophes et des risques naturels » et « Gestion des espaces ruraux, aménagement et développement local »	UMIII
		Sciences et Technologies - Mention Environnements Méditerranéens et Développement Durable	UP
Bac+6	DRT	Technologies de l'environnement	Polytech' (UM II)
	Master spécialisé	Sécurité Industrielle et Environnement	EMA
	Master of Science (MSc)	Gestion des exploitations agricoles et Environnement	IAM.M
		Sociétés rurales, territoires et gestion des ressources naturelles	IAM.M
	Développement rural et projets	IAM.M	

## Les formations courtes non diplômantes

### Modules courts de formation

Établissement	Intitulé
Agro. M	Gestion raisonnée de l'eau et des fertilisants (2 semaines)
Agro. M Modules optionnels de 2 <sup>ème</sup> année de la filière ingénieur ouverts à la formation continue	Ingénierie et développement durable : procédés de traitements des effluents (2 semaines)
	<i>Environmental economics</i> (4 semaines)
	Bioclimatologie - Écophysiologie (2 semaines)
	Caractérisation du fonctionnement des hydrosystèmes (2 semaines)
	Fonctions et gestion du sol (2 semaines)
Cnearc	Gestion de l'eau et des zones humides (4 semaines)
BRGM	Initiation à l'hydrogéologie (5 jours)
	Initiation à la géologie (5 jours)
	Sensibilisation à l'hydrogéologie (2 jours)
	Interprétation et valorisation des données des pompages d'essai (2 jours)
UMII (CREUFOP)	Épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles (3 jours)
ENGREF	La semaine européenne de l'eau (4 jours)
	Estimation des coûts et suivi des performances des services d'eau et d'assainissement (modules spécialisés du logiciel G.S.P.) (4 jours)
ENGREF/ Cemagref	Gestion durable des associations syndicales d'irrigation (3 jours)
	Diagnostic et gestion des digues de protection contre les inondations des cours d'eau (4 jours)
ENGREF/ IFORE	Morphologie fluviale : un outil pour l'aménageur et le gestionnaire (3 jours)
IRD	Techniques hydrométriques (8 semaines)

Il est également possible d'intégrer les modules du cursus d'ingénieur de Polytech' Montpellier pour des professionnels (formation continue).

**Courriel : [lpochard@iutmontp.univ-montp2.fr](mailto:lpochard@iutmontp.univ-montp2.fr)**

## Formations certifiantes validées par un CESA (Certificat d'Études Supérieures Agronomiques)

Établissement	Intitulé
Agro. M	Ressources et gestion des eaux (4 semaines)
	Transferts hydrauliques. Principes des outils de modélisation et application à des cas réels (2 semaines)

## Modules doctoraux proposés par l'ENGREF

Établissement	Intitulé
ENGREF	Acteurs et institutions de la gestion de l'eau (1 semaine)
	Gestion de l'environnement : théories et applications (1 semaine)
	Prospective et gestion des bassins versants (1 semaine)
	Gestion de l'eau en Europe (1 semaine)

Ces modules, inclus dans le cursus d'Ingénieur du GREF, sont ouverts aux doctorants et aux étudiants étrangers.





## Écoles doctorales en rapport avec le thème de l'Eau

**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.

Cette ED insiste particulièrement sur les interactions et l'intégration dans les systèmes biologiques. Ses domaines d'intervention concernent l'évolution, l'écologie, la génétique, la physiologie moléculaire.

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 sous forme de séminaires et conférences scientifiques, de modules de formation pendant les trois années de préparation de la thèse. Ces modules ont pour but d'améliorer la formation scientifique des doctorants et de mieux préparer leur avenir professionnel.

De nombreux aspects de ces domaines concernent les processus biologiques impliqués dans les questions d'environnement : biodiversité, développement durable, changements globaux.

Ce champ d'activité et les objectifs de formation conduisent à inclure dans les projets de l'ED la formation des étudiants à l'interaction avec d'autres champs disciplinaires : biologie de la santé, sciences de l'eau et du sol, génie alimentaire, mathématiques, sciences sociales, sciences juridiques, sciences économiques et de gestion, géographie.

Quatre Écoles Doctorales (ED) sont concernées par la thématique « Eau » :

L'ED accueille environ 70 nouveaux doctorants par an.

### École doctorale « *Biologie des systèmes intégrés - Agronomie - Environnement* »

L'ED « Biologie des systèmes intégrés, agronomie, environnement » est rattachée à l'Université Montpellier II, co-accréditée avec l'Agro. M et étendue aux universités de Montpellier I et de Perpignan.



© Agro. M

### Contacts et coordonnées

**École doctorale « Biologie des systèmes  
intégrés - Agronomie - Environnement »**  
(Agro. M, UMI, UMII, UP)  
André Charrier, Agro. M  
[Andre.Charrier@ensam.inra.fr](mailto:Andre.Charrier@ensam.inra.fr)  
[www.univ-montp2.fr/~edbi/](http://www.univ-montp2.fr/~edbi/)  
fax : +33 (0)4 67 52 41 00

**École doctorale « Terre, Eau, Espace »**  
(Agro. M, ENGREF, UMI, UMII)  
Marc Daignières, UMII,  
[marcd@dstu.univ-montp2.fr](mailto:marcd@dstu.univ-montp2.fr)  
[www.dstu.univ-montp2.fr/ECOLEDOC/](http://www.dstu.univ-montp2.fr/ECOLEDOC/)  
fax : +33 (0) 67 52 39 08

**École doctorale  
« Science et Procédé Biologiques  
et Industriels »**  
(Agro. M, ENSCM, UMI, UMII)  
Jean-Marie Navarro, UMII,  
[navarro@polytech.univ-montp2.fr](mailto:navarro@polytech.univ-montp2.fr)  
[www.polytech.univ-montp2.fr](http://www.polytech.univ-montp2.fr)  
fax : +33 (0)4 67 14 42 92

**École doctorale  
« Biologie - Environnement  
Sciences pour l'Ingénieur »**  
(UP)  
Michel Delseny, UP,  
[delseny@univ-perp.fr](mailto:delseny@univ-perp.fr)  
[seced305@univ-perp.fr](mailto:seced305@univ-perp.fr)  
[www.univ-perp.fr/see/ens/edbsp/](http://www.univ-perp.fr/see/ens/edbsp/)  
fax : +33 (0)4 68 66 84 99

## École Doctorale

### « Terre, Eau, Espace »

L'ED « Terre, Eau, Espace », rattachée à l'Université de Montpellier II, co-accréditée avec l'Agro. M, l'ENGREF et l'UMI, forme des scientifiques de haut niveau ouverts au monde économique dans les domaines suivants :

- Ressources en eau (réserves, qualité, protection, exploitation, usages et traitement)
- Dynamique de la lithosphère et du manteau terrestre
- Dynamique superficielle (bassins sédimentaires, érosion, déformations actuelles et tectonique active, applications aux risques géologiques)
- Aménagement et gestion des déchets
- Propriétés physiques et chimiques des roches et des minéraux
- Information géographique et environnement dans les espaces ruraux et naturels
- Astrophysique à haute énergie.

Elle a deux principaux objectifs : d'une part, la formation de spécialistes en géophysique, géochimie ou tectonique possédant une culture pluridisciplinaire et aptes à modéliser les processus naturels ; d'autre part, l'offre d'enseignements pluridisciplinaires de haut niveau couvrant l'ensemble des problèmes de l'eau.

L'ED accueille environ 20 nouveaux doctorants par an.

## École Doctorale

### « Science et Procédé Biologiques et Industriels »

L'ED est commune à l'Université Montpellier II, l'Université Montpellier I, l'Agro. M et l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier.

Elle regroupe les unités de recherche permettant la préparation d'un doctorat dans les domaines des sciences des aliments et du génie des procédés.

Les mots clés de formation sont : Aliments, Eau et Effluents, Qualité Sécurité Hygiène, Cœnologie, Nutrition, Biotechnologie, Bioproduits, Emballages, Extraction, Fermentation, Formulation, Modélisation.

À l'interface Sciences de l'Ingénieur / Sciences du vivant, l'ED propose des modules de formation concernant la formulation et la structuration, les réseaux et émulsions, les substances et matériaux naturels, les interactions et les phénomènes aux interfaces ou encore les conception, maîtrise et contrôle en ligne des réacteurs.

L'ED accueille environ 40 nouveaux doctorants par an.

## École Doctorale

### « Biologie - Environnement Sciences pour l'Ingénieur »

L'École Doctorale « Biologie - Environnement - Sciences pour l'Ingénieur », rattachée à l'Université de Perpignan, est pluridisciplinaire avec trois directions scientifiques : Biologie ; Environnement-Sciences de la terre ; Sciences pour l'Ingénieur avec un rattachement principal en Biologie.

Les enseignements offerts pendant les trois années de doctorat sont dispensés sous forme de séminaires thématiques et de modules complémentaires au travail de recherche (anglais appliqué à la recherche, valorisation de la recherche, création d'entreprise technologique, propriété intellectuelle).

L'ED compte environ 120 étudiants, avec un flux d'une trentaine de nouveaux inscrits par an. ■



© Université Montpellier III

## Réforme de l'enseignement supérieur en France

La réforme, destinée à faire converger l'architecture de l'enseignement supérieur français vers les systèmes universitaires européens, est progressivement mise en œuvre depuis 1998. La nouvelle architecture des études est fondée principalement sur l'obtention des trois grades (licence à Bac +3, master à Bac +5, doctorat à Bac +8) structurant l'enseignement supérieur tout en préservant les niveaux intermédiaires. L'organisation des formations se fera dorénavant en semestres et en unités d'enseignement. L'adoption généralisée du système européen d'unités capitalisables et transférables, dit « système européen de crédits (ECTS) », et la description des diplômes permettent d'assurer leur lisibilité au plan international. Le grade de licence s'obtient sur la base de 180 crédits et le grade de master sur la base de 300 crédits universitaires européens de telle sorte que les règles d'accumulation des crédits garantissent le niveau d'études concerné. La réforme devrait être effective sur l'ensemble du territoire pour l'année universitaire 2005/2006.

# Liste des acronymes et abréviations

ACI	Action Concertée Incitative
AEP	Adduction d'Eau Potable
AFAQ	Association française d'Assurance Qualité
AGIRE	Aide à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
Agro. M	École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier
AINS	Anti Inflammatoires Non Stéroïdiens
ALIANCE	<i>Advanced Logging Investigation iN Coastal Environments</i>
ALHTAÏR	Alarme Hydrologique Territoriale Automatisée par Indicateur de Risque
ASA	Association Syndicale des Arrosants
ASS Aquae	Association Structurante « Activités Agricoles et forestières, qualité des eaux et des milieux aquatiques »
AWARE	<i>Action Research and Watershed Analysis for Resource and Economic Sustainability</i>
BRGM	Géosciences pour une Terre durable
CEEL	Centre Expérimental et d'Enseignement de Lavalette
Cemagref	La Recherche pour l'Ingénierie de l'Agriculture et de l'Environnement
CESA	Certificat d'Études Supérieures Agronomiques
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CMA(s)	<i>Catchment Management Agencies</i>
CNAM	Conservatoire National des Arts et Métiers
Cnearc	Centre national d'études agronomiques des régions chaudes
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CREUFOP	Service de formation professionnelle continue de l'Université Montpellier II
CPWF	<i>Companion modelling for resilient water management</i>
CSIC	<i>Museo Nacional de Ciencias Naturales</i>
DAA	Diplôme d'Agronomie Approfondie
DDE	Direction Départementale de l'Équipement
DEA	Diplôme d'Études Approfondies
DESS	Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées
DESTA	Diplôme d'Études Supérieures des Techniques Aquacoles
DESTOM	Diplôme d'Études Supérieures des Techniques d'Outre-Mer
DESURVEY	<i>A Surveillance System for Assessing and Monitoring Desertification</i>
DEUG	Diplôme d'Études Universitaires Générales
DEUST	Diplôme d'Études Universitaires Scientifiques et Techniques
DIAT	Diplôme d'Ingénieur en Agronomie Tropicale
DIREM	Direction des Ressources énergétiques et minérales
DIREN	Direction régionale de l'environnement
DITTY	<i>Development of an Information Technology Tool</i>
DIVHA	Dynamiques, Impacts et Valorisation des Hydro-Aménagements
DRT	Diplôme de Recherche Technologique
DSI-THERMES	Dynamiques sociales de l'irrigation - territoires hydrauliques et ruraux, mondialisation, eaux, sociétés
DSS	Support d'aide à la décision
DTSM	Diplôme de Technicien Supérieur de la Mer
DU	Diplôme Universitaire
DUT	Diplôme Universitaire de Technologie
EAU/RMD	Évaluation de la Ressource, Milieux Discontinus
ECODYN	Écotoxicologie et écoDYNamique des contaminants
ED	École Doctorale
EMA	École des Mines d'Alès
ENGREF	École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts
ENGES	École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement
ENIMED	Éffets Non Intentionnels des MEDicaments
ENSCM	École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier
ENSIA/SIARC	École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires / Section Industries Alimentaires des Régions Chaudes
ENVIARR	Évaluation et réduction des impacts environnementaux liés à l'agriculture irriguée
ESPADA	Évaluation et Suivi des Pluies en Agglomération pour Devancer l'Alerte
FNS	Fonds national pour la Science
GEA	Gestion de l'Eau et Assainissement
G-EAU	Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages
GEOMEX	GEOMicrobiologie des Environnements Extrêmes
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GREEN	Gestion des Ressources renouvelables et de l'Environnement
REF	Génie Rural des Eaux et des Forêts
IAM.M	Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier
IFORE	Institut de Formation de l'Environnement
IFP	Institut français du Pétrole
IFR	Institut Fédératif de Recherche
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
ILEE	Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement
Infra	Institut national de la recherche agronomique
Inserm	Institut national français de la santé et de la recherche médicale
INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IRRI	<i>International Rice Research Institute</i>
ISTOM	École d'Ingénieur d'Agro-développement International
IUT	Institut Universitaire de Technologie
IWV	<i>Integrated water vapour</i>
LAMETA	Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée
LISAH	Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol, Agrosystème et Hydrosystème
LGEI	Centre de recherche Environnement industriel et risques industriels et naturels
LGPEB	Laboratoire de Génie des Procédés et d'Elaboration de Bioproduits
M.S.DAT	Master Spécialisé de la Conférence des Grandes Ecoles - Développement Agricole Tropical
MS	Master Spécialisé
MSc	<i>Master of Science</i>
MEDD	Ministère de l'Écologie et du Développement Durable
MEDITATE	<i>Mediterranean Development of Innovative Technologies for integrAted waTer managemEnt</i>
MSE	Maison des Sciences de l'Eau
NEGOWAT	<i>Facilitating Negotiations Over Land And Water Conflicts In Latin-American Periurban Upstream Catchments: Combining Multi-Agent Modelling With Role Playing Games</i>
NGRI	<i>National Geophysical Research Institute</i>
OBHI	Observatoires Hydrologiques et Ingénierie
OHM-CV	Observatoire Hydro-météorologique Méditerranéen-Cévennes-Vivarais
OMERE	Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONUDI	Organisation des Nations-Unies pour le Développement Industriel
ORE	Observatoire de Recherche en Environnement
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
PCRDT	Programme Cadre de Recherche et de Développement Technologique
PICS	Programme International de Coopération Scientifique
PICOR	Piégeage du CO <sub>2</sub> dans les Réservoirs
PIE	Projet Intégré Européen
PIREN	Programme Interdisciplinaire de Recherches en Environnement
PNEC	Programme National de l'Environnement Côtier
PNETOX	Programme National d'ÉcoTOxicologie
Polytech' Montpellier	École Polytechnique Universitaire de Montpellier (ex ISIM)
RIKS	<i>Research Instituut voor KennisSystemen</i>
RITEAU	Réseau de recherche d'Innovation Technologique « Eau et technologie de l'environnement »
ROSELT	Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme
SAC	Service d'Annonce de Crues
SDU	Sciences de l'Univers
SIEL	Système intégré de traitement d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale
SIG	Systèmes d'Information Géographiques
SMILE	<i>Sustainable Management of Irrigated Land and Environment</i>
SMA	Systèmes Multi Agents
SOUBTHAU	Sources et puits benthiques de contaminants métalliques et organiques à l'Étang de Thau
SPI	Sciences pour l'Ingénieur
STREP	<i>Specific Targeted Research Project</i>
SWIFT	<i>Screening methods for Water data InFormaTion</i>
TETIS	Territoires, Environnement, TéléDétection et Information Spatiale
TRASCAN	Modélisation et gestion des TRANsports d'Eau par CANaux et rivières
UMI	Université Montpellier I
UMII	Université Montpellier II
UMIII	Université Montpellier III
UMR	Unité Mixte de Recherche
UNCCD	Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification
UP	Université de Perpignan
UPR	Unité Propre de Recherche
UR	Unité de Recherche
US	Unité de Service
UTC	<i>Coordinated universal time / temps universel</i>
VERCAPOL	Mise au point d'un système analytique autonome à base de nouveaux capteurs pour le suivi en continu de polluants écotoxiques
WFD	<i>Water Framework Directive</i>
WASS-Hérault	<i>Water Scenario Simulator for the Hérault River</i>
WHYCOS	Système Mondial d'Observation du Cycle Hydrologique
WUAS	<i>Water Users' Associations</i>

Les organismes membres et partenaires  
d'Agropolis impliqués dans le domaine de l'eau

**Agro. M**  
www.agro-montpellier.fr

**BRGM**  
www.brgm.fr

**CEA**  
www.cea.fr

**Cemagref**  
www.cemagref.fr

**Cirad**  
www.cirad.fr

**Cnearc**  
www.cnearc.fr

**CNRS**  
www.cnrs.fr

**EMA**  
www.ema.fr

**ENGREF**  
www.engref.fr

**Ensia-Siarc**  
www.ensia-siarc.agropolis.fr

**ENSCM**  
www.enscm.fr

**CIHEAM/IAM.M**  
www.iamm.fr

**Ifremer**  
www.ifremer.fr

**Inra**  
www.inra.fr

**IRD**  
www.ird.fr

**ISTOM**  
www.istom.fr

**Polytech' Montpellier**  
www.polytech.univ-montp2.fr

**UM I**  
www.univ-montp1.fr

**UM II**  
www.univ-montp2.fr

**UM III**  
www.univ-montp3.fr

**UPVD**  
www.univ-perp.fr

**VERSeau Développement**  
www.verseaudeveloppement.com

**Directeur de la publication :** Gérard Matheron

**Réalisation :** Isabelle Amsallem, Fabien Boulter,  
Michel Soulié, Nathalie Villeméjeanne

**Coordonnateur scientifique :** Michel Soulié

**Ont participé à ce numéro :** Jean Albergel,  
Michèle Albertelli, Alain Aventurier, Vincent Bailly-Comte,  
Christelle Batiot, Alain Berger, Jean-Louis Bodinier,  
François Bousquet, Christophe Bouvier, Corinne Casiot,  
Cédric Champollion, André Charrier, Pierre Chevallier,  
Anne Coudrain, Jean-Louis Chopart, Marc Daignières,  
Jean-Marc d'Herbès, Michel Delseny, Claude Diebolt,  
Erik Doerflinger, Nathalie Dörfliger, Gilles Dusserre,  
Françoise Elbaz-Poulitchet, Stefano Farolfi,  
Jean-Louis Fusillier, Patrice Garin, Stéphane Ghiotti,  
Elena Gomez, Catherine Gonzalez, Philippe Gouze,  
Laetitia Guérin-Schneider, Eric Guibal, Alain Grasmick,  
Renaud Hostache, Jean-Yves Jamin, Hervé Jourde, Pascal  
Kosuth, Sylvain Labbé, Patrick Lachassagne,  
Serge Lallemand, Sandra Lanini, Christian Leduc,  
Patrick Le Goulven, Maud Loireau, Miguel Lopez-Ferber,  
Jacques Maillot, Pierre-Olivier Malaterre,  
Jean-Christophe Maréchal, Frédéric Masson,  
Marielle Montginoul, Jean- Pierre Müller, Kenza Najib,  
Jean-Marie Navarro, Sylvain Perret,  
Philippe Pezard, Christelle Pezon, Hervé Philip,  
Nicole Pichon, Séverin Pistre, Bernard Pouyaud,  
Christian Puech, Hélène Quinonéro, Jean Ribell,  
Thierry Rieu, Jean-Daniel Rinaudo, Patrick Rio, Jean Roussy,  
Thierry Ruf, Sophie Sauvagnargues-Lesage, Jean-Luc Seidel,  
Daniel Serra, Eric Servat, Muriel Tapiou, Bernard Thébé,  
François Valette, Yannick Vimont, Pierre-Yves Vion,  
Jean-Paul Volle, Marc Voltz.

**Remerciements pour l'icôno-graphie :**

Nathalie Villeméjeanne, ainsi que les auteurs  
des différentes photos présentées dans l'ouvrage.

**Corrections :** Marie-Claude Kohler, Claudine Soudais

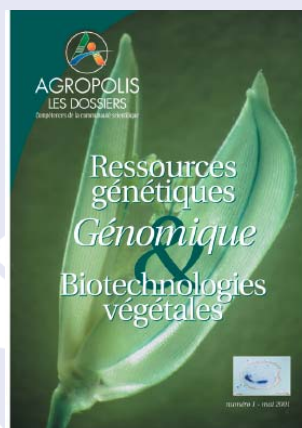
**Mise en page et infographie :**  
Olivier Piau (Agropolis Productions)

**Impression :** Les Petites Affiches (Montpellier)

ISSN: 1628-4240 • **Dépot légal :** Novembre 2005



Dans la même collection



Mai 2001 • 24 pages  
Français et Anglais



Septembre 2005 • 48 pages  
Français et Anglais

— Les dossiers d'Agropolis —

La série des « dossiers d'Agropolis » est une des productions de l'association Agropolis 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 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.

Photo couverture : © M. Soulié



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](mailto:agropolis@agropolis.fr)  
[www.agropolis.fr](http://www.agropolis.fr)