

les dossiers
d'AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Competencias de la comunidad científica

**Recursos
de Agua**
Preservación y gestión

AGROPOLIS INTERNATIONAL

agricultura • alimentación • biodiversidad • medio ambiente

Agropolis International asocia las instituciones de investigación científica y de enseñanza superior de Montpellier y de Languedoc-Roussillon, en cooperación con las administraciones locales y regionales, las sociedades y empresas regionales, y diversas instituciones internacionales.

Agropolis International constituye un espacio internacional a disposición de todos los actores del desarrollo económico y social, en los ámbitos de la agricultura, la alimentación, la biodiversidad, el medio ambiente y las sociedades rurales.

Agropolis International es un campus dedicado a las ciencias «verdes». Representa un vivero excepcional de competencias científicas y técnicas: más de 2.200 científicos repartidos en 80 unidades de investigación en Montpellier y en Languedoc-Roussillon, y 300 científicos que trabajan en 60 países.

La comunidad científica de Agropolis International se ha estructurado en grandes ámbitos temáticos que corresponden a los principales retos de desarrollo científicos, tecnológicos y económicos:

- Agronomía, plantas cultivadas y sistemas de cultivo, agro-ecosistemas
- Alimentación, nutrición, salud
- Biodiversidad y ecosistemas acuáticos
- Biodiversidad y ecosistemas terrestres
- Economía, sociedad y desarrollo sostenible
- Eco-tecnologías
- Interacciones entre parásito/huésped/vector y enfermedades infecciosas
- Modelización, información espacial, bio-estadísticas
- Producción y salud animal
- Recursos en agua y manejo
- Recursos genéticos y biología integrativa de plantas
- Viña y vino: una industria regional

Espacio de capitalización y valorización del saber, espacio de formación profesional y transferencia tecnológica, plataforma de acogida e intercambio internacional, la comunidad científica Agropolis International lleva a cabo investigaciones conjuntas y contribuye a suministrar elementos científicos y técnicos que permiten elaborar y aplicar políticas de desarrollo.

Laboratorios de investigación científica de Montpellier y de Languedoc-Roussillon en recursos hidrológicos

Siete años después de la publicación del primer Directorio de competencias de Agropolis International dedicado al «*Agua: recursos y gestión*», resultaba indispensable hacer una actualización, tanto para los innumerables visitantes del sitio (unos 120.000 directorios descargados, si sumamos las versiones francesa e inglesa) que contarán así con una información actualizada, como para aumentar nuestra visibilidad y dar testimonio de los avances logrados por la comunidad científica en torno del agua en la región Languedoc-Roussillon.

Los lectores encontrarán asimismo un listín actualizado con las estructuras de investigación científica, de valorización y de enseñanza superior.

Este Directorio presenta 18 unidades de investigación de la región Languedoc-Roussillon y de Aviñón, que reúnen más de 800 científicos.

Estas unidades trabajan total o parcialmente sobre el funcionamiento de los sistemas hidrológicos, la calidad del agua y la gestión del recurso hidrológico. Las unidades que se ocupan principalmente de los medios costeros y lagunares, ausentes en este Directorio, se presentan en el *Dossier d'Agropolis International «Ecosistemas acuáticos»* (2007).

Ese Directorio también presenta 10 estructuras de cooperación internacional o de valorización con las cuales la comunidad científica regional que trabaja en el ámbito del agua mantiene estrechas relaciones.

Por último, la región Languedoc-Roussillon lista 43 formaciones superiores que conceden título, de 2 a 8 años de estudios terciarios y universitarios, sobre el tema del agua.

La reedición de este Directorio a principios de 2012, en ocasión del 6º Foro Mundial del Agua (12-17 de marzo de 2012, Marsella) y del Salón Internacional del Agua Hydrogaïa (6-8 de junio de 2012, Montpellier), demuestra el dinamismo de la investigación científica sobre los problemas hidrológicos en la región de Languedoc-Roussillon.

Se trata del primer *Dossier d'Agropolis International* disponible en español, que se suma a las versiones francesa e inglesa.



Recursos de Agua

Preservación y gestión

Introducción

Página 4

*El agua como recurso natural:
identificación, funcionamiento, movilización*

Página 6

*Preservación y restauración
de la calidad del agua*

Página 24

*Gestión de recursos y de usos:
instituciones, territorios y sociedades*

Página 38

*Cooperación nacional
e internacional*

Página 54

*Temas cubiertos
por los equipos de investigación*

Página 64

*Formaciones profesionales
en Agropolis International, en el ámbito del agua*

Página 65

*Acrónimos
y abreviaturas*

Página 70

Available in English
www.agropolis.org/publications



Disponible en français
www.agropolis.fr/publications



Portada

Parque Nacional «Chapada dos Veadeiros» en la reserva brasileña de Cerrado V. Simonneaux © IRD

La información contenida en este documento es válida al 01/01/2012.

Introducción

En estos últimos años, la comunidad científica de Montpellier ha proseguido su estructuración y ha consolidado su cohesión a través de numerosos proyectos de investigación (proyectos de la ANR (Agencia Nacional francesa de Investigación), proyectos internacionales, los 6° y 7° Programas Marco de la Unión Europea, proyectos de inversiones, etc.) y de enseñanza (máster "Agua" y otros másters), que ha impulsado con éxito. Este documento presenta una selección de estos proyectos realizada por las unidades de investigación.

Entre los proyectos actuales, el acercamiento a las empresas con la creación de un polo de competitividad de nivel mundial sobre el agua es, indudablemente, el éxito más notable. Coordinando las actuaciones de todos los Polos de «Agua» nacionales, y trabajando a partir de las tres regiones francesas de Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur y Midi-Pyrénées, se ha logrado un reconocido liderazgo, ofreciendo así perspectivas de cooperación y de desarrollo a todos los actores del

sector. En este ámbito, también cabe destacar la creación de tres cátedras de investigación y enseñanza: «Ciencias de Membranas aplicadas al Medio Ambiente», que cuenta con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), y se ocupa del tratamiento del agua con tecnologías de membranas; «Agua para Todos», con la empresa Suez-Environnement, destinada a reforzar las capacidades de los administradores de los servicios de agua en los países del Sur y en los países emergentes; «Análisis de riesgos vinculados a los contaminantes emergentes en medio acuático», con la empresa Veolia, sobre contaminantes orgánicos.

Los directorios de competencias de Agropolis International también están destinados a apoyar proyectos de la comunidad científica de la región de Languedoc-Roussillon. El Directorio anterior se centró en la organización del XIII° Congreso Mundial del Agua en Montpellier, en septiembre de 2008, lo que facilitó la instalación en el campus de La Valette, de la mesa ejecutiva de la Asociación Internacional de

Recursos Hídricos (*International Water Research Association, IWRA*) en 2010. En el presente Directorio, el primer reto será el 6° Foro Mundial del Agua que se llevará a cabo en Marsella (Francia) en marzo de 2012.

Este acontecimiento ha suscitado una inmensa ambición, ya que no sólo se hará una descripción de los últimos avances en la gestión del agua en el mundo, y de las recomendaciones compartidas por todos a favor de un desarrollo sostenible, sino también de las soluciones propuestas ante los numerosos temas no resueltos y que siguen persistiendo, al igual que la aparición de nuevos retos. La comunidad científica regional se compromete a aportar su contribución.

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





© M. Soulié

▲ Fuente de Anjar, Beca, Líbano.

El agua como recurso natural: *identificación, funcionamiento, movilización*

En su último informe mundial sobre los recursos hídricos, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) utilizaba ya un tono por lo menos alarmante. De hecho, se ha dicho que «el sector padece una carencia crónica de interés político, un mal gobierno, y una falta de inversiones suficientes, a pesar del carácter vital del agua», y por eso es necesario «obrar urgentemente para evitar una crisis global».

No obstante, los niveles globales de agua utilizados en relación al volumen de agua fácilmente accesible y «utilizable» suman hoy en día 3800 billones de m³, lo que representa apenas el 25% de los recursos utilizables. Pero esta relativa abundancia no refleja las enormes disparidades en la distribución espacial de este recurso vital. En efecto, algunas regiones se encuentran ya en situación de estrés hídrico (recursos inferiores a 500 m³ por año y por habitante) mientras que otras deben hacer frente a las catástrofes vinculadas a la superabundancia crónica de precipitaciones. Estas desigualdades generan muchas dificultades de toda índole.

En el plano demográfico, por ejemplo, el crecimiento de la población mundial incrementa las necesidades de consumo de agua unos 64 billones de m³ cada año. Agricultura, desarrollo económico y producción de energía vuelven indispensable un recurso de importancia creciente en función de las decisiones estratégicas y de los compromisos inherentes.

Los desórdenes inducidos por el cambio climático también tienen consecuencias en el ciclo hidrológico y, en muchas regiones, las previsiones del Grupo de Expertos Intergubernamental sobre la Evolución del Clima anticipan sequías más prolongadas y/o inundaciones más frecuentes. Estos desórdenes reforzarán la degradación de los ecosistemas, fenómeno que ya se observa, ya que se los explota en exceso por una presión antropogénica en crecimiento constante.

En el plano sanitario, se observa que en los países en desarrollo el 80% de las enfermedades resulta directamente de la falta de agua potable y de una insuficiencia flagrante de infraestructuras, situación que se explica por una doble carencia, tanto económica como de orientaciones político-estratégicas claras.

Este panorama del agua, realmente inquietante, en adelante también debe tener en cuenta la apropiación creciente de la temática medioambiental por parte de la opinión pública, al igual que una internacionalización y una globalización de la reflexión en torno de la temática del agua. «El oro azul» aparece poco a poco como uno de los retos más importantes del siglo XXI, con la amenaza de unas «guerras del agua» en trasfondo.

En este contexto, podemos concebir fácilmente que, incluso antes de toda reflexión sobre la gestión y la buena administración de este recurso natural, es menester lograr el dominio más completo del mismo.

Para ello, hay que estar en condiciones de localizar, identificar, evaluar y movilizar el agua como recurso natural. Se trata de retos fundamentales que suponen el análisis, la comprensión y la realización de modelos de todos los procesos correspondientes al ciclo del agua, ya sean naturales o modificados por las actividades humanas.

Para ello, la comunidad científica regional cuenta con personas competentes que la sitúan al mejor nivel internacional en la materia, para dar las respuestas que la sociedad espera. En efecto, ha sabido desarrollar reconocidas capacidades de observación, sobre las cuales basa su investigación: Observatorio de Ciencias del Universo (OSU) OREME, Observatorio de Investigaciones Medioambientales (*Observatoires de Recherches en Environnement - ORE*), OMERE, AMMA-Catch, OHMCV y H+, Sistema de Observación «Karsts», etc. Hace poco se ha confirmado el papel de líder de esta comunidad por su dominio de la información espacial sobre el medio ambiente, en la asignación de importantes subsidios del Ministerio de Investigación Científica de Francia para adquirir equipos.

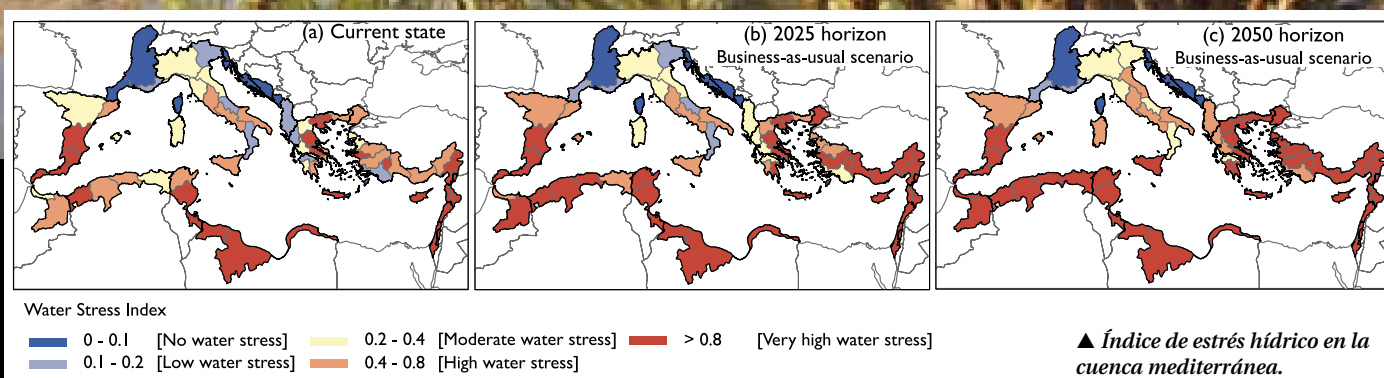
Desde hace tiempo, se reconoce que las competencias de los equipos regionales en el ámbito de las aguas subterráneas se encuentran en el nivel más alto. Carsts, que constituye un sector privilegiado del trabajo de investigación científica, tiene un alto valor estratégico en el contorno mediterráneo, donde se encuentra cerca del 60% de los recursos hídricos utilizados.

La variedad de investigaciones realizadas por la comunidad regional sobre las aguas superficiales también es una referencia. Aunque la transformación de la lluvia en caudal utilizable, y por lo tanto, en recurso disponible en diferentes formas (infiltración, ríos o depósitos) constituye una de las principales preocupaciones de los hidrólogos, también se abordan muchos otros temas. Entre ellos, la utilización del agua en un medio agrícola es un tema fundamental, a fortiori en el contexto mediterráneo. El problema de las crecidas, que se aborda desde el punto de vista de los eventos extremos (lluvias e inundaciones devastadoras) es ineludible y reúne en esta región una gran cantidad de personas con competencias complementarias.

Finalmente, otros enfoques se orientan hacia el futuro y pretenden evaluar los recursos hídricos disponibles recurriendo a diversos escenarios climáticos que responden a otras tantas hipótesis medioambientales, económicas y demográficas.

Como se puede observar, existen muchas y variadas competencias regionales, que se movilizan enérgicamente de cara a los retos futuros que presenta una gestión sostenible del agua como recurso natural y vital para nuestras sociedades y para cada uno de nosotros.

Éric Servat (UMR HSM)



© UMR HSM & Plan Bleu

> CAMBIOS GLOBALES Y RECURSOS HÍDRICOS

Enfrentar los cambios globales en el Mediterráneo: ¿qué recursos hídricos para el futuro?

La cuenca mediterránea se caracteriza por tener recursos hídricos limitados y repartidos de forma desigual, al igual que por un desarrollo considerable de las actividades antropogénicas. Las proyecciones hidro-climáticas sugieren una disminución progresiva de los cursos anuales medios en esta región, incluyendo períodos más frecuentes e intensos de sequía. Por otra parte, la demanda de agua se ha duplicado desde los años 50 y debería ampliarse con la extensión de la superficie irrigada y de las zonas urbanas. En el laboratorio HSM, el equipo RESCUE-Med lleva a cabo investigaciones científicas sobre la evaluación prospectiva de recursos hídricos, imponiendo escenarios climáticos y utilidades del agua a diferentes escalas en el Mediterráneo. En el marco de una tesis en curso, en cooperación con el *Plan Bleu*, se ha propuesto una cadena de modelización regional para analizar la disponibilidad futura de los recursos hídricos, en función de las evoluciones posibles del clima y de la utilización agrícola o doméstica del agua. A través de un indicador de estrés hídrico se han destacado las disparidades regionales en cuanto a la capacidad

de satisfacer las necesidades de agua en diferentes períodos, tanto en el pasado como en el futuro. También se están probando otros escenarios alternativos, como el de una mayor eficiencia de las redes de aprovisionamiento, para evaluar la eficacia de las estrategias de adaptación. Asimismo, el equipo procura evaluar el impacto de estos cambios en el recurso hídrico a escala más local. Con este objetivo se han efectuado modelos hidrológicos que incluyen la utilización local de agua en diversas cuencas como la del Ebro (España) o la del Hérault (Francia). Estas investigaciones se basan en la constitución de escenarios de cambio climático y en la evolución de la demanda de agua adaptados a estas escalas de trabajo. De este modo, se busca estimar el volumen y la dinámica de flujo, considerando las presiones antropogénicas (almacenamiento, extracción, consumo, transferencia, etc.) para suministrar los elementos que ayuden a los administradores del recurso hídrico a tomar las decisiones adecuadas.

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

SICMED: evolución de los sistemas antropogénicos y ecológicos mediterráneos



▼ Paisaje cultivado en Túnez .

© R. Calvez

La región mediterránea es uno de los puntos focales del cambio global, y evoluciona rápidamente por efecto de las fuertes presiones climáticas y antropogénicas, mientras que los recursos producidos ya no bastan para satisfacer las necesidades de la población. La intensa explotación actual de los recursos incrementa la vulnerabilidad social y medioambiental, e induce fuertes tensiones en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos.

Las situaciones críticas y los conflictos en torno de la utilización de los recursos se multiplican. La busca de nuevos modos de desarrollo sostenible pasa por un conocimiento más profundo de los factores de degradación, resistencia, flexibilidad y rehabilitación de los ecosistemas naturales y antropogénicos.

En este contexto, el programa SICMED «Superficies e Interfaces Continentales MEDiterráneas» lleva a cabo tareas de investigación científica, de formación y transferencia de conocimientos dedicadas a la comprensión de la evolución de los ecosistemas naturales y antrópicos mediterráneos rurales y periurbanos, como resultado de la presión del cambio global.

Es uno de los siete componentes de los estudios mediterráneos Mistrals (*Mediterranean Integrated Studies at Regional And Local Scales*) y, durante una década, desarrolla una investigación pluridisciplinaria de los mecanismos biofísicos, técnicos y sociales, con una triple misión:

- 1 identificar y analizar los bloqueos científicos sobre la previsión de los procesos bio-hidro-geo-químicos bajo las condiciones antropogénicas y climáticas actuales y futuras;
- 2 determinar y superar los bloqueos científicos y técnicos para lograr una administración razonada de los sistemas estudiados;
- 3 transmitir los conocimientos adquiridos a los responsables de la toma de decisiones y a los administradores privados y públicos.

Con el apoyo financiero actual del IRSTEA, el CNRS-INSU, el INRA y el IRD, el programa SICMED se funda en una amplia cooperación multilateral en la que participan instituciones científicas y actores representativos de países del contorno mediterráneo pero también de otros países que participan en la investigación y desarrollo del espacio mediterráneo.

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

Para más información sobre SICMED: www.sicmed.net
Para más información sobre Mistrals: www.mistrals-home.org

Otros equipos que trabajan en este tema

UMR ESPACE-DEV
Espacio para el desarrollo
(IRD, UM2, UAG, UR)
60 científicos
Director: Frédéric Huynh
frederic.huynh@ird.fr
www.espace-dev.fr
► Presentación página 47

UMR G-EAU
Gestión del Agua, Actores, Usos
(AgroParisTech, IRSTEA, CIHEAM-IAMM, CIRAD, IRD, Montpellier SupAgro)
75 científicos
Director: Patrice Garin
patrice.garin@irstea.fr
www.g-eau.net
► Presentación página 40

UMR ITAP
Información – Tecnología – Análisis
Medioambiental – Procedimientos Agrícolas
(IRSTEA, Montpellier SupAgro)
40 científicos
Director: Tewfik Sari
tewfik.sari@irstea.fr
www.irtsea.fr/itap
► Presentación página 28

UMR TETIS
Territorios, Medio Ambiente,
Teledetección e Información Espacial
(AgroParisTech, CIRAD, IRSTEA)
70 científicos
Director: Jean-Philippe Tonneau
jean-philippe.tonneau@cirad.fr
<http://tetis.teledetection.fr>
► Presentación página 46

Transferencias de masa y de energía en los acuíferos porosos, fracturados o cársticos

Geociencias de Montpellier (UMR GM, CNRS, UM2) desarrolla un enfoque global de la dinámica terrestre y de sus manifestaciones de superficie, teniendo en cuenta las interacciones entre los diferentes sistemas, entre los cuales se cuenta la hidrosfera. El objetivo es mejorar la comprensión de los procesos dinámicos (*sensu lato*) en diferentes escalas, en su interacción con las expectativas de la sociedad tales como:

- aprovisionamiento de recursos no energéticos (minerales e hídricos);
- energías del futuro, ya sea prolongando las reservas basadas en carbono o desarrollando nuevos sectores energéticos (hidrógeno natural, geotermia, etc.);
- almacenamiento y confinamiento de desechos (aguas abajo del ciclo nuclear, CO₂, desechos mineros, etc.);
- riesgos naturales (terremotos, tsunamis, riesgos por gravedad, inundaciones, etc.);

- cambios medioambientales y climáticos con fuerte impacto antrópico (evolución de la línea costera e intrusión de agua salada en el litoral).

La UMR GM cuenta con cinco equipos pluridisciplinarios, organizados en torno de tres ejes científicos:

- Geodinámica (equipos «Dinámica de la litósfera» y «Manto e Interacciones»)
- Reservorios (equipos «Cuencas» y «Transferencias en medios porosos»)
- Riesgos (equipo «Riesgos»)

Los temas de investigación sobre el agua están a cargo de los equipos «Transferencias en medios porosos» y «Riesgos». Se ocupan de la caracterización y la modelización de las transferencias de masas y de energías en los acuíferos porosos, fracturados y cársticos. Los principales retos científicos están vinculados a la medida de esas transferencias *in situ* y al estudio de las heterogeneidades que las controlan en todas las escalas. Incluyen cuatro ejes de investigación sobre el desarrollo (1) de sitios instrumentados (Mayorca, Maguelone, Roussillon, Larzac, Lodève) dedicados

tanto a la observación como a la experimentación, (2) de instrumentos que permiten efectuar experiencias dinámicas controladas, (3) de sistemas de medida y vigilancia hidrogeofísica tanto en superficie como en pozos, y (4) de instrumentos digitales originales que permiten integrar los datos obtenidos en diferentes escalas. Estas obras se realizan en el marco de varios proyectos de la Agencia Nacional de Investigación (MOHINI, GRAIN D'SEL, LINE, COLINER, HYDROKARST-G2) y SOERE H+ (Sistemas de Observación y de Experimentación a largo plazo para investigaciones medioambientales en el sector de hidrogeología). GM está a cargo de varios centros experimentales de SOERE H+ en el contorno mediterráneo.

GM es miembro del Observatorio de Investigación Mediterránea de Medio Ambiente (*Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement* - OREME) y está a cargo de varias tareas de observación (SO-LTC, GPST2, GEK, Hidrogeofísica de Perforación). GM forma parte del gran conjunto técnico regional «Análisis de rastros de elementos en el medio ambiente» y da cabida al material de las plataformas nacionales «Gravimetría» y «Experimentación» (Gravímetro absoluto y MEB-EBSD) del Instituto Nacional de Ciencias del Universo.

GM está en el centro de una amplia red de cooperación nacional e internacional, tanto europea (redes Marie-Curie, FP7), como

mediterránea (África del Norte, Oriente Medio) y abierta a la mayor parte de los continentes (Taiwán, Japón, India, Australia, Nueva Zelanda, Irán, Brasil, México, Estados Unidos). GM también colabora con el mundo socioeconómico, en particular a través de la creación de empresas por parte de los doctorandos y la financiación de los contratos de investigación y de tesis. Citemos el Cluster de Geociencias, creado en 2011, que reúne a las principales empresas de la región (Geoter, Cenote, imaGeau, Schlumberger, Fugro, Antea, Areva, Lafarge) y los organismos de investigación y formación (GM, BRGM, EMA, CEFREM, HSM). Muchos de estos actores trabajan en el ámbito del agua. ●●●

> CAMBIOS GLOBALES Y RECURSOS HÍDRICOS

OMERE: Observatorio Mediterráneo de Medio Ambiente Rural y Agua



© M. Soulié

▲ Instrumentos del centro de Roujan (Hérault, Francia) que forma parte del observatorio OMERE.

El observatorio OMERE estudia los cambios globales que afectan los sistemas hidrológicos y los sistemas agrícolas mediterráneos. Se ha centrado en el contexto hidrológico que se halla entre los medios áridos y templados, sometidos a una extensa gama de procesos hidrológicos que van de los fenómenos de sequía intensa a las crecidas extremas, y en un contexto social y humano que atraviesa actualmente unas evoluciones considerables (intensificación de la producción agrícola en las zonas favorables, abandono de zonas donde la producción no se puede intensificar, aumento de la captación de agua, obras y modificaciones hidrológicas y agrícolas, o de conservación del medio), vinculadas a un rápido incremento de la densidad de población. Los diferentes escenarios sobre el cambio climático, elaborados por el Grupo de Expertos Intergubernamentales sobre la Evolución del Clima, prevén importantes modificaciones pluviométricas en estas latitudes: rarefacción de las precipitaciones de invierno, aumento de lluvias extremas, etc.

En este contexto mediterráneo singular, desde hace dos décadas el observatorio está adquiriendo los datos climáticos, hidrológicos, de sedimentación y de solutos, en dos cuencas hidrológicas diferentes desde el punto de vista de los suelos, de las obras y de las modificaciones hidrológicas y agrícolas, de técnicas de cultivo y su dinámica de evolución: Roujan (Francia, principalmente viticultura) y Kamech (Túnez, policultivo y producción pecuaria). El observatorio busca: i) comprender el impacto de las actividades agrícolas en los flujos de masa de las cuencas hidrológicas elementales mediterráneas (regímenes y balances hidrológicos, atribución del recurso hídrico, dinámicas de erosión, evolución de la calidad del agua); ii) evaluar intensidad y velocidad de evolución cuantitativa y cualitativa de los recursos hídricos y de los suelos en función de los cambios de utilización de las tierras; iii) sostener la modelización de los flujos en medios cultivados, vinculando estrechamente observaciones y modelos; iv) suministrar las bases científicas, referencias y herramientas de diagnóstico a la ingeniería agrícola y medioambiental, correspondientes a los paisajes cultivados. La UMR HSM, el Instituto Nacional de Agronomía de Túnez, el Instituto Nacional de Ingeniería Rural, Aguas y Bosques de Túnez, y la UMR LISAH son los cuatro actores a cargo de la coordinación y la gestión de OMERE. El observatorio pertenece a la red francesa de cuencas hidrológicas*.

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

Para más información: www.umr-lisah.fr/omere
* <http://rnbv.ipgp.fr>

La plataforma OpenFLUID: modelización y simulación del funcionamiento espacial de paisajes cultivados

El funcionamiento espaciotemporal de paisajes cultivados resulta de interacciones complejas entre procesos biofísicos y actividades humanas. La elaboración de modelos sobre el funcionamiento de tales sistemas y la simulación de su evolución bajo el impacto de los cambios climáticos y de las presiones antropogénicas (contaminaciones, obras y modificaciones, cambios en la ocupación de los suelos, etc.) requieren que se tengan en cuenta explícitamente todas estas interacciones y, por lo tanto, las interacciones de numerosos procesos y/o fenómenos distribuidos en el espacio estudiado. Para llevar a cabo esta modelización y ejecutar las simulaciones basadas en la interacción de estos modelos, la UMR LISAH ha desarrollado un software avanzado y genérico.



▲ Simulaciones de nivel de agua en la red hidrográfica de Roujan (Hérault, Francia), utilizando el modelo MHYDAS de la plataforma de modelización OPENFLUID.

Así, la plataforma OpenFLUID ofrece un entorno de software para establecer modelos y simular el funcionamiento espacial de territorios cultivados, desde el desarrollo de modelos hasta su aplicación en las simulaciones. Estos modelos se desarrollan en forma de complementos de software para OpenFLUID. Después, se pueden crear modelos que interactúen entre sí, adaptados (i) al contexto de modelización, (ii) a los objetivos de simulación y (iii) a los datos disponibles. Las simulaciones se basan en representaciones digitales de los paisajes estudiados que tienen en cuenta de forma explícita la geometría y las propiedades de los elementos reales del paisaje. OpenFLUID ha sido utilizado en el marco de numerosos proyectos y tesis. Se lo ha aplicado al medio mediterráneo e incluso tropical, para establecer modelos de flujos de agua y agentes contaminantes, y de erosión, especialmente por el impacto de las técnicas agrícolas utilizadas. OpenFLUID también sirve para desarrollar y aplicar el modelo MHYDAS (Elaboración de Modelos Hidrológicos Distribuidos de Sistemas Agrícolas) con el cual, entre otras cosas, se puede efectuar una representación digital de las cuencas hidrológicas cultivadas y simular los flujos de agua y de sustancias contaminantes. OpenFLUID cuenta con una interfaz gráfica para el usuario y también se lo puede emplear con línea de comando (por ejemplo, en un cluster de cálculo). Se encuentra disponible bajo licencia libre y *open-source*, y se lo puede descargar en el sitio Internet de OpenFLUID*.

Contactos: Jean-Christophe Fabre, fabrej@supagro.inra.fr & Roger Moussa, moussa@supagro.inra.fr

* www.umr-lisah.fr/openfluid

Análisis del ciclo hidrológico para la investigación, las actividades económicas e industriales

El **Laboratorio de Ingeniería de Medio Ambiente Industrial (LGEI)** es uno de los tres laboratorios de la *École des Mines d'Alès* (EMA – Escuela de Ingeniería), considerado como un organismo público de carácter administrativo, dependiente del Ministerio de Industria. Su investigación pluridisciplinaria cubre un amplio campo de aplicaciones, basándose en disciplinas complementarias tales como: ingeniería de procesos, química analítica y metrología, microbiología, biología molecular, hidrología, hidrogeología, geomática, métodos geoestadísticos, informática y modelización, herramientas de simulación y de ayuda a la toma de decisiones.

La problemática del agua se aborda a partir de diferentes perspectivas: el dominio de los impactos catastróficos en un territorio resistente; comprensión y especialización de los procesos hidrológicos de las

cuencas hidrográficas (modelización); diagnóstico de la calidad química y ecológica del agua y de los efluentes; desarrollo de procesos y combinación de interacciones en el tratamiento del agua y los efluentes; gestión integrada de los flujos contaminantes (medio industrial, recursos hídricos) según un enfoque de tipo «ecología territorial»; geomática e inteligencia colectiva para ayudar a la toma de decisiones. Estos diferentes niveles de análisis del ciclo del agua responden a los interrogantes planteados no sólo a nivel de la investigación científica, sino también de la actividad económica e industrial.

El LGEI forma parte del Instituto Carnot M.I.N.E.S., y ha sido homologado nuevamente, mostrando así el lugar privilegiado que cobran las relaciones entre el LGEI y el sector económico. El Laboratorio participa en los polos de competitividad Agua, Trimatec, Riesgos y vulnerabilidad territorial, y Eurobiomed. Mantiene una nutrida colaboración académica e industrial a nivel nacional e internacional, participando en varios proyectos europeos y asegurando la coordinación de dos de ellos*.

Están presentes los equipos materiales propios a un laboratorio de química medioambiental (HPLC/MS/MS,

GC/MS/MS, ICP, extractores, etc.) al igual que una nave de pruebas en donde se pueden llevar a cabo experimentaciones piloto a escala semi industrial. Estas instalaciones están a disposición de los equipos académicos e industriales, en el marco de las plataformas tecnológicas regionales, entre las cuales se cuenta Ecotech LR (Ecotecnología para los procesos agrícolas y biológicos).

Por lo demás, el seguimiento hidrométrico de las cuencas hidrológicas experimentales representa una investigación básica para comprender los procesos que generan crecidas de cinética rápida. Este trabajo se lleva a cabo desde 2001, en colaboración con UMR ESPACE-DEV, HSM y TETIS. Actualmente se efectúa un seguimiento de varias cuencas hidrográficas en Cévennes, y gracias a la diversidad de los dispositivos experimentales se obtienen imágenes correspondientes al cálculo de velocidades y caudales de los cursos de agua; también se emplean dispositivos *low cost* para proseguir y afinar el análisis hidrométrico distribuido.

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



▲ Experimentos de coloración del agua para caracterizar transferencias y evaluación de vulnerabilidades del sistema hidrológico cárstico del río Lez (Francia).

© V. Leonardi

Observar para comprender la dinámica de los recursos hídricos y facilitar su administración

El *Observatorio de Investigación Mediterránea del Medio Ambiente (unidad mixta de servicios UMS OREME, CNRS, IRD, UM2)* es un observatorio de ciencias del universo (OSU) dedicado al estudio de los avatares y de la vulnerabilidad de los medios mediterráneos. El Observatorio se focaliza en los riesgos naturales, los recursos y el impacto de los cambios globales y antrópicos en el espacio mediterráneo viviente e inerte, para hallar los mecanismos a través de los cuales estos sistemas responden a los factores de forzamiento naturales y antrópicos.

Su misión consiste en recoger, integrar y compartir los datos que se observan en períodos prolongados, para comprender la evolución de los recursos y de los medios naturales. Estos datos también son elementos indispensables para la constitución de modelos explicativos y predictivos.

El observatorio lleva a cabo acciones en sólida interacción con interlocutores públicos (laboratorios de ciencias del universo y de ecología, de ciencias de la información, administraciones regionales, agencias nacionales), y con interlocutores privados (especialmente IBM).

El observatorio desarrolla, junto a otros laboratorios, diversos sistemas de observación de los sistemas hídricos, desde la escala de una

cuenca hidrológica a la de los pozos perforados in situ:

- Observación geodésica, gravimétrica, geofísica/hidrogeofísica sistemática en perforación, a todas las escalas.
- Sistema de observación a escala múltiple de la dinámica de las crecidas y de la hidrodinámica subterránea de los sistemas fracturados y cársticos.
- Sistema de observación de la contaminación y de la adaptabilidad biológica, aguas abajo de las antiguas explotaciones mineras.
- Seguimiento del litoral de Languedoc, interfaz entre la cuenca hidrográfica y el espacio marino.

Estos sistemas de observación, la mayor parte de los cuales pertenecen a redes francesas e internacionales, dan información sobre la dinámica del recurso hídrico, especialmente en los acuíferos cársticos, y permiten efectuar un seguimiento de la cantidad y la calidad de los recursos que alimentan los acuíferos. Con los métodos geofísicos se puede hacer un seguimiento de los movimientos del agua del subsuelo, y se vincula la alimentación de los acuíferos con su descarga, para comprender el ciclo hidrológico y analizarlo en lo referente a la cantidad de agua disponible como de los riesgos hidrológicos, por ejemplo de descarga repentina.

La cantidad y calidad del recurso hídrico disponible en cada lugar que lo utilice es fruto de un sistema complejo que conjuga la modelización del almacenamiento, de la circulación y de las interacciones físico-bioquímicas que se producen en diferentes compartimientos... Estos factores de forzamiento

son otras tantas condiciones que sientan los límites del sistema antrópico, que requieren a su vez la realización de simulaciones complejas: modelización del recurso hídrico y modelización en tiempo real de su utilización y de sus efectos inmediatos. Actuando de lleno en este proceso de comprensión, los datos, ya sean recogidos, calculados o asociados a las diferentes utilizaciones, deben tratarse en el continuum «adquisición-refinamiento-tratamiento-decisión». Gracias a su red de cooperación y a su experiencia, el Observatorio interviene en diferentes momentos de ese continuum, en particular en la adquisición (gestión de redes de sensores), el almacenamiento, la forma de compartir los datos (gestión de normas y normas de interrogación, gestión de metadatos, servicios web, etc.) y la ayuda a la toma de decisiones (detección de cambios, fusión de información, razonamiento, interacciones con los usuarios, visualización, sistemas de ayuda a la toma de decisiones, recomendación, predicción, tiempo real).

La gestión del recurso hídrico debe evitar las crisis y, cuando se producen, debe administrarlas. Es menester que la modelización del recurso hídrico permita hacer una proyección casi en tiempo real, para que el análisis de riesgo y las decisiones que se tomen también sean en tiempo real. Recurrir a modelos operativos de ayuda a la decisión es un paso necesario. Para ello, las simulaciones «de base», fundadas en datos fiables, ya se deben haber realizado, cuando se trata de simulaciones muy pesadas, evitando así hacer modelizaciones completas que consumen mucho tiempo. ...



▲ “Fuente de Vaucluse” (Francia), en primavera, con mucha agua.

© UMR EMMAH

Medio ambiente mediterráneo y modelización de los sistemas agrícolas e hídricos

La región mediterránea constituye un ámbito de estudio privilegiado para las investigaciones que lleva a cabo la **UMR Medio ambiente mediterráneo y modelización de sistemas agrícolas e hídricos** (EMMAH, INRA Avignon, UAPV), sobre el análisis del impacto de los cambios globales en los recursos hídricos, la producción agrícola y sus interacciones en el territorio (del paisaje a la cuenca de producción y al acuífero). Estas investigaciones se estructuran en cinco ejes pluridisciplinarios. El primero de ellos cuantifica el impacto de los cambios globales en las interacciones entre los procesos biofísicos de superficie (producción agrícola, ciclo del agua) y los recursos hídricos, en particular los recursos subterráneos. El segundo eje identifica la evolución de los paisajes y sus determinantes a partir de un análisis retrospectivo que abarca varias décadas. El tercer eje capta las modificaciones inducidas por los eventos climáticos extremos (sequía o canícula) en el funcionamiento de los sistemas agrícolas y ecológicos. El cuarto eje busca comprender y establecer modelos sobre el impacto de las lluvias intensas en el funcionamiento hidrológico e hidroquímico del sistema constituido por el suelo y las napas. Por último, con el quinto eje la UMR EMMAH

se interesa en los aspectos que destacan otras técnicas de irrigación alternativas como la utilización del agua que se obtiene en las estaciones de depuración, y cuantifica los riesgos vinculados a la presencia de agentes patógenos humanos en esas aguas servidas.

Sus reflexiones se basan en la utilización de datos de teledetección y de geofísica, la observación intensiva de las estaciones dotadas de instrumentos, de las medidas que se llevan a cabo en laboratorio y de los desarrollos metodológicos destinados a comprender mejor y desarrollar modelos sobre el funcionamiento de los ecosistemas mediterráneos. La UMR EMMAH lleva a cabo un seguimiento de las estaciones de observación que sean representativas de los diferentes contextos hidrogeológicos y agronómicos (región Crau-Camargue, acuífero cárstico de Fontaine de Vaucluse, zona periurbana de Avignon), al igual que dos talleres dedicados al estudio de los flujos hídricos hacia la atmósfera y hacia la napa. Asimismo, cuenta con laboratorios para efectuar medidas biológicas (biomasa, índice foliar, contenido de clorofila, etc.), análisis químico del agua y del suelo (química orgánica y mineral), al igual que análisis isotópicos del agua (H^3 , C^{14} , proporción de C^{13}/C^{12} del carbono disuelto) y medidas efectuadas sobre las propiedades hidrodinámicas de los suelos. EMMAH ha tenido un acceso privilegiado al Laboratorio Subterráneo de Bajo Ruido de Rustrel (Vaucluse), en el macizo cárstico de *Fontaine de Vaucluse*, al igual que

un acceso al laboratorio de biología molecular del INRA de Avignon. Además, cuenta con equipos que efectúan una prospección geofísica debajo de la superficie (tomografía eléctrica). Los investigadores desarrollan modelos mecanicistas de funcionamiento de los sistemas hidrológicos, integrando y representando espacialmente, por una parte, los modelos elementales correspondientes a los diferentes procesos y, por otra parte, desarrollando nuevos enfoques de modelización que tienen en cuenta las heterogeneidades del medio y de los procesos a diferentes escalas.

Las competencias disciplinarias y las técnicas utilizadas conciernen la hidrología, la hidrogeología, la geoquímica y la microbiología de suelos y aguas, la agronomía, la teledetección y la geofísica, las matemáticas aplicadas, la física de ondas en medios porosos, la simulación digital y el cálculo paralelo, al igual que el tratamiento de la señal.

Los interlocutores científicos de la UMR son oriundos del mundo académico francés (Instituto Nacional de Investigación Agronómica, Comisariado de Energía Atómica y de Energías Alternativas, universidades, Centro Nacional de Investigación Científica, etc.), o internacional (Túnez: Escuela Nacional de Ingenieros de Sfax, España: Instituto de Agricultura Sostenible, Universidad de Valencia, Países Bajos: *Dutch National Aerospace Laboratory*, *University of Twente*, Estados Unidos: universidades de Maryland y de Boston, etc.).

EMMAH también tiene acuerdos de cooperación con los organismos institucionales o administraciones francesas (Agencia del Agua de Ródano-Mediterráneo-Córcega, sindicatos de irrigadores y de agricultores, sindicatos mixtos de administración de recursos hídricos subterráneos) al igual que con empresas privadas (Véolia, Suez Environnement, oficinas de proyectos, etc.).

Punto de encuentro entre ciencias del suelo, hidrología y agronomía: el funcionamiento de los paisajes cultivados

El tema central de la investigación científica del *Laboratorio de interacciones entre suelo, sistemas agrícolas y sistemas hidrológicos* (UMR LISAH, INRA, IRD, Montpellier SupAgro) es el funcionamiento de los paisajes cultivados, que resulta de las interacciones entre 1) el suelo, soporte del paisaje, 2) el sistema agrícola, fuente de forzamientos y modificaciones de la geometría del paisaje, y 3) el sistema hidrológico, generador de transferencias de

agua y elementos. Sus objetivos específicos son:

- desarrollar los conocimientos sobre la erosión, las transferencias de agua y materia, y el devenir de las sustancias contaminantes (pesticidas) en los suelos y en las cuencas hidrográficas rurales en relación con su organización en el espacio y su evolución en el tiempo;
- elaborar instrumentos que permitan diagnosticar y prevenir los riesgos inducidos por las actividades humanas (medios cultivados) en los regímenes hidrológicos y la evolución de los recursos hídricos y de suelos;
- contribuir a definir nuevos modos de gestión sostenible del espacio rural;
- enseñar a los estudiantes los conceptos e instrumentos de análisis y modelización de la organización espacial, y la hidrología de los medios cultivados.

El Laboratorio agrupa competencias en ciencias del suelo, hidrología, agronomía y representación espacial, y se estructura en torno de tres equipos de investigación:

- Agua y contaminantes en cuencas hidrológicas cultivadas;
- Erosión y transporte sólido en cuencas hidrológicas cultivadas;
- Estructura especial y dinámica de suelos y paisajes cultivados.

Las principales acciones del LISAH se concentran en el estudio del impacto de la agricultura en la viticultura de Languedoc y en las plantaciones de plátano de Las Antillas, en relación a la contaminación de suelos y aguas con productos fitosanitarios, el análisis del ciclo hidrológico del sistema «suelo-cultivos» a escala de las cuencas hidrológicas elementales (unos pocos km²) y las cuencas que constituyen recursos hídricos (varios centenares de km²) mediterráneos, el desarrollo de métodos de cartografía digital de suelos y de sistemas de información pedológicos, el análisis del determinismo y de los procesos de erosión de suelos y la transferencia de sedimentos en las cuencas hidrológicas, al igual que el estudio de la influencia de las obras hidráulicas (cunetas, canales, lagunas y estanques de retención) en el funcionamiento hidrológico de suelos y cuencas hidrológicas cultivadas.

La política científica del LISAH se funda tanto en los estudios y experimentaciones hidrológicas de terreno, como en las investigaciones metodológicas para adquirir y procesar los datos espacializados del suelo y del paisaje, y el desarrollo de modelizaciones hidrológicas distribuidas que permiten representar las heterogeneidades específicas de los paisajes rurales. ...

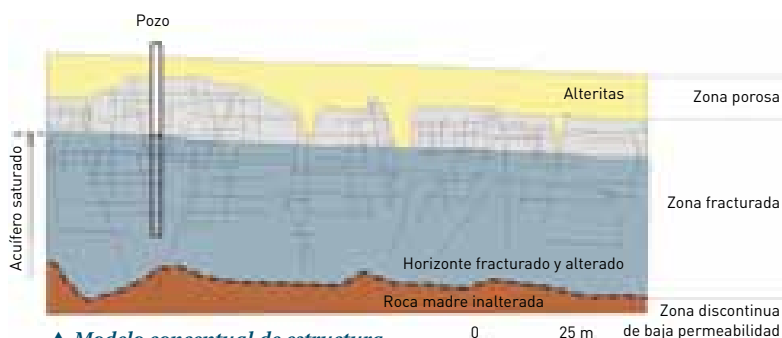
>FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS COMPLEJOS

Acuíferos de la roca madre: un recurso hídrico que se debe administrar con cuidado

La roca madre (granitos, esquistos, gneis, etc.) ocupa una superficie importante, tanto a escala del globo como en Europa o en Francia. Sus recursos hídricos subterráneos participan significativamente en el desarrollo rural y económico de las regiones respectivas, especialmente en los países emergentes, en contexto árido o semiárido, cuando existen cantidades limitadas de agua en la superficie.

La unidad de investigación EAU/NRE del BRGM contribuye al desarrollo de los conocimientos sobre la génesis, la geometría, las propiedades hidráulicas y el funcionamiento de los acuíferos de la roca madre. Estos conocimientos han progresado muy significativamente y se ha podido demostrar que los procesos de alteración climática tienen un papel importante por sus propiedades acuíferas, con el desarrollo de perfiles de alteración que incluyen, de arriba hacia abajo: alteritas muebles (arenas en medio granítico) que se caracterizan por una permeabilidad relativamente escasa pero por una significativa capacidad de almacenar aguas subterráneas; un «horizonte fisurado», estratiforme, de 50 a 100 metros de grosor, fuertemente influido también por los procesos de alteración, a los cuales el acuífero de roca madre debe la mayor parte de su permeabilidad.

De estos conceptos geológicos e hidrogeológicos resultan numerosas aplicaciones prácticas. Se trata de la cartografía



▲ Modelo conceptual de estructura y propiedades hidrológicas de los acuíferos de la roca madre.

© J.C. Maréchal

regional del agua subterránea potencial y la regionalización de los parámetros hidrodinámicos para establecer modelos. Otras aplicaciones involucran herramientas para administrar el recurso hídrico en la cuenca hidrológica, lo que resulta indispensable en determinados contextos de irrigación intensiva. También se incluyen técnicas y métodos para efectuar pozos, mejorando el caudal operativo que se puede obtener.

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

A estos efectos, el LISAH administra un observatorio de investigaciones medioambientales que se denomina OMERE (Observatorio Mediterráneo de Medio Ambiente Rural y Agua, *cf. p. 11*), cuyo objetivo es analizar el impacto de la acción antropogénica en la erosión física y química de los suelos mediterráneos y en la calidad del agua. Desde 2006, el LISAH también desarrolla una plataforma de simulación de flujos en los paisajes cultivados: la plataforma informática de modelización OpenFLUID (*Software Environment for Modelling Fluxes in Landscapes, cf. p. 12*). Esta plataforma suministra un apoyo informático para efectuar los modelos y simulaciones de flujo en el paisaje.

El laboratorio LISAH se encuentra en Francia en el campus agronómico de la Gaillarde (Montpellier) y en el contorno mediterráneo. El organismo colabora con instituciones de investigación y enseñanza superior tunecinas y marroquíes: Instituto Agronómico y Veterinario Hassan II de Rabat, Instituto Nacional de Investigación en ingeniería rural, aguas y bosques, y el Instituto Nacional Agronómico de Túnez, Escuela Nacional de Ingenieros de Túnez, Centro Nacional de Cartografía y Teledetección. Trabaja, asimismo, en cooperación con actores públicos y privados que administran recursos hídricos y suelos.

Hidrogeólogos y economistas al servicio de la gestión de los recursos hídricos

La unidad propia de investigación «Nuevos Recursos y Economía» (UPR EAU/NRE) de Montpellier pertenece al servicio AGUA del BRGM, y cuenta con 14 personas, en su mayor parte permanentes.

El equipo está compuesto por ocho hidrogeólogos y seis economistas, cuyas investigaciones se centran en la administración del recurso hídrico. La actividad de NRE se desarrolla en dos ejes científicos principales:

- El primer eje desarrolla soluciones alternativas a los recursos hídricos convencionales, sobre los cuales pesan exigencias de crecimiento tales como el cambio climático, la presión antropogénica, la evolución socioeconómica, la urbanización, etc. Más específicamente, la UPR EAU/NRE busca (i) caracterizar la estructura y el funcionamiento de los acuíferos complejos (carst, zócalo fracturado, medio volcánico) para evaluar su potencialidad, (ii) desarrollar instrumentos de modelización y de ayuda a la decisión para administrar estos acuíferos y prever el impacto de los cambios globales, y (iii) desarrollar métodos activos para administrar los recursos (reciclado de aguas servidas, recarga artificial, almacenamiento entre dos temporadas y sobre-explotación razonada).

- El segundo eje consiste en desarrollar los enfoques económicos necesarios para evaluar los escenarios de gestión de los recursos hídricos a escala de las cuencas. Las investigaciones se orientan especialmente en la evaluación económica de los programas de medidas y en las políticas de gestión del recurso hídrico en función de los usos, la optimización económica de los planes de gestión de recursos a través de un análisis de coste-eficacia, la evaluación de los beneficios en el marco de los arbitrajes entre desarrollo económico y política medioambiental, la evaluación contingente a través de encuestas

y la elaboración de escenarios de evolución de los usos del agua a medio y largo plazo (análisis prospectivo).

Varios investigadores de la unidad EAU/NRE participan en formaciones profesionales continuas, al igual que en el máster «Agua» de Montpellier y en estudios de máster o de ingeniería hidrológica.

La unidad de investigación mantiene una sostenida cooperación internacional con el Centro Franco Indio de Investigación de Aguas Subterráneas. Este laboratorio mixto BRGM-NGRI (*National Geophysical Research Institute*) que se encuentra en Hyderabad, en el sur de India, ha desarrollado una actividad de investigación en los acuíferos de roca madre en región tropical, con un sistema de observación que lleva el sello SOERE (H+). Además, desarrolla las herramientas que permiten efectuar una gestión de las napas acuíferas que han padecido un fuerte impacto debido a la agricultura (napas de las que se bombea agua para irrigación, contaminaciones de diversa índole), y a los cambios climáticos.

La actividad científica de NRE está fuertemente orientada a la investigación aplicada al servicio de las administraciones locales y regionales, las agencias del agua y la industria. Varios proyectos han conducido a desarrollar metodologías para estudiar yacimientos de agua mineral y a su administración para fines industriales, como es el caso, por ejemplo, de Nestlé Waters y Danone Eaux France. Por lo demás, la unidad NRE participa estrechamente en el Polo de Competitividad «Agua», que tiene una dimensión mundial. ■



► *Muestras de agua de zonas no saturadas del acuífero cárstico en el Laboratorio de Bajo Ruido de Rustrel (Vaucluse, Francia).*

> ACUÍFEROS CÁRSTICOS MEDITERRÁNEOS: UNOS SISTEMAS COMPLEJOS

Los acuíferos cársticos representan una parte importante del recurso hídrico en Francia (35% del territorio), especialmente en el contorno mediterráneo (> 50%). Estas zonas son objetos complejos porque son heterogéneos (con vacíos de dimensión variable, desde una fractura de unos pocos centímetros hasta un abismo de varios metros) y se caracterizan por un funcionamiento hidrológico particular. Debido a su complejidad, están globalmente subempleados y además la utilización de este recurso debe tener en cuenta las características propias de los sistemas cársticos, especialmente su vulnerabilidad a la contaminación y a una utilización excesiva. En regiones donde el agua ya es un bien escaso y en un contexto de cambio global, una mejor comprensión del funcionamiento de estos acuíferos es indispensable para utilizarlos y/o protegerlos de forma óptima y duradera. Las unidades regionales de investigación desarrollan diferentes enfoques complementarios en este sentido.

> FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS COMPLEJOS

Estudio del funcionamiento de la zona no saturada de los sistemas cársticos

El funcionamiento de la zona no saturada de los sistemas cársticos, que se puede desarrollar en varias decenas e incluso centenas de metros, todavía no se conoce bien y no se ha traducido en un modelo, mientras que actualmente se considera que desempeña un papel de primera importancia en la dinámica de las transferencias y en el almacenamiento.

Como resultado de cavar una galería artificial sin tener en cuenta ninguna consideración hidrogeológica, el Laboratorio Subterráneo de Bajo Ruido (LSBB) de Rustrel (Vaucluse) separa de forma aleatoria el flujo del macizo calcáreo de los Montes de Vaucluse, en una longitud de 3.800 metros, entre 0 y 500 metros de profundidad, permitiendo así acceder directamente a la zona no saturada de un carst, lo que es excepcional. Gracias a las medidas directas (geológicas, hidrodinámicas, hidroquímicas) e indirectas (hidrofísicas y geofísicas) realizadas en este lugar, la UMR EMMAH desarrolla un modelo del funcionamiento de la zona no saturada de los acuíferos cársticos. En el futuro, se podrá evaluar con precisión el impacto de la zona no saturada en el funcionamiento global de estos sistemas acuíferos. El centro experimental del LSBB, que se encuentra en la cuenca de alimentación de la Fontaine de Vaucluse, servirá como referencia para desarrollar este modelo que, más adelante, se validará y afinará aplicándolo a otros sistemas.

Más allá de la noción de acuífero cárstico en sentido estricto, las obras realizadas en la cuenca hidrológica de la Fontaine de Vaucluse integran todo su territorio situado aguas arriba, habiéndose trabajado su vegetación, la ocupación del suelo, la definición y la cartografía de las unidades de drenado. El impacto de este sistema en el medio, aguas abajo de la fuente, también ha sido estudiado en diferentes aspectos (anuncio de crecida, biodiversidad y turismo verde).

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

© UMR EMMAH

>FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS COMPLEJOS

Gestión de usos múltiples del acuífero cárstico de la cuenca hidrológica del Lez



© M. Soulié

▲ Fuente del río Lez, cerca de Montpellier, Francia.

La línea de investigación «Carst y medio heterogéneos», del laboratorio HSM, se interesa especialmente en las transferencias subterráneas y de superficie en este tipo de entorno. En el marco de sus actividades de investigación, que alían caracterización y elaboración de modelos de un punto de vista hidrogeológico, hidrológico e hidráulico, el laboratorio participe en el ambicioso proyecto de investigación «Gestión multiusos de los acuíferos cársticos mediterráneos», coordinado por el BRGM para el área metropolitana de Montpellier, con la colaboración de la UMR G-EAU, la UMR TETIS, Biotope y el Centro Europeo de Investigación y Formación Avanzada en Cálculo Científico.

El proyecto comenzó en junio de 2009 y tenía una duración de tres años (financiación por parte del área metropolitana de Montpellier, cofinanciado por la Agencia del Agua de Ródano, Mediterráneo y Córcega, Consejo General del Hérault, BRGM). Fundamentalmente, concierne la cuenca hidrológica de Lez (Francia) y el acuífero cárstico correspondiente, para la gestión del recurso hídrico y del riesgo de inundaciones. El proyecto tiene los objetivos generales siguientes:

- 1 perfeccionar los conocimientos del medio subterráneo desde un punto de vista hidrogeológico, mejorando al mismo tiempo el conocimiento de los flujos subterráneos y de la geología de este tipo de sistema hidrológico perimediterráneo;
- 2 evaluar la vulnerabilidad del acuífero desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo;
- 3 reevaluar el recurso hídrico disponible dentro del acuífero y caracterizar el impacto de los cambios globales a través de diferentes modelos;
- 4 caracterizar el papel del acuífero cárstico en el régimen hidrológico del río Lez para evaluar mejor la posibilidad de inundación al igual que la calidad química y ecológica del medio hidrológico;
- 5 producir un inventario y una descripción de la biodiversidad subterránea del acuífero del Lez;
- 6 estudiar los efectos de la gestión activa del acuífero cárstico en la disminución de las crecidas, a partir de modelos hidrológicos e hidrogeológicos acoplados.

Contactos: Véronique Leonardi, leonardi@msem.univ-montp2.fr

Hervé Jourde, herve.jourde@univ-montp2.fr

& Jean-Christophe Maréchal, jc.marechal@brgm.fr

>FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS COMPLEJOS

La geodesia al servicio del recurso hídrico en el ámbito cárstico

Desde hace varios años, la UMR GM (Geociencias de Montpellier, equipo de «Riesgos») lleva a cabo investigaciones originales sobre el seguimiento y la localización de los recursos hídricos de agua dulce en zona cárstica.

En el marco de la OSU OREME, y en colaboración con el Instituto Nacional de Ciencias del Universo, el ORE H+, la Casa del Agua y las sociedades imaGeau (Montpellier), MicroG y GWR (Estados Unidos), Geociencias de Montpellier ha establecido en 2011 un observatorio geodésico en el Larzac para aportar nuevas exigencias resultantes de observaciones originales de altísima tecnología durante largos períodos de tiempo. Entre otras cosas, el observatorio cuenta con el primer gravímetro superconductor de nueva generación (iGrav), desarrollado por GWR, al igual que uno de los 50 gravímetros absolutos existentes en el mundo (MicroG). La gravimetría consiste en pesar la masa del suelo desde la superficie y, sin necesidad de cavar, determinar la masa de agua subterránea y su variación con el paso del tiempo. Este tipo de medida se

aplica ahora en otros carsts como la meseta de Vaucluse, lo que constituye una prueba de su éxito.

El observatorio de Larzac también acoge a los investigadores franceses y extranjeros que desean participar en las investigaciones en curso, ya sea en el ámbito de la geofísica o de la hidrogeología. El observatorio es un lugar donde se llevan a cabo formaciones, en las cuales los estudiantes de UM2 y de toda Francia pueden trabajar con herramientas punta en las temáticas actuales. Los datos recopilados permitirán comprender más acertadamente y desarrollar mejores modelos de los acuíferos cársticos, suministrando información cuantitativa para la explotación y/o la protección de los recursos hídricos de Larzac y de los carsts en general.

Contactos:

Cédric Champollion, champollion@gm.univ-montp2.fr

& Jean Chéry, jean.chery@gm.univ-montp2.fr

> FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS COMPLEJOS

Crecidas cársticas súbitas: de la investigación a los aspectos operativos

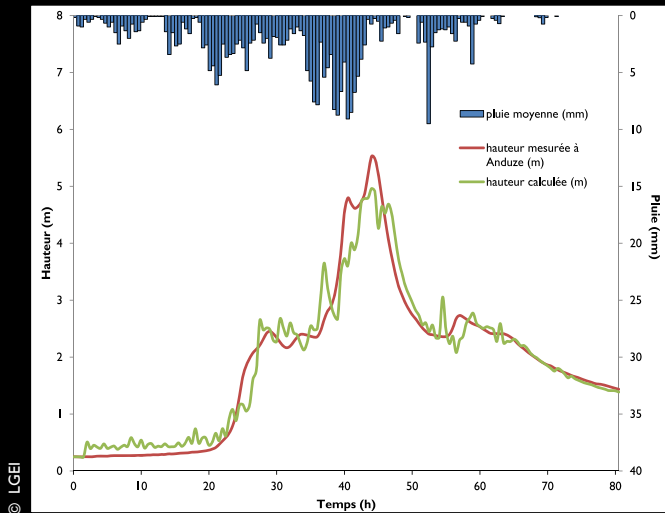
Desde 2004, la UPR EAU/NRE (BRGM) trabaja en la problemática de las crecidas súbitas de origen cárstico. Estos estudios se han desarrollado a través de varios proyectos, cuyos objetivos han evolucionado con el paso del tiempo. Un primer proyecto de investigación para la ciudad de Nîmes (Francia) buscaba comprender el funcionamiento del sistema cárstico de la *Fontaine de Nîmes* en crecida. Ese proyecto ha destacado el papel limitador de crecidas cuando el acuífero no está saturado, al igual que la fundamental contribución del sistema cárstico en la génesis de crecidas devastadoras en Nîmes, con una importante contribución de las aguas subterráneas en el momento más álgido de la crecida. Se ha propuesto a las autoridades de Nîmes una estrecha vigilancia de las aguas subterráneas.

Además, se ha desarrollado un sistema de alerta para anticipar la amplitud de la crecida, en forma de un ábaco que tiene en cuenta la saturación del carst y las previsiones meteorológicas en tiempo real. Este enfoque también se ha aplicado a otras cuencas hidrológicas con componentes cársticos, a petición del Servicio Central de Hidrometeorología y de Soporte a la Previsión de las Inundaciones. Las herramientas de previsión desarrolladas están actualmente en fase de prueba en los Servicios de Previsión de Crecidas.

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

▲ *Antiguo pozo romano anegado durante la inundación de Nîmes en 2005 (Francia).*

Previsión de crecidas en tiempo real empleando redes de neuronas



▲ *Previsión de inundaciones una hora antes del evento, en ausencia de previsión de precipitaciones (nivel calculado de agua en verde, nivel medido de agua en rojo).*

La previsión de crecidas en tiempo real constituye un problema complejo cuyas consecuencias económicas y sociales revisten una gran importancia. Su complejidad es fruto del acoplamiento entre los modelos atmosféricos, hidrológicos e hidrogeológicos.

Los centros de estudio y aplicación de los métodos desarrollados por la UPR LGEI (EMA) son las cuencas hidrológicas de Gardon, en Remoulins, y sus descargas río arriba en Francia. Este sitio se conoce por sus «gardonadas» devastadoras. También se

estudiarán otros sitios para validar estos modelos: los de Cèze y de Ardèche, conocidos asimismo por sus crecidas súbitas, al igual que la cuenca hidrológica de la Somme, reputada por sus crecidas de napa.

La utilización de redes de neuronas ofrece una nueva alternativa que consiste en aprovechar del mejor modo posible los datos experimentales registrados, elaborando modelos obtenidos por aprendizaje artificial. Los primeros resultados muestran que la previsión de crecidas del Gardon en Anduze puede efectuarse en ausencia de previsiones de lluvia, con horizontes muy cortos (2 a 3 horas). De este modo, las autoridades pueden tomar las primeras medidas necesarias sin pérdida de tiempo. Este método permite editar el mapa de vigilancia vigicrues* en Internet. Estas investigaciones se llevan a cabo en cooperación con el Servicio Central de Hidrometeorología y Asistencia a la Previsión de Inundaciones (SCHAPI), en el marco del proyecto FLASH (*Flood forecasting with machine Learning, data Assimilation and Semi-physical modeling*) de la Agencia Nacional de Investigación, con otros actores nacionales (SCHAPI, Escuela Superior de Física y Química Industrial de la Ciudad de París, UMR «Medio Ambiente, Dinámicas y Territorios de Montaña»).

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

Para más información: Toukourou M., 2009. *Application de l'apprentissage artificiel aux prévisions des crues éclair*. Tesis de doctorado de la EMA, Alès, Francia.

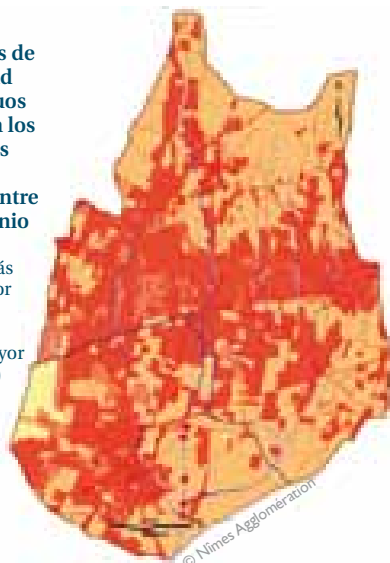
Kong A Siou L., 2011. *Modélisation des crues de bassins karstiques par réseaux de neurones. Cas du bassin du Lez (France)*. Tesis de Doctorado de la UM2, Francia.

* www.vigicrues.gouv.fr

Metodología para evaluar el riesgo de arroyada pluvial

► **Clases cualitativas de sensibilidad a los residuos líquidos en los alrededores de Nîmes (Francia) entre marzo y junio de 2011**

(del color más claro = menor sensibilidad, al color más oscuro = mayor sensibilidad)



Classes de susceptibilité au ruissellement

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

- Limite bassin versant
- Limite communale
- Réseau hydrographique

La arroyada pluvial es un fenómeno que todavía no se tiene mucho en cuenta y no se lo suele tratar como un verdadero riesgo. A menudo se lo suele confundir o vincular a la inundación. Sin embargo, puede causar importantes daños y la complejidad del fenómeno depende de su aparición súbita y muy localizada. Asimismo, generalmente afecta las pequeñas cuencas hidrológicas, tanto urbanas como rurales, y es tanto más difícil de caracterizar que está influido por numerosos parámetros físicos, pero sobre todo porque está agravado por las actividades humanas.

Las metodologías que se emplean habitualmente para estudiar la arroyada pluvial están basadas principalmente en un estudio cuantitativo y/o en la elaboración de modelos. Las investigaciones realizadas por la UPR LGEI (EMA) se orientan hacia un enfoque hidrogeomofológico para caracterizar y representar espacialmente el fenómeno. Se ha establecido una metodología para realizar un diagnóstico pluvial, que se ha aplicado luego a una municipio rural.

El enfoque cualitativo utilizado hace una descripción de la situación general. En la cartografía cualitativa se puede integrar toda clase de información y de datos. Gracias a este enfoque, se ha podido realizar un análisis espacial global. Complementadas con medidas de permeabilidad, se han confirmado las tendencias observadas a través del análisis cualitativo.

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

Medir el caudal de los ríos por satélite

Los satélites son herramientas invaluable para cuantificar las variables biofísicas a escala global y efectuar un seguimiento de su dinámica espacial y temporal. Facilitan el conocimiento que se tiene del ciclo del agua, midiendo la humedad atmosférica, las precipitaciones, la humedad de los suelos, la evapotranspiración y la topografía de las redes hidrográficas.

Medir el caudal de los ríos constituye un reto fundamental para el futuro de las misiones de los satélites. La UMR TETIS dedica a este tema un serio trabajo de investigación en cooperación con el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES), *The French Aerospace Lab* (ONERA) y otros actores industriales del sector espacial (*European Aeronautic Defence and Space Company, Thales Alenia Space, Collecte, Localisation, Satellites, Noveltis*). Por una parte, lo hace con tecnologías para medir variables de superficie de los ríos, y por otra parte integrando estas variables para derivar los parámetros hidráulicos de los ríos y deducir de ellos los caudales.

Se están desarrollando tres familias de técnicas espaciales. La altimetría por radar o Lidar, para medir el nivel de los ríos; TETIS desarrolla los métodos para cualificar las medidas de nivel y cuantificar su incertidumbre. La interferometría por radar espacial, objeto de la misión *Surface Water and Ocean Topography* (NASA-CNES), para medir las pendientes; TETIS, estudia la rugosidad de la superficie del agua, su influencia en la retrodifusión por radar y participa en campañas aeroportadas, para validar los dispositivos de radar, las cadenas de procesamiento y los modelos. Por último, gracias a la interferometría temporal se pueden medir las velocidades de superficie; TETIS participa en las campañas aeroportadas de prueba y explora la modelización de esta técnica en los ríos.

Para evaluar el caudal de los ríos midiéndolo a través del satélite, sin efectuar medidas *in situ*, TETIS desarrolla métodos de inversión de ecuaciones hidráulicas, con las cuales es posible determinar los parámetros de fondo (cuestas, pendientes, rugosidad del fondo, perfil de velocidad) exclusivamente a partir de las variables de superficie. Estos métodos suministran un marco coherente para especificar las futuras misiones espaciales y mejorar en los próximos 20 años el conocimiento del caudal de los cursos de agua en la superficie del planeta.

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

▼ *Río Madeira en Brasil.*



>RIESGOS VINCULADOS AL AGUA

Utilización de datos por satélite de muy alta resolución: estudio del origen geomorfológico de los caminos del agua en cuencas hidrológicas mediterráneas



© P.A. Ayrál

▲ Experimentos de medida de caudal durante una precipitación.

La intensidad y variabilidad de las precipitaciones, al igual que la complejidad de los procesos hidrológicos en las cuencas hidrológicas de la zona mediterránea limitan la predictibilidad de los fenómenos extremos. Una mejor comprensión de los procesos que participan en las respuestas hidrológicas de esas cuencas, responsables de la variabilidad espaciotemporal de los caminos del agua, puede mejorar la elaboración de modelos sobre esta clase de eventos. Estas investigaciones (cooperación entre UPR LGEI y UMR TETIS) se llevan a cabo en el marco de una geomática aplicada a la hidrología. Ante todo, se interesan en la aportación de capacidades satelitales (especialmente en productos en 3D de muy alta resolución, para la caracterización espacial de las cuencas y de sus redes hidrográficas) que estudian los orígenes geomorfológicos de las variaciones espaciotemporales de las respuestas hidrológicas.

Un primer eje consiste en caracterizar, a partir de los datos espaciales, el drenaje «potencial» que representa la red geomorfológica seca formada por la serie continua de líneas de talweg de las cuencas. Un algoritmo original que utiliza una estructura de modelo digital de terreno (*modèle numérique de terrain* - MNT) en forma triangular (TIN) ha sido desarrollado específicamente con el fin de obtener un trazado de las redes que sea fiel a su trazado real, y suministrar elementos de su geomorfología y de las cuencas. El segundo eje concierne el estudio de la dinámica de drenaje o «dinámica real», con el fin de mejorar la comprensión de las dinámicas espaciales de la puesta en agua de los drenajes, a través de diferentes episodios de crecida. En este marco, se ha distribuido una red espacializada de sensores ligeros a través de dos cuencas experimentales (< 1 km²) situadas en el Gardon de Anduze, para efectuar el seguimiento de las variaciones espaciotemporales de las dinámicas hidrológicas en las redes que tienen agua.

La confrontación de las características geomorfológicas y de las respuestas hidrológicas observadas ha permitido confirmar el predominio de los flujos por debajo de la superficie en las cuencas estudiadas, destacando dos tipos de redes con un funcionamiento muy diferente, la gran influencia de las pendientes y su cambio en el inicio, la durabilidad de los flujos que componen las redes, y suministrar hipótesis de funcionamiento diferenciadas en función de los episodios.

Contactos: Sophie Sauvagnargues, sophie.sauvagnargues-lesage@mines-ales.fr
Pierre-Alain Ayrál, pierre-alain.ayral@mines-ales.fr
Christian Puech, puech@teledetection.fr
& Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr

>UTILIZACIÓN DEL AGUA PARA LOS CULTIVOS

Cartografía de la evapotranspiración de la viña a partir de imágenes por satélite

La UMR LISAH ha puesto a punto un método sencillo para hacer una cartografía de la evapotranspiración de la viña a partir de imágenes por satélite. Se ha llevado a cabo un estudio sobre el bajo valle del Peyne, afluente del Hérault, en donde la viña ocupa más del 70% de la superficie. Se han adquirido así doce imágenes ASTER (julio de 2007-octubre de 2008). Estas imágenes de la temperatura de superficie (90 m de resolución), se han convertido en mapas diarios de evapotranspiración gracias a los índices WDI (*water deficit index*) y SSEBI (*simplified surface energy balance index*) que hasta ahora no habían sido utilizados en la viña. Para validar los mapas, se ha puesto en marcha un dispositivo de medida en siete parcelas de viña que son representativas de la variabilidad pedológica paisajística del valle del Peyne. Se han efectuado medidas directas de evapotranspiración, por covariancias turbulentas, en ambas parcelas.

Gracias a un seguimiento frecuente de la evolución de la humedad de los suelos y del nivel de las napas se ha podido evaluar con precisión la evapotranspiración diaria de las siete parcelas, a través del modelo de transferencias hídricas HYDRUS1D. Los mapas de evapotranspiración resultantes de las imágenes por satélite se han confirmado con éxito, dado que el índice SSEBI es ligeramente más preciso (0,8 mm/día) que el índice WDI (1,0 mm/día). Los mapas de evapotranspiración así obtenidos presentan una estructura espacial estable a lo largo del tiempo, similar a la del mapa de los suelos a una escala 1:25 000.

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

Representación espacial del estado hídrico de la viña

El estado hídrico de la viña y sus variaciones espaciales y temporales determinan el potencial cuantitativo y cualitativo de la cosecha. Estos conocimientos son fundamentales para efectuar acciones correctivas que permitan controlar de modo óptimo la calidad de la uva y el recurso hídrico en caso de irrigación. Saber representar espacialmente la evolución del estado hídrico de la viña en los espacios cultivados también constituye un prerrequisito ineludible para diagnosticar el estado actual del recurso hídrico y eventualmente prever el impacto de los cambios climáticos en los cultivos mediterráneos, en donde predomina la viticultura.

El objetivo de esta investigación (cooperación entre UMRs ITAP, LISAH, Ciencias Enológicas, estación experimental del INRA de Pech Rouge, Instituto Francés de la Viña y el Vino, Universidad de Sydney, Australia, Universidad de Talca, Chile), es suministrar un modelo que sirva para evaluar el estado hídrico de la viña en el tiempo y el espacio, que se pueda utilizar en escalas operativas y en el área de producción, y capaz de generar un sistema de ayuda a la decisión operativa para administrar el cultivo. El proyecto se sitúa así en una escala intermedia interesante para los actores del sector vitícola.

Este modelo crea una sinergia a través de una nueva configuración de los datos disponibles, que en adelante se puede considerar en las escalas que se desee gracias a los avances tecnológicos recientes, con los cuales se pueden caracterizar las heterogeneidades de los cultivos (información aérea de infrarrojo cercano) y del suelo (medida de conductividad eléctrica aparente de los suelos con imágenes de alta resolución espacial, gracias a sensores embarcados en máquinas móviles) y a una red de medidas locales georeferenciadas para efectuar un seguimiento del estado hídrico de la viña.

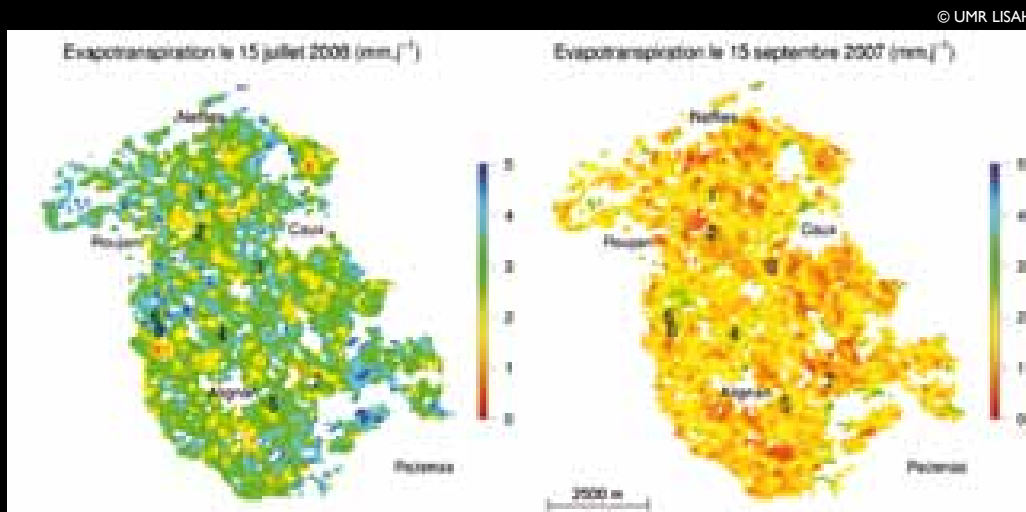
Con estas redes de sensores comunicantes (en el suelo y en los cultivos) se puede adquirir información en tiempo real y de forma continua (*plant and soil monitoring systems*) y efectuar un seguimiento de las variables con las cuales evaluar de forma indirecta y localmente el estado hídrico de las plantas.

▼ Dispositivo experimental para medir directamente la evapotranspiración de la viña.



La extrapolación espacial de una medida de referencia ha sido confirmada a escala de la parcela y del productor vitícola. Se la está transfiriendo a una empresa (*Société Fruition Sciences*) y será validada a mayor escala (bodega cooperativa).

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



◀ Cartografía de los niveles de evapotranspiración de los viñedos en el Valle de Peyne (Francia) y localización de los siete sitios de validación.



© D. Lacroix

▲ Cascadas en Krka, Croacia.

Preservación y restauración *de la calidad del agua*

Preservar la calidad del recurso hídrico plantea, a nuestras sociedades, retos medioambientales, sanitarios y económicos de primer orden. Los ecosistemas acuáticos albergan una enorme diversidad de especies animales y vegetales cuya situación y dinámica son sensibles a la composición química, biológica o física del agua. Además, el agua es un recurso necesario para el ser humano, que la consume cotidianamente, y para las sociedades, que la necesitan para su desarrollo. No obstante, las actividades humanas pueden constituir una amenaza para la calidad del recurso hídrico, debido a las sustancias que introducen en el medio. Un agua con características fisicoquímicas y biológicas deterioradas es fuente de riesgos patológicos para el ser humano y puede cuestionar no sólo la sostenibilidad y la perennidad de las actividades humanas sino también el buen estado de este recurso, que es necesario para las funciones medioambientales. El impacto de la agricultura *sensu lato* (agricultura, industria agroalimentaria) en los recursos hídricos es un ejemplo donde se observan claramente los retos que debe superar la ciencia en lo referente a la preservación de la calidad del agua. Para responder a las crecientes necesidades en materia de alimentación y energía, la agricultura utiliza agua en la producción animal y vegetal, como así también lo hace la industria de transformación de materias primas. Al mismo tiempo, el agua es una fuente de contaminación por los insumos que se emplean (fertilizantes, pesticidas). Para responder a este reto de continuar la producción en un contexto de restricción hídrica, la agricultura se orienta hacia nuevas técnicas, por ejemplo, la utilización de aguas no convencionales, incluyendo las aguas residuales tratadas. No obstante, el desarrollo de la agricultura sólo puede ser sostenible si se limita la introducción de sustancias potencialmente contaminantes en el medio, y se controla su movilidad una vez que se hallan en el medio. En este sentido, la utilización de aguas no convencionales constituye potencialmente una fuente de contaminación de las aguas de superficie y de las aguas subterráneas, debido a los componentes tóxicos y a los agentes patógenos presentes en las aguas residuales no tratadas.

En este contexto, los retos científicos del polo de Montpellier consisten en desarrollar procedimientos para tratar las aguas residuales (industriales, domésticas, urbanas), en comprender y predecir el transporte y la concentración de agentes contaminantes en el sistema hidrológico, en diseñar políticas de ordenación y gestión del paisaje que limiten la dispersión de los agentes contaminantes en el medio natural, y en desarrollar herramientas para evaluar los riesgos y la optimización de los diferentes usos del agua. Los estudios se concentran en sustancias que se encuentran clásicamente en los medios acuáticos, como

metales, fertilizantes (nitrógeno, fósforo) y pesticidas, al igual que en los agentes contaminantes conocidos como «emergentes», tales como sustancias medicamentosas, virus y bacterias.

El desarrollo y la aplicación de procedimientos eficaces para tratar los efluentes generados por las actividades humanas constituyen un modo de reducir significativamente su impacto en el agua. Los tratamientos convencionales han sido guiados principalmente a partir de exigencias de calidad del agua vertida en el medio natural. El reto científico actual es diseñar procedimientos que respondan a exigencias medioambientales más globales que la de la calidad de los efluentes tratados. También se incluyen tensiones energéticas destinadas a buscar y diseñar procedimientos que consuman poca energía e incluso que sean productores de bioenergía. Las vías exploradas conciernen un abanico de procedimientos que incluyen procesos biológicos, fisicoquímicos y tratamientos con membranas.

La comprensión y la predicción del devenir de los contaminantes en los medios naturales y agrícolas requieren estudios analíticos sobre los procesos correspondientes, ya sean biológicos, físicos o químicos, y sobre las relaciones entre esos procesos. De este modo, se ha prestado una particular atención al papel que desempeñan las propiedades del medio (geología, pedología, estructuras del paisaje, obras de infraestructura) en el devenir de los agentes contaminantes, y la actividad de los microorganismos en la degradación de los compuestos o la modificación de su forma química. El efecto de las condiciones climáticas e hidrológicas diversas en la movilización y el transporte de los agentes contaminantes, las condiciones que se presentan en el perímetro mediterráneo, al igual que en muchas regiones tropicales del mundo, es un tema de investigación de la mayor importancia.

Por último, preservar la calidad del recurso hídrico pasa por diseñar herramientas de evaluación, a largo plazo y en zonas muy extensas, de control y optimización del efecto de las actividades humanas en la calidad del agua. La necesidad de contar con herramientas adecuadas impone a la investigación la misión de estudiar la problemática relativa a la integración espacial y temporal de los procesos en juego, en el ámbito de los agentes contaminantes. A estos efectos, los modelos digitales sobre el devenir de los agentes contaminantes, el análisis del ciclo de vida y el desarrollo de indicadores de presiones contaminantes, y de sus efectos, constituyen vías que se exploran con gran intensidad.

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

Preservación y restauración de la calidad del agua

Materiales y procedimientos que utilizan tecnología de membranas para intensificar el tratamiento del agua

El *Instituto Europeo de Membranas* (UMR IEM, CNRS, ENSCM, UM2), fundado en 1998, es un laboratorio de referencia a nivel internacional en el ámbito de los materiales y procedimientos que utilizan membranas. Sus objetivos de investigación se articulan en torno de un enfoque pluridisciplinario y a escalas múltiples de:

- la elaboración y la caracterización de nuevos materiales para membranas;
- su utilización en diferentes procedimientos que utilizan membranas destinadas a tratamiento de efluentes, separación de gas, biotecnologías en correlación con las ciencias de los alimentos y de la salud.

El IEM está dividido en tres departamentos de investigación:

- Diseño de materiales para membranas y sistemas multifuncionales
- Interfaces y fisicoquímica de polímeros
- Ingeniería de procedimientos que utilizan membranas

En un contexto de incremento de la demanda de agua, al que se suma su rarefacción y una degradación del recurso hídrico, el Instituto Europeo de Membranas de Montpellier (IEM) desarrolla dos ejes fundamentales de investigación para intensificar el tratamiento de las aguas, con vistas a la calidad de utilización que se busca: (i) materiales innovadores para membranas multifuncionales y (ii) procedimientos intensivos multifuncionales que incluyen barreras con membranas adecuadas. En este marco, el IEM se ha asociado a diversos interlocutores industriales y académicos, entablando acciones de cooperación nacional e internacional. Las actuaciones sobre el agua se han presentado a los tres departamentos del IEM a través de los campos de aplicación siguientes:

- Tratamiento del agua para lograr una calidad de utilización determinada (agua potable, aguas de procesos, etc.).
- Tratamiento de aguas residuales para proteger los medios receptores y/o favorecer su reutilización (irrigación, aguas de enfriamiento, aguas de lavado, etc.).
- Desalinización.

Así, el tratamiento de las aguas se puede hacer por vías físicas:

- Tratamiento de compuestos orgánicos:
 - tratamiento de productos fitosanitarios, perturbadores endócrinos, medicamentos y colorantes, por procedimientos que interactúan (fotocatálisis, catálisis enzimática o adsorción y procesos con membranas);
 - separación de compuestos orgánicos presentes en el agua por pervaporación;
 - tratamiento de los hidrocarburos aromáticos policíclicos por ozonificación y procesos que utilizan membranas;
- Tratamiento de contaminantes minerales:
 - electroextracción selectiva de cationes metálicos en soluciones diluidas;
 - extracción de boro por nano-filtración;
 - destilación con membranas y ósmosis inversa para desalinizar agua;
 - extracción y concentración de metales pesados con contactores de membranas de fibras huecas.

También se puede realizar el tratamiento acoplando los tratamientos de «separación por membranas y tratamientos biológicos»:

- biorreactor de membrana para efluentes domésticos;
- tratamientos de efluentes que encierran componentes fenólicos por reactores enzimáticos de membrana;
- producción de energía y tratamiento de agua residual urbana por biorreactor de membrana.

El IEM también desarrolla materiales innovadores con funciones específicas:

- membrana súper hidrófoba para tratamiento del agua (destilación por membranas);
- nueva membrana sintetizada por bloque de copolímeros autoensamblados;
- síntesis de copolímeros para la sorción/complexación de metales en tratamiento de aguas industriales y recuperación de metales. ●●●

Principales equipos

US Análisis
Análisis de aguas, suelos y vegetales
(CIRAD)
9 científicos
Director: Daniel Babre
daniel.babre@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/analyses
► Presentación página 31

UMR IEM
Instituto Europeo de Membranas
(CNRS, ENSCM, UM2)
90 científicos
Director: Philippe Miele
philippe.miele@iemm.univ-montp2.fr
www.iemm.univ-montp2.fr
► Presentación página 26

UMR ITAP
Información – Tecnología – Análisis
Medioambiental – Procesos Agrícolas
(IRSTEA, Montpellier SupAgro)
40 científicos
Director: Tewfik Sari
tewfik.sari@irstea.fr
www.irtsea.fr/itap
► Presentación página 28

UPR LBE
Laboratorio de Biotecnología
Medioambiental
(INRA)
23 científicos
Director: Jean-Philippe Steyer
jean-philippe.steyer@supagro.inra.fr
www4.montpellier.inra.fr/narbonne
► Presentación página 29

... continuación página 28



© D. Lacroix

▲ *Los efluentes industriales deben ser tratados antes de ser vertidos al medio ambiente (fábricas cerca Alejandría, Egipto).*

> CALIDAD DEL AGUA Y FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO DE LOS MEDIOS

Control de la calidad del agua

Las bandas de vegetación riparia, que concentran diferentes actividades humanas (agricultura, urbanización, infraestructuras de transporte, etc.) y formaciones vegetales naturales o seminaturales (prados, bosques de ribera, etc.), son un factor de control del estado ecológico y físico de los cursos de agua. Por tal razón, constituyen un elemento clave para alcanzar los objetivos establecidos en la Directiva Marco Europea sobre el Agua (DMA). La restauración de las bandas de vegetación riparia involucra diversos actores a nivel local (estructuras responsables de la gestión de las cuencas hidrográficas), del distrito (Agencia del Agua) y nacional (Estado).

Para tomar una decisión que involucra varios niveles y actores, es necesario contar con las herramientas que permitan evaluar el impacto de las acciones humanas en el medio acuático. La Agencia del Agua de Ródano-Mediterráneo-Córcega ha recurrido a la UMR TETIS para diseñar los métodos destinados a describir las presiones antropogénicas a lo largo de los cursos de agua, y elaborar modelos espaciales de las relaciones entre esas presiones y el estado ecológico de los medios acuáticos.

Una metodología de clasificación de imágenes por satélites o aerotransportadas, innovadora y «orientada hacia el objeto», de muy elevada resolución espacial, asociada a unos datos exógenos,

permite elaborar una cartografía de ocupación del suelo en las bandas de vegetación riparia, con la precisión requerida en la naturaleza y en la localización de objetos (vegetación de ribera, edificaciones, parcelas agrícolas y obras de ordenación correspondiente, infraestructuras de carreteras, etc.). Los mapas de ocupación del suelo se sintetizan en forma de indicadores especiales de presión en los medios.

Las relaciones entre los indicadores de presión y los indicadores de la calidad del agua (indicadores biológicos o parámetros fisicoquímicos) se convierten en modelos en el marco conceptual DPSIR (*Driving Force, Pressures, State, Impacts, Responses*). La originalidad de estos modelos se debe a la imbricación de los niveles funcionales que se tienen en cuenta entre la estación (nivel local) y la cuenca hidrográfica (nivel global), y las dependencias entre aguas arriba y aguas abajo, inherentes a los cursos de agua.

Contactos:

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



© S. Ghiotti

▲ Los ríos mediterráneos están sometidos a fuertes variaciones estacionales de caudal que afectan la calidad del agua (el río Hérault en verano).

Evaluación medioambiental, elaboración de modelos y tecnologías al servicio de la calidad del agua

La **UMR Información-Tecnología-Análisis Medioambiental-Procesos Agrícolas (ITAP, IRSTEA, Montpellier SupAgro)** reúne la UPR de Tecnologías de Montpellier (TEMO, IRSTEA) y la Cátedra de Ingeniería Rural (Montpellier SupAgro). Para poner a punto los equipos materiales destinados a una agricultura más sostenible y los servicios vinculados al medio ambiente, la UMR ITAP desarrolla las bases científicas y técnicas de las temáticas siguientes:

- Información y sistemas asociados: por una parte, los sensores que recurren a medidas ópticas (visión, espectrometría) se desarrollan para caracterizar los sistemas agrarios y los procesos medioambientales y, por otra parte, los sistemas de asistencia a la toma de decisiones están destinados a crear nuevos indicadores que puedan ser interpretados por los profesionales, utilizando datos parcelarios, climáticos, expertos, etc., para diagnosticar los estados de los sistemas agroecológicos.
- Tecnologías: el objetivo es desarrollar las ecotecnologías para una producción agrícola sostenible. Se están estudiando nuevos

métodos de diseño que incorporan las exigencias medioambientales: evaluación ecológica, diseño ecológico, diseño integrado. La UMR ITAP trabaja específicamente en los equipos materiales destinados a la protección y al mantenimiento de los cultivos, para limitar el impacto de las técnicas de aplicación de pesticidas en la salud y en el medio ambiente. Esta unidad coordina la plataforma regional «Ecotecnologías de bioprocesos agrónomos». Se trata de un centro especializado en pulverizaciones agrícolas.

- Evaluación medioambiental: la UMR desarrolla y aplica las herramientas de evaluación del impacto medioambiental y social de las herramientas y los procesos que se basan ampliamente en los análisis del ciclo de vida, con el fin de obtener mejores resultados en esos procesos. Coordina la red del Polo ELSA**.

La UMR está estructurada en cuatro ejes de investigación: evaluación medioambiental; elaboración de modelos y toma de decisiones; sensores ópticos; fragmentación y dispersión. Sus temas de investigación vinculados al agua son, entre otros, los siguientes:

- Software *FISPRO*: diseño y optimización de sistemas de inferencia difusa (software libre IRSTEA-INRA);

* www.ecotech-lr.org

** Polo *Environmental Lifecycle and Sustainability Assessment* : www.elsa-lca.org

Otros equipos que trabajan en este tema

UMR EMMAH
Medio Ambiente Mediterráneo
y Modelos de Sistemas Agronómicos
e Hidrológicos

(INRA, UAPV)
40 científicos

Director: **Liliana Di Pietro**
liliana.dipietro@paca.inra.fr

www.umr-emmah.fr
► Presentación página 14

UMR G-EAU
Gestión del Agua, Actores y Usuarios
(AgroParisTech, IRSTEA, CIHEAM-IAMM,
CIRAD, IRD, Montpellier SupAgro)
75 científicos

Director: **Patrice Garin**
patrice.garin@irstea.fr

www.g-eau.net
► Presentación página 40

UMR HSM
Ciencias Hidrológicas de Montpellier
(CNRS, IRD, UM1, UM2)
57 científicos

Director: **Éric Servat**
eric.servat@msem.univ-montp2.fr

www.hydrosciences.org
► Presentación página 8

... continuación página 30

Integrar mejor los retos ecológicos en la gestión de ríos mediterráneos intermitentes

El proyecto MIRAGE (*Mediterranean Intermittent River manAGEment*), en el que participa la UMR HSM, asocia catorce institutos de investigación europeos, dos organismos que administran la cuenca y una universidad marroquí. Busca desarrollar y estudiar la aplicabilidad de las medidas dedicadas al control de crecidas súbitas y estiajes severos en los ríos mediterráneos intermitentes, teniendo en cuenta los retos ecológicos subyacentes. El proyecto MIRAGE contribuye así a aplicar la Directiva Marco Europea sobre el Agua y los medios acuáticos en el contorno mediterráneo, y a desarrollar esquemas de gestión y de ordenación de las cuencas hidrológicas que se aplican a los ríos mediterráneos intermitentes.

En efecto, los cursos de agua intermitentes de las cuencas hidrológicas mediterráneas se caracterizan por un prolongado período de acumulación de sustancias contaminantes durante el estiaje y por su exportación hacia zonas costeras aguas abajo, durante las crecidas súbitas. La naturaleza irregular de los flujos, conjugada a la movilización súbita de masas contaminantes, enfrenta a los administradores a grandes dificultades en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico, del control de inundaciones,

de la calidad del agua y de la contaminación de suelos. Aplicadas a las cuencas hidrográficas mediterráneas, las soluciones de gestión hídrica desarrolladas en contextos de flujo permanente no producen los resultados previstos, en razón de una respuesta absolutamente no lineal de los ríos intermitentes y ante la falta de situaciones de referencia en esta clase de entornos.

El proyecto MIRAGE aborda los temas siguientes: definición de los índices característicos de la hidrología y la ecología de estos ríos; desarrollo de soluciones para controlar la dinámica de las sustancias contaminantes en el agua y los sedimentos, para los nutrientes, la materia orgánica y las sustancias prioritarias; gestión de los efectos de las crecidas que movilizan las sustancias contaminantes. Estas acciones se llevan a cabo en cinco centros de estudio y están integradas en dos cuencas hidrológicas piloto en las cuales se observa una amplia gama de presiones antropogénicas.

Contactos: Marie-George Tournoud,
marie-george.tournoud@univ-montp2.fr
& **Jochen Froebrich,** jochen.froebrich@wur.nl

- Realización de instalaciones de control de pulverizadores nuevos y de procesos correlativos
- Constitución de modelos digitales de los depósitos de productos fitosanitarios;
- Atomización de sprays agrícolas: influencia de determinadas propiedades del líquido;
- Influencia de la calidad de la pulverización fitosanitaria en la transferencia de pesticidas en el medio ambiente;
- Productos fitosanitarios aplicados a la viña: pruebas de tamaño natural en entorno controlado;
- Modelo DRIFTX de transferencia de pesticidas en el aire en aplicaciones de productos fitosanitarios a la viña;
- Software *Ticsad* para la trazabilidad de pesticidas;
- Diseño ecológico y desarrollo de metodologías innovadoras en la fabricación de máquinas de dispersión;
- Análisis del ciclo de vida de los sistemas de saneamiento de aguas residuales.

La UMR ITAP participa en diferentes programas de investigación sobre la temática del agua, como el proyecto «Copolímeros para el tratamiento de aguas y recuperación de metales», e incluso el proyecto de investigación «Análisis medioambiental del ciclo de vida del sistema de saneamiento»...

En sus trabajos de investigación, se apoya en una plataforma tecnológica

de 3.000 m² para evaluar los sistemas de pulverización, que se denomina RéducPol. Se trata de una de las cuatro mesetas experimentales de la plataforma regional «Tecnología ecológica para procesos agrícolas ecológicos».

La UMR participa asimismo en la relación industrial y alienta la creación de empresas (Lisode, l'Avion Jaune, Oléobois, 3Liz, Ondalys, etc.) a través de la plataforma MINEA***.

Transformación de elementos contaminantes

El *Laboratorio de Biotecnología y Medio Ambiente* (UPR LBE, INRA), se sitúa en Narbonne. En cuanto a sus actividades científicas, depende de los departamentos «Medio Ambiente y Agronomía» y «Microbiología y Cadena Alimentaria», y en cuanto a los aspectos administrativos depende del centro INRA de Montpellier. Sus estudios se resumen a lo siguiente: Ecosistemas «por» y «en» los procesos, en un concepto de biorefinería medioambiental.

Desde hace más de 25 años, los estudios del LBE están orientados a tratar y/o valorizar los vertidos y desechos de la actividad humana, ya sean efluentes líquidos (especialmente los que resultan de la actividad agroalimentaria), residuos sólidos (de origen agrícola,

desechos domésticos o lodos resultantes de procesos de depuración) o biomasas específicas como las micro o macroalgas. Los procesos de transformación de sustancias contaminantes se producen a través de comunidades microbianas complejas en cuanto a su composición, diversidad y dinámica funcional. Las características de estas comunidades, sumadas al hecho de que su realización sólo puede efectuarse en medio «abierto», han impulsado al laboratorio a buscar una acción de tratamiento/valorización, orientando las reacciones microbianas de transformación que intervienen en las condiciones operatorias del proceso biológico. Esta valorización se aplica integrando explícitamente las exigencias de inocuidad sanitaria (por ejemplo, vinculadas a la presencia de residuos farmacéuticos, de detergentes y/o de agentes patógenos, etc.).

Los procesos de transformación de los elementos contaminantes se estudian en diferentes escalas:

- del proceso, a través de la caracterización de cinéticas, sistemas clave fisiológicos y dinámicas de poblaciones microbianas;
- del procedimiento, desarrollando procedimientos innovadores por optimización de la hidrodinámica o de la conducción de biorreactores, al igual que la utilización de técnicas fisicoquímicas de tratamiento concomitante. ...

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

> CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS

Estudio de una contaminación crónica del agua por un pesticida. Caso de la clordecone en las Antillas



© J.B. Charrier

▲ Cultivo de plátano en las Antillas francesas.

Insecticida organoclorado que se utilizó de 1971 a 1993 en las plantaciones de plátanos de las Antillas, la clordecone sigue persistiendo en el medio ambiente, especialmente en los suelos de las parcelas donde se lo aplicó. Ello induce una contaminación crónica de los cursos de agua y de las napas, entre los que se cuentan importantes recursos de agua potable al igual que algunos cultivos. Se conoce poco cómo se dispersa este pesticida fuertemente adsorbido por los suelos ricos en materias orgánicas, en medios con fuerte pluviometría; tampoco se conoce bien la dispersión que acaba contaminando las plantas.

En el marco del Plan Nacional Clordecone y del proyecto Chlordexco (programa «Substancias contaminantes, ecosistema y sanidad» de la ANR), las UPR HortSys y Sistemas bananeros (CIRAD), la UMR LISAH (INRA, IRD, Montpellier SupAgro), la INRA Guadalupe, la IRD Martinica y el *Agrosphere Institute*

(Alemania) llevan a cabo estudios sobre la contaminación de masas de agua, con el fin de:

- Buscar determinantes de la precipitación de la molécula por sales en el suelo y su transferencia hacia las napas: las características de adsorción y desorción de la clordecone se analizan según el tipo de suelo, la calidad de sus materias orgánicas y las características de la fase mineral. Se ha elaborado un modelo que prevé la migración de la clordecone según las propiedades hidrodinámicas de los suelos y los eventos climáticos.
- Identificar las fuentes y las dinámicas de contaminación de ríos a escala de la cuenca hidrológica: en Guadalupe se han instalado diferentes estaciones de medida para caracterizar el funcionamiento hidrológico de una cuenca elemental (20 ha) y de una cuenca de recursos hídricos (400 ha). Se ha analizado la contaminación del medio en los suelos y se ha hecho un seguimiento de las napas de agua y del agua de ríos. Se está elaborando un modelo con las vías de transferencia de las sustancias contaminantes y su dinámica.

Esta investigación busca identificar las principales zonas que contribuyen a la contaminación, y efectuar un seguimiento de la evolución de la presión contaminante con el paso del tiempo y a diferentes escalas. Asimismo, contribuye al diagnóstico de la importancia y de la evolución, a corto y largo plazo, de la contaminación de las aguas subterráneas y de superficie; también permite comprender mejor el estrés químico que padecen los organismos acuáticos. De este modo, contribuye a que los actores del caso puedan administrar mejor el medio natural.

Contactos: Marc Voltz, marc.voltz@supagro.inra.fr & Philippe Cattan, philippe.cattan@cirad.fr

Otros equipos que trabajan en este tema

UPR LGEI

Laboratorio de Ingeniería del Medio Ambiente Industrial (EMA)

45 científicos

Director: Miguel Lopez-Ferber
miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr

www.mines-ales.fr/LGEI

► Presentación página 12

UMR LISAH

Laboratorio de Interacciones entre Suelo-Sistemas Agrícolas-Sistemas Hidrológicos (INRA, IRD, Montpellier SupAgro)

34 científicos

Director: Jérôme Molénat
jerome.molenat@supagro.inra.fr

www.umn-lisah.fr

► Presentación página 15

UMR TETIS

Territorio, Medio Ambiente, Teledetección e Información Espacial (AgroParisTech, CIRAD, IRSTEA)

70 científicos

Director: Jean-Philippe Tonneau
jean-philippe.tonneau@cirad.fr

<http://tetis.teledetection.fr>

► Presentación página 46

Tener en cuenta ambas escalas en un contexto de actividades sostenibles es un objetivo que siempre ha orientado la investigación del LBE, dado que el objetivo es desarrollar dispositivos de remediación o de valorización de efluentes y residuos por exigencias económicas o reglamentarias, para lograr procedimientos ecológicos sobrios, de alto rendimiento, fiables y evolutivos.

Se abordan así seis grandes ejes de investigación:

- ❶ búsqueda de indicadores genéricos para describir la materia orgánica y otros productos vinculados a ella;
- ❷ conocimiento y papel de los parámetros bióticos/abióticos respecto a los servicios prestados;
- ❸ medios de acción y de control de procedimientos y ecosistemas asociados, para obrar activamente y no estar en actitud pasiva;
- ❹ evaluación y gestión del devenir y de los impactos medioambientales y sanitarios de los productos resultantes de los procedimientos de tratamiento;
- ❺ modelos descriptivos/explicativos/predictivos en ingeniería y ecología;

❻ ingeniería para el diseño ecológico de diferentes sectores de actividad.

Estos estudios abarcan un amplio rango de competencias disciplinarias: microbiología, ecología microbiana, ingeniería biológica, ingeniería de procesos, elaboración de modelos, automatización, análisis del ciclo de vida, ingeniería de proyectos y transferencia industrial.

El LBE es uno de los laboratorios líderes en el mundo, en el ámbito de la digestión anaeróbica. Desarrolla una investigación de alto nivel, aborda una pluralidad de temáticas, tiene un enfoque pluridisciplinario y una gran experiencia en transferencia de tecnología y de innovación (6 patentes, 11 contratos de licencia, premios a la innovación de Pollutec 2007, 2009, 2010). Cuenta con instalaciones de 4.757 m², de las cuales 1.882 m² de una nave para realizar experimentos y un equipo científico y analítico de alto nivel con más de 50 digestores (de 1 litro a varios m³), operativos las 24 horas y los 365 días del año.

Análisis de los constituyentes minerales contenidos en el agua

La *unidad de servicio «Análisis de Aguas, Suelos y Vegetales»* (US «Análisis», CIRAD) está constituida por 19 personas y se encuentra en el centro que el CIRAD tiene en Montpellier. Interviene en el análisis de los constituyentes minerales, incluyendo la búsqueda de rastros metálicos contenidos en los vegetales, aguas y suelos, al igual que en otros medios en relación con la agronomía (residuos de cosechas), el medio ambiente (lodos de las estaciones de depuración) o la alimentación (aceites de mesa). Tiene un papel transversal, ya que sus actividades están orientadas principalmente al servicio de otras unidades de investigación del CIRAD y otros organismos públicos (INRA, CNRS, IRD, etc.).

El laboratorio, autorizado a importar suelos de origen no europeo y habilitado por el Ministerio de Agricultura a realizar análisis de suelos, cuenta con material adecuado para analizar los elementos requeridos (Plasma de Acoplamiento Inductivo [ICP], espectrómetro de masa con plasma de acoplamiento inductivo [ICP-MS], colorímetros de flujo continuo, granulómetro automático, autómata pHímetro, analizadores elementales de C, H y N, espectrómetro de absorción atómica con atomización electrotrémica, cadena de polarografía). Asimismo, tiene la capacidad de organizar cursos para estudiantes o investigadores sobre las técnicas de análisis, de llevar a cabo estudios metodológicos sobre los aspectos vinculados al análisis al comportamiento de los medios, al igual que organizar estudios sobre el funcionamiento de los

laboratorios que trabajan en su ámbito de competencias o sobre temas más especializados, como la metrología o la calidad en laboratorio. El laboratorio ha recibido la certificación ISO-9001-2008 concedida por la Asociación Francesa de Calidad desde 2000, en cuatro tipos de prestaciones (análisis, formación profesional, peritaje y adaptación de métodos) que forman parte de sus misiones. Su actividad en el ámbito del agua concierne el análisis de elementos contenidos en el agua natural (ríos, lagos, aguas subterráneas) o utilizada (aguas residuales), incluyendo las sustancias características de una contaminación (metales pesados). ■

>CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS

Hidrogeofísica de perforación de pozos para observar la infiltración de agua salada: Observatorio de Campos, Mallorca (Baleares)



© M. Soulié

▲ Cultivo en las tierras bajas de Mallorca, Baleares.

El centro experimental y de observación de Campos (12.000 m²) estudia la infiltración de agua salada en los acuíferos costeros. Se encuentra en el contexto carbonatado del arrecife (Mioceno), muy permeable, que presenta algunas cavidades cársticas de escala métrica. En esta parte de la isla, la agricultura intensiva y la irrigación provocan una utilización excesiva de la napa freática costera, cuya consecuencia es la infiltración de agua de mar (hasta 15 km tierras adentro de la isla) con una contaminación progresiva de cloruros en las napas. El sitio experimental incluye una red de 14 perforaciones profundas (de 100 m como media y un pozo de 250 m); en seis de ellos se han extraído testigos de sondeo.

Este sitio se ha desarrollado con el apoyo del Servicio de Estudios y Planificación del Departamento de Recursos Hídricos (Ministerio de Medio Ambiente de Baleares), en el marco del

proyecto europeo ALIANCE (programa marco de investigación de la Unión Europea, FP5, 2002-2005), coordinado por el Laboratorio de Física Tectónica de Montpellier (incorporado a la UMR GM desde 2007). En el marco del Servicio de Observación e Investigación Medioambiental en el ámbito hidrogeológico y de OSU OREME, actualmente el equipo «Transferencias en medios porosos» de GM está a cargo de su seguimiento. Los principales objetivos científicos conciernen:

- la caracterización *in situ* de este sitio geológicamente muy heterogéneo a través de campañas de medida en pozos: estructuras geológicas atravesadas (imágenes de las paredes de los pozos), caracterización petrofísica en los testigos de sondeo e *in situ* (eléctrico, acústico, radioactividad natural) y caracterización de los flujos a través de un conjunto de métodos hidrogeofísicos (caudal, potencial espontáneo, comportamiento hidrodispersivo);
- el seguimiento continuo del acuífero sobre el que se efectúa el pozo, utilizando una instrumentación original diseñada en el laboratorio: en geofísica (igeo-SER), se efectúa una medida periódica (cotidiana) de parámetros tales como la resistividad eléctrica o el potencial electrocinético y, en hidrodinámica (piezómetros Hydreka o sondas Schlumberger) se miden los campos de presión, la temperatura y la carga iónica de los fluidos *in situ* (con un tubo *multi-packers* WestBay).

Se trata, fundamentalmente, de estudiar la respuesta del reservorio a las sollicitaciones exteriores, ya sean de origen antropogénico, naturales o inducidas en el marco de experiencias controladas. Recientemente, con la adopción de rutinas sistemáticas para observar la dinámica de los fluidos del subsuelo, se ha entablado una cooperación entre GM y las sociedades imaGeau (Montpellier) y Schlumberger-Westbay (Canadá).

Contacto: Philippe Gouze, gouze@gm.univ-montp2.fr



▲ Muestras de agua del río Carnoulès (Gard, Francia).

▼ Agua contaminada de las minas de Carnoulès.

© M. Héry

© O. Brunel

> CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR LAS ACTIVIDADES HUMANAS

Transformación de las sustancias contaminantes del medio acuático: el papel de los microorganismos

Las fuentes de contaminación química del agua se han multiplicado y diversificado durante el siglo pasado debido a las actividades humanas. Se trata de sustancias orgánicas o inorgánicas de origen natural o antropogénico. Los estudios realizados por la UMR HSM procuran comprender los mecanismos que participan en el devenir de estos contaminantes químicos (metales, metaloides, organometálicos, perturbadores endócrinos, residuos de medicamentos) en el medio ambiente, especialmente en el ciclo del agua.

Además de las características fisicoquímicas del medio, la actividad de los microorganismos tiene un papel crucial en la dinámica de estos agentes contaminantes, condicionando su forma química y/o su movilidad en el medio ambiente. Por su capacidad de adaptación, los microorganismos han desarrollado mecanismos metabólicos o de detoxificación que les permiten interactuar con los contaminantes químicos, incluso con los xenobióticos. La actividad microbiana conlleva una biodegradación de las formas orgánicas, una modificación de la forma química del compuesto, o bien su inmovilización por precipitación o complejación, que conlleva repercusiones en su movilidad y/o toxicidad.

Dada la complejidad de los factores que intervienen, es primordial desarrollar enfoques pluridisciplinarios que conjuguen microbiología y química, para comprender, prever

y eventualmente controlar los procesos de transferencia de los agentes contaminantes en el medio ambiente. Esto ha sido perfectamente ilustrado a través de estudios realizados por la UMR HSM sobre el drenaje de minerales ácidos. Estos estudios han logrado descifrar en parte los mecanismos biogeoquímicos que participan en la dinámica de los elementos metálicos y metaloides, en el sistema hidrológico aguas arriba de la antigua mina de Carnoulès (Gard), incluida en OSU OREME. Los microorganismos son al mismo tiempo actores que generan drenajes ácidos a partir de desechos mineros, controlando las reacciones de oxidación de los sulfuros, y los de la atenuación natural de la contaminación en el agua, promoviendo reacciones de oxidación del hierro y del arsénico, como resultado de su inmovilización en los sedimentos.

También se ha desarrollado este enfoque en el estudio de las transferencias y de la ecotoxicidad de los contaminantes metálicos y organometálicos resultantes de los sedimentos portuarios, en el marco del proyecto FUI ECODREDGE-MED o en el estudio del devenir de los residuos de medicamentos en medios costeros, en el marco del proyecto ANR PEPSEA.

**Contactos: Marina Héry, marina.hery@univ-montp2.fr
Corinne Casiot, casiot@msem.univ-montp2.fr
& Hélène Fenet, hfenet@univ-montp1.fr**

Sistema de depuración, a escala familiar, del agua contaminada con arsénico en la napa del río Mekong, en Camboya y Vietnam, que se utiliza para beber



© Davin Uu

Camboya y Vietnam, que los lugareños utilizan para beber.

▲ *Enfermedad de la piel causada por beber agua contaminada con arsénico en Camboya.*

El proyecto sobre «Evaluación de las características de las aguas subterráneas en zonas contaminadas con arsénico de Camboya y Vietnam, para desarrollar un sistema de depuración de agua a escala familiar» (2009-2010, financiado por la Agencia Universitaria de la Francofonía) ha sido coordinado por el Instituto de Tecnología de Camboya (Phnom-Penh) y realizado en colaboración con la Universidad Tecnológica de Ho Chi Min (Vietnam), y la US Análisis (CIRAD). El proyecto buscaba desarrollar un dispositivo sencillo, poco oneroso pero eficaz para reducir el arsénico contenido en el agua extraída de la napa del Mekong, en

Las concentraciones importantes de este elemento en el agua (de 40 a 1.200 µg/l, cuando el contenido máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud para el consumo humano es de 10 µg/l) son en parte de origen antropogénico (pesticidas), aunque en su mayor parte es natural, por simple disolución a partir de piritas arsenicales presentes aguas arriba de este gran río asiático. La toxicidad del arsénico, que se evidenció recientemente en esta región, causa necrosis de la piel (arsenicosis) que puede llevar a la muerte. El dispositivo desarrollado es un sencillo filtro de arena. En su construcción sólo se emplean materiales ordinarios: un sistema de aeración en forma de rociador de regadera, un lecho de clavos para enriquecer el medio con hierro y favorecer la formación de hidróxido férrico que captura el arsénico, un filtro de arena de granulometría creciente y un dispositivo final de filtrado hecho con cenizas de fardo de arroz. Este aparato resulta muy fácil de usar, tiene un mantenimiento sencillo y es eficaz a escala de una familia o de un pueblo pequeño. La actuación de la US Análisis en este estudio ha consistido en un apoyo analítico para caracterizar el agua cuyas muestras proceden de diferentes sitios en ambos países, validando la eficacia del dispositivo midiendo contenidos muy bajos (< 10 µg/l) de arsénico después del tratamiento.

Contactos: Daniel Babre, daniel.babre@cirad.fr & Karine Alary, karine.alary@cirad.fr

Proyecto CreativERU: concepto de ruptura aplicada al tratamiento intensivo y a la valorización de aguas residuales urbanas

El proyecto CreativERU (colaboración de unidades de investigación IEM, LBE, Laboratorio de Ingeniería de Sistemas Biológicos y de Procedimientos del INSA de Toulouse, Veolia Agua, Investigación e Innovación) ha sido financiado en el marco del programa ANR Ecotech abierto a la colaboración franco-china. El proyecto concierne el desarrollo de tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas, más específicamente el tratamiento de efluentes urbanos, con el reto innovador de lograr un impacto muy bajo en carbono y en agua. Este proyecto debe superar las últimas etapas científicas y validar el piloto industrial de un nuevo sector de actividad orientado al tratamiento intensivo de las aguas residuales urbanas, logrando una agua tratada de gran calidad, con la posibilidad de reutilizarla de modo directo (ya que son aguas desinfectadas), al tiempo que reduce la dimensión de las instalaciones necesarias y los costes operativos, incluso los costes de los equipos instalados.

Este proyecto busca definir un nuevo concepto de tratamiento, en ruptura con los sistemas convencionales sobre los puntos siguientes:

- generar un agua tratada de buena calidad, filtrándola con membranas porosas que permiten reutilizarla de forma directa, obteniendo una mayor protección de los recursos hídricos;

- disminuir considerablemente el consumo de oxígeno (y por lo tanto de energía) extrayendo físicamente la fracción orgánica para concentrarla en un estado en el que resulte fácilmente fermentable;
- optimizar una producción importante de biogás;
- optimizar el tratamiento de los nutrientes para favorecer su eliminación y/o su recuperación;
- mostrar la posibilidad de tratar las aguas residuales urbanas para obtener un agua dulce de una calidad determinada, con un balance energético positivo y un impacto medioambiental mínimo, en un contexto de desarrollo sostenible.

Un tratamiento como éste es un verdadero avance tecnológico en comparación con los sistemas intensivos actuales, exclusivamente definidos en términos de respuesta a las exigencias de calidad de las aguas tratadas con vistas a la fragilidad del medio receptor, sin tener en cuenta el impacto en carbono y en agua correspondiente al consumo energético y a la conveniencia de reciclar las aguas tratadas.

Contactos: Alain Grasmick, Alain.Grasmick@univ-montp2.fr & Jérôme Hamelin, jerome.hamelin@supagro.inra.fr



▲ Centro experimental del laboratorio LBE del INRA, Narbona, Francia.

© J.P. Steyer

> TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EFLUENTES

Evaluación medioambiental de la gestión y el uso de agua: cuantificar los impactos e identificar las transferencias de contaminación en el análisis del ciclo de vida (ACV)

> EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)



© P. Roux

El ACV es un medio eficaz y sistemático para evaluar el efecto de un producto, un servicio o un procedimiento en el medio ambiente. Con una lógica de «ciclo de vida» se busca reducir la presión que ejerce un producto en los recursos y en el medio ambiente durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta el final de su vida útil, ciclo que se suele denominar «de la cuna a la tumba». El ACV es al mismo tiempo un marco conceptual, un procedimiento (una serie de etapas normalizadas) y un conjunto de modelos que permiten convertir los flujos de sustancias emitidas o consumidas en impactos medioambientales potenciales.

▲ *Aplicación del método de evaluación del ciclo de vida a una planta de tratamiento de aguas residuales.*

Ya sea para usos agrícolas o domésticos, o para el saneamiento general, la calidad del agua o la eficiencia de su uso y de su tratamiento siempre es una cuestión de equilibrio entre la utilización del recurso hídrico como tal y la aplicación de tecnologías que consumen mucho material y energía pero permiten ahorrar agua o tratarla. De este modo, clásicamente, la eficacia de una estación de tratamiento de aguas residuales se medía únicamente por la calidad de su vertidos. Pero ese tratamiento genera otros impactos medioambientales durante la construcción, la operación, el funcionamiento o el desmantelamiento del sistema de saneamiento en su globalidad. De tal suerte, la reducción de los impactos locales como la eutrofización de los medios acuáticos o la ecotoxicidad en agua dulce, se pagan con transferencias de contaminación en los impactos regionales o globales vinculados a la infraestructura y al funcionamiento de la estación. El análisis del ciclo de vida medioambiental es el único método de evaluación capaz de cuantificar estos impactos durante todo el ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas empleadas, hasta el final de la vida útil de los sistemas estudiados. Sumadas a otros enfoques locales, como los estudios de impacto que tienen en cuenta las características específicas del sitio, con el ACV se evita la transferencia de sustancias contaminantes.

El polo ELSA[®] de Montpellier, que incluye las unidades de investigación ITAP, LBE y LGEI, trabaja en estrecha colaboración con la UMR G-EAU en estos temas de evaluación medioambiental, en correlación con la gestión y el uso del agua. Desde 2010, un proyecto financiado por la Oficina Nacional de Agua y Medios Acuáticos busca evaluar las condiciones medioambientales del sistema de saneamiento para pequeñas y medianas administraciones regionales en su conjunto (red de saneamiento y estaciones de depuración). Otros estudios están en curso en el polo ELSA, en conexión con los usos del agua: ACV territorial aplicada en la Cuenca de Thau, ACV de un perímetro irrigado, ACV de los usos del agua de una megalópolis, al igual que estudios sobre la producción de micro o macro algas (INRA-LBE y Montpellier SupAgro). Todos estos estudios y temas de investigación inherentes buscan tener más en cuenta el agua y su tratamiento en los ACV, ya que al mismo tiempo se trata de un medio que recibe impactos y un recurso que puede tener mayor o menor capacidad de renovación, según su procedencia y el uso que se haga.

**Contactos: Véronique Bellon-Maurel, veronique.bellon@irstea.fr
Philippe Roux, philippe.roux@irstea.fr
& Sami Bouarfa, sami.bouarfa@irstea.fr**

* Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment (IRSTEA, CIRAD, EMA, Montpellier SupAgro, INRA): www.elsa-lca.org

Tratamiento de efluentes industriales para reutilizar el agua: caso de la industria de cerámica

El agua es una preocupación y un reto primordial en las próximas décadas debido al creciente consumo en todos los sectores de actividad; a ello se suma el desequilibrio de la renovación del recurso hídrico. Esta situación es especialmente crítica en los países del contorno mediterráneo. Las aguas residuales se convierten, pues, en un recurso potencial y económicamente interesante para los industriales, a condición de poder valorizarlas con un tratamiento adecuado. En este contexto, la utilización de los procesos con membranas para el tratamiento de efluentes es una de las soluciones que se deben considerar.

La industrial española de cerámica es la primera en Europa y la segunda a nivel mundial. Presenta la particularidad de estar concentrada en una pequeña región de la provincia de Castellón, en torno de la ciudad de Castellón de la Plana. Las principales dificultades para reutilizar las aguas residuales de esta industria residen, por una parte, en un alto contenido de iones de calcio y de sulfato, y por otra parte, en la presencia de sales de boro que son contaminantes para el consumo humano y el cultivo de cítricos.

El proyecto Nanoboron (separación por membrana del boro contenido en los efluentes, colaboración con IEM, Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón de la Plana [IMECA], Gardenia Químicas S.A., Estudio Cerámico S.L.) se ha desarrollado en

tres etapas: (1) definir los procedimientos aplicables y una factibilidad a escala del laboratorio, (2) elaborar el modelo y diseñar un piloto de demostración, y (3) llevar a cabo pruebas en el terreno y adaptar el dispositivo a las condiciones operativas con un balance económico.

En la etapa de factibilidad, efectuada en el laboratorio (IEM), se ha podido determinar la conjunción de los procedimientos de microfiltración y de nanofiltración; esto ha conducido a diseñar el piloto de demostración. Las pruebas de terreno y el estudio técnico y económico realizado por IMECA han confirmado este enfoque.

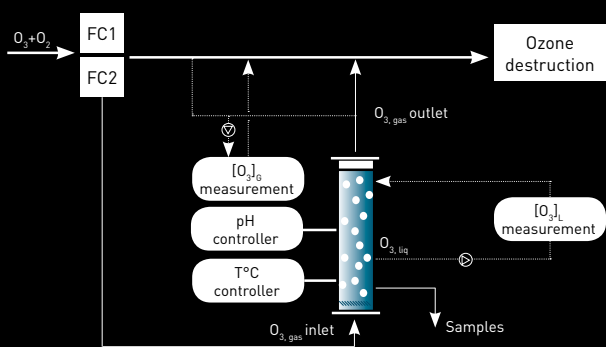


© A. Deratini

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

▲ *Máquina piloto que asocia micro y nanofiltración para el tratamiento de efluentes industriales construida por IEM e IMECA PROCESS.*

Proyecto PETZECO: tratamiento de efluentes acuosos petroquímicos por combinación de ozono ceolita



La contaminación de aguas y sedimentos con hidrocarburos aromáticos policíclicos es innegable y constituye un riesgo real para el medio ambiente y la salud. Esta situación ha conducido a la Comisión Europea a clasificarlos como sustancias prioritarias. Las operaciones clásicas de oxidación química o de adsorción con carbón activado tienen límites en términos de costes y de mano de obra. En cambio, los procesos de oxidación avanzada son adecuados para degradar los compuestos biorrefractarios o tóxicos, gracias a la utilización de radicales hidroxilos. El estudio que se ha llevado a cabo en el proyecto PETZECO (colaboración IEM, Instituto Charles Gerhardt Montpellier, Laboratorio de Ingeniería Química, Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Total) busca desarrollar una técnica punta para el

tratamiento de aguas residuales industriales, difíciles de procesar con otros medios.

La idea principal de este proyecto es utilizar el ozono combinado con materiales ceolíticos innovadores, combinando la descomposición del ozono en radicales hidroxilos a la adsorción en sólidos. Esta combinación provoca una sinergia que debería incrementar la velocidad de degradación. La utilización de un sólido poroso mineral debería presentar una buena resistencia a los ataques oxidantes y asegurar que se mantengan las propiedades adsorbentes y catalíticas a largo plazo. El desarrollo de este nuevo adsorbente/catalizador mesoporoso sólido, de tipo ceolita, es uno de los retos de este proyecto porque existen muy pocos estudios en este ámbito. La utilización de esta combinación de catalizadores con el ozono, en un proceso eficaz y de bajo coste, constituye otro reto de este estudio. Se considerarán específicamente los aspectos reactivos y mecanicistas para identificar las funciones más interesantes del sólido al efectuarse la síntesis de ceolitas. Se estudian detenidamente los parámetros que dimensionan el proceso de oxidación en las diferentes configuraciones (desde el lecho fluidificado hasta la separación por membrana del catalizador). El objetivo último del proyecto es utilizar los materiales monolitos que contienen el nuevo catalizador en efluentes petroquímicos reales.

Contacto: **Stephan Brosillon, stephan.brosillon@univ-montp2.fr**

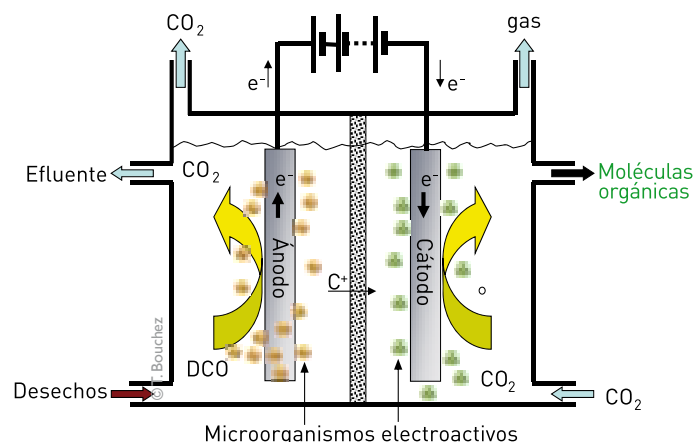
> VALORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y DE DESECHOS

Proyecto BIORARE: electrosíntesis microbiana para refino de desechos residuales

El proyecto BIORARE (colaboración entre la UPR «Sistemas Hídricos y Procesos Biológicos» y «Gestión Medioambiental y Tratamiento Biológico de Desechos» [IRSTEA], Laboratorio de Ingeniería Química [UMR CNRS-Institut National Polytechnique de Toulouse-Université Paul Sabatier de Toulouse], LBE [INRA], Suez-Environnement) concierne diferentes modos de utilizar el concepto de electrosíntesis microbiana para la refinería biológica de desechos y efluentes. Gracias a este reciente descubrimiento, se podrían producir moléculas de alto valor añadido a partir de la materia orgánica y de la energía contenida en los desechos. Básicamente, la idea es utilizar la tecnología de los sistemas bioquímicos y electroquímicos, no para producir electricidad como en las «biopilas», sino para orientar las reacciones metabólicas del proceso biológico a la producción de moléculas «plataforma», de gran valor añadido, que se pueden emplear en química verde. Estos sistemas de electrosíntesis microbiana tienen ventajas fundamentales:

- separación física entre un compartimento «sucio», que recibe la materia orgánica que se va a tratar, y un compartimento «limpio», donde se sintetizan las moléculas que se buscan;
- posibilidad de orientar los flujos metabólicos y seleccionar las reacciones de oxidación que se producen en el cátodo a partir de la regulación del potencial.

Para establecer un pliego de condiciones detallado sobre la aplicación de la electrosíntesis microbiana, se identificarán los componentes clave y las especificaciones correspondientes, para elaborar posteriormente una estrategia de desarrollo industrial. Pero, ante todo, se habrán de reforzar los fundamentos científicos y técnicos de la electrosíntesis microbiana. Las relaciones entre las condiciones operativas y las moléculas efectivamente sintetizadas deberán confirmarse



▲ Ilustración del concepto de bioelectrosíntesis.

experimentalmente a escala del laboratorio. Para ello, se adoptará un enfoque pluridisciplinario que permita identificar y comprender mejor el potencial tecnológico de estos sistemas. Paralelamente, se hará una evaluación medioambiental de las estrategias de correlación de estos sistemas con las instalaciones industriales existentes. Este estudio se llevará a cabo basándose en determinados escenarios de referencia, a través de los cuales se podrán identificar los componentes más sensibles desde un punto de vista medioambiental, para orientar las opciones técnicas o industriales. Por último, se tendrá en cuenta un análisis económico, social y reglamentario para centrar mejor las estrategias futuras de desarrollo industrial. En su defecto, se tendrán en cuenta las medidas de protección de la propiedad intelectual correspondientes.

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

> VALORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y DE DESECHOS

Irrigar con aguas residuales tratadas: evaluar mejor los riesgos

El mundo enfrenta un problema de escasez de recursos hídricos debido al recalentamiento de la Tierra, al incremento de la población y a la diversificación de la utilización del agua. La reutilización de las aguas residuales tratadas puede ayudar a superarlo, ya que permite dedicar prioritariamente el agua convencional a los usos que exigen mayor calidad, evitando una explotación excesiva del recurso hídrico y la salinización de los acuíferos costeros. La irrigación con aguas residuales tratadas evita que esas aguas se viertan en los ríos, los acuíferos o el mar, y la agricultura aprovecha su valor fertilizante por el nitrógeno o los fosfatos que contiene. Irrigar con aguas residuales tratadas implica riesgos para el medio ambiente y para la salud humana, ya que esas aguas pueden contener diversos compuestos tóxicos para la flora, la fauna y el ser humano, al igual que agentes patógenos del hombre de origen entérico. Su salinidad puede afectar los suelos. El riesgo depende del origen de esta agua, de su tratamiento, su administración, el estado sanitario de la población y la normativa existente.

La UMR EMMAH participa actualmente en un aspecto, a escala europea: prácticas, diversidad de riesgos, epidemias de origen hídrico, devenir de los agentes contaminantes y agentes patógenos en el medio ambiente, cuantificación del riesgo, normativas que presentan ventajas y dificultades de aplicación. Ha iniciado un estudio sobre el devenir de los virus en el medio

ambiente, en particular con un sustituto del virus de la hepatitis A (virus de la *Hépatitis Murina*). Desea ampliar ese estudio al *Norovirus*, responsable de la mayor parte de las gastroenteritis de origen viral, e incluso al *Rotavirus*, responsable de esta clase de perturbaciones en el niño. EMMAH se interesa en el futuro de este virus en el suelo, en la superficie y en la atmósfera. Asimismo, se interesará en el devenir de ciertas bacterias resistentes a los antibióticos, detectadas tanto a la entrada como a la salida de las estaciones de depuración de agua, al igual que a los efectos de la salinidad de las aguas residuales en la estabilidad estructural de los suelos. La UMR utiliza diversos métodos y desarrolla modelos que asocian procesos diferentes: visita de sitios con reutilización de aguas residuales tratadas, experimentación de terreno y en laboratorio, análisis de los procesos subyacente al devenir de los agentes patógenos estudiados.

De este modo, la UMR EMMAH desea ayudar a las autoridades públicas a tomar decisiones más acertadas en materia de reutilización de aguas residuales tratadas, gracias a un mejor conocimiento de los procesos asociados al devenir de determinados virus y bacterias en el medio, y a su integración en los modelos mecanicistas. De este modo, trabajará en la definición de nuevos sensores de alerta.

Contacto: Pierre Renault, pierre.renault@avignon.inra.fr





T. Ruf © IRD

▲ Sistema tradicional de gestión del agua de irrigación en Marruecos.

Gestión de recursos y de usos: *instituciones, territorios y sociedades*

La escasez de un recurso vital como el agua para el consumo de las sociedades, para los rebaños, para regar los cultivos o para producir energía, ha llevado a establecer muy pronto una serie de reglas que determinan cómo acceder y compartir este recurso. Obviamente, estas reglas están estrechamente vinculadas con las ciencias económicas, la gestión empresarial y las ciencias sociales. No obstante, recurrir a estas disciplinas para invertir una tendencia al agotamiento y a la degradación de este recurso natural ha sido durante mucho tiempo objeto de cuestionamientos e incluso de controversias.

La virulencia del debate entre los que conceden la prioridad a las ciencias hidrológicas y aquellos que son favorables a una movilización de las ciencias «no duras» se ha atenuado al irse cobrando conciencia de la creciente escasez del recurso hídrico, por la desecación de los cursos de agua y de las zonas húmedas en período de estiaje, pero también por los conflictos entre los diferentes usos, especialmente en zonas mediterráneas y semiáridas.

La gestión de la demanda de agua encarna la idea de que reducir el consumo de agua constituye una condición previa a la movilización de cualquier recurso, ya sea nuevo u alternativo, con el objetivo de lograr una gestión equilibrada del recurso hídrico y de los usos correspondientes. Ante esta situación, los directores de recursos hídricos de los países mediterráneos, que se reunieron en Fréjus (Francia) en 1997, preconizan la aplicación del concepto de gestión de la demanda de agua. Algunos autores recomiendan evitar el despilfarro de agua e incluso reducir el consumo que se hace en cada actividad, recurriendo a tecnologías e incitaciones adecuadas. También sugieren una gestión intersectorial que transfiera, por ejemplo, los derechos de uso de la agricultura, sector que más agua consume, hacia otros usos que se consideren más «útiles», como el suministro de agua potable a las ciudades.

Los científicos aplican los esquemas de las ciencias económicas, sociales y empresariales para comprender, formalizar o regular los comportamientos individuales y colectivos de atribución y consumo de agua, buscando una reducción general del consumo en las escalas adecuadas. Con esta perspectiva, asistimos claramente a una ruptura del enfoque tradicional considerando, además de las actuaciones necesarias para movilizar este recurso, las actuaciones que influyen en la demanda, a diferentes escalas y de modo intersectorial.

Este cambio de paradigma refleja un nuevo modo de considerar la gestión de los recursos hídricos, que resulta cada vez más apropiado para los actores de este sector. También aparece progresivamente en los textos reglamentarios, especialmente en la Directiva Marco Europea sobre el Agua (DMA, 2000), la primera directiva que se basa tan ampliamente en conceptos económicos, que impone, como mínimo, diferentes incitaciones para reducir el consumo de agua a través de instrumentos tarifarios y recomienda una gestión concertada, además de instaurar una participación del sector público.

La comunidad científica regional supera, por la extensión y la variedad de su producción, el simple enfoque de una gestión de la demanda de agua, y cuenta con una serie de puntos destacados que le permiten:

- Contribuir a elaborar políticas medioambientales públicas y a articularlas con las políticas territoriales de desarrollo económico, de ordenación territorial y de urbanismo. Además, analiza las condiciones para un buen gobierno del recurso hídrico, las utilidades y los servicios que permitan lograr los objetivos en materia de calidad del agua y de los medios acuáticos, compartidos por los diferentes actores en sus respectivas escalas territoriales, derivando de todo ello nuevos modos de gestión y de administración.
- Diseñar una amplia gama de instrumentos reglamentarios, económicos, institucionales o técnicos que puedan apoyar la aplicación de las políticas medioambientales, y su eficacia, a escala de los «territorios del agua». Las innovaciones en este ámbito dependen, sobre todo, del desarrollo de plataformas para elaborar modelos y simulaciones, a través de los cuales se puedan estudiar las interacciones entre los mecanismos biofísicos y los procesos de toma de decisión, entre los diferentes niveles de gestión y de decisión, colaborando en los procesos de toma de decisión de los diferentes actores.
- La mayoría de las unidades de investigación interviene en una o varias regiones mediterráneas, en el marco de proyectos internacionales de investigación, y en este contexto se aborda a menudo la problemática de la gestión de riesgos y de vulnerabilidades territoriales por inundaciones y sequías. Según las previsiones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, estos eventos extremos se irán acentuando, haciendo imprescindible que se mejore la resistencia de los territorios y desarrollando su capacidad de adaptación a medio plazo.

Recorriendo los ejes de investigación de los laboratorios y los proyectos de investigación incluidos en este capítulo, aparecen en ellos claramente dos características:

- Centrar el estudio en el territorio, lugar donde se articulan las políticas medioambientales con otras políticas públicas; un enfoque de esta problemática que aparece casi sistemáticamente. De allí la importancia creciente de los observatorios, del buen gobierno y del control de la información espacializada.
- Los estudios conjugan el enfoque de diferentes disciplinas, ya sea en el seno de las unidades de investigación multidisciplinarias, o bien a través de mecanismos de cooperación, lo que da pruebas de un desarrollo reciente y notable del enfoque multidisciplinario entre las ciencias hidrológicas (*sensu lato*) y las ciencias económicas, empresariales y sociales.

Con estas características y el apoyo de un polo de competitividad mundial en torno del agua, la comunidad científica regional adquiere la configuración necesaria para contribuir a resolver los retos que plantea la sociedad y el deterioro de los recursos hídricos.

Thierry Rieu (UMR G-Eau)

Gestión de recursos y de usos: *instituciones, territorios y sociedades*

Gestión sostenible de recursos hídricos, actores y usos

La **UMR G-EAU: Gestión del Agua, Actores y Usos** (AgroParisTech, IRSTEA, CIHEAM-IAMM, CIRAD, IRD, Montpellier SupAgro) suministra conocimientos e identifica vectores de actuación para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Se privilegian los continentes europeo y africano, centrándose la atención sobre todo en el Mediterráneo, con la ambición de desarrollar enfoques multidisciplinares que conjugan ciencias del universo (hidrología, hidráulica), ingeniería (automatismos, mecánica de fluidos), ciencias de la vida, (agronomía, hidrobiología) y ciencias humanas y sociales (economía, sociología, ciencias políticas). La constitución de modelos constituye un mediador entre las diferentes disciplinas, pero también entre los investigadores y los demás interesados. Las actividades de investigación de la UMR se han estructurado en tres ejes, a los cuales se añade un 4º eje transversal dedicado a la formación.

Los estudios correspondientes al eje 1, «De la gestión operativa al análisis de escenarios para asignar recursos», buscan mejorar la gestión de un agua escasa con un enfoque biofísico, principalmente cuantitativo; los aspectos cualitativos se abordan en cambio desde un punto de vista hidrobiológico. La UMR se interesa en el agua como recurso natural, ya sea en movimiento rápido (ríos, conductos) o lento (acuíferos), o bien almacenada de modo provisorio en presas o estanques, en regiones que padecen escasez. Para abordar los retos de una gestión del agua, es menester aplicar dos tipos de enfoque: (1) regulación de los sistemas naturales o artificiales para una gestión operativa en «tiempo

real»; (2) análisis y consideración del impacto de los cambios globales en la gestión estratégica de las cuencas antropizadas (escalas temporales más amplias). Las herramientas y actuaciones van de la producción de datos a través de instrumentos de terreno, a la elaboración de modelos físicos.

Los estudios correspondientes al eje 2, «Políticas públicas, gestión de servicios y riesgos vinculados al agua» abordan por una parte la actuación pública, la regulación y la gestión en diferentes planos y, por otra parte, los comportamientos y la vulnerabilidad de cara a los riesgos. En cuanto a la actuación de las autoridades públicas, se apunta especialmente (i) a las instalaciones y al análisis de las dinámicas institucionales en la realización de acciones colectivas; (ii) a la construcción de observatorios e indicadores hidrológicos y al papel que les cabe; (iii) a la regulación y la sostenibilidad de los servicios de suministro y saneamiento del agua; (iv) a los enfoques económicos e institucionales de las relaciones entre agricultura y servicios que se ocupan de los sistemas hidrológicos. En cuanto a los comportamientos, se cualifica la demanda de agua correspondiente a los diferentes usos, para evaluar su sensibilidad a las diferentes formas de regulación, o se analizan las dimensiones económicas y sociales de la vulnerabilidad de cara al riesgo (inundaciones, contaminaciones).

Los estudios del eje 3 «agricultura irrigada» abordan las técnicas de irrigación en tres niveles, pasando del material a los territorios irrigados, y concentrándose en las fincas agrícolas, a través de tres temáticas: (i) análisis de los procesos físicos para el diseño y la sostenibilidad de los dispositivos de irrigación; (ii) evaluación con criterios y escalas múltiples del rendimiento de los sistemas irrigados; (iii) acompañamiento de las innovaciones técnicas e institucionales en los territorios irrigados. ...

Los principales equipos

UMR ART-Dev

**Actores, Recursos y Territorio
en el Desarrollo**

(CNRS, UM3, CIRAD, UMI 1, UPVD)
55 científicos

Director: Geneviève Cortès
genevieve.cortes@univ-montp3.fr
<http://recherche.univ-montp3.fr/artdev>
► Presentación página 48

UMR ESPACE-DEV

Espacio para el Desarrollo

(IRD, UM2, UAG, UR)

60 científicos

Director: Frédéric Huynh
frederic.huynh@ird.fr
www.espace-dev.fr
► Presentación página 47

UMR G-EAU

Gestión del Agua, Actores, Usos

(AgroParisTech, IRSTEA, CIHEAM-IAMM, CIRAD,
IRD, Montpellier SupAgro)

75 científicos

Director: Patrice Garin
patrice.garin@irstea.fr
www.g-eau.net
► Presentación página 40

UMR GRED

**Gobernanza, Riesgo, Medio ambiente,
Desarrollo**

(IRD, UM3)

59 científicos

Director: Francis Laloe
francis.laloe@ird.fr
www.gred.ird.fr
► Presentación página 42

UPR GREEN

**Gestión de Recursos Naturales
Renovables y Medioambiente**

(CIRAD)

14 científicos

Director: Martine Antona
martine.antona@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/green
► Presentación página 49

... continuación página 42



T. Ruf © IRD

▲ Sequía en el valle de Tafilalet, Marruecos.

> PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS VINCULADOS AL AGUA

Sequías y conflictos

El cambio climático va a generar un incremento de la cantidad de eventos climáticos anormales, como sequías, inundaciones y huracanes. Estas anomalías climáticas podrían tener consecuencias desastrosas para los países que tienen escasez de agua potable y para las economías que dependen de la agricultura local. Dado que las actividades agrícolas constituyen del 60% al 100% de los ingresos de los hogares africanos más pobres y que esas familias no suelen contar con agua potable, África subsahariana es una de las regiones del mundo más afectadas por el cambio climático. Actualmente todos están de acuerdo en que la sequía y la desertificación son una de las causas que han contribuido a la guerra civil de Darfour, ya que la sequía ha incrementado las tensiones vinculadas a la utilización de las tierras cultivables y del agua, aun cuando esta guerra ha opuesto dos etnias diferentes. Por lo tanto, se puede decir que el clima ha generado conflictos al incrementar la competición por los recursos.

Los estudios realizados por LAMETA analizan los vínculos existentes entre el clima y el desencadenamiento de guerras civiles en África Subsahariana. Estos estudios forman parte de

una serie más amplia de trabajos de investigación (por ejemplo, publicados en *Nature*) sobre el papel de los factores naturales en la aparición de conflictos. Los estudios anteriores han analizado el vínculo entre anomalías climáticas de corto plazo y gestación de guerras civiles, y han utilizado únicamente los datos brutos de las precipitaciones y la temperatura. En otras palabras, la literatura se ha centrado en el efecto «choque» climático, pero en cambio no hay ningún consenso sobre la existencia misma de este vínculo. En nuestros estudios, nos centramos en cambio en la sequía vista como un «stock» y no en los choques climáticos. Para ello, empleamos el índice de sequía de Palmer*, que resulta perfecto para captar las consecuencias de las variaciones climáticas en la actividad agrícola, sin dejar de lado el hecho de que la sequía es un fenómeno acumulativo. Los resultados demuestran la existencia de una relación concreta entre sequía y guerra civil y, a la inversa de los estudios anteriores, el resultado es muy robusto.

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

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

Prevención y lucha contra las inundaciones, contaminaciones y sumersión marina en Languedoc-Roussillon y en Provence-Alpes-Côte d'Azur



© UMR LGEI

▲ Dispositivo experimental de medida HYDROGUARD.

El proyecto HYDROGUARD* (2009-2012, proyecto certificado por el Polo de Competitividad «Gestión de riesgos y vulnerabilidad territorial») desarrolla un sistema de vigilancia fiable, autónomo y automatizado de los cursos de agua y de la línea costera de las regiones Languedoc-Roussillon y Provence-Alpes-Côte d'Azur. En términos generales, se busca que las administraciones locales puedan ejercer una gestión sostenible de las masas de agua y del territorio. Las instalaciones pueden ser fijas o móviles, sobre boyas o instaladas en lugares sensibles, o bien transportables e instaladas en zonas variables cuando se producen alertas.

Para rentabilizar las inversiones, las balizas de los sistemas embarcados de comunicación y cálculo, equipadas con detectores/sensores, no sirven únicamente en caso de alerta (crecidas o tormentas), sino también en tiempo normal, para detectar la contaminación, efectuar un seguimiento de la evolución de las masas de agua y de la línea de costa, efectuar medidas de erosión o cualquier otro indicador pertinente. Así, estos dispositivos podrán integrarse en las estrategias de vigilancia, de alerta (especialmente en materia de lucha contra inundaciones y sumersión marina) y de gestión de masas de agua. Este nuevo dispositivo es coherente con la legislación europea, la normativa nacional y las normas en vigor. En caso de alerta, el dispositivo propuesto es la herramienta privilegiada para anticipar acciones, contribuir a la toma de decisiones y orientar los socorros, gracias a la información adquirida a través de los detectores/sensores. En situación normal, sin alerta, el sistema comunica información pertinente a los diferentes servicios del Estado, a las administraciones locales, los particulares, los administradores de los centros industriales y los concesionarios de servicios. La originalidad del sistema consiste en su descentralización, su proximidad, su redundancia y su interoperabilidad con los demás sistemas existentes (CEMER, ALADIN, etc.).

Este proyecto trabaja a escala municipal en dos sitios piloto (el municipio de Alès y el *Étang de Thau*, con sus municipios colindantes). Estas zonas son buenos ejemplos de la problemática que presenta la gestión de masas de agua, los riesgos de crecida rápida, de sumersión marina o lagunar, y de ruptura del cordón de dunas, con pesadas consecuencias sobre los seres humanos, el turismo y la economía. El sistema incluirá herramientas de visualización y vigilancia en 2D/3D, para visualizar las zonas vigiladas utilizando flujos de datos adecuados y sintetizar los datos de las balizas destinados a los usuarios finales en tiempo real.

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

* HYDROGUARD: Equipos y tecnologías autónomos para optimizar la gestión de los medios de prevención y lucha contra inundaciones, contaminaciones y sumersión marina en LR y PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur)

G-EAU cuenta con cuatro sitios experimentales: el laboratorio de estudios e investigaciones sobre materiales para irrigación, el canal de Gignac sobre la regulación de los canales, y los campos de Merle y de La Valette, sobre el estudio de transferencia de agua y de los solutos en irrigación.

G-EAU contribuye a la elaboración del Programa SICMED (Superficies e Interfaces Continentales en el Mediterráneo). A nivel internacional, sus principales aliados son la universidad de Wageningen y la universidad tecnológica de Delft en los Países Bajos, la UFZ (*Umweltforschungszentrum*) de Leipzig en Alemania, el CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) y la universidad nacional en Australia.

Gobernanza y gestión de los recursos hídricos

La **UMR GRED: Gobernanza, Riesgo, Medio Ambiente, Desarrollo (IRD, UM3)** tiene como campo general de investigación las relaciones de las sociedades con el «medio ambiente» y las relaciones entre los miembros de esas sociedades con el «medio ambiente».

Este campo se vincula a la «cuestión socio medioambiental», articulando buen gobierno y medio ambiente. En el plano científico, se busca comprender de qué modo las nuevas exigencias y vulnerabilidades modifican la gobernanza y la gestión del territorio y de los recursos.

Los principales equipos

UMR LAMETA
Laboratorio de Montpellier de Economía Teórica y Aplicada
(CNRS, INRA, Montpellier SupAgra, UMI)
50 científicos
Director: Jean-Michel Salles
sallesjm@supagro.inra.fr
www.lameta.univ-montp1.fr
► Presentación página 44

UMR TETIS
Territorios, Medio Ambiente, Teledetección e Información Espacial
(AgroParisTech, CIRAD, IRSTEA)
70 científicos
Director: Jean-Philippe Tonneau
jean-philippe.tonneau@cirad.fr
<http://tetis.teledetection.fr>
► Presentación página 46

... continuación página 44

Tres ejes estructuran la UMR: (1) conservación de la biodiversidad y dinámica de los sistemas rurales; (2) buen gobierno y gestión de recursos y territorios; (3) riesgo y vulnerabilidad de sociedades y territorios. Unas acciones transversales se refieren a los temas generales de animación (conflictos y acceso a los recursos) y/o a los estudios relativos a medios específicos (bosques) comunes a los tres ejes. Los estudios realizados por la UMR sobre la temática del agua se inscriben en el eje 2 de investigación. En efecto, el buen gobierno del agua y de los sistemas hídricos constituye al mismo tiempo un objeto prioritario de las políticas públicas de desarrollo y un reto estratégico de la dinámica de las sociedades, que revelan los

conflictos frecuentes asociados al acceso a los recursos territoriales y a las discriminaciones de acceso.

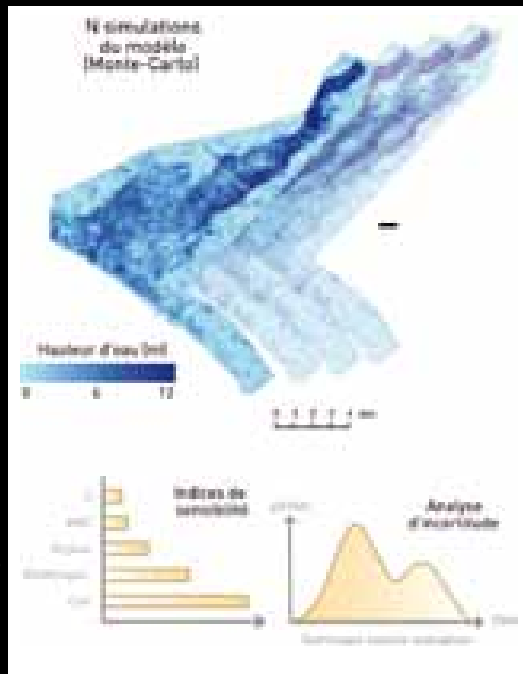
El equipo «Gestión social del agua» se dedica a las sociedades rurales, al estudio de las mutaciones que las afectan en el marco de una presión creciente sobre el recurso hídrico, y a los cambios en su entorno económico y sociopolítico. Estos estudios se aplican especialmente a los retos que suscita el reparto de los recursos y el poder de tomar decisiones entre los actores públicos, privados y comunitarios. Los estudios abordan los modos de coordinación y de mediación de los actores, de cara a los conflictos de uso que se renuevan, provocando así cambios e innovaciones. Estos estudios se inscriben en un enfoque

contextualizado y procesual, anclado en la historicidad de las trayectorias y de las situaciones. Se presta un interés particular a las estrategias de los actores individuales y colectivos, que se ven constreñidos por las matrices institucionales existentes y obran en diferentes escalas para hacerlas evolucionar.

El equipo también se interesa en el establecimiento de políticas públicas y, por ende, en el Estado como actor central de la transformación de los regímenes hídricos, de la adopción de reglas formales y del establecimiento de estructuras incitativas. Cuestiona así la distribución social de los costes y beneficios vinculados a las diferentes opciones de las políticas públicas, y a las dimensiones ideológicas y cognitivas de las políticas públicas. ...

>PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS VINCULADOS AL AGUA

Evaluación económica de las políticas de gestión de inundaciones: análisis de la sensibilidad espacial de la herramienta de análisis coste-beneficio – Daños evitados



N. Saint-Geours © UMR TETIS

▲ Modelo de evaluación de daños de inundación en el valle del Orb (Hérault, Francia): el formulario azul es el mapa de los niveles de sumersión en el bajo valle del Orb (color más oscuro = nivel de agua más alto).

Los gráficos representan respectivamente los índices de sensibilidad de los diferentes datos de entrada utilizados en el modelo (a la izquierda) y la incertidumbre sobre los daños totales causados por la inundación, calculada con un análisis de coste-beneficio y un modelo de daños evitados (a la derecha).

En Francia, en el marco de la gestión de inundaciones, el Estado prevé que se lleve a cabo sistemáticamente una evaluación de la pertinencia económica de las políticas desarrolladas. A estos fines, se ha previsto poner a disposición de los organismos ordenantes o adjudicadores una herramienta de análisis del coste-beneficio, fundada en el método de los daños evitados (herramienta ACB-DE). Esta herramienta produce diversos indicadores espacializados destinados a comparar la eficacia económica de diferentes políticas de prevención del riesgo de inundación. Estos indicadores se basan en la evaluación de los daños potenciales correspondientes a diversos escenarios de crecidas y se evalúan por comparación de los datos espacializados relativos al evento aleatorio, a la ocupación del suelo y a la vulnerabilidad de la situación.

El control de las incertidumbres que permite esta herramienta es un reto de singular importancia para cuantificar sus resultados. A través de una colaboración científica con los interlocutores del Plan Ródano, un actor punta del desarrollo del ACB-DE en Francia, el IRSTEA, en cooperación con AgroParisTech y UM2, ha desarrollado un marco que permite este análisis de las incertidumbres, como así también un análisis de la sensibilidad de los indicadores económicos a estas fuentes de incertidumbre. Esta colaboración científica se elabora con vistas a organizar una transferencia de los conocimientos producidos hacia el mundo operativo, en forma de una guía metodológica y de un software que facilita la aplicación del ACB-DE, los análisis de incertidumbre y la sensibilidad correspondiente.

Desde un punto de vista científico, los desarrollos actuales exploran, por ejemplo, la influencia recíproca del tipo de datos que se emplean en la extensión espacial de territorio estudiado y la resolución de los indicadores producidos. Con estos resultados se podrá orientar la estrategia futura del Estado o del Plan Ródano en cuanto a la producción de los datos y los niveles de precisión requeridos para poner en marcha los estudios ACB-DE.

Contactos:

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



▲ Irrigación en Lot (Francia).

Otros equipos que trabajan en este tema

UPR EAU/NRE

Agua: Nuevos Recursos y Economía (BRGM)

14 científicos

Director: Jean-Christophe Maréchal
jc.marechal@brgm.fr

► Presentación página 16

UMR HSM

Ciencias Hídricas de Montpellier (CNRS, IRD, UM1, UM2)

57 científicos

Director: Éric Servat
eric.servat@msem.univ-montp2.fr

www.hydrosciences.org

► Presentación página 8

UMR ITAP

Información-Tecnología-Análisis Medioambiental-Procedimientos Agrícolas (IRSTEA, Montpellier SupAgro)

40 científicos

Director: Tewfik Sari
tewfik.sari@irstea.fr

www.irtsea.fr/itap

► Presentación página 28

UMR LISAH

Laboratorio de Estudio de Interacciones Suelo-Sistemas Agrícolas-Sistemas Hidrológicos

(INRA, IRD, Montpellier SupAgro)

34 científicos

Director: Jérôme Molénat
jerome.molenat@supagro.inra.fr

www.umr-lisah.fr

► Presentación página 15

UPR LGEI

Laboratorio de Ingeniería de Medioambiente Industrial

(EMA)

45 científicos

Director: Miguel Lopez-Ferber
miguel.lopez-ferber@mines-ales.fr

www.mines-ales.fr/LGEI

► Presentación página 12

La economía para mejorar la gestión del agua destinada a la agricultura

La **UMR LAMETA: Laboratorio de Montpellier de Economía Teórica y Aplicada** (CNRS, INRA, Montpellier SupAgro, UM1), tiene cinco ejes de investigación, uno de los cuales se interesa en las políticas de «desarrollo sostenible y gestión de recursos naturales», y más específicamente en los instrumentos económicos destinados a mejorar la gestión cualitativa y cuantitativa del agua en relación con las actividades agrícolas.

LAMETA desarrolla programas conjuntos de investigación con diversas UMR del polo Agropolis: la UMR LISAH, sobre los aspectos hidrológicos, y la UMR Sistema, en cuanto a los aspectos agronómicos; la UMR G-EAU, sobre ciencias sociales y elaboración de modelos de sistemas. En estos cinco últimos años también se ha reforzado su cooperación internacional, especialmente con varias instituciones australianas (*Ministry of primary products of Victoria State, University of Melbourne, University of Western Australia, Australian National University, University of Sydney*), lo que se refleja en un nutrido intercambio de investigadores y doctorandos.

Los estudios de LAMETA sobre el agua combinan tres enfoques diferentes:

- Enfoques teóricos de microeconomía y economía pública para analizar la eficiencia

de los instrumentos destinados a la gestión del agua y los mecanismos que comparten, en situaciones de información incompleta, los usuarios agrícolas y las autoridades públicas, lo mismo que en situación de incertidumbre respecto al recurso hídrico. En el marco del proyecto europeo NOVIWAM (*Novel Integrated Water Management Systems for Southern Europe*), se han desarrollado nuevas formas de tarificación que incitan a los agricultores a «reservar» por adelantado el volumen de agua que piensan utilizar en irrigación, para garantizar su disponibilidad.

- Adoptando diferentes enfoques de economía experimental con los usuarios del agua, tanto en laboratorio como en el terreno, se ha podido evaluar mejor su comportamiento de cara a los instrumentos propuestos. Estas herramientas forman parte de los «bancos de prueba» económicos y se utilizan para poner a prueba el comportamiento de los agentes económicos respecto a la actuación de las autoridades públicas. LAMETA cuenta con un laboratorio de economía experimental en las instalaciones de Richter (LEEM, Montpellier) y un laboratorio móvil para facilitar las experiencias de terreno.

- Se adoptan diversos enfoques de elaboración integrada de modelos, que exigen una coordinación con otras disciplinas (hidrogeología, agronomía, biología de ecosistemas acuáticos, ecología, etc.) y se suelen basar en detenidos estudios de terreno. Estos modelos tienen en cuenta las interdependencias entre la ocupación del espacio, la ordenación del territorio y los programas de gestión del agua. ●●●

Proyecto RISECO: contribución del ahorro de recursos en la gestión de la escasez del agua y los riesgos de sequía

Los recientes episodios de sequía en Francia (2003, 2004, 2005, 2006, 2011) han recordado el impacto importante de este fenómeno en la agricultura, principal consumidor de agua y principal sector económico afectado. En muchos lugares, las sequías se prolongan en forma de penurias estructurales, como lo prueba el llenado incompleto de los reservorios o de las napas que se utilizan habitualmente en irrigación. Además, los estudios sobre el recalentamiento climático hacen presagiar un incremento de variabilidad y de situaciones extremas que originan las sequías. Por eso resulta importante contar con los medios que permitan regular con eficacia la demanda de agua.

El proyecto RISECO (proyecto ANR) propone un análisis económico de los problemas de escasez de agua y de riesgos de sequía en Francia. En él, se reúnen economistas de UMR G-EAU y de LAMETA, al igual que del IRSTEA, el INRA y Montpellier SupAgro. El proyecto se basa en métodos dinámicos de elaboración de modelos, de análisis econométrico y de economía experimental. Se analiza el funcionamiento y la eficacia de diferentes instrumentos económicos, que se evalúan respecto a la gestión de la escasez

de agua y del riesgo de sequía. Por ejemplo, el proyecto propone un estudio sobre el papel de la irrigación y del seguro de cosecha en las estrategias que tiene el agricultor en cuanto a la gestión del riesgo de sequía. Evalúa la capacidad de diferentes derechos a compartir tanto el riesgo como el recurso hídrico. Estudia el interés de los sistemas de derecho de acceso al agua con diferentes niveles de garantía de suministro, a partir de los cuales los agricultores pueden constituir una «cartera de derechos», con mayor o menor nivel de seguridad en función de su gestión del riesgo de escasez. Por último, suministra un método original de tarificación del agua, fundada en una diferenciación del precio del agua, cuando la disponibilidad del recurso es aleatoria. Estos desarrollos tienen aplicaciones prácticas en el terreno para administrar los volúmenes que pueden extraer los organismos únicos, o bien para que las empresas de ordenación regional puedan elaborar una tarifa para el agua.

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







Para más información: <https://riseco.cemagref.fr>

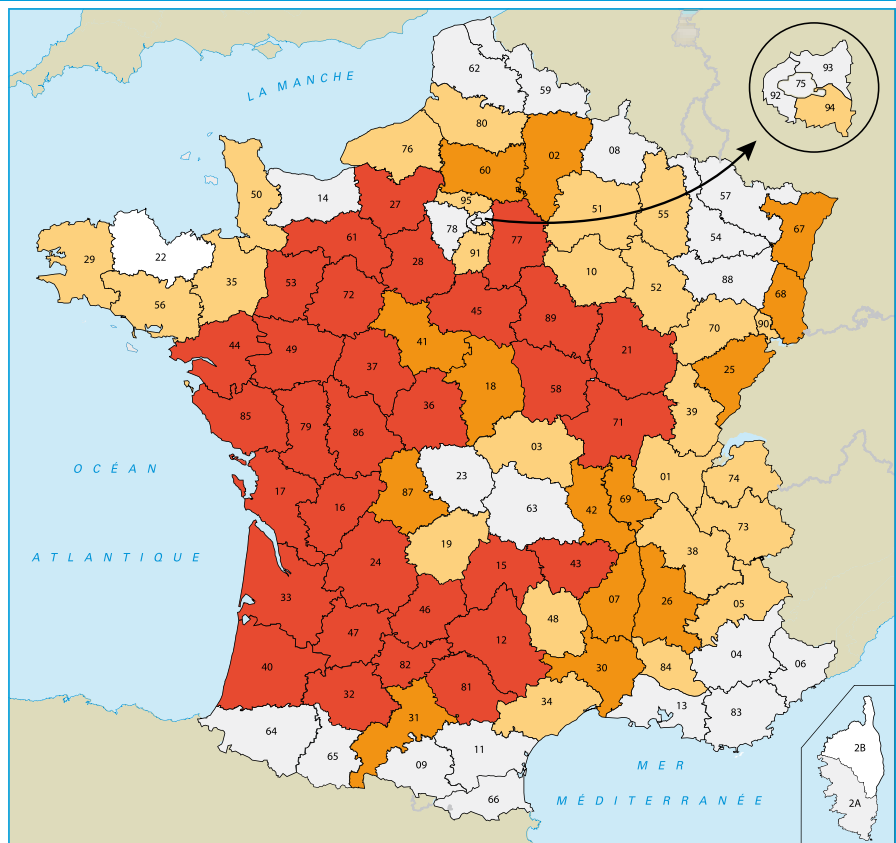
▼ *Decreto de limitación del consumo de agua de julio de 2011, en Francia.*

ÉTAT DES ARRÊTÉS DE LIMITATION DES USAGES DE L'EAU

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

État des arrêtés de limitation des usages

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



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

Sistemas de asignación de contratos agromedioambientales para limitar la contaminación del agua con pesticidas



El proyecto POPSy, «Sistemas de Producción en Grandes Cultivos, Medioambiente, Políticas Públicas» (2009-2013) ha sido financiado por el ANR y coordinado por la UMR «Economía Pública» (INRA Versailles-Grignon). Este proyecto, que reúne a economistas y agrónomos, busca (1) crear métodos para diseñar sistemas de cultivo de alto nivel ecológico y que utilicen menos pesticidas, (2) estudiar las condiciones socioeconómicas de la producción, el desarrollo y la adopción de tales sistemas, y (3) evaluar el impacto de las políticas actuales de asesoramiento a través de

Ecophyto2018, y proponer nuevas políticas públicas más eficaces.

El centro LAMETA trabaja más específicamente en las razones que explican el escaso nivel de contractualización de las medidas agromedioambientales territorializadas, destinadas a reducir la utilización de pesticidas en los territorios que tienen fuerte incidencia en el agua. Para ello, propone unos sistemas de atribución de contratos agromedioambientales, tanto individuales como colectivos, más performantes y motivantes para el mundo agrícola (en los territorios vitícolas de Languedoc-Roussillon). LAMETA también participa en una experiencia piloto de «subasta» de contratos de barbecho entre los agricultores, en vínculo con la Agencia del Agua de Artois-Picardie.

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

◀ *Anuncio de licitación para la creación de cubiertas vegetales, publicado en el documento de presentación del programa de Agua y Agricultura de la Agencia del Agua de Artois-Picardie.*

Dominar la información espacial para conocer y administrar los recursos, los medios y los territorios

La UMR **TETIS: Territorio, Medio Ambiente, Teledetección e Información Espacial** (AgroParisTech, CIRAD, IRSTEA) desarrolla métodos para dominar la información espacial, poniéndola al servicio del conocimiento y la gestión de los medios y del territorio. En el marco de estudios conceptuales, metodológicos y temáticos, la UMR adopta un enfoque integrado de la cadena de información: adquisición de datos espacializados (principalmente por satélite); análisis y constitución de modelos espaciotemporales de sistemas agrícolas, medioambientales y territoriales; diseño y gestión de sistemas de información; procesos de apropiación y utilización de la información espacial por parte de los actores territoriales.

La UMR lleva a cabo estudios sobre la caracterización y la gestión de los medios acuáticos y su biodiversidad. Las imágenes por satélite, sobre todo las imágenes de muy alta resolución espacial, completan los dispositivos de medida de terreno, suministrando una visión de conjunto de las estructuras espaciales y de las dinámicas temporales de estos medios (hidromorfología de los cursos de agua, distribución espacial del

hábitat, etc.) y para cuantificar las presiones que padecen. El análisis y la elaboración de modelos espaciales permiten estudiar los fenómenos naturales y antropogénicos presentes (dinámica de sedimentos, seguimiento de la vegetación en los ríos, lagos, lagunas; modelización de presión/ estado).

La UMR desarrolla métodos de seguimiento aerotransportados y por satélite de los cursos de agua. La cartografía de la profundidad de los cursos de agua por imágenes ópticas y las medidas Lidar aerotransportadas alimentan los modelos hidrobiológicos de funcionamiento de poblaciones y hábitats. Las técnicas de radar (captura de imágenes, altimetría, interferometría) y los métodos matemáticos correspondientes se desarrollan con el Centro Nacional de Estudios Espaciales y con ONERA (*The French Aerospace Lab*), cuantificando las variables de superficie de los cursos de agua (anchura, nivel, pendiente y velocidad), deduciendo los parámetros hidráulicos de fondo y estimando los caudales.

La UMR desarrolla imágenes por radar (datos por microondas activas) para cuantificar las características del suelo como la humedad, cuyo conocimiento representa un aspecto importante en la elaboración de modelos físicos de los procesos hidrológicos, y para establecer una correlación entre la superficie y la atmósfera, en el marco del cambio climático.

En el ámbito de la agricultura, el estudio del estrés hídrico de las plantas constituye un campo de investigación importante para evaluar la producción agrícola y mejorar la gestión del agua: los estudios se refieren a la evaluación de los índices de estrés derivados de imágenes aéreas o por satélite, en infrarrojo cercano e infrarrojo térmico, y de medidas de temperatura de superficie. También se han hecho estudios en las zonas irrigadas de África subsahariana sobre las estrategias de acceso y valorización del agua en un marco territorial constreñido.

En un enfoque integrado de las políticas públicas para planificar y administrar el territorio, la UMR, en colaboración con el Sindicato Mixto de la Cuenca del Tau, impulsa un proyecto de investigación sobre el análisis y la concepción de observatorios territoriales. Estos estudios se aplican a la elaboración de modelos espaciales de fenómenos complejos (dispersión urbana, gestión del agua) y al papel de la información en el buen gobierno: funciones y usos de las representaciones espaciales en apoyo a la concertación territorial (maquetas en 3D, cartografía a partir de información suministrada por los pobladores) recopilación y legitimación del conocimiento local, análisis de los datos que surgen y de la autonomización del territorio... Asimismo, TETIS conduce estudios sobre la sensibilidad espacial de los métodos de evaluación económica de las políticas de gestión del riesgo de inundación.

Espacialización de los conocimientos medioambientales para un desarrollo territorial sostenible

La UMR ESPACE-DEV: *Espacio para el Desarrollo* (IRD, UM2, UAG, UR), desarrolla y aplica metodologías innovadoras de espacialización de los conocimientos medioambientales para un desarrollo territorial sostenible, que van de la adquisición de los datos a los procesos de toma de decisión. La finalidad es contribuir a la producción de una red de observatorios del medio ambiente para un desarrollo sostenible.

La UMR ESPACE-DEV trabaja en el ámbito del agua a través de programas de investigación y transferencia, especialmente en cooperación con el Sur:

- El programa «Flujo de inundación y variación de masa: el caso de la cuenca amazónica» procura estimar la variación estacional e interanual de los diferentes reservorios del ciclo hidrológico continental, a través de medidas espaciales, y confirmar estas estimaciones efectuando comparaciones entre diferentes sensores espaciales con medidas *in situ* y/o elaborando modelos.

- El programa «Asimilación de datos espaciales para un análisis hidrológico de la cuenca amazónica y unas previsiones a corto y medio plazo» desarrolla un modelo hidrológico de tipo lluvia-caudal, adaptado a las grandes cuencas tropicales (cooperación IRD/instituciones y universidades brasileñas).

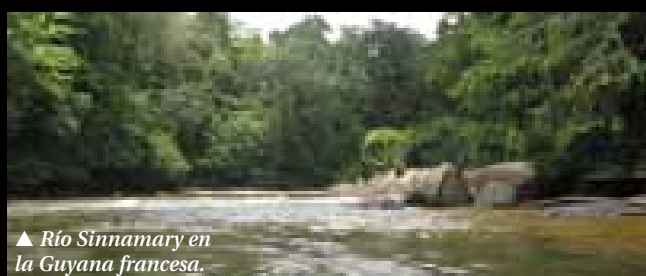
- El programa «Fenómenos hidrológicos extremos en Guyana: previsión, impactos y adaptación» se sitúa en una de las tres regiones del mundo que tiene la mayor disponibilidad de agua por habitante. Debido a las fuertes variaciones estacionales, Guyana padece unos fenómenos extremos de estiaje o de inundación, que pueden producir rupturas en el suministro de agua potable, o bien crecidas severas que afectan a los biotopos situados en las riberas de los ríos. El primer objetivo del proyecto es desarrollar las herramientas operativas destinadas a prever y evaluar los riesgos de crecida y de estiaje, a conocer mejor el recurso hidrológico y a caracterizar los fenómenos extremos correspondientes. El estudio analizará el impacto de los fenómenos de estiaje y de inundación en la población y en sus condiciones de vida, para evaluar las mitigaciones potenciales. Se destacarán las estrategias de adaptación potencial de la población local (especialmente en las riberas del río Maroni). El proyecto

busca definir y desarrollar múltiples indicadores de vulnerabilidad, de resistencia y de ayuda a la decisión.

- Programa «Alternativas para evaluar la calidad ecológica de los cursos de agua de Guyana. Aportación de la teledetección»: los cursos de agua de Guyana están sometidos a presiones antropogénicas crecientes, vinculadas sobre todo a la exploración aurífera clandestina. La lucha contra estas acciones pasa por un control frecuente de la calidad de estas masas de agua, según lo exige la Directiva Marco Europea sobre el Agua. Es difícil realizar este tipo de vigilancia de ríos y arroyos porque resulta imposible tomar muestras frecuentes en la mayor parte del territorio guyanés, en razón de las dificultades de acceso. Este proyecto explora nuevos métodos de control a distancia, para conocer el estado en que se hallan los lugares donde resulta difícil llegar. Las herramientas de teledetección permiten correlacionar la información recogida por los satélites de observación con las características biológicas y medioambientales de los sitios. A partir de esta información, la condición de los cursos de agua, río abajo, se someterá a pruebas que permiten conocer su estado general. Con estos estudios se podrá presentar la metodología y la estructuración de una red operativa de vigilancia de la calidad ecológica de los ríos de Guyana. ...

>PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS VINCULADOS AL AGUA

Dinámica hidrológica y malaria en Amazonia



© J.F. Faure

▲ Río Sinnamary en la Guyana francesa.

Aunque el sentido común asocia la presencia de agua a la de los mosquitos, entre los que se cuenta la especie *Anopheles* que es el vector de la malaria o paludismo, el riesgo de transmisión de esta enfermedad en realidad hace intervenir mecanismos biológicos, ecológicos, climáticos, sociales, etc., mucho más complejos. En efecto, identificar los mecanismos de transmisión, incluso elaborar modelos con el fin de anticipar el riesgo sanitario, en el tiempo y el espacio, sigue siendo un reto, y los esfuerzos de investigación suelen restringirse al *Anopheles darlingi*, el vector más eficaz en Amazonia, con condiciones medioambientales, climáticas y sociales particulares, y escalas temporales y especiales determinadas.

En estrecha colaboración con entomólogos y epidemiólogos de Guyana Francesa y Brasil, la UMR ESPACE-DEV aborda esta problemática centrandose su trabajo científico en la noción de espacialidad, de la adquisición de los datos a su interpretación, en el contexto de aplicaciones y de un apoyo a la toma de decisiones.

Así, un estudio fundado en la cartografía de zonas húmedas ha mostrado que, a escala de la cuenca amazónica, las fuertes dinámicas hidrológicas de ríos y zonas de inundación representan uno de los principales factores para el control natural de la incidencia de la malaria. A una escala más reducida, en Guyana Francesa se han evidenciado correlaciones significativas entre la dinámica hidrológica y la abundancia del mosquito *Anopheles darlingi* en dos de cada tres lugares estudiados, mientras que las precipitaciones sólo muestran una correlación significativa en un solo caso.

No obstante, el papel que tiene la dinámica hidrológica, y sus variabilidades intra e interanuales, sobre el carácter epidémico y endémico de la malaria varía en función de las regiones y los paisajes amazónicos, según unos procesos que todavía no se conocen adecuadamente y que se producen en escalas muy variadas. La necesidad de llevar a cabo estudios que procuren captar la complejidad de estos procesos ha motivado a la UMR ESPACE-DEV a considerar las relaciones entre los factores socio-medioambientales y la malaria, en la región de Manaos, a través de un enfoque multidisciplinario y a diferentes escalas. Este proyecto, financiado por el Centro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Brasil (CNPq), hace intervenir equipos brasileños, estadounidenses y franceses.

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

> ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Proyecto MISEEVA: vulnerabilidad de la zona costera a la elevación del nivel del mar

El proyecto MISEEVA (*Marine Inundation hazard exposure modelling and Social, Economic and Environmental Vulnerability Assessment in regard to global changes, 2008-11*) se lleva a cabo en el marco del programa del ANR «Vulnerabilidad, Medio, Clima». Este proyecto, coordinado por el BRGM (servicio «Riesgos», Orléans), evalúa la vulnerabilidad social, económica y medioambiental de la zona costera ante la evolución del riesgo de sumersión marina provocado por el cambio climático. La unidad EAU/NRE del BRGM, en cooperación con LAMETA y SOGREA (sociedad de ingeniería), ha probado y puesto en marcha una metodología destinada a evaluar los impactos económicos que tendría una elevación del nivel del mar resultante del cambio climático en Languedoc-Roussillon el próximo siglo. Esta evaluación, sumada a los resultados de la



◀ *Ciudad de Sète, Francia.*

elaboración de modelos «físicos» de esta clase de fenómenos, tiene en cuenta los impactos en los bienes comerciales y no comerciales (playas, lagunas y zonas húmedas, aguas subterráneas), y en los diferentes sectores económicos correspondientes, según diversos escenarios de anticipación y/o adaptación por parte de las autoridades públicas (negación de la realidad, no intervención, protección, retirada). LAMETA ha participado con singular intensidad en el estudio de las percepciones que la población tiene de estos fenómenos, de los tipos de comportamiento que se podrían esperar y que podrían influir en la vulnerabilidad, lo mismo que en la evaluación de los tipos de respuesta que podrían dar las autoridades públicas para anticipar mejor estos cambios.

Contactos: [Charlotte Vinchon, c.vinchon@brgm.fr](mailto:c.vinchon@brgm.fr)
[Cécile Hérivaux, c.herivaux@brgm.fr](mailto:c.herivaux@brgm.fr)
 & [Hélène Rey-Valette, helene.rey-valette@lameta.univ-montp1.fr](mailto:helene.rey-valette@lameta.univ-montp1.fr)

La UMR se encuentra en Montpellier, pero incluye instalaciones secundarias: Guyana Francesa (Campus Internacional IRD-UAG), universidad de la Reunión, Nueva Caledonia (IRD), Brasil (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales), Etiopía (Unión Africana), Gabón (Agencia Gabonesa de Observaciones y Estudios Espaciales) y Madagascar.

La experiencia adquirida por la UMR en la utilización de técnicas de teledetección para efectuar un seguimiento medioambiental beneficia a muchos programas de cooperación y de transferencia. Así, en el continente sudamericano, el programa GUYAMAPA busca crear indicadores para efectuar un seguimiento de los ecosistemas, especialmente de los recursos hídricos de la cuenca del Oyapoque, río fronterizo entre Brasil y la Guyana francesa. Asimismo, un programa de cooperación bilateral entre la Agencia Nacional de Agua de Brasil y el Observatorio Espacial de la cuenca amazónica del IRD desarrolla un dispositivo de seguimiento de los niveles de agua de la cuenca amazónica por altimetría radar. Del otro lado del Atlántico, en el continente africano, la unidad participa en el programa africano AMESD de vigilancia del

medioambiente, cofinanciado por la Comisión de la Unión Africana y la Unión Europea. Uno de los ejes de este programa hace un seguimiento de la navegación en el eje fluvial Congo-Ubangui y el seguimiento ecológico de la depresión del Congo.

Relaciones entre agua, territorio y sociedad en la cuenca mediterránea

La **UMR ART-Dev: Actores, Recursos y Territorios en el Desarrollo (UM3, CNRS, CIRAD)** incluye asimismo las universidades de Montpellier I y de Perpignan Via Domitia como participantes asociados, e integra el equipo del CEREQ (Centro de Estudio e Investigación sobre Calificaciones) de Montpellier. Inscrita prioritariamente en el campo de las ciencias humanas y sociales, la UMR ART-Dev privilegia los enfoques interdisciplinarios, ya que reúne esencialmente a geógrafos y economistas, sociólogos y politólogos. ART-Dev estudia las reconfiguraciones del territorio desde el punto de vista económico, político y social, vinculando dinámicas de globalización y dinámicas locales. Centra, más específicamente, el análisis de estas reconfiguraciones en la construcción

y la movilización de un conjunto de recursos, tanto materiales como inmateriales, a través de la multiplicidad de actores.

Desde hace 20 años, ART-Dev desarrolla un análisis multidisciplinario en torno de la problemática y los retos que presenta la gestión del agua en la cuenca mediterránea (Magreb, Líbano, Francia, Península Ibérica). Sus investigaciones se realizan en un contexto de estudio de las relaciones entre el agua, el territorio y la sociedad. Desde 2004, participa en los programas del CNRS, el Ministerio de Medio Ambiente y el Irstea, sobre la temática «Agua y Territorio» (programa del CNRS/SHS 2004-2005 «Agua, Medio Ambiente, Sociedad»; programa movilizador por su apoyo a la investigación en ciencias humanas y sociales entre el Magreb y Francia, CNRS/MSH París 2006-2009; programa «Agua y Territorio» CNRS/IRSTEA/Ministerio de Medio Ambiente 2008-2011). La unidad también participa, de 2003 a 2011, en el grupo de investigación del CNRS 2524 «Res-eau-ville» (Redes-agua-ciudad) y, en adelante, varios investigadores colaboran con sus homólogos norteamericanos en la articulación entre los proyectos urbanos y la nueva naturalización de los ríos en Canadá.

WASSERMed: disponibilidad de agua y seguridad en el Sur de Europa y la región mediterránea

El proyecto europeo WASSERMed (2010-2012) se interesa en los impactos medioambientales y sociales de las modificaciones del clima, que constituyen otras tantas amenazas para los recursos hídricos y su utilización en la región mediterránea. Partiendo de una evaluación de la frecuencia y la amplitud de las precipitaciones extremas, de los cambios de drenaje del agua, tanto en la superficie como en el subsuelo, el proyecto también se interesa en factores económicos y sociales múltiples, que aumentan la vulnerabilidad de los sistemas hidrológicos. WASSERMed contribuye a:

- Reducir la incertidumbre en cuanto a los impactos del cambio climático en la hidrología de la cuenca mediterránea, utilizando las salidas de los modelos climáticos, completando y mejorando los modelos hidrológicos existentes, y desarrollando herramientas de simulación de escenarios en cada uno de los cinco sitios seleccionados como puntos de referencia.
- Mejorar la evaluación regional de los efectos climáticos en los recursos hídricos y su utilización, integrando los estudios en los cinco centros piloto. El proyecto está centrado en los sectores sensibles y vulnerables de la agricultura y del turismo, que ilustran perfectamente los múltiples retos y conflictos en torno de la asignación y uso del agua.
- Suministrar una base de conocimientos más sólida para la seguridad del agua, identificando y evaluando las políticas de gestión del agua, incluyendo los intercambios de agua virtual.



▼ Acceso al agua potable en Túnez.

© R. Calvez

Ello debería mejorar la resistencia de los antropo-ecosistemas mediterráneos a las modificaciones hidrológicas, a corto plazo, y contribuir a su adaptación al cambio climático, a largo plazo.

Entre los cinco sitios seleccionados, la cuenca hidrológica de Merguellil (cerca de Kairouan, en Túnez central) ha aprovechado las múltiples investigaciones anteriores, conducidas conjuntamente por los equipos de Montpellier y de Túnez en el marco de proyectos bilaterales, europeos e internacionales.

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

Para más información: www.wassermed.eu

Modelizar los sistemas complejos para ayudar a los procesos colectivos de gestión de los recursos renovables

El departamento «Medio Ambiente y Sociedades» del CIRAD centra sus estudios en las relaciones entre agricultura, gestión de los recursos naturales y dinámicas sociales, en correlación con las políticas públicas. Sus estudios se llevan a cabo a escala de los productores agrícolas y de los espacios forestales, de la región, del país o a nivel internacional. Conciernen los procesos de innovación y coordinación entre actores y grupos sociales, analizando también los territorios como lugar privilegiado de regulación. Para ello, recurren a encuestas, sondeos e inventarios, a técnicas de representación y elaboración de modelos de los sistemas complejos. Se basan en los conceptos y las herramientas de diferentes disciplinas, dando una gran cabida a las ciencias humanas y sociales. Se analizan los modos de explotar y administrar colectivamente los recursos renovables –agua, bosques, pastizales, fauna salvaje– en correlación con la producción. Asimismo, se estudia la elaboración

y el impacto de las políticas públicas en el sector agrícola y en sus aspectos medioambientales. Entre otras cosas, estos estudios dan luz a la toma de decisiones sobre la gestión pública y la organización de los mercados, elaborando normas y ayudando la negociación entre los diferentes actores.

En este departamento, el objetivo de la *UPR GREEN, Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medioambiente* (CIRAD) es suministrar conocimientos, métodos y herramientas basadas en la elaboración de modelos de los sistemas complejos, a través de un enfoque profundamente interdisciplinario (desde la antropología jurídica y la agronomía, hasta la elaboración de modelos), para acompañar los procesos colectivos de gestión de los recursos renovables y mejorar la capacidad que tienen los actores de controlar su eco-socio-sistema.

Existen tres retos:

- Elaborar las herramientas conceptuales y técnicas para representar los sistemas socioecológicos en sus múltiples dimensiones (económicas, sociales, ecológicas, espaciales y temporales) y considerar la pluralidad de puntos

de vista de los interesados (expertos y no expertos) en los diferentes niveles de organización;

- construir modos de utilizar estas herramientas en los que participen tanto los actores locales como los científicos, en los procesos de gestión que van del aprendizaje colectivo a la toma de decisiones, pasando por la negociación;
- situar las aportaciones de estos enfoques, orientaciones y herramientas para analizar los cambios en los sistemas socioecológicos, el papel de las instituciones y de los conocimientos en estos cambios.

La UPR GREEN desarrolla varios proyectos relativos a la gestión del agua, en un contexto de usos y usuarios múltiples, prosiguiendo el proyecto sobre la elaboración de modelos de asesoramiento (ComMod) para una gestión sostenible del agua que abarcaría varios países de Asia (Tailandia, Vietnam, Bután, Filipinas) (coordinado por GREEN y financiado en el marco del *Challenge program on Water and Food*, cf. p. 61). El proyecto «Gestión de sub-cuencas y gobernanza de aguas pluviales y pequeñas presas», iniciado en 2010, ofrece un enfoque comparativo de las cuencas hidrográficas de Ghana y de Burkina Faso, analizando el papel de los pequeños reservorios que se han construido. ■

> ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

CLIMAWARE: elaboración de estrategias de adaptación al cambio climático—estudio de caso sobre la gestión de represas y reservorios de la cuenca del Sena

El proyecto CLIMAWARE (2010-2013) reúne organismos alemanes (*Department of Hydraulic Engineering and Water Resources Management* y *Center for Environmental Systems Research* de la universidad de Kassel), italianos (*Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari*) y franceses (IRSTEA y EPTB Seine Grands Lacs). Su objetivo es elaborar estrategias de adaptación de la gestión del agua al cambio climático.

El caso del estudio francés se refiere a la adaptación de la gestión de las represas y los reservorios de la cuenca del Sena al cambio climático, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de los modos de gestión actuales, a corto, medio y largo plazo y, en su defecto, proponer otros nuevos para que la región del Sena Grandes Lagos pueda dar respuesta a los principales objetivos de gestión, a saber, apoyo en período de estiaje y protección contra crecidas. Ello podría reflejarse en una adaptación de la gestión en tiempo real, de los reglamentos de agua o incluso de las capacidades de almacenamiento.



Una primera fase ha consistido en establecer un modelo hidrológico semi-distribuido en la cuenca, permitiendo que se tengan en cuenta las características propias de los diferentes afluentes. El modelo, coordinado en tiempo presente en unas 25 estaciones de caudal, ha sido alimentado a través de salidas desagregadas de los modelos climáticos (temperaturas y precipitaciones). La comparación de los resultados entre un período de referencia (1961-1990) y un período futuro situado a mediados de siglo (2046-2065) muestra una tendencia a la baja de los módulos y de los caudales de estiaje, con períodos de aguas baja más prolongados en otoño. En cambio, las tendencias con las aguas altas parecen mucho menos significativas.

En adelante, la viabilidad de las estrategias actuales de gestión se evaluará en este contexto y se pondrán a prueba diversas opciones de adaptación.

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

Para más información: www.uni-kassel.de/fb14/wasserbau/CLIMAWARE

▲ *Lago reservorio del río Marne, Francia.*

> GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Gobernanza del agua y de los sistemas hídricos en Magreb y en Mashrek



▲ *Galería de drenaje en Marruecos.*

Los estudios sobre el buen gobierno del agua y de los sistemas hídricos de la UMRGRED se desarrollan actualmente en Magreb y Mashrek principalmente (con el Sudeste Asiático y los Andes como terrenos secundarios). Se los lleva a cabo en colaboración con varios interlocutores locales y el *International Water Management Institute*.

En Egipto, se llevan a cabo estudios sobre la actuación colectiva en el delta, en los canales de irrigación terciarios (*mesqas*) y secundarios, sobre las relaciones entre el Estado y sus ministerios técnicos, por una parte, y los campesinos, por otra, al igual que en la elaboración de políticas públicas del agua.

En Marruecos, los estudios en torno del buen gobierno de los recursos hídricos y territoriales se llevan a cabo en varias escalas. Un primer campo de investigación concierne los campos irrigados en un sistema de economía familiar y campesina en el sur de Marruecos, en una región de montañas y oasis. Se han estudiado detenidamente las situaciones de gestión colectiva de los “*khettaras*” (galerías drenantes similares a los “*Qanats*” de Oriente Medio). En la región del Sais, al sur de Meknés, se han descubierto zonas radioconcéntricas que son objeto de investigaciones comparadas con otros dispositivos similares en Francia (Montady) y en Egipto. En una escala más amplia de regiones y cuencas hidrográficas, se hacen estudios sobre la disposición de agencias a cargo de las cuencas hidrográficas, que deben aplicar los principios de una gestión integrada, como así también la aplicación del Plan Marruecos Verde y su impacto en la zona irrigada del Tadra.

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



▲ En Ecuador, la unidad de investigación G-EAU apoya la adopción de políticas integradas de gestión del agua.

© R. Calvez

>GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

AGUANDES: asignación del agua en los sistemas hidrológicos mejorados de los Andes

La gestión del agua de las cuencas hidrológicas de montaña es particular por la importancia que reviste la gestión en función de la corriente, las múltiples transferencias entre cuencas, las estrategias de utilización agrícola razonada en varias etapas bioclimáticas y estructuradas en torno de una infraestructura hidráulica bien desarrollada.

La cuenca de alimentación de agua de Quito, en Ecuador, es un claro ejemplo de ello. Se encuentra entre 2.000 y 5.900 metros de altura, y abarca una extensión de 5.000 km². Debe enfrentar problemas diversos, complejos y representativos de las cuencas de montaña. Se trata de una zona muy poblada, con un fuerte crecimiento demográfico que genera un incremento de la demanda de servicios de base y que reduce el uso agrícola del suelo a favor de una urbanización galopante. La demanda de agua concierne varios sectores que compiten entre sí, y es superior al recurso hídrico disponible. Así, existen importantes transferencias de agua de los «páramos», que se encuentran a más de 3.500 m de altura y cuyo suelo filtra y almacena el agua de lluvia, y los glaciares, antes de ser restituída de forma regulada. El deshielo de los glaciares, la presión demográfica, el recalentamiento climático y la crisis energética engendran una carrera por su utilización que puede fragilizar su sostenibilidad. Recientemente, el Estado ha decidido recuperar el control y preconizar una administración del recurso hídrico por entidad hidrográfica, orientada a la gestión integrada.



▼ Canal de irrigación en Ecuador.

© R. Calvez

En este contexto el equipo G-EAU se ha instalado en Quito para dar un apoyo científico y multidisciplinario a la reforma actualmente en curso, al mismo tiempo que desarrolla su cooperación científica sectorial con las instituciones ecuatorianas y la universidad. Las actividades se concentran en cinco temas: (1) la situación del recurso hídrico, su reparto espacial y en altitud, y su variación en los 50 últimos años, (2) la identificación de la demanda de agua y su evolución reciente de acuerdo a los diferentes escenarios de cambios globales, (3) los riesgos de fallo del sistema actual de distribución de agua en la cuenca de Quito, (4) la elaboración de modelos de simulación como ayuda al reparto equitativo del recurso actual y futuro, y a la planificación, (5) la vulnerabilidad ecológica de las zonas de altura, de cara a las obras hidráulicas de captación o almacenamiento. Los tres primeros temas se desarrollan en colaboración con el Instituto Nacional de Meteorología y de Hidrología, y la Escuela Politécnica Nacional. El cuarto se lleva a cabo conjuntamente con la Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento y el IRSTEAN de Lyon, a través de un trabajo de Master.

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

>GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Para una gestión participativa y multinivel del agua en Ghana y en Burkina Faso



© W. Daré

▲ Grupo de trabajo participativo para la gestión del agua en Ghana.

Desde 1992, los principios de gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) se han impuesto en las políticas hídricas. La participación de los diferentes actores en la toma de decisiones se ha convertido en un principio de elaboración de políticas públicas descentralizadas. Una gestión integrada y multinivel del agua, hoy en día ineludible, plantea interrogantes sobre las herramientas de regulación ya que los efectos sociales, económicos y ecológicos pueden ser contradictorios según la escala que se tenga en cuenta, la jerarquización de los retos sectoriales y los actores implicados. Por estas razones resulta difícil elaborar métodos de concertación que permitan expresar múltiples puntos de vista para lograr innovaciones institucionales y técnicas aceptadas por todas las partes.

Desde 1998, la UPR Green, en el colectivo ComMod que reúne varias instituciones, ha desarrollado la elaboración participativa de modelos, conocida como «modelización de

acompañamiento» (o *Companion Modelling*), para apoyar los procesos de decisión y la producción de conocimientos sobre los sistemas socioecológicos de gestión de recursos naturales renovables. GREEN prosigue sus actividades en la Volta, en el marco del *Challenge Program on Water and Food*—fase 2 (cf. p. 61), en colaboración con el *International Water Management Institute*, la *Water Ressource Commission*, el Secretariado Permanente del Programa de Apoyo a la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Facilitar las interacciones entre los diferentes niveles de gestión y decisión en Burkina Faso y en Ghana para hacer efectiva la GIRH, tal es el objetivo del proyecto V4 «*Sub-basin management and governance of rain water and small reservoirs*». Para ello, se ha desarrollado una actuación ComMod con los actores de escalas locales e intermedias, y los responsables políticos, para que, a través del diálogo, cada uno cobre consciencia de las dificultades que enfrenta el otro para construir nuevos modos de interacción en la producción de reglas y normas de gestión. En Burkina Faso, existen múltiples estructuras de gestión del agua, a diferentes escalas. Se apoya así el fortalecimiento de las capacidades operativas de comités locales del agua, de plataformas de actores múltiples creadas en la pequeña cuenca hidrológica pero que resultan poco funcionales. En Ghana, donde esas plataformas intermedias no existen, se acompaña la creación de nuevas formas de organización con múltiples actores que tendrían en cuenta el reto que presentan los diferentes niveles de gestión y de decisión. Para ello, se han organizado unos talleres participativos (juegos de roles, sistemas de agentes múltiples, etc.). Al final, la innovación residirá en la puesta a prueba de los nuevos modos de interacción multi-escalares entre los actores de la GIRH.

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

Para más información: www.commod.org y www.ecole-commod.sc.chula.ac.th/pn25/index.php

>GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

AQUADEP: Gobierno provincial del agua destinada al consumo humano

El proyecto AQUADEP concierne el gobierno provincial del agua destinada al consumo humano. Sus principales objetivos son la caracterización, la evaluación y el asesoramiento de las políticas provinciales sobre el agua destinada al consumo humano. Más concretamente, se trata de mejorar el conocimiento de esas políticas y, sobre esta base, contribuir a clarificar los términos del debate sobre el diseño institucional de la gestión del agua destinada al consumo humano, sobre todo en cuanto a la escala territorial y al modo de gobierno. Paralelamente, se ha desarrollado una «investigación-intervención» centrada en el sistema de información y pilotaje del gobierno territorial (sistema de indicadores), con la perspectiva de un asesoramiento crítico de los actores operativos. Los principales elementos del proyecto son: la elaboración de una tipología de políticas del agua destinada al consumo humano, conducida por los Consejos Generales (colectividades territoriales francesas); la caracterización del gobierno provincial del agua destinada al consumo humano en algunas provincias donde se presentan

típicamente diversas situaciones identificadas en la etapa anterior; el estudio de la situación en Italia y en Dinamarca; unas propuestas metodológicas sobre los sistemas de información y los indicadores.

AQUADEP es un proyecto de investigación interdisciplinaria de 3 años (sept. 2008 – sept. 2011), que cuenta con el apoyo del programa «Agua y Territorio» (Ministerio del Medio Ambiente – CNRS – IRSTEA). Reúne a 12 investigadores y docentes-investigadores que pertenecen a cinco equipos diferentes (ENGEES: Escuela Nacional de Ingeniería Hídrica y Medioambiental de Estrasburgo – IRSTEA; UPR Réseaux – IRSTEA Burdeos; UMR G-EAU y ART-Dev de Montpellier; UMR CERTOP CNRS/Universidad Paul Sabatier de Toulouse). Rémi Barbier (ENGEES-IRSTEA) es el coordinador.

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

IDEAUX: Integración de las políticas de agua, desarrollo, ordenación territorial y urbanismo a favor de los medios acuáticos en Francia y en Quebec

La interpenetración territorial caracteriza la evolución contemporánea del paisaje y sienta un sinnúmero de problemas a los administradores del agua. Las autoridades públicas francesas y quebequesas son conscientes de los límites que tienen los instrumentos de planificación destinados a controlar la dispersión urbana. Los organismos públicos o asociativos responsables de las políticas del agua se interrogan sobre el alcance de esas políticas: ¿influyen efectivamente en la evolución de los modos de utilización de los suelos a escala de las cuencas hidrológicas? ¿De qué modo las políticas de ordenación territorial se articulan con las políticas del agua? ¿Qué condiciones se requieren para «liberalizar» las políticas, tan a menudo discordantes, en un contexto de fortalecimiento de las autoridades locales, de mayor competencia entre los territorios, de globalización y, como corolario, de interrogantes sobre el papel del Estado en la gestión de los recursos naturales?

Estos interrogantes ocupan un lugar central en el proyecto de investigación IDEAUX, cuya principal «entrada» es el análisis crítico de la reciente evolución del paradigma de ordenación territorial en Francia y en Quebec. El dispositivo metodológico del programa IDEAUX está centrado en un enfoque comparativo de los procesos inherentes a las políticas de ordenación territorial. Este programa franco-quebequés se funda en una colaboración entre la oficina de proyectos privada *Sogreah consultants* (Grupo Artelia) y diversos organismos públicos franceses y quebequeses, y se desarrolla en el marco de la convocatoria «Agua y Territorio» (2008).

Contacto: Alexandre Brun, abrungeographe@yahoo.fr





© A. Vidal

▲ El Challenge Program on Water and Food (CPWF) trabaja sobre la relación entre agua, alimentos y pobreza en los países en desarrollo.

Cooperación nacional *e internacional*

Los laboratorios de investigación científica de la región Languedoc-Roussillon comparten numerosos programas entre sí y con otros interlocutores científicos en Francia, en Europa y en el resto del mundo, especialmente con los países del Sur. Varios ejemplos que se han mencionado en los capítulos anteriores destacan esta cooperación. No obstante, la gran diversidad del ámbito hidrológico y su importancia crucial en la vida cotidiana de las sociedades humanas las comprometen a interactuar con otros actores económicos y públicos a escala regional, nacional e internacional. La presencia en Languedoc-Roussillon de la primera comunidad científica francesa en el ámbito del agua y su enfoque ampliamente multidisciplinario han favorecido el surgimiento o la instalación de varias organizaciones mutualizadas en la región, favoreciendo así el intercambio entre ellas. Se las puede agrupar en dos categorías: las que se dirigen al sector económico y a los actores de las decisiones públicas –el Estado, sus agencias y administraciones locales y regionales– y las que representan y coordinan actividades científicas a escala nacional o internacional.

Las acciones con el sector económico se desarrollan con el apoyo de las entes locales y regionales, y del Estado, a través de dos polos de competitividad, el Polo «AGUA», con una dimensión mundial, y el Polo «Riesgos». Recientemente se han completado con la creación de un clúster en el ámbito de las geociencias. El tejido regional del sector del agua cuenta con un nutrido grupo de PyMEs innovadoras, al tiempo que aprovecha la experiencia, la competencia y la representatividad de los grandes grupos franceses cuya presencia internacional es

una enorme ventaja. Dos asociaciones ofician de interfaz y completan este dispositivo: la primera, Transferts LR, facilita el contacto entre las PyMEs y los laboratorios, mientras que la otra, VERSeau Développement, establece un vínculo entre los laboratorios científicos, los responsables públicos, las instituciones internacionales y los diferentes actores económicos, en particular los polos de competitividad y las empresas del sector del agua, la mayor parte de las cuales están asociadas a la agrupación regional Swelia.

El segundo conjunto de acuerdos de cooperación corresponde al ámbito científico, con asociaciones científicas que han elegido Montpellier para instalar su sede en esta ciudad y/o cuyos directivos pertenecen a los laboratorios de esta aglomeración. A escala internacional, se trata de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos (*International Water Resource Association - IWRA*) y de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (*International Association of Hydrological Sciences - IAHS*), y a escala nacional, de la Asociación Francesa para el Estudio de la Irrigación y el Drenaje (*Association Française pour l'Étude de l'Irrigation et du Drainage - AFEID*). Por otra parte, Montpellier acoge una parte significativa del pilotaje de dos grandes programas impulsados por organismos internacionales: el *Challenge Program on Water and Food* del CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación Internacional en Agricultura) y el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.

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

Cooperación nacional *e internacional*

Contactos



AFEID
Asociación Francesa para el Agua de
Irrigación y Drenaje
Presidente: François Brelle
Contacto: François Brelle
afeid@irstea.fr
<http://afeid.montpellier.cemagref.fr>



AISH
Asociación Internacional
de Ciencias Hidrológicas
Presidente: Pr. Gordon Young
Contacto: Éric Servat
eric.servat@univ-montp2.fr
<http://iahs.info>



Asociación VERSeau Développement
Presidente: Pierre Chevallier
pierre.chevallier@ird.fr
Directora: Yunona Videnina
yv@verseaudeveloppement.com
<http://verseaudeveloppement.com>



CGIAR
Consultative Group for International
Agricultural Research

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

► **CRP5: CGIAR Research Program**
"Water, Lands and Ecosystems"
Director: Simon Cook
s.cook@cgiar.org

... continuación página 58

Polo de competitividad «Agua», con dimensión internacional

Tanto a escala regional como mundial, la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles están estrechamente vinculados a los nuevos retos que la presión creciente en materia de clima, alimentación humana o energía, hacen pesar en las sociedades humanas. Ante esta situación, se impuso la idea de crear un polo mundial de competitividad preponderantemente tecnológico. La principal tarea es evaluar y valorizar los recursos hídricos, cuantitativa y cualitativamente, gracias a las ecotecnologías correspondientes, en provecho de todos los usos, incluyendo: agua potable para alimentación y saneamiento, utilización agrícola e industrial, producción de energía y actividades de ocio.

Así, la estrategia del *Polo de competitividad «Agua»* abarca todo el ciclo del agua (desde su extracción hasta su retorno al medio natural, pasando por los diferentes usos), que padece hoy todos los impactos de los cambios a escala global. Está organizado en torno de cuatro ejes estratégicos:

- 1 Identificación y movilización del recurso hídrico
- 2 Gestión concertada del recurso hídrico y de los usos en contextos exacerbados por los cambios globales
- 3 Reutilización del agua, cualquiera sea su origen
- 4 Enfoques institucionales o sociales en materia de actores y decisiones (eje transversal)

En respuesta a los mercados que se caracterizan por una fuerte internacionalización de los productos y los servicios en torno del agua, de la demanda y de una normativa que está en plena evolución, el polo se sitúa de cara a un panorama mundial. En 2015, se piensa contribuir con eficacia a «administrar mejor los recursos y los usos del agua, que se encuentran sometidos a presiones resultantes de los cambios globales», a través de una nueva oferta de productos y servicios más adaptada e integrada. 2015 corresponde, en efecto, al término impuesto en la Directiva Marco Europea sobre el Agua, y a los Objetivos de Desarrollo del Milenio, de las Naciones Unidas.

El Polo «Agua» ha obtenido la certificación concedida por el Comité Interministerial de Ordenación y Desarrollo del Territorio, el 11 de mayo de 2010. Está constituido por las regiones de Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées y Provence-Alpes-Côte-D'azur. Este Polo es jefe de fila, coordinando los Polos HYDREOS «Gestión de aguas continentales» (regiones Lorena y Alsacia) y DREAM «Aguas y medios» (región Centro).

Sus objetivos son la creación de valor a partir de proyectos innovadores en el ámbito del agua (crecimiento económico, empleo, creación y desarrollo de PyMEs), compartir competencias, formular cuestionamientos y respuestas, para hallar las soluciones adecuadas a los múltiples problemas relativos a la gestión del recurso hídrico, e integrar los actores del agua en una dinámica internacional en los mercados del agua.



▲ Observación del litoral.

© S. Pistré

Polo «Riesgos»: aportar soluciones pragmáticas a la problemática de la gestión de riesgos

El Polo de competitividad «Gestión de riesgos y vulnerabilidad territorial», también conocido como Polo «Riesgos», elabora proyectos de investigación y desarrollo colaborativos desde 2005 en las regiones de Provence-Alpes-Côte d'Azur y Languedoc-Roussillon. Las temáticas que aborda este polo se pueden resumir a los riesgos crónicos y accidentales en los territorios, en cada nivel de la rueda de riesgo (de la prevención a la gestión postcrisis).

De suerte que, lógicamente, muchos proyectos certificados por el Polo Riesgos (y financiados por organismos nacionales, regionales y locales) abordan el riesgo de inundación. Por ejemplo, el proyecto HYDROGUARD (cf. p. 42), impulsado por la PyME ESECO System, seleccionado en 2009 por el Fondo Único Interministerial (FUI), desarrolla un sistema de vigilancia fiable, autónomo y automatizado de los cursos de agua y de la línea de costa. Con este sistema, las administraciones locales y regionales podrán efectuar una gestión sostenible de las masas de agua y de los territorios, a través de un control continuo del recurso hídrico y de la erosión de las costas. Los equipos son capaces de hacer previsiones locales aplicando modelos científicos, lo que resulta de mucha utilidad en situación de crisis (inundación, contaminación accidental, tormentas invernales).

Últimamente, y siempre en relación con el riesgo de inundación o de sumersión, los proyectos KRHU y LITO-CMS han sido seleccionados en el 13° llamado a presentar proyectos del FUI (primer semestre de 2011). El primero, impulsado por *Predict Services*, KRHU (carst, arroyada pluvial y humedad), mejora la previsión de crecidas que tienen un componente cárstico, suministrando una herramienta de gestión de crisis basada en indicadores pertinentes sobre la saturación de los suelos y del carst. El segundo proyecto, LITO-CMS (Previsión y ayuda a la gestión de las crisis en tiempo real, inundación y sumersión en zona litoral), tiene a BRL Ingénierie como jefe de fila. Busca paliar la falta actual de precisión de la información sobre los riesgos de rebasar la cota de marea habitual, disponible para las administraciones locales y regionales. Los servicios actuales no tienen en cuenta la incidencia de esta marea excepcionalmente alta en el flujo de los ríos costeros.

Transferts LR : para innovar en el sector del agua en Languedoc-Roussillon

Creada en 2005 por iniciativa de la Región y del Estado, con el apoyo de Europa y de los consejos generales, la misión de la asociación Transferts LR es apoyar la competitividad de las empresas en Languedoc-Roussillon a través de la innovación y la transferencia de tecnología. Su actividad principal es desarrollar la innovación, la transferencia de tecnología y la integración de nuevos conocimientos y competencias en

las empresas regionales. Trabaja en red con todos los actores que contribuyen al desarrollo económico.

Varios ejes de intervención de Transferts LR conciernen el agua y son abordados conjuntamente por laboratorios de investigación y empresas de cualquier tamaño, una parte de las cuales se ha reunido en Swelia (agrupación de empresas del sector del «Agua») o son miembros del polo de competitividad «Agua». Estos ámbitos de actuación conciernen los aspectos siguientes:

- conocimiento, prevención y gestión de riesgos hidrológicos, sanitarios y de contaminación del agua;
- gestión concertada de los recursos hídricos (incluyendo los recursos no convencionales) y sus usos, herramientas metrológicas y combinaciones de indicadores que contribuyen a la caracterización y al seguimiento (de masas de agua y eventos);
- procedimientos de tratamiento y depuración del agua, y reutilización de los subproductos del saneamiento;
- redes de transporte;
- agua y energía.

Se lleva a cabo una serie de experimentaciones piloto en los laboratorios, centros tecnológicos (LBE, EMA, UM2), instituciones especializadas (Ciencias del Riesgo en Alès) o centros de excelencia privados (IBM *Water management*) presentes en Languedoc-Roussillon. Los desarrollos metodológicos suelen realizarse en condiciones reales de funcionamiento, en esos mismos establecimientos o en infraestructura pública. También participan la Agencia del Agua, los servicios del Estado interesados y los servicios técnicos de las administraciones locales y regionales. ...

Contactos



Cátedra «Agua para Todos»
(AgroParisTech, Fundación Suez Environnement)
Director: Jean-Antoine Faby
Contacto: opt@engref.agroparistech.fr
www.agroparistech.fr/OpTEaupourTous.html



FRIEND
Flow Regimes From International and Experimental Network Data
(Regímenes de flujo determinados a partir de series de datos internacionales experimentales y de redes)
(UNESCO)
Contacto: Gil Mahé
gil.mahé@ird.fr
<http://armspark.msem.univ-montp2.fr>



IWRA
International Water Resources Association
(Asociación Internacional de Recursos Hídricos)
Director: Tom Soo
Contacto: office@iwra.org
www.iwra.org



Pôle Eau
Polo de competitividad AGUA
Presidente: Michel Dutang
Director Général: Yannick Ponton
Contacto: info@pole-eau.com
www.pole-eau.com



Polo «Riesgos»
Polo de competitividad «Gestión de riesgos y vulnerabilidades territoriales»
Presidente: Joël Chenet
Contacto: [Guillaume Riou](mailto:guillaume.riou@pole-risques.com)
guillaume.riou@pole-risques.com
www.pole-risques.com



Transferts LR
Presidente: Christophe Carniel
Contactos: Jean-Michel Clerc
clerc@transferts-lr.org

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

Transferts LR ofrece una ayuda concreta, multidisciplinaria y sostenible para montar y realizar proyectos tecnológicamente innovadores: participación en las reflexiones estratégicas de las empresas, vinculación con los laboratorios de investigación científica interesados, organización y seguimiento del proyecto. Los productos y servicios desarrollados tienen aplicaciones regionales, nacionales y europeas. El servicio Europa y la pertenencia de Transferts LR a la red «Empresas de Europa» (más de 600 estructuras europeas agrupadas) son útiles para buscar interlocutores y socios europeos, entablar encuentros de negocios con empresas especializadas que se encuentren en otros distritos industriales europeos. A través de su asesoramiento científico, Transferts LR también evalúa determinados proyectos por cuenta de los organismos de financiación a los que se ha recurrido.

El dinamismo de las PyMEs, incluso de las más pequeñas, la sinergia entre los laboratorios de investigación científica y los grandes grupos, permite elaborar proyectos concretos, integradores, de gran valor añadido y que responden a las necesidades de los usuarios. Estos proyectos suponen inversiones importantes (de algunas decenas de miles a varios millones de euros) y se llevan a cabo con el apoyo de las regiones (especialmente la Región Languedoc-Roussillon), de Oséo, del Fondo Europeo de Desarrollo Regional y del Estado (Fondo Único Interministerial, EcoIndustrie, ANR).

De noviembre de 2010 a noviembre de 2011, gracias a este apoyo se ha montado una decena de proyectos colaborativos (de 24 a 36 meses de duración, con inversiones de 1,2 a 4 millones de euros), lo que corresponde a unos consorcios de dimensión variable, interesados en desarrollar ecotecnologías hídricas: gestión del agua (certificado concedido por el Polo «Agua»), riesgos de inundación y sumersión marina (certificado concedido por el Polo «Riesgos»), y seguimiento de la biodiversidad del medio marino (certificado concedido por el Polo «Mar»). Fuera de los

polos también se han montado otros proyectos sobre el tratamiento del agua, la protección de las zonas de captación y la reutilización de aguas usadas depuradas. La simple cuestión de la factibilidad técnica de nuevos productos ha interesado a cinco empresas y laboratorios.

Asociación VERSeau Développement: una estructura específica que opera como coordinadora

VERSeau Développement es una asociación fundada en 1983, cuyos miembros vienen de la investigación científica, la industria y las administraciones locales y regionales, reunidos así con el fin de facilitar el surgimiento de proyectos relativos al control del agua (aspectos institucionales, técnicos y jurídicos).

VERSeau Développement ayuda a reforzar y mejorar la gestión del agua a través de una serie de misiones clave:

- facilitar la concertación y la cooperación entre sus interlocutores científicos e industriales y las administraciones locales y regionales;
- impulsar la actividad de las redes y los proyectos científicos y técnicos, y su vulgarización;
- valorizar el resultado de los programas de investigación y desarrollo;
- contribuir en la adopción de políticas públicas sobre el agua;
- realizar peritajes, asesoramientos y formaciones.

Estas misiones conciernen diferentes actividades tales como: gestión y coordinación de redes, proyectos y programas en el ámbito del agua; experiencia y capacidad de efectuar peritajes; organización de eventos y animación de redes.

VERSeau Développement apoya las políticas públicas sobre el agua de las administraciones locales y regionales (y de los servicios del Estado), las empresas e industrias del sector hídrico presentes localmente y los organismos de investigación y de formación profesional. Este apoyo se refleja en peritajes puntuales, búsqueda de acuerdos de cooperación, seguimiento de estudiantes en prácticas, y proyectos



▲ *Análisis del agua in situ.*

© N. Arnaud

como el impulso de la Declaración «Calidad de las redes de saneamiento de Languedoc-Roussillon».

VERSeau Développement tiene una sólida competencia internacional para organizar proyectos europeos de cooperación, sobre todo en la cuenca mediterránea, Europa Central, el Cáucaso y Asia Central, para apoyar la cooperación descentralizada del Consejo General del Hérault (Túnez y Marruecos) y para animar las redes internacionales de proyectos científicos.

En 2008, VERSeau Développement ha organizado el XIIIº Congreso Mundial del Agua de la IWRA (*International Water Resources Association*, cf. p.59), en cooperación con el Instituto de Investigaciones sobre Agua y Medio Ambiente de Languedoc y ENJOY Montpellier, y conjuntamente con los actores institucionales, científicos y privados internacionales. VERSeau también alberga la mesa ejecutiva de la IWRA desde abril del 2010.

IWRA: *International Water Resources Association*

IWRA es una red internacional multidisciplinaria de expertos en el ámbito de los recursos hídricos. Esta asociación educativa no gubernamental sin ánimo de lucro fue creada en 1971 y pone a disposición de profesionales, estudiantes, individuos, empresas

e instituciones de todo el mundo, interesados por la utilización sostenible del recurso hídrico, un foro para debatir estos temas.

El objetivo de la IWRA es lograr una buena comprensión de la problemática vinculada al agua a través de la docencia, la investigación y el intercambio de información entre países y disciplinas. La IWRA trabaja muy intensamente a favor de una buena administración de los recursos hídricos, gracias a una mejor comprensión de los aspectos físicos, ecológicos, químicos, institucionales, sociales y económicos del agua. Para ello, esta asociación desarrolla las siguientes actuaciones:

- ofrece un foro internacional sobre los temas vinculados a los recursos hídricos;
- realiza estudios avanzados sobre los recursos hídricos;
- dispensa una enseñanza sobre el agua, facilitando el acceso mundial a los datos y a la información pertinente;
- mejora la calidad de los conocimientos necesarios para tomar decisiones;
- mejora el intercambio de información y la capacidad de efectuar estudios y peritajes;
- conecta en red a las organizaciones interesadas para avanzar concertadamente hacia un objetivo y defender los intereses compartidos.

Desde 1973, el Congreso Mundial del Agua de la IWRA se ha llevado a cabo cada tres años en ciudades diferentes

de todo el mundo. Cada congreso se organiza en torno de un tema central vinculado a la problemática actual del agua. Así, el 14º Congreso Mundial se organizó en 2011 en Porto-de-Galinhas (Brasil), cuyo tema principal era «Gestión adaptativa del agua». El próximo Congreso Mundial de 2014 se organizará conjuntamente con la Universidad de Granada (España).

Desde 1975, *Water International* es el diario oficial de la IWRA, publicado desde 2008 por la editorial *Taylor & Francis*, por cuenta de la IWRA. Esta publicación es una de las principales fuentes de información en materia de investigación y política internacional sobre recursos hídricos. Los artículos y las notas técnicas de *Water International* se interesan en la gestión, la política y el buen gobierno del agua, y están dirigidos a un amplio público interdisciplinario. El diario suministra información a los miembros y les permite estar conectados a una red de universitarios y operadores de todo el mundo, publicando una información de gran importancia procedente de conferencias, revistas, libros y debates.

La IWRA reconoce la contribución de primordial importancia en materia de gestión del agua que hacen las organizaciones, los profesionales y los investigadores. Así, durante el Congreso Mundial del Agua de la IWRA, se entregan premios a particulares, autores y organizaciones por su esfuerzo por mejorar el estado de los recursos acuíferos en el mundo. ...

AISH: Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas

La *AISH, Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas*, es una organización científica al servicio de las ciencias hidrológicas y de la comunidad internacional de hidrólogos. Creada en 1922, cuenta con más de sesenta comités nacionales y más de 5.000 miembros individuales oriundos de 130 países. El objetivo de la AISH es promover la hidrología como ciencia de la Tierra y fundamento para una buena gestión del agua. La idea central es impulsar y coordinar los estudios sobre los problemas hidrológicos a nivel internacional, ofrecer un ámbito de discusión y de publicación de asuntos hidrológicos, apoyar las ciencias hidrológicas en los países en desarrollo y alentar la formación profesional de los hidrólogos.

Las diez comisiones científicas internacionales de la Asociación se interesan en los diferentes aspectos del ciclo hidrológico, en los recursos hídricos y las técnicas específicas.

La AISH publica el «Diario de ciencias hidrológicas», bilingüe francés/inglés (8 números por año) y las actas de las conferencias en la colección «Libros rojos» (350 volúmenes publicados). Participa un gran número de hidrólogos de Montpellier que trabaja en estrecha colaboración con la AISH. Actualmente, Éric Servat (UMR HSM) es Presidente de la Comisión Internacional de Aguas de Superficie, Frédérique Seyler (UMR Espace-DEV) es Vicepresidente de la Comisión Internacional de Teledetección, y Gil Mahé (UMR HSM) es miembro asociado de la Comisión Internacional de Sistemas y Recursos Hídricos.

AFEID: administrar el agua para una agricultura sostenible

La *Asociación Francesa de Agua, Irrigación y Drenaje (AFEID)* es una asociación de interés general y sin ánimo de lucro, creada en 1954, que congrega a los expertos franceses sobre la temática del agua para alimentación y desarrollo de los territorios rurales. Sus miembros son tanto expertos, miembros a título individual, como organizaciones: profesiones agrícolas, sociedades de ordenación regional, organismos de investigación científica, agencias del agua, oficinas de proyectos, asociaciones y fundaciones.

La AFEID es un lugar privilegiado de diálogo sobre cuestiones en torno del agua para alimentación y desarrollo de zonas rurales. En efecto, la AFEID contribuye al debate sobre los retos agrícolas y medioambientales en torno del agua, organizando con regularidad encuentros regionales o nacionales y conferencias internacionales.

La AFEID es el comité francés de la Comisión Internacional de Irrigación y Drenaje (CIID). Participa en sus grupos de trabajo y conferencias anuales, y contribuye a las publicaciones de la revista de la CIID *Irrigation and Drainage*. En el seno de la Colaboración Francesa del Agua, la AFEID participa a la elaboración y la expresión de la posición francesa en las grandes instancias y conferencias internacionales, en particular, en el Foro Mundial del Agua. La AFEID ha adoptado una activa política de cooperación técnica con la Agencia Francesa de Desarrollo y el Ministerio de Asuntos Extranjeros y Europeos, en el marco de la ayuda pública para el desarrollo.

En Francia, la AFEID trabaja en una temática compartida con la Asociación Científica y Técnica del Agua y el Medio Ambiente, la Sociedad Hidrotécnica de Francia y la Academia del Agua, con el apoyo del Ministerio de Ecología, Desarrollo Sostenible, Transporte y Vivienda, y con el Oficio Nacional del Agua y Medios Acuáticos. Está organizada en torno de un Comité Técnico, con sus grupos de trabajo temáticos, estructurando así las reflexiones y los estudios de la asociación: ¿qué calidad de agua para qué clase de uso?; ingeniería ecológica para restaurar los cursos de agua; instrumentos económicos, financieros y fiscales para administrar el agua; prospectiva del agua y cambios globales; gestión participativa de irrigación e ingeniería conjunta; intercambio de experiencias sobre la gestión de los sistemas de irrigación; gestión de recursos hídricos subterráneos.

La AFEID colecta y difunde información a través de un secretariado permanente basado en Montpellier, sede de la asociación.

La investigación científica sobre el agua en los sistemas de producción del CGIAR

Desde 2010, Montpellier acoge la sede del Consortium del CGIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research*), una cooperación estratégica que reúne 64 donantes públicos y privados que apoyan 15 centros internacionales, los cuales trabajan en colaboración con centenares de gobiernos, organizaciones de la sociedad civil y empresas privadas de todo el mundo. En el CGIAR, las investigaciones científicas sobre el agua se llevan a cabo a través de dos programas:



▲ Técnicas modernas de irrigación en el palmeral de Tafilalet, Marruecos.

© T. Ruf

el CPWF, (*Challenge Program on Water and Food*), que se puso en marcha en 2002, y desde 2012, el programa CRP5 «Water, Lands and Ecosystems».

► CPWF: *Challenge Program on Water and Food*

Desde 2002, el CPWF se interesa en el vínculo que hay entre el agua, la alimentación y la pobreza en los países en desarrollo. Este programa desarrolla innovaciones en el ámbito del agua, con el objetivo de reducir la pobreza, mejorar la seguridad alimentaria, reforzar las comunidades rurales y mantener los servicios ecosistémicos. Para ello, el CPWF utiliza un innovador enfoque de investigación y desarrollo, que reúne a científicos, especialistas del desarrollo, responsables y comunidades rurales de las diferentes cuencas hidrológicas. El CPWF ya ha producido numerosas innovaciones, especialmente en las diez cuencas que incluyen los Andes y São Francisco en Suramérica, las cuencas del Limpopo, del Níger, del Nilo y del Volta en África, al

igual que los del Ganges, del Indo, del Karkheh, del Mekong y del Río Amarillo en Asia. Estas cuencas hidrológicas cubren 13,5 millones de km² y en ellas viven 1.500 millones de personas, la mitad de las cuales se cuentan entre las más pobres del mundo.

En 2011, el CPWF ha publicado las conclusiones de un amplio estudio sobre el agua, la alimentación y la pobreza en estas diez cuencas. Según Simon Cook, director del CRP5, «*El descubrimiento más asombroso es que, a pesar de todas las presiones que se ejercen actualmente en nuestras cuencas hidrológicas, existen posibilidades relativamente directas de satisfacer nuestras necesidades de desarrollo y aliviar la pobreza de millones de personas, sin agotar nuestro recurso natural más valioso*». En efecto, los recursos para satisfacer las necesidades de la población en 2050 existen, pero la vía hacia la sostenibilidad depende de las políticas y de las instituciones, especialmente en lo que concierne el reparto de los beneficios. Entre los

principales resultados de este estudio, podemos citar los siguientes:

- No hay una relación estrecha entre escasez del agua y pobreza.

El reto es mucho más complejo que la simple escasez del agua, porque la escasez genera una competición para obtener el recurso hídrico y una distribución injusta de los productos y servicios suministrados por la cuenca hidrológica (agua, alimentos, energía, servicios de regulación del ecosistema).

- Se puede obtener un importante incremento de la productividad agrícola en zonas de agricultura pluvial, especialmente en África. El CPWF ha observado que sólo el 4% del agua disponible se utiliza allí en agricultura y producción pecuaria. Con unas pocas y modestas mejoras en África Subsahariana, se podría producir dos a tres veces más de alimentos. Asimismo, el incremento de la productividad no depende simplemente de mejoras tecnológicas, sino también de las que se pueden aportar a los mercados (infraestructuras, acceso a diferentes mercados, etc.). ...



▲ Irrigación tradicional en Túnez.

© R. Calvez

- Los agricultores están cada vez más expuestos a diferentes riesgos debido al cambio y a las irregularidades climáticas, al igual que a la inestabilidad del mercado.
- Es importante que la incorporación de nuevas tecnologías y políticas refuercen la capacidad que tienen los agricultores de resistir (su capacidad de superar obstáculos, adaptando o transformando su actividad) y mejorar la productividad.
- La gestión del agua suele estar centrada en las necesidades de un sector, sin considerar el hecho de que se la utilice para otros fines (agricultura, industria, etc.).
- Los recursos hídricos deberían administrarse a escala de la cuenca hidrológica, más que a nivel del país o del sector. Esta fragmentación institucional puede generar conflictos y políticas no equitativas. Se deben identificar nuevos enfoques sobre el reparto de los beneficios, más que concentrarse únicamente en la asignación del agua a los diferentes sectores.

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

Según las previsiones, el mundo contará con 9.000 millones de habitantes en 2050. La producción agrícola deberá obligatoriamente intensificarse para satisfacer una demanda alimentaria en constante crecimiento. No obstante, esta intensificación no podrá hacerse en detrimento de nuestro medio ambiente, a menos que se afecten de forma irreversible los ecosistemas que sostienen a nuestra agricultura. Tal es el reto que debe superar el programa de investigación «Water, Lands and Ecosystems», del CGIAR:

¿cómo aumentar la productividad agrícola preservando, al mismo tiempo, el medio ambiente y reduciendo la pobreza de millones de familias rurales?

Este programa, coordinado por el IWMI (*International Water Management Institute* – Instituto Internacional de Gestión del Agua), reúne los recursos de 15 centros del CGIAR y numerosos interlocutores exteriores, en un enfoque integrado de la investigación científica sobre la gestión de los recursos naturales. El programa se concentra en tres aspectos críticos: la escasez de agua, la degradación de las tierras y los servicios ecosistémicos. En filigrana figuran los temas omnipresentes vinculados a la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza, la nutrición y la sanidad.

El programa analizará el modo según el cual los factores exteriores influyen en los sistemas de producción, y en qué medida las respuestas a estos cambios, en términos de gestión, afectan a su vez a los servicios ecosistémicos: ¿qué impactos se producen en los recursos naturales a escala de la cuenca hídrica y del paisaje? ¿Cómo medir las modificaciones de los servicios ecosistémicos? ¿Cómo utilizar esta información para mejorar las decisiones en términos de gestión y de políticas sobre las tierras y el agua?

El programa se organiza en torno de cinco temas estratégicos de investigación:

- sistemas irrigados;
- sistemas pluviales;
- recuperación y reutilización de recursos;

- cuencas hidrológicas;
- sistemas de información.

Y en dos temas transversales:

- servicios ecosistémicos;
- instituciones y buen gobierno.

Cada tema tratará de alentar la resistencia de los ecosistemas e incrementar los servicios prestados por esos ecosistemas, reduciendo al mismo tiempo los impactos negativos. El objetivo es mejorar la adaptación de los sistemas de producción agrícola y pastoral a los cambios medioambientales en curso.

FRIEND: Flow Regimes from International and Experimental Network Data

FRIEND es el núcleo del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI), que se lleva a cabo a través de unos diez grupos regionales en todo el mundo, en el que participan más de 100 países. Su objetivo es promover la colaboración internacional en la investigación científica para generar, a través de la información y los datos compartidos, nuevos conocimientos y técnicas, una mejor comprensión regional de la variabilidad hidrológica y de las similitudes temporales y espaciales. Los avanzados conocimientos de los procesos hidrológicos y de los regímenes de drenaje, adquiridos a través de *FRIEND* contribuyen a mejorar los métodos que se pueden aplicar a los recursos hídricos y a planificar más acertadamente su administración.

Los principales temas de investigación estudiados en cada grupo FRIEND varían según las regiones, y conciernen principalmente la erosión y el transporte sólido, la ecología, los estiajes y las aguas subterráneas, los acontecimientos extremos y las crecidas, la modelización hidrológica, el impacto del cambio global en los regímenes hidrológicos y los recursos hídricos, incluyendo los que se encuentran en altura. En cada grupo regional se ha elaborado una base de datos compartida, que está a disposición de los investigadores asociados a través de los sitios web desarrollados. Las actividades que se realizan en el marco de FRIEND, bajo la égida de la UNESCO, son de diversos tipos: talleres científicos, conferencias internacionales, formaciones profesionales, intercambios científicos, etc.

Los hidrólogos de Montpellier están muy presentes en este gran programa internacional. Jean-François Boyer (HSM) coordina las bases de datos de varios grupos regionales: MEDFRIEND (Cuenca Mediterránea), FRIEND-AOC (África Occidental y Central), FRIEND AMIGO (América Latina y el Caribe). La coordinación general de MEDFRIEND está a cargo de HydroSciences Montpellier desde 1999.

La cátedra «Agua para Todos», para un acceso universal al agua y al saneamiento

Miles de ciudades de varios centenares de miles de habitantes tienen un servicio urbano de agua cuya gestión es deficiente. La falta de conocimientos, especialmente el que concierne la gestión de los servicios urbanos de agua y saneamiento, constituye uno de los factores que dificultan el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en los países más pobres. Esta situación, ha motivado que la Fundación Suez Environnement y ParisTech crearan en junio de 2009 la cátedra de enseñanza e investigación «Agua para Todos». Esta cátedra, que tiene su sede en el Instituto de Francia, está impulsada por dos escuelas de ParisTech (AgroParisTech y Mines ParisTech) y nació de la voluntad de entablar una cooperación duradera sobre el tema del acceso al agua y al saneamiento en los países en desarrollo, emergentes o en transición. La cátedra «Agua para Todos» contribuye a difundir los conocimientos, la experiencia y las técnicas operativas de gestión de los servicios urbanos de agua potable y saneamiento en red en esos países. Para ello, ofrece un *executive master* de AgroParisTech (cf. p. 69)

en Montpellier, alternativamente en francés y en inglés, para reforzar las competencias de los administradores y ayudarles en los procesos de cambio que llevan a cabo en sus servicios. Asimismo, busca crear una red constituida por auditores y profesionales muy presentes en todas las etapas de esta formación profesional.

La cátedra también busca ser un polo internacional de referencia, asociando la formación a un programa de investigación dedicado a desarrollar el acceso al agua y al saneamiento. Su estructuración científica y su contenido han sido diseñados en estrecho vínculo con las unidades de investigación Mines ParisTech y de AgroParisTech (Centro de Gestión Científica, UMR G-EAU, etc.). Sus ejes de investigación son los siguientes:

- facilitar el acceso universal y sostenible a los servicios hidrológicos y de saneamiento;
- analizar las condiciones de acceso a esos servicios;
- estudiar el buen gobierno de los servicios de agua potable y de saneamiento en los países emergentes y en desarrollo. ■



Temas cubiertos por los equipos de investigación

(Enero de 2012)

Las diferentes unidades y equipos de investigación que aparecen en el texto de este informe se reproducen en este cuadro.

1. Recursos hidrológicos: identificación, funcionamiento, movilización
2. Preservación y restauración de la calidad del agua
3. Gestión de recursos y usos del agua: instituciones, territorios y sociedades

Los «principales» temas de cada equipo están indicados en rojo (●) en el cuadro.

Página: presentación del equipo

Unidades	Página	1	2	3
UMR ART-Dev – Actores, Recursos y Territorio en Desarrollo (CNRS, UM3, CIRAD, UM1, UPVD) Genevieve Cortès	48			●
UMR EMMAH – Medio Ambiente Mediterráneo y Modelización de Sistemas Agrícolas e Hidrológicos (INRA, UAPV) Liliana Di Pietro	14	●	●	
UMR ESPACE-DEV – Espacio para el Desarrollo (IRD, UM2, UAG, UR) Frédéric Huynh	47	●		●
UMR G-EAU – Gestión del Agua, Actores, Usos (AgroParisTech, IRSTEA, CIHEAM-IAMM, CIRAD, IRD, Montpellier SupAgro) Patrice Garin	40	●	●	●
UMR GM – Geociencias de Montpellier (CNRS, UM2) Jean-Louis Bodinier	10	●		
UMR GRED – Buen Gobierno, Riesgo, Medio Ambiente, Desarrollo (IRD, UM3) Francis Laloë	42			●
UMR HSM – Ciencias Hídricas de Montpellier (CNRS, IRD, UM1, UM2) Éric Servat	8	●	●	●
UMR IEM – Instituto Europeo de Membranas (CNRS, ENSCM, UM2) Philippe Miele	26		●	
UMR ITAP - Información - Tecnología - Análisis Medioambiental - Procedimientos Agrícolas (IRSTEA, Montpellier SupAgro) Tewfik Sari	28	●	●	●
UMR LAMETA – Laboratorio de Montpellier de Economía Teórica y Aplicada (CNRS, INRA, Montpellier SupAgro, UM1) Jean-Michel Salles	44			●
UMR LISAH – Laboratorio de Interacciones del Suelo - Agrosistemas - Hidrosistemas (INRA, IRD, Montpellier SupAgro) Jérôme Molénat	13	●	●	●
UMR TETIS – Territorios, Medio Ambiente, Teledetección e Información Espacial (AgroParisTech, CIRAD, IRSTEA) Jean-Philippe Tonneau	46	●	●	●
UMS OREME – Observatorio de Investigación Mediterránea sobre el Medio Ambiente (CNRS, IRD, UM2) Nicolas Arnaud	13	●		
UPR GREEN – Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente (CIRAD) Martine Antona	49			●
UR EAU/NRE - Agua: Nuevos Recursos y Economía (BRGM) Jean-Christophe Maréchal	16	●		●
UR LBE – Laboratorio de Biotecnología del Medio Ambiente (INRA) Jean-Philippe Steyer	29		●	
UR LGEI – Laboratorio de Ingeniería de Medio Ambiente Industrial (EMA) Miguel Lopez-Ferber	12	●	●	●
US «Análisis» - Análisis de Agua, Suelo y Vegetales (CIRAD) Daniel Babre	31		●	

Formaciones profesionales en Agropolis International

en el ámbito del agua

A través de sus centros de investigación, las universidades y las escuelas de ingenieros (y demás instituciones especializadas en formación continua), Agropolis International propone una oferta de formación profesional

completa. En total, son más de 80 formaciones que otorgan un título (de 2 a 8 años de estudios terciarios y universitarios: técnico, ingeniero, licenciatura, máster, máster especializado, doctorado, etc.). Los cuadros que se presentan a continuación detallan las

formaciones correspondientes al ámbito del agua. En ellos se indican el nivel de los títulos, la denominación de cada especialidad y los organismos en los que se desarrolla.

Estudios centrados en la temática del agua

Nivel*	Título	Denominación de la formación y especialidad	Centro de estudios
3 años	Licenciatura	Ciencias de la vida y de la Tierra, circulación Tierra y agua	UAPV
	Licenciatura profesional	Gestión automatizada de sistemas de tratamiento del agua	UM2, Montpellier SupAgro, EPLEFPA/ Lozère
5 años	Máster	Agua – especialidad «Agua y sociedad»	AgroParisTech, IAMM, Montpellier SupAgro, UM1, UM2, UM3
		Agua – especialidad «Agua y agricultura»	AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM2
		Agua – especialidad «Recursos hídricos»	UM2
		Agua – especialidad «Contaminantes, agua, sanidad»	UM1, UM2
		Hidrogeología, suelos y medio ambiente	UAPV
	Ingeniero	Ingeniero agrónomo – opción «Gestión del agua, de medios cultivados y del medio ambiente»	Montpellier SupAgro
6 años	Máster especializado	Ingeniero Polytech' en ciencias y tecnologías hídricas	UM2
		Gestión del agua	AgroParisTech
		Agua para todos - <i>Water for All</i>	AgroParisTech

Estudios centrados en otras temáticas pero que tienen componentes significativos en la temática del agua

Nivel*	Título	Denominación de la formación y especialidad	Centro de estudios
2 años	Diploma Universitario de Tecnología	Ingeniería biológica, opción ingeniería medioambiental	UPVD
		Química: análisis químico aplicado al medio ambiente	UM2
3 años	Licenciatura	Geografía	UM3
		Biología	UNimes
		Geociencias, biología, medio ambiente	UM2
		Ciencias de la tierra y del medio ambiente	UPVD
		Biología, ecología	UPVD
		Gestión y ordenación sostenible del espacio y los recursos	UPVD
	Licenciatura profesional	Análisis químico aplicado al medio ambiente	UM2
		Control de riesgos e impactos medioambientales	UNimes
	Desmantelamiento, desechos, descontaminación y control de riesgos industriales	UNimes	

* estudios universitarios

Estudios centrados en otras temáticas pero que tienen componentes significativos en la temática del agua

Nivel*	Título	Denominación de la formación y especialidad	Centro de estudios
5 años	Máster	Ingeniería y gestión del territorio	UM1, UM2, UM3
		Sociedades rurales, territorio y gestión de recursos naturales en Mediterráneo	IAMM
		Gestión agrícola y territorios	IAMM, UM3
		STIC para el medio ambiente	UM2
		Territorio y sociedad, ordenación y desarrollo	UM3
		Desarrollo sostenible y ordenación del territorio	UM3
		Ciencias de la Tierra	UM2
		Ecología-biodiversidad, especialidades: biodiversidad y evolución, medio ambiente y desarrollo sostenible	UM2, Montpellier SupAgro
		Geociencias marinas y medio ambientes acuáticos	UPVD
		Agua - especialidad: gestión del litoral y del mar	UM3, UM2, UM1
	Maestría europeo en desarrollo agrícola sostenible / <i>European Master Sustainable Development in Agriculture (AGRIS MUNDUS)</i>	Montpellier SupAgro, 5 universidades europeas	
	Ingeniero	Gestión de riesgos y medio ambiente	EMA
		Ingeniero ISTOM desarrollo agronómico internacional	ISTOM
		Química y procedimientos biológicos para un desarrollo sostenible (química verde – química sostenible)	Montpellier SupAgro
		Ingeniero agrónomo, orientación "Ingeniería hidrológica y desechos"	AgroParisTech
AgroTIC – Tecnologías de la información y de la comunicación		Montpellier SupAgro	
Territorio y recursos: políticas públicas y actores		Montpellier SupAgro	
6 años	Máster especializado	Seguridad industrial y medio ambiente	EMA
8 años	Doctorado	Sistemas integrados de biología, agronomía, ciencias de la tierra, ciencias hidrológicas, medio ambiente (ED 477 SIBAGHE)	AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM1, UM2
		Geografía y ordenación del territorio (ED 60 TTSD)	UM3
		Ciencias y ciencias agronómicas (ED 536 SAS)	UAPV

* estudios universitarios

Estudios breves que no conceden título

Centro de estudios	Denominación de la formación
AgroParisTech	Obras de retención dinámica de crecientes y prevención de inundaciones (5 días)
	Sistemas hidrológicos: hidromorfología, hidroecología, evaluación medioambiental (4 días)
	Instrumentos financieros para reforzar y desarrollar los servicios de agua y saneamiento (4 días)
	Gestión de recursos humanos de un servicio de agua y saneamiento (4 días)
	Planificación estratégica de los servicios hidrológicos y de saneamiento (12 días)
	Ingeniería de diques fluviales existentes (5 días)
	Calidad del agua y sanidad (4 días)
	Principios y herramientas para administrar los servicios de agua y de saneamiento (4 días)
	Tramas verdes y azul: herramientas de ordenación del territorio (4 días)
	Preparación para la negociación de una concesión de servicio público para el agua o el saneamiento (4 días)
Montpellier SupAgro	Reutilización de aguas residuales para irrigación (21 horas)
UM2	Técnico especializado en acuicultura
	Jefe de proyecto y explotación en acuicultura y recursos pesqueros

▼ Experimentos de terreno con los estudiantes del máster "Agua".



MÁSTERS & ESTUDIOS DOCTORALES vinculados al tema del agua

© H. Jourde

Algunos másters en relación con el agua

► Máster «Agua»: una formación única con cinco especialidades

Montpellier cuenta con un potencial de investigación y enseñanza superior en el ámbito del agua, que se cuenta entre los más destacados de Europa, con una diversidad disciplinaria inigualada. En este contexto, los organismos de enseñanza asociados (UM1, UM2, UM3, Montpellier SupAgro, AgroParisTech, CIHEAM-IAMM) ofrecen cursos que abarcan todos los aspectos de la problemática del agua. Las cinco especialidades de este máster (una de las cuales ofrece 2 opciones) tienen una doble finalidad, profesional y

de investigación. La orientación definitiva se decide en el segundo año de máster, en función del tipo de prácticas, ya sea en laboratorio (investigación) o en empresa/organismo (profesional). Existen las cinco especialidades siguientes:

- Agua y agricultura
- Contaminantes, agua y sanidad
- Agua y sociedad
- Agua y litoral
- Agua y recursos (orientación HYDRE «Hidrología, Riesgos, Medio Ambiente»; orientación H3E «Hidrogeología cualitativa y cuantitativa, medio ambiente»)

Las principales aplicaciones de esta formación se encuentran en los ámbitos de actividad siguientes: ciencias hidrológicas y del medio ambiente; gestión del territorio; políticas públicas; asesoramiento,

mediación, evaluación; derechos del medio ambiente, seguros; enseñanza superior e investigación científica; control y análisis del agua; riesgos ecotoxicológicos y sanitarios; servicio de calidad del agua en las estructuras públicas o privadas; agronomía.

La selección para ingresar al M1 del máster se hace por antecedentes, para los que tienen un título de nivel L3 o equivalente en diferentes ámbitos de estudio (ciencias, geografía, derecho, sanidad), según la especialidad seleccionada. El acceso al M2 está prioritariamente reservado a los estudiantes que han validado el ciclo M1 del máster «Agua». La formación también está abierta a los empleados que siguen una formación profesional continuada o alternada, a nivel del M1 o del M2. ...

► **Máster «Hidrogeología, Suelos y Medio Ambiente»**

El máster «Hidrogeología, Suelos y Medio Ambiente» (HSE) prosigue el linaje de formaciones que dispensa la universidad de Aviñón (UAPV) desde comienzos de los años 80, en investigación científica e ingeniería en ciencias hidrológicas. El objetivo de esta máster es formar gente capaz de utilizar los recursos hidrológicos en su marco paisajístico (impacto de las modificaciones debidas a la ocupación del territorio en el recurso hidrológico) y en su relación con el suelo (papel cuantitativo y cualitativo de esta interfaz y fragilidad respecto a la contaminación). Para ello, la adquisición de los conocimientos se articula en torno de tres ejes:

- ❶ Funcionamiento de la zona no saturada
- ❷ Funcionamiento de los acuíferos
- ❸ Modelización.

Gracias a las relaciones entabladas y mantenidas con los laboratorios, unidades de investigación científica o empresas del sector del agua y del medio ambiente, el 40% de su equipo pedagógico está compuesto por docentes exteriores a la UAPV: profesionales de organismos públicos de gestión del agua y del medio ambiente, y de oficinas de proyectos o sociedades especializadas en la protección o explotación del recurso hidrológico, al igual que investigadores de organismos públicos cooperantes. En el plano de la investigación científica, el máster se basa en la UMR EMMAH, que forma parte de la escuela de posgrado «Ciencias y Agrociencias» de la UAPV. El máster HSE es idéntica para los profesionales y los investigadores. La prosecución del doctorado o la salida profesional es función del tipo de prácticas elegidas.

Los estudiantes se seleccionan a partir de antecedentes en el nivel M1, al término de una licenciatura de Ciencias de la Tierra o de Ciencias del Medio Ambiente. Integran automáticamente el nivel 2 si han validado el M1. En 2º año se incorporan algunos estudiantes más. El M2 se hace conjuntamente con la universidad de la Reunión (UR). Los miembros del departamento de Ciencias de la Tierra de la UR realizan los cursos específicos de esta formación y son tutores de las prácticas.

► **Máster «Agua para Todos»: para reforzar las competencias de los futuros directivos y administradores**

Para formar y reforzar las capacidades de los futuros directivos y administradores de los servicios urbanos de agua y saneamiento, en países en desarrollo, emergentes o en transición, la cátedra «Agua para Todos» coordina un *international executive master* «Agua para Todos» (OpT). Estos estudios (en francés y en inglés) suministran herramientas, métodos y tecnologías a los profesionales confirmados de este sector, para:

- impulsar el cambio en los servicios;
- definir e impulsar dinámicas de reforma a escala de su servicio y de su país;
- evaluar la sostenibilidad técnica, social y financiera de los servicios;
- elaborar estrategias para mejorarlos.

Estos estudios de 12 meses, dispensados en el centro AgroParisTech de Montpellier, están elaborados con una colaboración operativa entre:

- la empresa que define la misión de su auditor;
- el auditor que establece el plan de acción que responde a su misión;
- el equipo de formación, del que forman parte profesionales, que forma y ayuda a los auditores en su misión en Montpellier, durante los períodos pedagógicos y en su servicio para efectuar su misión.

Por otra parte, para comprender mejor la problemática operativa, esta formación alternada con el servicio de la empresa a la que pertenece el estudiante, prevé unos períodos pedagógicos y dos prácticas en el mismo organismo (público o privado) del futuro directivo, para aplicar la misión que se le ha confiado, al igual que unas prácticas en un servicio de referencia en Europa.

Los estudiantes deben tener un nivel de estudios de 5 años, y se seleccionan a partir de los antecedentes que presenta su empresa o su autoridad tutelar.

Contactos

Máster «Agua»

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

Responsable: Séverin Pistre
mastereau@msem.univ-montp2.fr
www.master-eau.um2.fr

Máster «Hidrología, Suelos y Medio Ambiente» (HSE)

(UAPV, UR)

Responsable: Vincent Marc
vincent.marc@univ-avignon.fr
<http://agrosiences.univ-avignon.fr/fr/mini-site/miniagro/master-hydrologie-et-environnement.html>

Máster especializado «Agua para Todos» (OpT)

(AgroParisTech, Mines-ParisTech)

Responsable: Jean-Antoine Faby
Contacto: opt@engref.agroparistech.fr
www.agroparistech.fr/International-Executive-Master-OpT,2132.html

Escuela de posgrado «Sistemas Integrados en Biología, Agronomía, Geociencias, Hidrociencias y Medio Ambiente» (ED 477 SIBAGHE)

(UM2, AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM1)

Director: Bernard Godelle
godelle@univ-montp2.fr
www.sibaghe.univ-montp2.fr

Escuela de posgrado «Territorios, Tiempos, Sociedades y Desarrollo» (ED 60 TTSD)

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

Director: Denis Brouillet
denis.brouillet@univ-montp3.fr

Responsable administrativo:

Dominique Basty
dominique.basty@univ-montp3.fr
www.univ-montp1.fr/recherche

Escuela de posgrado «Ciencias y Agrociencias» (ED 536 SAS)

(UAPV)

Director: Philippe Obert
secretariat-ed@univ-avignon.fr
<http://ed536.univ-avignon.fr>



> ESTUDIOS DOCTORALES

El doctorado dura tres años y consagra un trabajo de investigación en un laboratorio. Todo estudiante que se inscriba en un doctorado está inscrito además en una escuela de posgrado. Las escuelas de posgrado agrupan las unidades de investigación científica, o laboratorios, en torno de las grandes temáticas. Además de una tutela científica directa a los doctorandos, su misión es ofrecer formaciones complementarias durante los tres años que dura la preparación de la tesis, en forma de seminarios y conferencias científicas, al igual que diversos módulos de formación. El objetivo de estos módulos es mejorar la formación científica de los doctorandos y prepararlos para su futuro profesional. Tres escuelas de posgrado trabajan en la temática del agua.

Estudios doctorales vinculados al tema del agua

► Escuela de posgrado “Sistemas Integrados en Biología, Agronomía, Geociencia, Hidrociencias, Medio Ambiente” (SIBAGHE)

La escuela de posgrado ED477 SIBAGHE (Sistemas Integrados en Biología, Agronomía, Geociencias, Hidrociencias, Medio Ambiente), es una escuela de UM2 para las Ciencias de la Vida y de la Tierra. Ha sido acreditada conjuntamente con Montpellier SupAgro, la UM1 y AgroParisTech.

La escuela de posgrado SIBAGHE cuenta con unos 400 doctorandos y se basa en 40 unidades de investigación que dependen de ella, 450 tutores y varios equipos de investigación exteriores asociados. Cada doctorando de la escuela de posgrado SIBAGHE debe justificar el seguimiento de dos módulos de formación científica y dos

▲ Estudiantes de 2010-2011 del máster especializado “Agua para Todos”.

© Chaire Eau pour Tous

módulos de apertura profesional. La escuela de posgrado se ocupa de las inscripciones en tesis, efectúa el seguimiento de los doctorandos, vela por que se apliquen las pautas de tesis, organiza los cursos de tesis y ayuda a la inserción profesional.

En el ámbito del agua, la escuela de posgrado acoge las tesis sobre el funcionamiento de los sistemas hidrológicos, la calidad del agua, las dinámicas de uso y la gestión de los recursos hídricos y de los riesgos a los que están sometidos. Tanto los aspectos cuantitativos como los aspectos cualitativos se abordan recorriendo una amplia gama de disciplinas que van de la hidrogeología a la microbiología.

► Escuela de posgrado “Territorios, Tiempos, Sociedades y Desarrollo” (TTSD)

La escuela de posgrado ED60 TTSD (Territorios, Tiempos, Sociedades y Desarrollo) se halla en la UM3, en las instalaciones de St. Charles. Reúne 10 centros de investigación de diferentes instituciones de Montpellier: UM3, UM1, Montpellier SupAgro, IRD y la Escuela Nacional Superior de Arquitectura de Montpellier (ENSA). La ED60 cuenta con 65 directores de investigación, 280 doctorandos, el 32% de los cuales son doctorandos extranjeros y se han concedido 13 doctorados. Los principales ejes de investigación incluyen, entre otros temas:

- espacio rural, desarrollo sostenible, prevención de riesgos y preservación de espacios naturales;
- relaciones entre sociedad (grupos humanos, instituciones, empresas, etc.) y medio ambiente (territorios, recursos, etc.);
- propiedades físicas y recursos (naturales o tecnológicos) de los territorios rurales o urbanos.

En el ámbito del agua, la escuela de posgrado acoge tesis sobre el buen gobierno y la administración de los recursos hídricos, el acceso al agua y los conflictos de uso.

► Escuela de doctorado “Ciencias y Agrociencias” (SAS)

La escuela de posgrado ED536 SAS (Ciencias y Agrociencias) reúne las unidades de investigación constitutivas del ámbito «Ciencias, Tecnología, Sanidad» de la universidad de Aviñón y de la Región de Vaucluse al igual que algunas unidades propias del Centro INRA en PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur). La ED SAS federa a nivel local los equipos de investigación complementarios al plan disciplinario, con orígenes vinculados a la biología, la física, la química, las matemáticas, las agrociencias, las ciencias del agua o del movimiento humano e incluso de la informática.

Su potencial científico se basa en 15 unidades de investigación reconocidas, constituidas en cuatro equipos de acogida, cuatro UMR (en coordinación con el INRA, el CNRS o el IRD), seis unidades propias y una unidad experimental del INRA, que totalizan 151 investigadores y docentes-investigadores, 80 de los cuales están habilitados a dirigir trabajos de investigación. La proximidad geográfica de las unidades de investigación constitutivas de la ED (universidad e INRA) al igual que la interdisciplinariedad son elementos importantes que presiden la conducción de su proyecto.

La escuela de posgrado SAS acoge tesis en el ámbito del agua sobre el funcionamiento de los sistemas hidrológicos, ecofisiología vegetal, calidad del agua, etc. ■

Acrónimos y abreviaturas

ACB-DE	Análisis costo/beneficio-daños evitados	IMECA	Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón de la Plana
ACV	Análisis del ciclo de vida	INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
AFEID	Association Française pour l'Étude de l'Irrigation et du Drainage	INSA	Institut National des Sciences Appliquées
AISH	Association Internationale des Sciences Hydrologiques	INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
AMESD	African Monitoring of Environment for Sustainable Development	IRD	Institut de Recherche pour le Développement
ANR	Agence Nationale de la Recherche	IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (ex-Cemagref)
ART-Dev	Acteurs, Ressources, Territoires pour le Développement	ISTOM	Ecole supérieure d'agro développement international
BRGM	Bureau des Ressources Géologiques et Minières	ITAP	Information – Technologie – Analyse environnementale– Procédés Agricoles
CEFREM	Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens	IWMI	International Water Management Institute
CERTOP	Centre d'Étude et de Recherche Travail Organisation Pouvoir	IWRA	International Water Resource Association
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research	LAMETA	Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée
CIHEAM	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes	LBE	Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement
CIID	Commission Internationale des Irrigations et du Drainage	LGEEI	Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel
CIRAD	Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement	LISAH	Laboratoire d'étude des Interactions Sols– Agrosystèmes– Hydrosystèmes
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales	LR	Languedoc-Roussillon
CNPq	National Council for Scientific and Technological Development (CNPq)	LSBB	Laboratoire Souterrain Bas Bruit
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	NASA	National Aeronautics and Space Administration
CPWF	Challenge Program on Water and Food	NGRI	National Geophysical Research Institute
DMA	Directiva Marco europea sobre el Agua	NRE	Nouvelles Ressources et Economie
DPSIR	Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses	OMERE	Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau
ECOSYM	Laboratoire écologie des systèmes marins côtiers	ORE	Observatoires de Recherches en Environnement
ED	École Doctorale	OSU	Observatoire des Sciences de l'Univers
ELSA	Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment	OREME	Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement
EMA	École des Mines d'Alès	PyME	Pequeñas y Medianas Empresas
EMMAH	Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes	SCHAPI	Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
ENSA	École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier	SOERE	Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement
ENSCM	École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier	TETIS	Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale
EPLEFPA	Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole	UAG	Université des Antilles et de la Guyane
ESPACE-DEV	Espace pour le Développement	UAPV	Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
FP7	European Union 7 th Framework Programme	UM1	Université de Montpellier 1
FRIEND	Flow Regimes From International and Experimental Network Data	UM2	Université de Montpellier 2
FUI	Fond Unique Interministériel	UM3	Université de Montpellier 3
G-EAU	Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages	UMR	Unité Mixte de Recherche (Unidad mixta de investigación)
GIRA	Gestión Integrada del Recurso de Agua	UMS	Unité Mixte de Service (Unidad mixta de servicio)
GM	Géosciences Montpellier	UNESCO	United Nations Organization for Science, Culture and Education
GREDE	Gouvernance, Risque, Environnement, Développement	UNîmes	Université de Nîmes
GREEN	Gestion des REssources naturelles renouvelables et ENvironnement	UR	Université de la Réunion
HSM	HydroSciences Montpellier	UPR	Unité Propre de Recherche (Unidad propia de investigación)
IAHS	International Association of Hydrological Sciences	UPVD	Université de Perpignan Via Domitia
IAMM	Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier	US	Unité de Service (Laboratorio de servicio)
IEM	Institut Européen des Membranes		
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer		

Esta publicación se ha realizado con el apoyo del Estado Nacional y de la Región Languedoc-Roussillon.



Organismos miembros y asociados de Agropolis International que han participado en este Directorio

AgroParisTech
BRGM
CIHEAM-IAMM
CIRAD
CGIAR
CNRS
EMA
ENSCM
INRA
IRD
IRSTE
ISTOM
Montpellier SupAgro
Pôle de compétitivité EAU
Pôle de compétitivité Risques
Transferts LR
UAPV
UM1
UM2
UM3
UNîmes
UPVD
VERSeau Développement

Director de la publicación: Bernard Hubert

Coordinador científico: Thierry Rieu (AgroParisTech)

Coordinadores de Agropolis International:

Mélanie Broin, Paul Luu, Claudine Soudais, Michel Soulié

Redacción científica: Isabelle Amsalem

(Agropolis Productions)

Comunicación: Nathalie Villeméjeanne

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

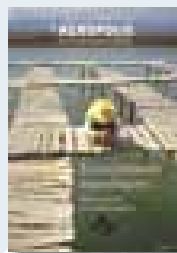
Agradecemos la colaboración gráfica de la fototeca indigo del IRD y de todos los que han contribuido a la elaboración de este informe

Diseño, paginación e infografía: Olivier Piau (Agropolis Productions) info@agropolis-productions.fr

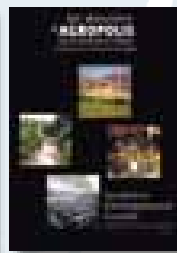
Impresión: Les Petites Affiches (Montpellier, Francia) ISSN: 1628-4240 • Depósito legal: febrero de 2012



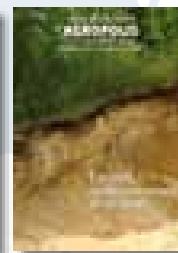
Se han publicado catorce "Dossiers d'Agropolis International" en esta colección, entre los cuales se cuentan:



Octubre de 2007
68 páginas
Francès e Inglès



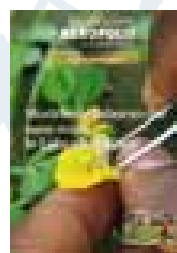
Diciembre de 2008
68 páginas
Francès e Inglès



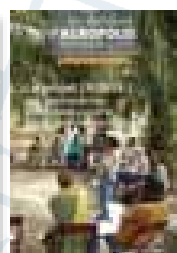
Junio de 2009
52 páginas
Francès e Inglès



Febrero de 2010
68 páginas
Francès e Inglès



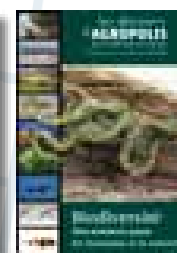
Febrero de 2010
28 páginas
Francès e Inglès



Junio de 2010
48 páginas
Francès e Inglès



Julio de 2010
68 páginas
Francès e Inglès



Octubre de 2010
84 páginas
Francès e Inglès

Dossiers d'Agropolis International

La serie de « Dossiers d'Agropolis International » es una de las producciones de Agropolis International en el marco de su misión de promover las competencias de la comunidad científica. Cada uno de estos Directorios está dedicado a un gran tema científico y hace una presentación sintética y clara de todos los laboratorios, equipos y unidades de investigación presentes en todos los establecimientos miembros de Agropolis International.

Esta serie busca que nuestros interlocutores tengan una mejor lectura y un conocimiento más detallado de las competencias y del potencial de nuestra comunidad, facilitando asimismo los contactos para desarrollar el diálogo y la cooperación científica y técnica.



AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Avenue Agropolis
F-34394 Montpellier CEDEX 5
Francia

Tel.: +33 (0)4 67 04 75 75

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

agropolis@agropolis.fr
www.agropolis.org/es