



les dossiers
d'AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Compétences de la communauté scientifique

**Information spatiale
pour l'environnement
et les territoires**

AGROPOLIS INTERNATIONAL

agriculture • alimentation • biodiversité • environnement

Agropolis International associe les institutions de recherche et d'enseignement supérieur de Montpellier et du Languedoc-Roussillon, en partenariat avec les collectivités territoriales, avec des sociétés et entreprises régionales, et en liaison avec des institutions internationales.

Agropolis International constitue un espace international ouvert à tous les acteurs du développement économique et social dans les domaines liés à l'agriculture, à l'alimentation, à la biodiversité, à l'environnement et aux sociétés rurales.

Agropolis International est un campus dédié aux sciences « vertes ». Il représente un potentiel de compétences scientifiques et techniques exceptionnel : 2 300 cadres scientifiques dans plus de 100 unités de recherche à Montpellier et en Languedoc-Roussillon, dont 300 scientifiques à l'étranger répartis dans 60 pays.

La communauté scientifique Agropolis International est structurée en grands domaines thématiques correspondant aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement :

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

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

Compétences de recherche de Montpellier et du Languedoc-Roussillon dans le domaine de l'information spatiale pour l'environnement et les territoires

La possibilité pour les chercheurs d'utiliser les moyens d'observation aériens puis satellitaires a constitué une révolution méthodologique majeure. Cette « prise de hauteur » dans les observations a conduit à une nouvelle approche des territoires, en offrant une vision globale de l'espace et en permettant d'y découvrir la distribution des éléments constitutifs.

Cet outil, la télédétection, s'est amélioré continuellement en qualité et précision. La multiplication des capteurs embarqués et les progrès dans l'analyse des signaux reçus ont, de plus, permis d'obtenir de nouvelles informations utilisables par de nombreuses disciplines scientifiques et pour l'aide à la décision.

En outre, l'acquisition d'informations pouvant désormais s'opérer de façon répétitive et à moindre coût dans le temps, ce n'est plus une seule image à un instant donné mais un véritable historique des évolutions observées qui peut être mis à disposition.

Parallèlement au développement de la technologie de collecte de l'information, le traitement de l'information a aussi connu un développement méthodologique important, lié aux progrès de l'informatique, et a permis de rendre les informations analysables, non seulement par les scientifiques mais aussi par les usagers et les décideurs.

Les produits ainsi obtenus sont devenus de formidables outils de démonstration pour la mobilisation des acteurs, de simulation, d'apprentissage et d'aide à la décision. Cette technologie a ainsi débouché sur de véritables produits de communication ayant au-delà du scientifique, des qualités artistiques indéniables.

Ce dossier est le premier consacré à un outil pour la recherche et l'action. Il présente les recherches sur l'amélioration de l'outil mais aussi des exemples d'applications de cet outil dans des domaines thématiques variés.

Information spatiale pour l'environnement et les territoires

Télédétection spatiale et aéroportée

Page 6

Méthodes d'analyse spatiale et de modélisation spatio-temporelle

Page 16

Systèmes d'information et observatoires

Page 26

Applications de l'information spatiale par champs thématiques

Page 34

Agriculture, pêche et forêt

Page 36

Environnement

Page 42

Aménagement du territoire, Risques

Page 48

Populations et sociétés

Page 54

Thématiques couvertes par les équipes de recherche

Page 60

Les formations

Page 64

à Agropolis International

Liste des acronymes et des abréviations

Page 66

Photo couverture : Image Spot 5 de la région de Montpellier acquise le 27 avril 2005 : Fusion des images 10 m couleurs et 2,5 m N&B pour obtenir une image à 2,5 m couleur, retransformée en couleurs naturelles © CNES 2005 - Distribution Spot Image ; traitement Stéphane Dupuy (UMR TETIS).

Les informations contenues dans ce dossier sont valides au 06/07/2009

Avant-propos

Information spatiale *pour l'environnement* et les territoires

Pression démographique, dynamiques sociales et économiques, changement climatique, transformation des écosystèmes, risques de pandémies... Les sociétés doivent raisonner les activités humaines, l'occupation de l'espace, l'exploitation des ressources et l'aménagement des territoires, en maîtrisant leur impact sur l'environnement. Ces stratégies de développement durable reposent sur la compréhension des dynamiques, la définition concertée de modes de gestion, la responsabilisation des citoyens et la mise en œuvre de dispositifs d'évaluation. L'information spatiale sur l'environnement et les territoires joue un rôle clef dans ces stratégies. Elle se trouve aujourd'hui à la croisée de trois enjeux majeurs : un enjeu de connaissance, un enjeu de gestion et gouvernance, un enjeu technologique.

L'enjeu de connaissance réside dans la compréhension des écosystèmes, des territoires et des sociétés. La place, déterminante, de l'information spatiale dans ces démarches se résume en une question : comment acquérir de l'information spatio-temporelle sur un système complexe et comment la traiter pour mettre à jour structures, processus et dynamiques ? Du couvert neigeux des glaciers andins aux systèmes coralliens du Pacifique, des peuplements forestiers tempérés aux agro-écosystèmes méditerranéens, des territoires ruraux en mutation aux événements épidémiologiques, ce dossier d'Agropolis International illustre les recherches liées à la mobilisation de l'information spatiale pour cet enjeu de connaissance.

L'enjeu de gestion et de gouvernance réside dans la capacité non seulement à optimiser les stratégies de gestion, mais aussi à mener des démarches de concertation, de négociation, de responsabilisation des acteurs et citoyens. La mobilisation de l'information spatiale joue un rôle central. Elle permet l'expression des connaissances et des points de vue des différents acteurs, la représentation concertée des territoires, la structuration des systèmes d'information et le partage de l'information entre individus et entre organisations.

L'enjeu technologique est celui du développement des télécommunications, de l'informatique et de la télédétection satellitaire. Il joue un rôle moteur, initiateur d'approches innovantes de l'information spatiale comme la géolocalisation, les capteurs distribués et mobiles, les globes virtuels... Au-delà de l'activité économique, ces évolutions technologiques ont des effets majeurs sur nos sociétés. Elles ont transformé notre vision de la planète Terre, d'une mosaïque de systèmes locaux en un système unique dont toutes les composantes sont en interaction, des actions locales aux dynamiques globales : climat, pollutions, économie, biodiversité, épidémies...

L'information spatiale pour l'environnement et les territoires est donc un objet de recherche fortement transversal, présentant plusieurs spécificités : son caractère spatio-temporel bien sûr, mais aussi sa complexité, sa diversité et ses incertitudes. Elle requiert une approche pluridisciplinaire :

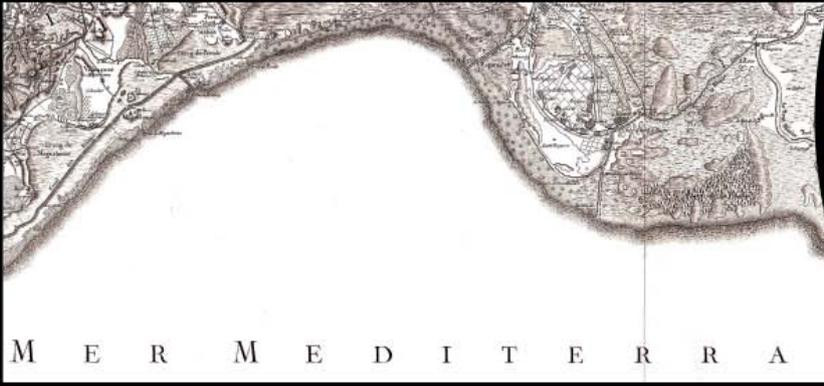
géographie, mathématiques, traitement de l'image et du signal, informatique, sciences de la cognition, sciences humaines et sociales, disciplines thématiques... Trente et une équipes de recherche d'Agropolis International ont collaboré à l'élaboration de ce dossier, certaines sur des domaines conceptuels et méthodologiques, d'autres sur des champs thématiques mobilisant ces méthodes dans des contextes spécifiques. Le dossier est ainsi organisé en quatre chapitres :

- Les trois premiers traitent des recherches méthodologiques sur l'acquisition de l'information spatiale par télédétection satellitaire et aéroportée (chapitre 1), sur l'analyse et la modélisation spatio-temporelle (chapitre 2), sur la conception des systèmes d'information et des observatoires (chapitre 3).
- Le quatrième chapitre illustre la mise en œuvre de ces recherches sur quatre grands champs thématiques : l'agriculture, l'environnement, l'aménagement du territoire, les sociétés.

Chacun de nous utilise l'information spatiale, souvent inconsciemment, pour appréhender son environnement, se repérer et agir. Avec leurs partenaires nationaux et internationaux, les équipes d'Agropolis International œuvrent à prolonger, développer et faire le meilleur usage de ce potentiel au service de l'homme, de la société et de la planète.

Pascal Kosuth
(Directeur de l'UMR TETIS,
Directeur de la Maison
de la Télédétection)

Carte générale de la France. 092. [Montpellier]. N°92. File 116
[établie sous la direction de César-François Cassini de Thury] Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



DR



© NASA



© SPOT Image : Cemagref



P. Deiffic © Cemagref

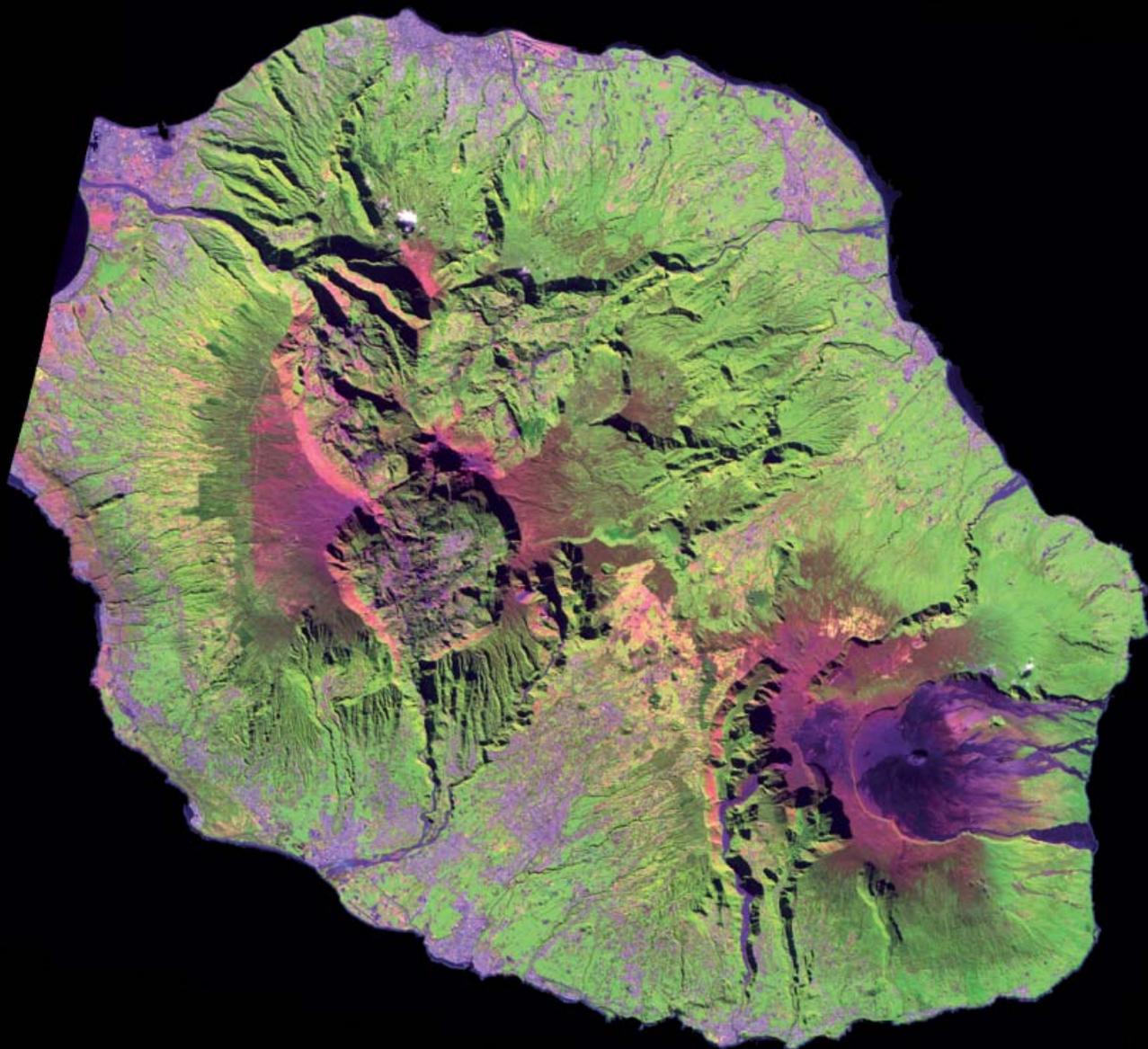


© J.P. Tommeau



© M. Passouant

© NASA



@2009 CNES Distribution Spot image

▲ Image SPOT 4 du 19/05/2009, île de La Réunion :
image en fausses couleurs (MIR/ PIR/ R), programme Kalideos du CNES.

Téledétection spatiale *et aéroportée*

En 2009, une soixantaine de satellites suivent en continu l'état des surfaces continentales, des océans et de l'atmosphère. La télédétection satellitaire présente, pour l'inventaire et la surveillance de l'environnement et des territoires, de nombreux atouts par rapport à la plupart des mesures conventionnelles de terrain (objectivité, homogénéité, répétitivité, exhaustivité, constitution d'archives...). Les images et données acquises permettent à la fois d'alimenter les modèles globaux de processus de surface, et, à une échelle plus locale, de fournir des informations utiles pour la gestion des ressources environnementales et des territoires. Cette gestion des espaces naturels et agricoles bénéficie actuellement du lancement de nouveaux systèmes satellitaires et du développement de systèmes aériens originaux, dont la pleine utilisation des performances techniques nécessite des développements algorithmiques spécifiques et innovants dans les domaines du traitement d'images et du signal.

■ **Les systèmes légers aériens** : Complémentaires des solutions satellitaires et aéroportées « lourdes », les solutions techniques d'acquisition de données par des systèmes dits « légers » sont en plein développement. Ces solutions reposent sur des acquisitions par drones ou ULM, équipés d'appareils photographiques numériques du commerce dont les boîtiers peuvent être modifiés pour acquérir des images dans des bandes spectrales autres que le Rouge/Vert/Bleu. Économiques, facilement mobilisables, ces systèmes fournissent des images dont le prétraitement et la conversion en cartes thématiques quantitatives nécessitent des développements méthodologiques spécifiques.

■ **La très haute résolution spatiale (THRS)** : L'avènement de la télédétection satellitaire à très haute résolution spatiale (métrique et sub-métrique) date des années 2000 pour les courtes longueurs d'onde (imagerie multi-spectrale) et de 2008 pour les micro-ondes (imagerie radar). Jusqu'alors confinée aux acquisitions aériennes, l'imagerie THRS a révolutionné la télédétection satellitaire en permettant de cartographier la majorité des objets composant un paysage ou une zone urbaine. Les techniques de détection des objets (extraction) et de découpage des images en différentes entités (segmentation) connaissent un grand essor avec des résultats de qualité variable qui nécessitent des adaptations selon la thématique étudiée.

■ **La très haute résolution temporelle** : La communauté scientifique et les utilisateurs peuvent avoir accès à des séries temporelles d'images hectométriques et, depuis peu, décamétriques, avec une répétitivité de l'ordre de 1 à 3 jours.

L'extraction d'information à partir de séries temporelles d'images fait partie des grands défis de la télédétection de demain. Ce travail implique une réflexion sur les échelles de temps (saison, année...) et d'espace (plante, parcelle, bassin) auxquelles se font la perception et la détection des phénomènes dynamiques de fonctionnement, d'évolution et de changement, ainsi que sur l'adaptation des modèles à ces nouvelles sources de données.

■ **Les techniques LiDAR** : Le LiDAR (*Light Detection And Ranging*) est une technologie d'observation basée sur l'émission réception d'un faisceau laser. Les systèmes embarqués de type *range-finder*, déterminant la distance entre le capteur et la cible par analyse de l'écho principal, peuvent être appliqués aux mesures bathymétriques ou topographiques, alors que les systèmes *full wave form*, mesurant l'ensemble du signal réfléchi, donnent accès à la structure verticale de la surface. Ils apportent des informations non accessibles par d'autres techniques de télédétection, telles que le Modèle Numérique de Terrain sous couvert et la structure en trois dimensions de la végétation.

■ **Les techniques radar** : Une fonctionnalité essentielle des radars est la capacité d'acquérir des images indépendamment des conditions météorologiques et d'éclairement solaire, par l'émission active de micro-ondes et la réception de leur écho après interaction avec la surface. L'imagerie radar SAR fournit ainsi des informations sur la rugosité de surface ; l'altimétrie radar fournit des informations sur le niveau des surfaces océaniques et des eaux continentales ; l'interférométrie radar permet de mesurer les reliefs (interférométrie spatiale) ainsi que les déplacements et déformations (interférométrie temporelle) des sols et des eaux.

Dans le domaine de la télédétection satellitaire et aéroportée, l'originalité des compétences regroupées au sein d'Agropolis International réside dans la capacité de développer des méthodes de télédétection mobilisables en appui à des problématiques de connaissance et de gestion des milieux et des ressources, aux échelles locales à régionales, dans un contexte européen ou de pays du Sud. Pour cela, les équipes de recherche investissent dans les domaines de l'acquisition des données, du traitement des images et du traitement du signal. Elles mènent ces travaux en lien étroit avec les champs thématiques, en s'appuyant sur la plateforme technologique de la Maison de la Télédétection et son évolution à travers le projet GEOSUD.

**Agnès Bégué (UMR TETIS)
& Frédéric Huynh (US ESPACE)**

Téledétection spatiale et aéroportée

Maîtriser l'information spatiale pour la connaissance et la gestion des milieux et des territoires

L'unité mixte de recherche « *Territoires, Environnement, Téledétection et Information Spatiale* » (UMR TETIS, Cemagref, Cirad, ENGREF/AgroParisTech) a pour objectif de développer les méthodes de maîtrise de l'information spatiale au service de la connaissance et de la gestion des milieux et des territoires. « Maîtriser l'information spatiale » implique de mettre en œuvre une approche intégrée de l'ensemble de la chaîne de l'information, depuis l'acquisition (mobilisation) des données jusqu'à l'utilisation (l'appropriation) des connaissances, en passant par les traitements, production, gestion, mutualisation des informations spatialisées.

Les différentes composantes de cette chaîne sont traitées au sein de l'UMR TETIS dans le cadre de recherches conceptuelles, méthodologiques et thématiques autour de quatre axes de recherche :

1 Télédétection, acquisition et traitement de données spatialisées :

Cet axe traite des méthodes de télédétection satellitaire et aéroportée appliquées aux espaces ruraux et aux territoires, dans les domaines des capteurs passifs (visible, thermique) et actifs (Radar, Lidar). Les travaux couvrent les méthodes de traitement de l'image et du signal (classification, détection d'objets, caractérisation des changements,...). L'UMR travaille en lien étroit avec le CNES, les laboratoires spatiaux et les industriels du domaine ; elle mène des collaborations étroites avec des équipes de recherche thématiques

de façon à adapter les méthodes aux spécificités des problématiques et systèmes considérés.

2 Analyse des structures spatiales et des dynamiques spatio-temporelles :

Cet axe concerne la caractérisation et la représentation des structures spatiales et des dynamiques spatio-temporelles, sous une double approche mathématique (géostatistiques, reconstitution de champs spatiaux, modélisation spatialisée des processus...) et géographique (analyse de dynamiques de territoires, points de vues d'acteurs, représentations symboliques). Les recherches portent notamment sur les problèmes de résolution spatiale et de cohérence d'échelles, de qualité des mesures et de sensibilité des modèles, de construction d'indicateurs, de langages informatiques adaptés à la modélisation des territoires.

3 Conception des systèmes d'information :

Cet axe concernant la gestion, l'échange et la mutualisation d'information traite de la structuration de la connaissance et de l'information spatio-temporelle, au travers de la conception d'observatoires et de systèmes d'information. Les travaux portent particulièrement sur la modélisation de l'information et sur les concepts et méthodes permettant la capitalisation, la gestion, l'archivage, l'accès à l'information et sa mutualisation entre les acteurs (infrastructures de données, interopérabilité entre systèmes d'information).

4 Information et développement territorial :

Cet axe concerne les processus d'appropriation de l'information par les acteurs dans les démarches de gouvernance et développement territorial : il traite du rôle de l'information, et des dispositifs d'accès à cette

Les principales équipes

UMR Géosciences Montpellier
(cf. page 28)

UMR ITAP - Information et Technologies pour les Agroprocédés
(Cemagref, Montpellier SupAgro)
32 scientifiques dont 12 impliqués dans la thématique
Directrice : Véronique Bellon-Maurel,
veronique.bellon@cemagref.fr
www.montpellier.cemagref.fr/umritap

UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol – Agrosystème Hydrosystème
(cf. page 18)

UMR TETIS - Territoires, Environnement, Téledétection et Information Spatiale
(Cemagref, Cirad, AgroParisTech/ENGREF)
61 scientifiques impliqués dans la thématique
Directeur : Pascal Kosuth,
pascal.kosuth@teledetection.fr
http://tetis.teledetection.fr

UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations
(cf. page 38)

US ESPACE - Expertise et SPatialisation des Connaissances en Environnement
(IRD)
50 scientifiques dont 45 impliqués dans la thématique
Directeur : Frédéric Huynh,
huynh@teledetection.fr
www.espace.ird.fr

Autres équipes concernées par ce thème

UMR AMAP - botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes
(cf. page 18)

UMR HydroSciences Montpellier
(cf. page 18)

UR CoRéUs - Biocomplexité des écosystèmes coralliens de l'Indo-Pacifique
(cf. page 44)

information. A partir d'études de cas dans des contextes où l'information est le plus souvent asymétrique entre les acteurs, les recherches visent à développer des modes d'animation, d'accompagnement, de formation à la « maîtrise de l'information » permettant une meilleure expression et prise en compte collective des visions, des objectifs et des contraintes des différents groupes sociaux.

Un cinquième axe est dédié à la formation (représentant environ 20 % des activités de l'UMR) : formations initiales d'ingénieurs, masters, mastères, formations doctorales, formations continues,...

Les approches développées sont inscrites dans les champs disciplinaires de la télédétection, de l'informatique, de l'analyse spatiale, de la géographie, des sciences de l'environnement et du développement territorial. L'UMR mène des projets de recherche et

des projets d'appui aux politiques publiques dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement, des espaces naturels, de la forêt, des milieux aquatiques, de la santé animale, du développement territorial et des risques.

Observation de la Terre, gestion intégrée des milieux et sociétés, système d'information pour le développement des territoires en milieu tropical

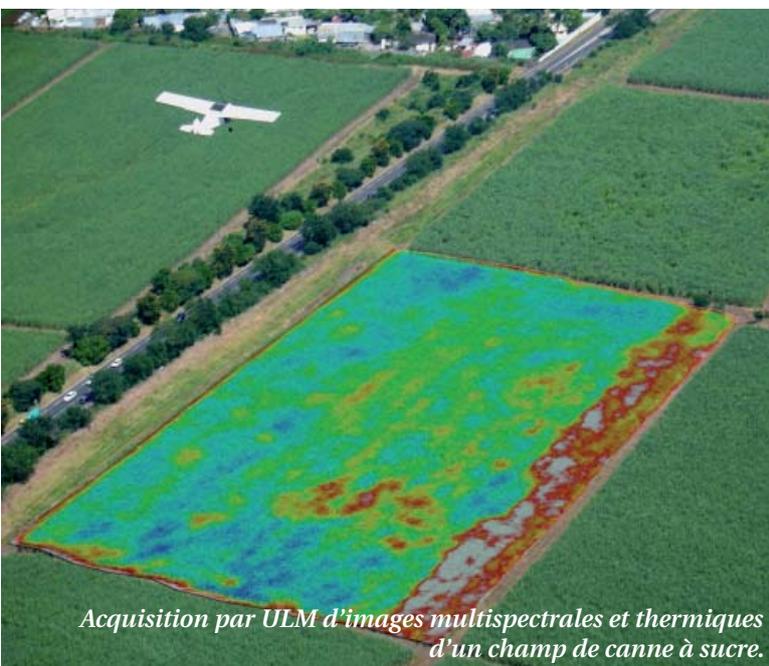
L'objectif général de l'**unité de service Expertise et SPAtialisation des Connaissances en Environnement (US ESPACE, IRD)** est de développer et mettre en œuvre des méthodologies de spatialisation des connaissances par télédétection et approches intégrées, depuis l'acquisition des données jusqu'aux processus

décisionnels, dans une perspective de développement durable des territoires en milieu tropical.

Les activités scientifiques et technologiques sont programmées selon trois axes de recherche méthodologiques :

- observation de la Terre par satellite pour la surveillance de l'environnement en zone tropicale : indicateurs spatialisés par télédétection ; méthodes d'observation et de surveillance de l'environnement en temps quasi réel ;
- approche intégrée des milieux et des sociétés : paysages et observatoire pour la gestion environnementale ; spatialisation du risque environnement-santé ; indicateurs et gouvernance territoriale ;
- systèmes intégrés de connaissances pour accompagner les processus décisionnels : systèmes d'information interoperables pour le partage de données hétérogènes (spatiales et *in situ*) ; modélisation de dynamiques. ●●●

Développement de systèmes d'acquisition aéroportés légers (dans le visible et le thermique) : le projet AgriDrone



Acquisition par ULM d'images multispectrales et thermiques d'un champ de canne à sucre.

© V. Lebourgeois

L'objectif du projet AgriDrone est de fournir aux agriculteurs réunionnais des produits d'aide à la gestion de la production cannière pour leur permettre d'accroître leurs rendements et de diminuer les coûts en gérant au mieux la fertilisation, l'irrigation, le désherbage ou les attaques de nuisibles.

Ces nouveaux produits sont issus de prises de vue aériennes faites à partir d'appareils photographiques numériques du

commerce. Ces derniers sont équipés de filtres passe-bande qui laissent passer uniquement les longueurs d'onde d'intérêt (le proche infrarouge par exemple) ainsi que d'une caméra thermique mesurant la température de surface. Ces appareils sont installés à bord d'un système léger d'acquisition (drone ou ULM) mobilisable à la demande. L'information spatiale des images est exploitée sous forme cartographique. L'information spectrale des images est mise en relation avec les données de terrain (teneur en azote et en eau des plantes, surface foliaire, biomasse, etc.) pour mieux comprendre le lien entre le signal radiométrique mesuré et les paramètres de surface, et ainsi développer des indicateurs agronomiques pertinents pour la filière agricole. Au final, les produits développés dans le cadre d'AgriDrone sont des produits permettant de mieux connaître les exploitations agricoles (surfaces plantées, pente moyenne des parcelles, hétérogénéité...), mais aussi de surveiller le développement des cultures et des anomalies de croissance (germination, enherbement, stress hydrique ou azoté...).

Les développements méthodologiques réalisés dans le cadre du projet aboutissent à une offre de service opérationnel : un catalogue des produits cartographiques, un outil de diffusion et de manipulation des cartes numériques et du matériel pédagogique pour les lycées et les services techniques.

Ce projet est réalisé par le Cirad en partenariat avec le Cemagref, l'Avion jaune et le Cerf. Il est soutenu par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche et la région Réunion.

Contacts : Valentine Lebourgeois,
valentine.lebourgeois@cirad.fr
& **Bruno Roux,** bruno.roux@lavionjaune.fr

SEAS-Guyane : une plateforme technologique de réception directe de données satellitaires pour la surveillance des territoires amazoniens

Les caractéristiques exceptionnelles du bassin amazonien rendent nécessaire de disposer d'une capacité propre de programmation et de réception de données satellitaires qui permet la programmation, le traitement et la production d'indicateurs pour comprendre et gérer l'environnement. Le projet SEAS-Guyane (Surveillance de l'Environnement assistée par Satellites) consiste en la gestion d'une plateforme technologique d'acquisition et de traitement de données à différentes échelles spatiales et temporelles de satellites à haute résolution (SPOT et ENVISAT) à des fins de recherche, de formation et de développement régional.

Cet instrument donne la possibilité aux utilisateurs de disposer de données quasi quotidiennes à une résolution spatiale variant de 20 à 2,5 m sur un cercle de 5 000 km de diamètre centré sur la Guyane et couvrant le plateau des Guyanes, les Caraïbes et le bassin amazonien. Plus de 14 000 images sont acquises annuellement sur l'ensemble du cercle et plus de 500 images sont produites pour les projets sélectionnés et labellisés « SEAS-Guyane ».

La politique d'exploitation de la plateforme technologique est définie par un comité d'orientation (Conseil Régional, IRD, CNES, État, Spot Image, ESA, Guyane Technopole, Pôle Universitaire Guyanais [PUG], Université des Antilles et de la Guyane [UAG]) présidé par la région Guyane et l'IRD. L'unité ESPACE (IRD), porteur du projet, a mis en place des partenariats avec Spot Image (installation et exploitation de la station), l'UAG (équipe de recherche mixte, formation), le PUG, le CNES, l'ESA, Guyane Technopole, les collectivités locales et les services de l'État pour développer un pôle de compétence international en téledétection spatiale et environnement amazonien. L'enjeu est la mise en œuvre d'observatoires de l'environnement pour le développement durable en Guyane, en Amazonie et dans les Caraïbes.



Station de réception d'images satellitaires SEAS-Guyane.

De nombreux projets de recherche et d'applications pilotes labellisés au plan national, européen ou international ont ainsi vu le jour. Par exemple, au plan national, le projet SEAS a permis à la France de répondre plus précisément au protocole de Kyoto en réalisant la première mosaïque d'images pour établir un état des forêts en 2006 (Institut Forestier National, IRD, ONF, IGN, Cemagref).

Contacts : Frédéric Huynh, frederic.huynh@ird.fr et Michel Petit, michel.petit@ird.fr

L'unité développe des activités de formation : participation à des masters, des formations à la carte adaptées aux besoins et à l'animation de réseaux scientifiques.

Ses activités de service concernent :

- la gestion opérationnelle d'un réseau de stations de réception basse résolution et haute résolution (Guyane, Montpellier, La Réunion, Les Canaries, Nouvelle-Calédonie) afin de faciliter l'accès aux données satellites pour la recherche au Sud et contribuer à la mise en œuvre d'observatoires de l'environnement ;
- la mise à disposition d'infrastructures de données spatiales sous la forme de plateforme générique de systèmes d'information interopérables respectant les standards INSPIRE/OGC (*Infrastructure for*

Spatial InfoRmation/Open Geospatial Consortium).

Les thématiques prioritaires d'application sont :

- Gestion durable des écosystèmes du Sud : informations spatiales et gestion durable
- Eaux continentales et environnement côtier : ressources et usages
- Sécurité sanitaire, politiques de santé : environnement et maladies émergentes
- Développement et mondialisation : une meilleure gouvernance pour un développement durable
- Énergie renouvelable et développement territorial

L'unité s'appuie sur des implantations pérennes en France, dans l'outre-mer

tropical français et à l'étranger ainsi que sur un réseau de pôles de compétence :

- Maison de la Téledétection de Montpellier en partenariat avec le Cemagref, Cirad, AgroParisTech/ENGREF et l'Université Montpellier Sud de France ;
- Campus de Guyane (IRD-UAG-Pôle Universitaire de Guyane) en coopération avec le Brésil sur des problématiques amazoniennes ;
- Campus de La Réunion pour l'Océan Indien ;
- Nouvelle-Calédonie (Université de la Nouvelle-Calédonie) pour le Pacifique Sud.

Des implantations au Brésil et en Afrique complètent le dispositif à l'international dans le cadre d'équipes/laboratoires mixtes internationaux. ...



© Société L'Avion Jaune

© G. Rabatel



M. Carrouée © Cemagref

*a. Image initiale
b. Spectre de Fourier de l'image : repérage des pics d'amplitude
c. d. e. : images filtrées : mise en évidence des parcelles de vigne correspondant aux 3 pics principaux détectés*

Détection de parcelles par filtrage de Gabor.

Reconnaître des parcelles de vigne par télédétection à très haute résolution spatiale

En offrant une résolution submétrique, la télédétection à très haute résolution spatiale ouvre des potentialités nouvelles en matière de caractérisation et d'inventaire de l'occupation des sols agricoles. En effet, elle permet de distinguer les types de culture non plus seulement sur des critères radiométriques, mais également en fonction de leur structure spatiale désormais accessible.

L'UMR LISAH a mené un travail visant à acquérir des informations spatialisées sur les états de surface de sols viticoles, à partir d'une imagerie aérienne à 25cm de résolution, où la vigne était reconnue et le parcellaire caractérisé. Les UMR TETIS et ITAP ont développé, dans le cadre du projet européen Bacchus, un outil logiciel de détection automatique des parcelles de vigne par imagerie aérienne ou satellitaire, sans connaissance préalable du parcellaire.

Le principe de la caractérisation automatique repose sur l'analyse du spectre de Fourier de l'image, dans lequel les parcelles de vigne, du fait de leur structure périodique, se traduisent par des pics d'amplitude prononcés. L'outil détecte automatiquement ces pics, qui correspondent chacun à une fréquence spatiale et une orientation spécifiques. Un filtrage extrêmement sélectif (filtre de

Gabor) est appliqué autour de chacune des valeurs de fréquence et d'orientation ainsi déterminées. Seules les parcelles de vigne concernées sont alors mises en évidence, ce qui permet de les détecter et d'en relever les contours. Les valeurs de fréquence et d'orientation associées à chaque parcelle fournissent une mesure très précise de la distance inter-rang et de l'orientation des rangs, caractéristiques essentielles d'un point de vue agronomique. La caractérisation de la parcelle porte aussi sur la détection d'inter-rangs enherbés (fréquences supplémentaires dans le spectre de Fourier), ainsi que sur l'estimation des pieds manquants (comparaison des radiométries par méthode statistique).

L'outil a été évalué sur une zone d'étude de 200 ha (bassin versant de La Peyne, Languedoc-Roussillon, France) à partir d'une image aérienne en couleurs naturelles (Rouge, Vert, Bleu) de résolution 50 cm, acquise via un ULM (Société L'Avion Jaune). Environ 80% des parcelles viticoles ont été détectées, soit 84% en termes de surface.

Contacts : Michel Deshayes, michel.deshayes@teledetection.fr
Gilles Rabatel, gilles.rabatel@montpellier.cemagref.fr
& Carole Delenne, delenne@msem.univ-montp2.fr

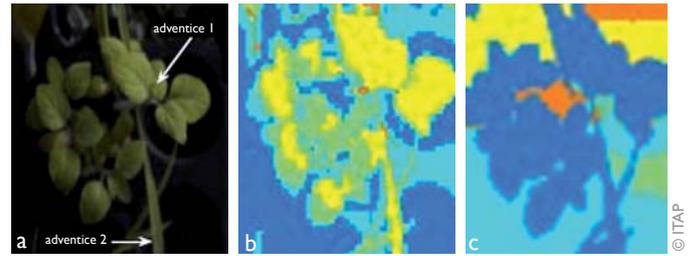
Traitement d'images hyperspectrales combinant les informations spectrales et spatiales

L'imagerie hyperspectrale (IHS) permet de créer et d'analyser des images d'une même scène pour une succession de longueurs d'onde, dans un même domaine spectral. De telles images apportent des informations sur la constitution chimique des objets et permettent ainsi de distinguer des objets de même couleur apparente mais de composition chimique différente.

La plupart des méthodes développées pour le traitement des images hyperspectrales analysent les données sans prendre en compte l'information spatiale. Les pixels sont alors traités individuellement comme un simple tableau de mesures spectrales sans arrangement spatial particulier, en utilisant des méthodes de classification diverses (k-means, fuzzy-C-Means, classification hiérarchique, supports à vaste marge, etc.).

L'exploitation conjointe des informations spectrale et spatiale disponibles, motivée entre autres par l'apparition d'imageurs hyperspectraux à haute résolution spatiale permettant l'identification d'objets, apparaît aujourd'hui essentielle pour de nombreux domaines d'applications (caractérisation des zones urbaines, agriculture, etc.).

Elle permet en particulier le traitement d'images au contenu complexe, dont les objets à différencier sont spectralement très



▲ Résultats obtenus sur une image IHS d'une scène naturelle de végétation (160 bandes spectrales 400-1000 nm).

- (a) Image originale (représentation couleur).
 (b) Résultat obtenu avec une approche ne tenant pas compte de l'information spatiale (k-means, 5 classes).
 (c) Résultat obtenu avec une approche spectral-spatial : le végétal est mieux séparé de son environnement.

proches mais présentent des caractéristiques spatiales différentes (par exemple en forme, compacité, etc.).

L'UMR ITAP s'est intéressée à cette problématique, en proposant un schéma de coopération spectral-spatial permettant de découper l'image en régions connexes spectralement homogènes (segmentation). Les deux dimensions (spectrale, spatiale) sont étudiées séparément et des outils simples, dédiés à l'espace dans lequel ils évoluent, sont utilisés. Il s'agit d'outils chimiométriques (outils de traitement de spectres) pour l'espace spectral et d'outils de segmentation d'images pour l'espace spatial. Ces outils permettent l'extraction de structures spectrales et spatiales pertinentes et sont mis en œuvre via un processus itératif pour aboutir à une segmentation optimale de l'image.

Contact : Nathalie Gorretta,
nathalie.gorretta@montpellier.cemagref.fr

Mise au point de capteurs et de systèmes d'aide à la décision

Afin de mettre au point des équipements pour une agriculture plus durable, l'UMR ITAP *Information et Technologies pour les Agroprocédés* (Cemagref, Montpellier SupAgro) travaille sur les capteurs et les systèmes d'aides à la décision ainsi que sur les éco-technologies dans l'agriculture. Le premier thème de recherche « capteurs et aide à la décision » comprend une composante proxidétection, téledétection, traçabilité et traitement de l'information/modélisation.

L'unité mène des recherches en vue de mettre au point des

capteurs basés sur des mesures optiques (vision artificielle, vision hyperspectrale, spectrométrie UV, proche infrarouge). Elle cherche à élaborer des systèmes d'aide à la décision afin de diagnostiquer l'état des systèmes ou de mettre en place des approches d'agriculture de précision. Pour cela, différentes méthodologies sont étudiées et mises en œuvre : logique floue, systèmes à événements discrets, géostatistiques. L'objectif est de caractériser les « agro-systèmes » et les « agro-produits ». Enfin, elle travaille à la mise au point de systèmes de traçabilité des opérations agricoles, en particulier en pulvérisation, et à l'exploitation de ces données pour améliorer ces opérations. Le domaine d'étude privilégié est la vigne, mais d'autres productions végétales, y compris à vocation énergétique, sont abordées.

Dans le domaine des capteurs, la recherche se concentre sur l'étude de nouveaux dispositifs optiques utilisables en milieu « hostile » (milieu extérieur, milieu industriel). L'UMR ITAP a développé un savoir-faire recherché sur les capteurs proche-infrarouge portables ou en ligne pour l'analyse de la composition des produits organiques. En parallèle des développements matériels de capteurs, le problème de la mesure est aussi celui de la robustesse. L'unité est internationalement reconnue en chimiométrie, en particulier orientée vers le renforcement de la robustesse des mesures. Enfin, elle aborde les recherches en vision hyperspectrale par le développement de méthodes innovantes de traitement des images hyperspectrales combinant des compétences en analyse d'images et en chimiométrie.

L'UMR ITAP s'intéresse à l'assistance à la conduite des opérations agricoles par la mise au point de systèmes d'aide à la décision. Elle développe des méthodes et des outils dédiés. Les méthodes relèvent de la logique floue ; elles permettent d'élaborer des règles à partir de données –et/ou d'expertise– pour représenter des phénomènes ou construire des indicateurs, le tout pouvant- ou non- être spatialisé. Les méthodes font également appel aux géostatistiques appliquées à des données à haute résolution dans le domaine de la viticulture (viticulture de précision). L'objectif est de définir des zones homogènes sur lesquelles

il est pertinent d'appliquer un type d'action. Enfin, la formalisation des processus de décision est abordée via les systèmes à événement discrets.

L'UMR développe l'ensemble de ces recherches dans le cadre privilégié de la viticulture de précision. Un des projets les plus emblématiques est le projet VINNOTECH (financement FUI, FEDER, Région LR, labellisé par le pôle de compétitivité Q@LI-MEDiterranée) dont le Cemagref est le porteur scientifique. VINNOTECH est axé sur la contribution des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) à l'élaboration

de produits viti-vinicoles adaptés aux attentes du marché. L'UMR ITAP y aborde le développement de capteurs portables, en ligne ou aéroportés en spectroscopie proche infra-rouge, en vision artificielle ainsi que le traitement de données issues des capteurs en vue d'élaborer des indicateurs et des règles de conduite.

L'UMR ITAP propose également différents enseignements sur ce thème ; elle porte en particulier la spécialisation de niveau master de Montpellier SupAgro « AgroTIC : TIC pour l'agriculture et l'environnement ». ■

Potentiel de la bande L (imagerie radar) pour l'étude de la dynamique des forêts tropicales : l'initiative internationale « ALOS Kyoto & Carbone »

Au travers de l'initiative internationale « Kyoto & Carbone », l'agence spatiale japonaise (JAXA) soutient un effort scientifique international visant à développer des méthodes reproductibles de suivi des écosystèmes forestiers. Celles-ci peuvent fournir, par exemple, une base de données quantitatives en réponse aux objectifs de réduction des émissions de carbone issues de la dégradation et de la déforestation. Afin d'obtenir des informations sur la distribution de la biomasse végétale dans l'espace en 3-D et suivre des changements éventuels à l'intérieur du couvert forestier, il faut préalablement évaluer les paramètres forestiers contribuant le plus au signal mesuré dans les images.

Avec le lancement du satellite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) en janvier 2007 et la disponibilité des données radar PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), l'analyse de la structuration des forêts tropicales est relancée grâce à une configuration instrumentale pertinente. Premièrement, l'observation des forêts en bande L, c'est-à-dire avec un signal à 1,25 GHz (longueur d'onde $\lambda=23,6$ cm) permet de mieux rendre compte de la dynamique forestière avec une saturation du signal radar qui apparaît à un niveau de biomasse 3 fois plus élevé qu'en bande C (150 tonnes de matières sèches à l'hectare contre 50). Deuxièmement, comme l'étalonnage radiométrique des données PALSAR est de qualité ($\leq \pm 1$ dB), le développement de méthodes reproductibles de caractérisation des ressources forestières peut être entrepris sur la base d'images stables. Troisièmement, le fait de pouvoir disposer d'images insensibles à la couverture nuageuse améliorera l'opérationnalité des méthodes développées sur les régions tropicales.

Enfin, l'estimation des paramètres forestiers tropicaux à l'échelle régionale, par « inversion statistique » d'un signal radar en bande L correctement étalonné, pourra sans doute être améliorée : l'analyse de texture des canopées réalisée sur des images optiques de résolution métrique, pourra fournir des estimations qui serviront de références à l'échelle du massif forestier, en complément des mesures de terrain.

Contact : Christophe Proisy, christophe.proisy@ird.fr

Pour plus d'informations : www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/kyoto/kyoto_index.htm

* Satellite japonais destiné à la cartographie, aux observations régionales, à la surveillance de catastrophes et au suivi des ressources.

** Radar à Synthèse d'Ouverture, bande L, capable d'acquies des données jusqu'à 10m de résolution.

◀ *Image ALOS PALSAR (bande L) du littoral guyanais entre Cayenne et l'estuaire de l'Oyapock (composition colorée des données en polarisation HH et HV) : à marée basse, les bancs de vase nue (en noir) apparaissent lisses à la longueur d'onde de 20 cm ; les jeunes mangroves (en marron-vert) se distinguent des mangroves et forêts de plus forte biomasse (en gris).*

La caractérisation et le suivi des plantations tropicales par télédétection

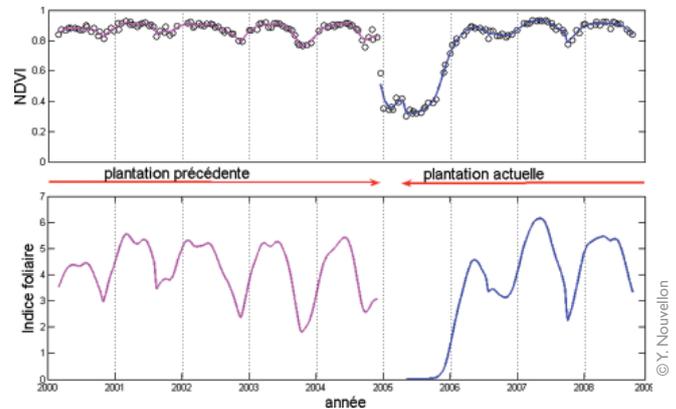
Pour répondre aux besoins croissants du marché, les écosystèmes tropicaux plantés doivent augmenter leur productivité à long terme, sans nuire à l'environnement. Or, les conditions environnementales et climatiques, les pratiques et les antécédents culturels peuvent avoir un impact majeur et durable sur l'évolution des composantes biophysiques et biogéochimiques des écosystèmes de plantation tropicaux, impact qu'il convient de quantifier.

C'est dans ce contexte que les recherches de l'UPR « Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations » (Cirad) visent à caractériser et formaliser le fonctionnement hydrique, carboné et minéral des plantations tropicales via une démarche écosystémique rendant compte des relations plante-sol-climat.

L'imagerie satellitaire est un outil efficace pour suivre les plantations dans le temps et dans l'espace. La caractéristique recherchée conditionne le choix d'un capteur ayant des spécificités spatiales, temporelles et spectrales adéquates. L'information satellitaire n'est pas directement utilisable et nécessite différents traitements qui incluent des systèmes d'informations géographiques (SIG) et des modèles complexes.

Citons quelques caractéristiques structurales et physiologiques des plantations qu'il est possible d'estimer à partir de l'imagerie satellite :

- l'indice foliaire (quantité de feuilles sur la plantation) ;
- la biomasse ;
- le contenu en chlorophylle ;
- la productivité.



▲ Exemple d'utilisation du signal satellite (NDVI, ronds noirs) pour estimer l'évolution de l'indice foliaire d'une parcelle d'eucalyptus au Brésil. Les diminutions annuelles correspondent aux chutes de feuilles lors des saisons sèches.

Ces caractéristiques peuvent alors être analysées d'un point de vue spatial (différences entre parcelles) et/ou temporel (évolution de la parcelle). Par exemple, l'information sur l'évolution de l'indice foliaire des peuplements dans le temps renseigne sur la durée et l'intensité des stress hydriques (voir le graphique ci-contre). L'information spatiale renseigne sur les différences de fertilité ou de capacité du sol à conserver plus ou moins d'eau en saison sèche.

Ces informations peuvent être ensuite utilisées pour contraindre des modèles de fonctionnement des écosystèmes à l'échelle d'une parcelle ou sur un ensemble de parcelles. Ces modèles permettent par exemple d'estimer la durabilité des stocks de carbone ou d'éléments minéraux des plantations.

**Contacts : Gueric le Maire, gueric.le_maire@cirad.fr
Claire Marsden, claire.marsden@cirad.fr
& Yann Nouvellon, yann.nouvellon@cirad.fr**

Caractérisation de la végétation, du terrain et des eaux de surface par LIDAR



▲ À gauche : photographie panoramique ; à droite : nuage de points 3D obtenu par LiDAR terrestre.

appropriés de traitement du signal. D'autres propriétés des cibles peuvent alors être extraites suivant les longueurs d'onde utilisées : par exemple la géométrie et la nature de la cible (turbidité des eaux, pente locale, densité de la végétation, etc.).

Les recherches menées par les UMR TETIS, LISAH et AMAP concernent trois champs d'application : l'étude de la végétation, l'hydrologie et la topographie fine. Elles visent à développer des méthodes spécifiques de traitement des formes d'onde et des nuages de points LIDAR et à qualifier les données. Des travaux de modélisation du signal LIDAR sont également conduits en lien avec le CNES et les industriels afin de spécifier de futurs capteurs aérospatiaux. Pour l'étude de la végétation, on cherche à estimer les biomasses et à caractériser la structure du couvert et du sous-bois dont la connaissance est fondamentale pour la gestion durable des milieux forestiers (feux de forêts, biodiversité). En hydrologie, un des objectifs est le suivi altimétrique et la bathymétrie des eaux continentales pour une meilleure gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques. Un autre objectif est de valoriser la finesse de description du terrain obtenue par des LIDARs aéroportés topographiques (digues, réseaux hydrographiques fins) afin de mieux décrire les écoulements de surface et prévoir les risques associés comme l'érosion.

**Contacts : Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr,
Jean Dauzat, jean.dauzat@cirad.fr & Sylvie Durrieu, sylvie.durrieu@teledetection.fr**



▲ **Document de stratégie du programme scientifique d'Observation de la Terre de l'Agence Spatiale Européenne (Living Planet Programme, 2006).**

Les agences spatiales, comme le Centre National d'Étude Spatiales (CNES) en France ou l'European Space Agency (ESA) en Europe, s'appuient sur la communauté scientifique pour définir des concepts de missions satellitaires répondant à des besoins scientifiques ou opérationnels, développer les technologies en amont des capteurs, valider les produits issus de ces missions et développer des méthodologies permettant d'utiliser ces produits au service d'applications scientifiques ou opérationnelles.

Des chercheurs de la Maison de la Télédétection (UMR TETIS, US ESPACE) participent à des instances scientifiques nationales, européennes et internationales :

- Comité des Programmes Scientifiques et Comité Scientifique Terre-Océan-Surfaces Continentales-Atmosphère du CNES ;
- Earth Science Advisory Committee de l'ESA et programme GMES de la commission européenne et de l'ESA ;

La Maison de la Télédétection, GEOSUD et l'appui aux agences spatiales et aux programmes internationaux d'observation de la Terre

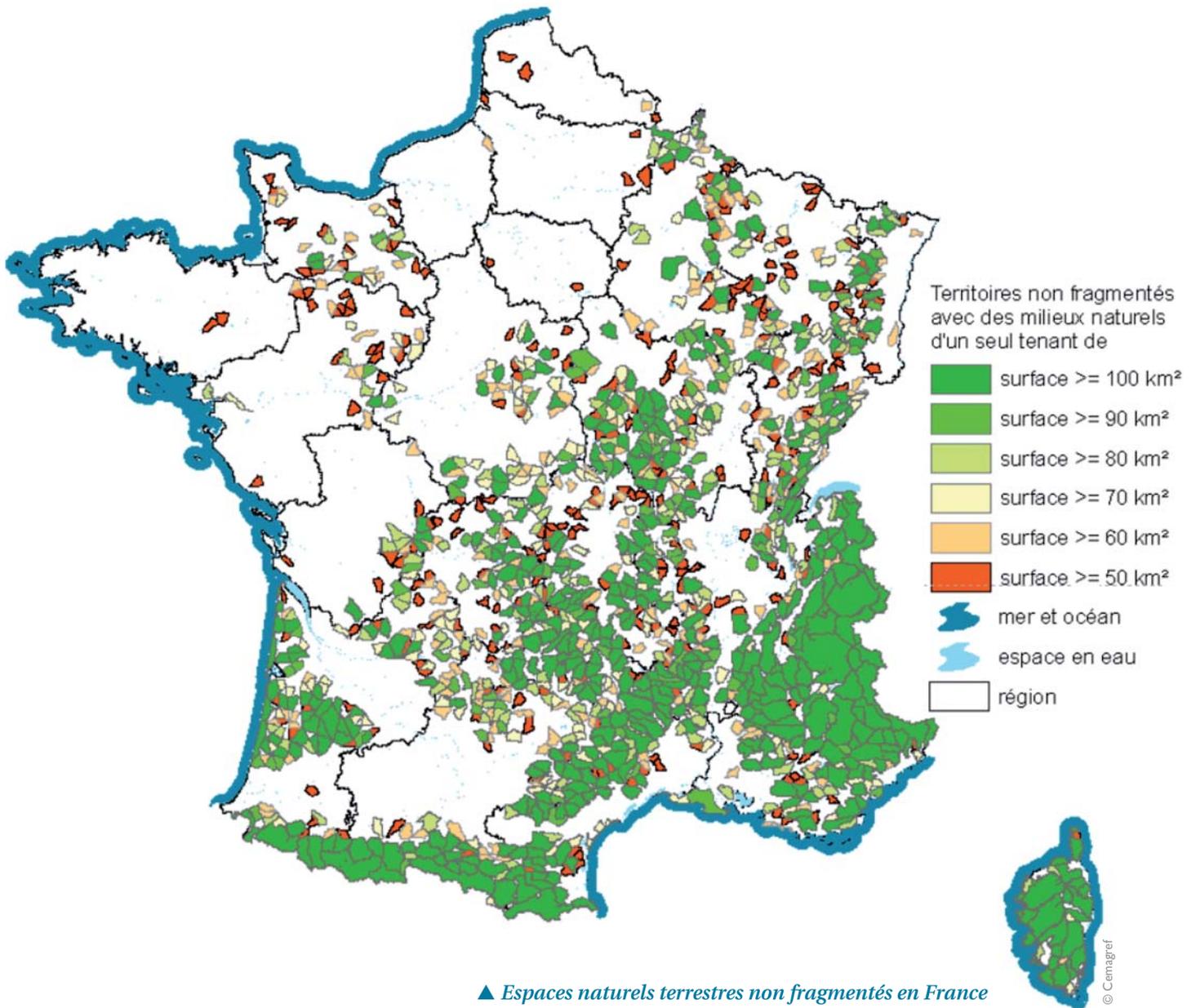
- Initiatives internationales telles que le *Group on Earth Observation* et l'*Integrated Global Observing Strategy*. À travers ces participations, les chercheurs d'Agropolis International portent les problématiques et enjeux de l'agriculture, de l'environnement, des territoires et du développement durable dans la définition des stratégies d'observation de la Terre par satellites.

En collaboration avec des laboratoires et industriels français, européens et d'autres pays, ils ont contribué à la définition et à la valorisation de différentes missions satellitaires du CNES, de l'ESA et de la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* :

- les satellites d'altimétrie radar (Topex Poseidon, Jason 1 et 2, ERS 1 et 2, ENVISAT) pour la mesure des niveaux des eaux continentales ;
- la future constellation de satellites Pleiades, pour l'imagerie optique à très haute résolution spatiale ;
- le concept de mission *Surface Waters Ocean Topography* pour la mesure des niveaux et pentes des eaux continentales par interférométrie radar spatiale (*across-track*) ;
- le concept de mission « Observation des Surfaces Continentales par Altimétrie Radar » pour la mesure des vitesses de surface des fleuves par interférométrie radar temporelle (*along-track*) ;
- le concept de mission LVTH (LIDAR, Végétation, Terrain, Hydrologie) pour la mesure par LIDAR des caractéristiques tridimensionnelles des forêts, des terrains et des eaux continentales.

La plateforme technologique de la Maison de la Télédétection et son évolution à travers le projet GEOSUD (GEOinformation for SUsustainable Development), offrent à la communauté scientifique et aux partenaires d'Agropolis International un environnement de recherche, de formation et de transfert dans le domaine de l'observation de la Terre par satellites.

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



Méthodes d'analyse spatiale *et de modélisation* spatio-temporelle

L'analyse spatiale et la modélisation spatio-temporelle visent à formaliser, sur la base de données incomplètes et imprécises et de connaissances plus ou moins approfondies sur les processus, les caractéristiques spatiales et les dynamiques spatio-temporelles de systèmes (écosystèmes, systèmes agricoles, territoires...). Sur cette base peuvent être construits des représentations et des modèles de ces systèmes, utilisables à des fins de connaissance et de gestion.

La perception de la dimension spatiale des systèmes et la prise en compte de l'existence, en leur sein, de plusieurs niveaux d'organisation partiellement imbriqués sont des enjeux importants pour comprendre leur fonctionnement, qu'il s'agisse de dynamiques propres à l'environnement, de dynamiques socio-économiques ou de leurs interactions au sein des territoires. L'analyse et la modélisation spatiales sont ainsi guidées non seulement par l'espace lui-même mais aussi par les questions traitées, pour lesquelles certaines structures et processus peuvent se révéler plus pertinents que d'autres. L'espace est ainsi à la fois « support » et « révélateur » de processus aussi bien biophysiques (diffusions, écoulements, processus écologiques...), techniques (pratiques agricoles, pratiques d'aménagement) que humains et sociaux (stratégies d'acteurs, actions collectives, échanges...).

L'analyse spatiale vise à caractériser les propriétés des objets (tâche urbaine, réseau hydrographique, habitat naturel...) ou des champs de variables (pluviométrie, densité de population...). Chaque objet ou champ peut être décrit par sa position, son emprise, sa morphologie, sa topologie, sa structure et sa variabilité interne. L'analyse spatiale vise également à révéler l'organisation spatiale d'une famille d'objets (p. ex. les individus dans un peuplement) ou les limites et interactions entre familles différentes. Les recherches dans le domaine de l'analyse spatiale portent sur un spectre très large de méthodes adaptées à différentes problématiques et différents types de systèmes : les méthodes d'échantillonnage (métrologie in situ, enquêtes...), les méthodes de description des systèmes (géographie, sciences cognitives...), les méthodes de reconstitution de champs spatiaux et/ou temporels (géostatistiques, sur-échantillonnage), l'analyse des structures spatiales (morphométrie), les méthodes de construction, de spatialisation et de cartographie d'indicateurs environnementaux, la construction de métriques et d'indicateurs spatiaux.

La modélisation spatio-temporelle vise à construire des représentations des systèmes prenant en compte leurs dimensions spatiales et temporelles. Elle couvre deux aspects distincts mais complémentaires : d'une part l'aspect structurel avec la représentation des structures spatiales et des informations et indicateurs associés, et, d'autre part, l'aspect dynamique avec la représentation des séquences temporelles de ces informations spatialisées, voire des processus qui les produisent. La dynamique peut être représentée par une succession d'états du système ou par une formalisation spatio-temporelle continue des processus : ces simulations permettent de tester des hypothèses sur la prise en compte de la dimension spatiale ou d'étudier des scénarios. Les recherches dans le domaine de la modélisation spatio-temporelle portent également sur un spectre large de méthodes : les méthodes d'analyse des corrélations entre champs spatiaux, les modélisations pressions/état/réponse, les différentes approches de modélisation spatio-temporelle (déterministes à conceptuelles, distribuées à agrégées, des automates cellulaires aux systèmes multi-agents...), la paramétrisation des modèles distribués et l'analyse de la propagation d'incertitude dans ces modèles.

Lorsqu'une variété d'acteurs ou de thématiques doit être articulée sur un même territoire, il est nécessaire d'assurer la superposition cohérente de différentes structures spatiales qui sont autant de points de vue sur l'espace et le temps. La modélisation spatio-temporelle contribue alors à la modélisation de systèmes complexes.

Les travaux des équipes d'Agropolis présentés dans ce chapitre illustrent les recherches méthodologiques menées en matière d'analyse spatiale à partir de données de télédétection, ou de données cartographiques générées par des enquêtes ou des observations localisées. La reconstitution de champs spatiaux par des méthodes d'interpolation spatiale constitue un défi important pour toutes les équipes, de même que la prise en compte de la qualité des données tant du point de vue spatio-temporel que sémantique. Les travaux menés en matière de modélisation spatio-temporelle portent essentiellement sur le couplage de différents modèles intégrant la description de l'espace, sur l'assimilation des données géographiques ou issues de la télédétection. Ils concernent différents types de modélisation : depuis les modèles mécanistes dont la vocation est la connaissance des processus, jusqu'aux modèles à base d'indicateurs servant d'appui à la décision dans un processus de gestion.

**Flavie Cernesson (UMR TETIS)
& Jean-Pierre Müller (UR GREEN)**

Méthodes d'analyse spatiale *et de modélisation* spatio-temporelle

Information spatiale et modélisation appliquées à la botanique et l'écologie végétale

Les recherches de l'UMR AMAP *botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes* (Cirad, Inra, CNRS, IRD, UM2) sont centrées sur la caractérisation et l'analyse de la diversité, de l'organisation et de la structure des plantes et des peuplements végétaux. Elles s'appuient sur des méthodes originales telles que l'analyse de l'architecture et du développement des plantes, l'identification assistée par ordinateur, la représentation mathématique et informatique des organes, des plantes, des peuplements et des paysages, et la modélisation de leur croissance et de leur production. L'UMR fédère des recherches cognitives (botanique et écologie), méthodologiques (mathématiques appliquées) et finalisées (agronomie, foresterie, conservation), grâce à des collaborations étroites entre chercheurs relevant de disciplines variées. Elle regroupe des compétences fortes en systématique et en architecture végétale, adossées sur plusieurs plateformes taxonomiques (herbiers de Cayenne, Montpellier, Nouméa) ; elle mène des recherches de terrain en Europe, Afrique, Amérique du sud, Asie et Océanie.

Une part importante de ses recherches utilise des informations géographiquement référencées ou spatialement explicites, telles que des distributions d'organes végétaux dans l'espace 3-D, des patrons de répartitions d'espèces, des cartes de descripteurs écologiques, des topologies de plantes ou de réseaux

d'habitats ainsi que des images issues de la télédétection (optique, laser, radar). En conséquence, l'effort méthodologique traite de l'analyse et de la modélisation d'informations spatialisées, par l'application à la botanique ou à l'écologie végétale des mathématiques ou des statistiques appliquées (chaînes de Markov, théorie des graphes, processus ponctuels, géostatistiques, analyses d'images sur bases d'ondelettes ou de Fourier, etc.). Les analyses spatiales et la modélisation utilisant des informations de télédétection relèvent des trois grandes thématiques suivantes :

- organisation spatiale des communautés d'espèces et de la biodiversité végétale ;
- structure et dynamique des peuplements végétaux, en particulier des forêts multi-strates hétérogènes ;
- mosaïques de végétations et paysages.

Ces trois thématiques mettent respectivement l'accent sur la diversité des assemblages d'espèces et les propriétés structurelles émergentes, à l'échelle des peuplements et des mosaïques de peuplements.

La réflexion méthodologique traitant des mesures de télédétection (optique, radar, laser) est particulièrement active en ce qui concerne les deux derniers niveaux thématiques. L'accent est mis sur l'interfaçage entre modèles dynamiques de la structure tridimensionnelle des forêts et mesures physiques produites par les capteurs spatiaux, dans l'objectif de fournir des approches innovantes à l'évaluation et au suivi à grande échelle des ressources et de la biomasse des forêts hétérogènes. ...

Les principales équipes

UMR AMAP - botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes
(Cirad, Inra, CNRS, IRD, UM2)
45 scientifiques dont 24 impliqués dans la thématique
Directeur : Daniel Barthémély,
daniel.barthelemy@cirad.fr
<http://amap.cirad.fr>

UMR HydroSciences Montpellier
(CNRS, IRD, UM1, UM2)
75 scientifiques dont 20 impliqués dans la thématique
Directeur : Eric Servat,
eric.servat@msem.univ-montp2.fr
www.hydrosciences.org

UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème
(Inra, IRD, Montpellier SupAgro)
30 scientifiques dont 12 impliqués dans la thématique
Directeur : Marc Voltz,
voltz@supagro.inra.fr
www.umar-lisah.fr

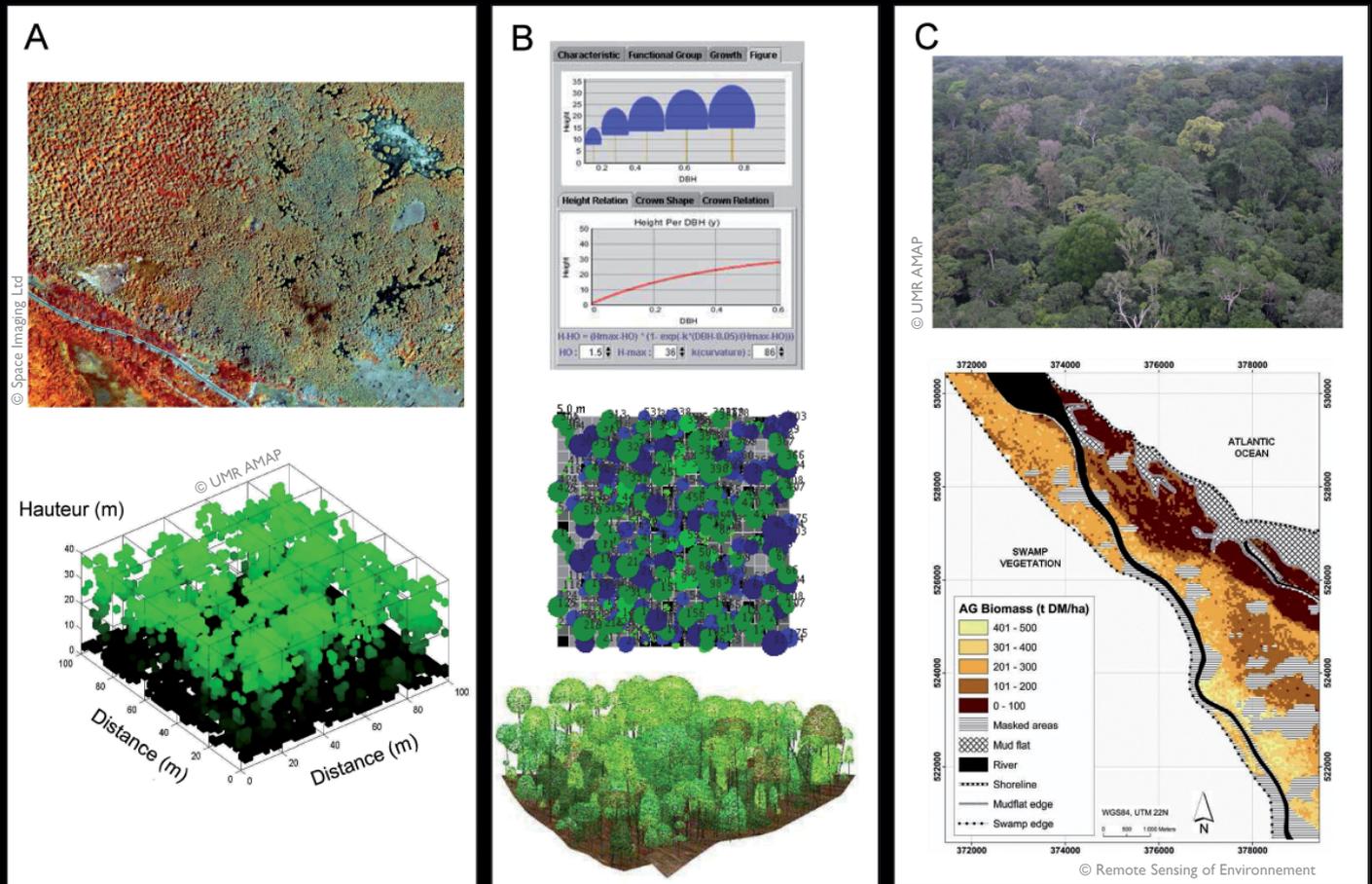
UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale
(cf. page 8)

UPR Dynamique des forêts naturelles
(cf. page 44)

UPR GREEN - Gestion des ressources renouvelables et environnement
(Cirad)
14 scientifiques dont 5 impliqués dans la thématique
Directrice : Martine Antona,
martine.antona@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/green

US ESPACE - Expertise et SPatialisation des Connaissances en Environnement
(cf. page 8)

... suite page 20



▲ Principe du couplage multi-échelles entre données de télédétection (encadré A) et modèles de dynamique forestière générant des maquettes 3D (encadré B) pour la caractérisation des milieux forestiers tropicaux (encadré C).

A. En haut : extrait d'une image Ikonos.
En bas: reconstitution d'une structure forestière 3D par interpolation (« voxels ») d'un nuage de points

B. Extraits de simulations de dynamique forestière sous la bibliothèque CAPSIS/AMAP

C. En haut : photographie d'une forêt tropicale hétérogène.
En bas : carte des biomasses forestières produite par inversion d'un modèle basé sur les textures de la canopée (d'après Proisy, Couteron & Fromard, 2007)

Couplage multi-échelle de modèles (3D) de peuplements forestiers/végétation avec des méthodes issues de l'observation spatiale

La structure de la végétation renvoie à l'agencement de ses constituants (individus, organes) dans l'espace tridimensionnel, organisation quantifiable au travers de variables (densité, hauteur d'arbre, profil de biomasse, etc.) susceptibles d'être estimées par des procédures de terrain. L'observation spatiale devient nécessaire pour l'analyse à grande échelle des structures de la végétation ainsi que le suivi des processus fonctionnels (échanges avec l'atmosphère) ou dynamiques qui lui sont liés. L'enjeu est particulièrement fort pour les peuplements forestiers à forte biomasse et à structure multi-strates complexe, tels que les forêts naturelles des tropiques humides. Pour ces milieux, les techniques de télédétection employées au cours des deux dernières décennies ont souvent échoué sur la saturation des signaux optiques ou radar à partir de niveaux de biomasse intermédiaires.

Des travaux récents sur les données optiques à résolution métrique montrent cependant que l'analyse des variations spatiales du signal par les approches de texture et d'identification d'objets (en partenariat avec l'EPI ARIANA de l'INRIA-Méditerranée) peut être corrélée à celle des variables de

structure, hors effet de saturation. Par ailleurs, les signaux pénétrant le couvert (LIDAR, radar) restent une source complémentaire de progrès dans la caractérisation de la structure 3-D du couvert forestier. Pour assurer « l'inversion » des mesures de télédétection en informations thématiques avérées, le couplage, à différentes échelles, de modèles de structure forestière avec les modèles physiques simulant la diffusion d'un signal électromagnétique (de l'optique aux micro-ondes) est nécessaire. Dans le cas des forêts tropicales, ce couplage repose sur notre capacité à construire des maquettes de structures 3-D de peuplements forestiers « écologiquement » réalistes pour simuler leurs signatures électromagnétiques. Grâce à cette modélisation, on peut espérer, par exemple, relier formellement des indices de texture à une distribution d'objets structuraux (couronnes d'arbres, trouées), ou relier la pénétration d'un signal à la stratification verticale de la végétation. Réciproquement, une meilleure compréhension des signatures électromagnétiques des forêts tropicales permettra d'améliorer les modèles de dynamique forestière.

Contact : Pierre Couteron, pierre.couteron@ird.fr

Intégration de la variabilité spatio-temporelle des précipitations et des états de surface dans la modélisation des ressources en eau en Afrique de l'Ouest



© D. Ruelland

En Afrique de l'Ouest, la pluviométrie a chuté dès la fin des années 60, marquant le début d'une période de sécheresse persistante sans précédent. Les grands fleuves ouest-africains ont souffert de la sécheresse, leurs déficits en écoulements subissant une amplification d'un facteur 2 à 3 par rapport au déficit pluviométrique. Parallèlement, sous les effets conjugués des évolutions climatiques et des activités humaines (intensification de l'agriculture, déforestation, etc.), les états de surface ont été modifiés et ont pu entraîner d'importants changements dans les conditions de ruissellement et d'infiltration. L'évaluation de l'impact de ces changements sur les écoulements nécessite une représentation spatialisée des processus qui régissent les liens entre les données climatiques (pluies, ETP) et anthropiques et les régimes hydrologiques des rivières. Pour ce faire, l'UMR HydroSciences Montpellier développe des modèles hydrologiques qui intègrent la variabilité spatio-temporelle des précipitations et des états de surface. Cette thématique de recherche repose sur (i) des méthodes de traitements diachroniques de photographies aériennes et d'images satellitaires pour caractériser les changements d'occupation du sol sur le long terme ; (ii) des techniques d'analyse spatiale pour interpoler, par exemple, des champs de précipitations ; (iii) des modèles hydrologiques conceptuels globaux et semi-distribués qui permettent de simuler les écoulements des grands bassins versants avec différents niveaux de complexité, notamment spatiale. L'objectif est de mieux appréhender les phénomènes d'écoulement et d'améliorer la capacité de prédiction des risques environnementaux dans un contexte où l'accès et la disponibilité des ressources en eau constituent un des principaux facteurs limitants du développement généralement basé sur la maîtrise de la production agricole.

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



© D. Ruelland

▲ *Le Bani à Douna (Mali) en basses eaux (mai 2006) et hautes eaux (novembre 2006).*

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

Les travaux développés au sein de l'UMR *HydroSciences Montpellier* (CNRS, IRD, UM1, UM2), portent sur l'étude des impacts climatiques et anthropiques sur les ressources en eau en milieux méditerranéen et tropical. La finalité de ces travaux implique à la fois l'analyse et la modélisation des processus mis en jeu, la caractérisation de phénomènes régionaux et le développement d'approches en modélisation conceptuelle. HydroSciences Montpellier développe son activité autour des mots-clés que sont :

- (1) l'eau dans l'environnement,
- (2) l'eau ressource et (3) les liens entre variabilité hydro-climatique et ressources en eau.

Parmi les grands domaines qui structurent la recherche au sein du laboratoire, deux sont concernés par le défi « impact de la variabilité climatique » et mobilisent des techniques et des méthodes de

gestion, d'analyse et de traitement de données spatio-temporelles à travers des modèles de simulation des écoulements.

Le premier domaine, « Variabilité hydrologique : analyse, mécanismes et impacts sur les ressources en eau », est consacré aux changements hydrologiques d'origine climatique et/ou anthropique, en zones tropicales et semi-arides. L'analyse des données spatio-temporelles est indispensable pour caractériser et comprendre les structures et les dynamiques des régions sahéliennes (par exemple), à l'équilibre environnemental fragilisé par la sécheresse, la désertification et une pression anthropique sans cesse grandissante. De même, ces approches sont incontournables dans le cadre du suivi de l'évolution des glaciers tropicaux, lourde d'enjeux en termes de ressources en eau.

Le second domaine, « Risques hydrologiques liés aux aléas extrêmes », fait apparaître la notion de risque, qu'il soit lié à des événements hydro-climatiques extrêmes ou aux flux de pollution qui leurs sont associés. La connaissance et le suivi de paramètres aussi différents que la variabilité spatiale

Autres équipes concernées par ce thème

BRGM, Service Géologique Régional : Services opérationnels « Eau » et « Aménagement et risques naturels »
(cf. page 49)

LGEI - Laboratoire Génie de l'Environnement Industriel et des Risques Industriels et Naturels
(cf. page 49)

EA GESTER - Gestion des Sociétés, des Territoires et des Risques
(cf. page 49)

UMR CEFE - Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive
(cf. page 43)

UMR ITAP - Information et Technologies pour les Agroprocédés
(cf. page 8)

UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations
(cf. page 38)

UPR Ressources forestières et politiques publiques
(cf. page 28)

UPR SCA - Systèmes de culture annuels
(cf. page 38)

de la pluie, l'organisation des territoires, les modifications du couvert végétal et des modes d'occupation des sols, ou, pour ces derniers, les variations de leur teneur en eau, nécessitent disponibilité et maîtrise de nombreuses données spatio-temporelles.

Pour s'inscrire pleinement dans ces démarches, HydroSciences Montpellier, ouvert à de nombreuses collaborations, veut aussi renforcer ses compétences dans le domaine de la maîtrise de l'information spatiale et développer l'ensemble des bases de données nécessaires.

Accompagner les processus collectifs de gestion des ressources

L'objectif général de l'UR *Gestion des ressources renouvelables et environnement* (GREEN, Cirad) est de fournir des connaissances, des

méthodes et outils pour (i) comprendre les interactions entre usages des ressources naturelles et viabilité des écosystèmes et (ii) accompagner les processus collectifs de gestion. Les modalités d'interactions et d'arbitrage entre conservation des écosystèmes et développement sont au coeur de la gestion durable de l'environnement. Les enjeux sont prégnants au Sud en raison de la forte dépendance des populations envers les ressources renouvelables. Ils le sont aussi, au Sud comme au Nord, du fait de l'éclatement des lieux de décision renforcé par la mondialisation et la décentralisation. La recherche est interrogée par ces enjeux pour comprendre et faire comprendre des processus sociaux et écologiques complexes afin d'en assurer la viabilité, appuyer des processus de gestion intégrant la dimension environnementale et le long terme, considérer l'asymétrie d'information et de participation des acteurs concernés.

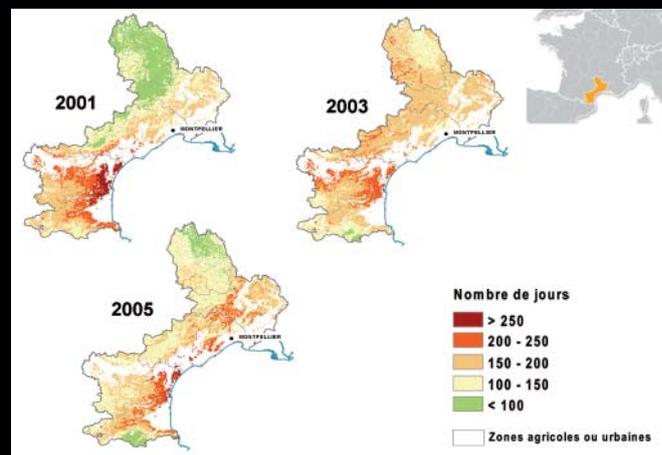
L'unité privilégie la modélisation au sens large des dynamiques biophysiques et sociales spatialisées. Ainsi dans les premières phases d'acquisition d'information et d'entrée en matière avec les acteurs, la cartographie joue un rôle capital pour spatialiser les ressources ainsi que les usages multiples dont elles sont l'objet. La simulation fait également appel aux données cartographiques, qu'elles soient pixellisées ou vectorielles, à la fois pour définir les configurations spatiales initiales et pour visualiser les évolutions au fil du temps. La visualisation spatiale des simulations est un support important de dialogue avec les acteurs que ce soit pour l'appropriation du modèle ou l'exploration de scénarios.

Les applications sont développées dans l'unité et en réseau avec d'autres équipes d'Agropolis ainsi que les universités partenaires du Sud. Les domaines d'application sont le foncier en Afrique sahélienne et à la Réunion (action thématique programmée Domino, voir page 22), ...

Développement de modèles et d'indicateurs de contrainte hydrique en région méditerranéenne à l'aide de méthodes géostatistiques et d'indices topo édaphiques

La dynamique et le fonctionnement des écosystèmes terrestres méditerranéens sont fortement contrôlés par le régime des précipitations en grande partie imprévisible. La contrainte hydrique limite la transpiration, l'assimilation du carbone, l'émission de composés organiques volatils et la décomposition de la matière organique ; elle détermine la survie ou le remplacement des espèces végétales et intervient sur l'intensité et la fréquence des incendies. À l'échelle des paysages ou aux échelles régionales, les variabilités topo-édaphique (sol et relief), climatique, biotique (distribution des espèces) créent une hétérogénéité spatiale importante de la contrainte hydrique. Les irrégularités temporelles du cycle de l'eau imposent par ailleurs d'adopter une résolution journalière pour représenter la dynamique de cette contrainte hydrique.

Le développement par le **Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive** d'outils de modélisation du fonctionnement du système « sol-plante », fondés sur des méthodes de géostatistique et d'écologie du paysage, permet la production de cartes journalières de contrainte hydrique à différentes échelles. Les données initiales sont essentiellement les modèles numériques de terrain et les cartes pédologiques, desquelles peut être déduite une représentation spatiale continue des propriétés de rétention en eau des sols. Les cartes de végétation, couplées aux produits de télédétection, NDVI ou pourcentages de couvert, permettent de modéliser le fonctionnement du système plante selon les profondeurs racinaires, les potentiels maximum d'extraction d'eau spécifiques et la surface foliaire transpirante. Enfin, une méthode automatique d'interpolation spatiale des données climatiques journalières, utilisant les données météorologiques de stations et les modèles numériques de terrain, a été développée. Elle permet de considérer la topographie à petite échelle dans la représentation continue des champs climatiques.



▲ *Durée de la sécheresse en région Languedoc-Roussillon (Teneur en eau de la zone racinaire <0,7).*

Cette méthode peut s'appliquer aux données météorologiques réelles ou simulées par les modèles météorologiques de circulation générale basés sur les prévisions du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat d'augmentation du CO₂ atmosphérique. Les applications de ces recherches sont diverses, notamment dans la gestion des risques d'incendie, la compréhension des interactions biosphère-atmosphère (flux d'eau et carbone, qualité de l'air) ou la détermination de la vulnérabilité des écosystèmes.

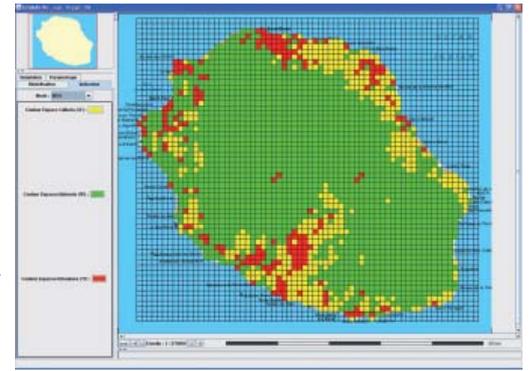
**Contacts : Florent Mouillot, florent.mouillot@cefe.cnrs.fr
Serge Rambal, serge.rambal@cefe.cnrs.fr
& Jean-Pierre Ratte, jean-pierre.ratte@cefe.cnrs.fr**

Le projet Domino : une modélisation d'accompagnement en appui aux débats sur l'affectation des terres

La gestion « participative » de territoires implique l'interaction d'une diversité d'acteurs ayant des points de vue multiples sur les systèmes sociaux et écologiques et les processus en œuvre. Le projet Domino développé au sein de l'UPR GREEN vise à co-construire des outils permettant à ces acteurs d'explicitier et de partager leurs points de vue afin de faciliter la coordination des processus d'affectation des terres. La démarche de « modélisation d'accompagnement » (telle que définie par la Charte ComMod, *Companion Modeling*, modélisation d'accompagnement, www.commod.org) a été testée dans deux contextes socio-institutionnels contrastés, l'île de la Réunion et le Sénégal, permettant ainsi d'éprouver son adaptabilité.

À la Réunion, les documents de planification territoriale de la Région, des intercommunalités et des communes étaient en révision. L'enjeu était de construire un système d'information cohérent à partir de données géographiques produites de manière non coordonnée par différentes institutions, puis de l'utiliser dans une vision dynamique. Agents de développement et chercheurs ont conçu un modèle de simulation intégré qui a ensuite été utilisé pour illustrer l'impact à long terme, sur l'occupation du sol, des scénarii prospectifs du schéma d'aménagement régional.

► Interface de simulation du modèle.



Au Sénégal, la planification de la gestion du lac de Guiers était

embryonnaire ; peu d'informations spatialisées étaient disponibles et les gestionnaires manquaient de formation pour exercer leurs missions. Un comité utilisateur *ad hoc* a été mis en place et formé à la lecture et la production de données cartographiques.

Parallèlement, les chercheurs ont développé des outils dynamiques allant du jeu de rôles au modèle d'optimisation économique pour traiter, à différentes échelles, des questions soulevées sur le terrain. Les outils ont été testés en atelier par le comité utilisateur, puis en situation réelle par ses membres.

La démarche Domino permet la prise en compte des multiples niveaux de gestion et des données nécessaires pour alimenter les processus d'affectation des terres. Elle s'est traduite dans les supports construits et dans l'implication d'acteurs de différents niveaux, depuis la conception jusqu'à l'utilisation des outils.

**Contacts : Grégoire Leclerc, gregoire.leclerc@cirad.fr
William's Daré, william.dare@cirad.fr
& Aurélie Botta, aurelie.botta@cirad.fr**

la gestion intégrée des zones côtières à la Réunion (projet « Aide la Gestion Intégrée des Littoraux »), la biodiversité au Brésil et à Madagascar, l'agrobiodiversité en Afrique de l'Ouest et en Amérique latine ainsi que la gestion des bassins versants en Asie.

Pour plus d'informations sur les plateformes de modélisation libres élaborées par GREEN : <http://cormas.cirad.fr> ; <http://sourceforge.net/projects/mimosa/> et sur le site du réseau modélisation d'accompagnement : www.commod.org

Développement d'une hydrologie des milieux cultivés

Le **Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème** (UMR LISAH, Inra, IRD, Montpellier SupAgro) a pour thématique centrale de recherche l'étude de l'hydrologie des milieux cultivés. Ses objectifs spécifiques sont :

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

les sols et les bassins versants ruraux en relation avec leur organisation spatiale et leur évolution temporelle ;

- élaborer des outils permettant de diagnostiquer et prévenir les risques induits par les activités humaines (milieux cultivés) sur les régimes hydrologiques et l'évolution des ressources en eau et en sols ;
- contribuer à la définition de nouveaux modes de gestion durable de l'espace rural ;
- former des étudiants aux concepts et aux outils d'analyse et de modélisation de l'organisation spatiale et de l'hydrologie des milieux cultivés.

La démarche scientifique du LISAH repose à la fois sur des études et expérimentations hydrologiques de terrain, sur des recherches méthodologiques pour l'acquisition et le traitement des données spatialisées concernant le sol et le paysage et sur le développement d'approches de « modélisation hydrologique distribuée », permettant de représenter les hétérogénéités spécifiques des paysages ruraux. Le LISAH gère un observatoire de recherche en environnement (Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau, OMERE, voir p. 32) qui a pour objectif l'analyse de

l'impact des actions anthropiques sur l'érosion physique et chimique des sols méditerranéens et sur la qualité de l'eau. En matière d'informations spatiales pour l'environnement et les territoires, les actions de recherche actuelles du LISAH portent sur la cartographie numérique des sols, incluant l'utilisation d'images hyperspectrales, la spatialisation des éléments linéaires des paysages ruraux (voir p. 11), la spatialisation des pratiques d'entretien des sols en vignoble languedocien (voir p. 39), la représentation numérique des paysages agricoles pour la modélisation hydrologique (voir p. 24) et la spatialisation de l'état hydrique des vignes à partir d'images infrarouge thermique.

L'UMR LISAH est implantée d'une part en France sur le campus agronomique de la Gaillarde à Montpellier et d'autre part dans plusieurs pays méditerranéens (Maroc, Tunisie) dans le cadre de collaborations avec des institutions de recherche et d'enseignement supérieur agronomiques de ces pays : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat, Institut national de recherche du génie rural et des eaux et forêts et Institut national agronomique à Tunis. ■



P. Dério © UAPV

▲ *Paysages mixtes d'interfluves pastoraux et de talwegs, jalonnés de jessours (ouvrages de retenue des eaux de ruissellement et des sédiments) en zones montagneuses arides sud tunisiennes.*

Interdisciplinarité et indicateurs spatialisés en appui au développement durable dans les pays du Sud

Le concept de « développement durable », consacré au niveau international par le Sommet de la Terre de Rio de Janeiro (1992), intègre les composantes environnementale, économique et sociale. Pour participer à l'évaluation et à l'orientation des politiques de développement, il est important de réfléchir en interdisciplinarité afin de considérer ces trois dimensions d'analyse.

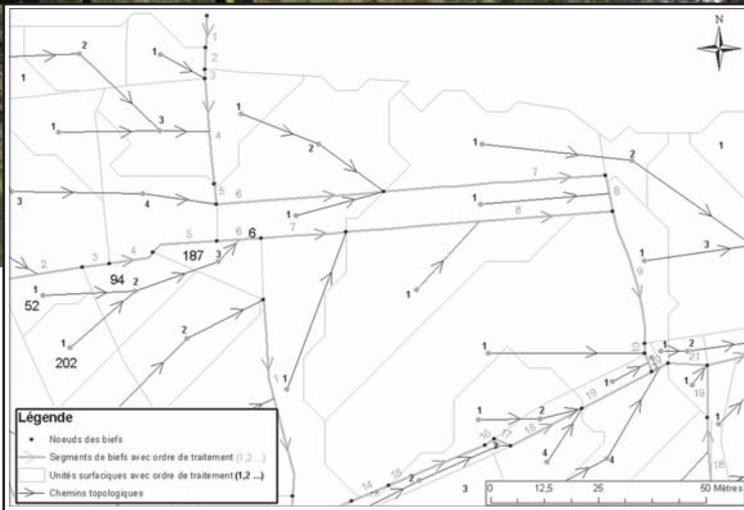
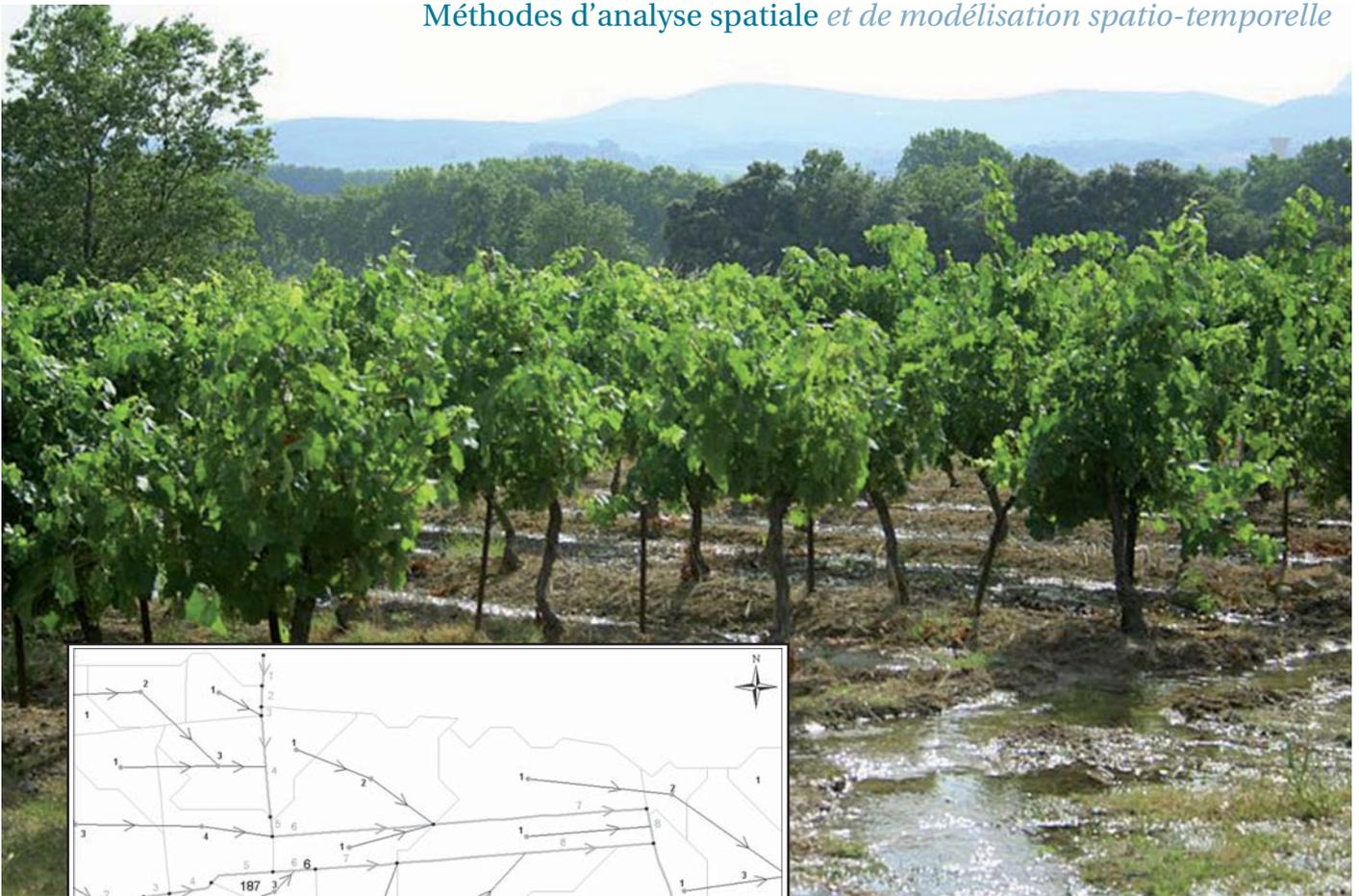
Dans ce contexte, une équipe pluridisciplinaire (US ESPACE) étudie la complexité de la gestion des ressources et de leur distribution spatiale, via le paysage considéré comme (a) un marqueur, dans les territoires, des dynamiques économiques, sociales et environnementales et (b) un révélateur des nouveaux rapports local/global inhérents à la mondialisation.

Des méthodologies, développées sur des territoires contrastés de pays du Sud, ont permis d'élaborer des indicateurs spatialisés sur l'état du territoire et les conditions de vie de ses habitants, montrant la place centrale du paysage dans les interactions espace/ressources/usages. Ces études ont porté sur l'impact des politiques publiques sur la biodiversité dans les forêts amazoniennes (BIODAM/IFB) ou sur les récifs coralliens de la

Réunion (AGIL, VALSECOR), le risque de dégradation des terres en zone sèche de l'Afrique circum-saharienne (ROSELT/OSS) ou en zone insulaire du Pacifique (GERSA/FFEM-CI), le risque sanitaire dans les forêts humides d'Amérique (ROVERTA/CNRS, EDCTA/IRD-CNPq).

Cette équipe ambitionne de mettre en évidence la complémentarité de ces méthodologies afin d'élargir les champs d'application et de stimuler l'implication conjointe de chercheurs des sciences sociales, économiques, biomédicales, et des sciences de la nature dans une démarche intégratrice (multi-échelles spatiales et temporelles) de spatialisation. Elle a pour objectif de construire des diagnostics et pronostics de territoire, à la charnière entre la recherche, la société civile et les décideurs, de façon à orienter les projets de développement. Il s'agit, par cette production, d'alimenter les observatoires environnementaux dédiés au développement durable.

Contacts : Maud Loireau, loireau@mpl.ird.fr
Anne-Elisabeth Laques, anne-elisabeth.laques@univ-avignon.fr
& Gilbert David, gilbert.david@ird.fr



© LISAH

◀ Exemple de représentation numérique du paysage pour la modélisation hydrologique obtenue avec Geo-MHYDAS (paysage viticole).

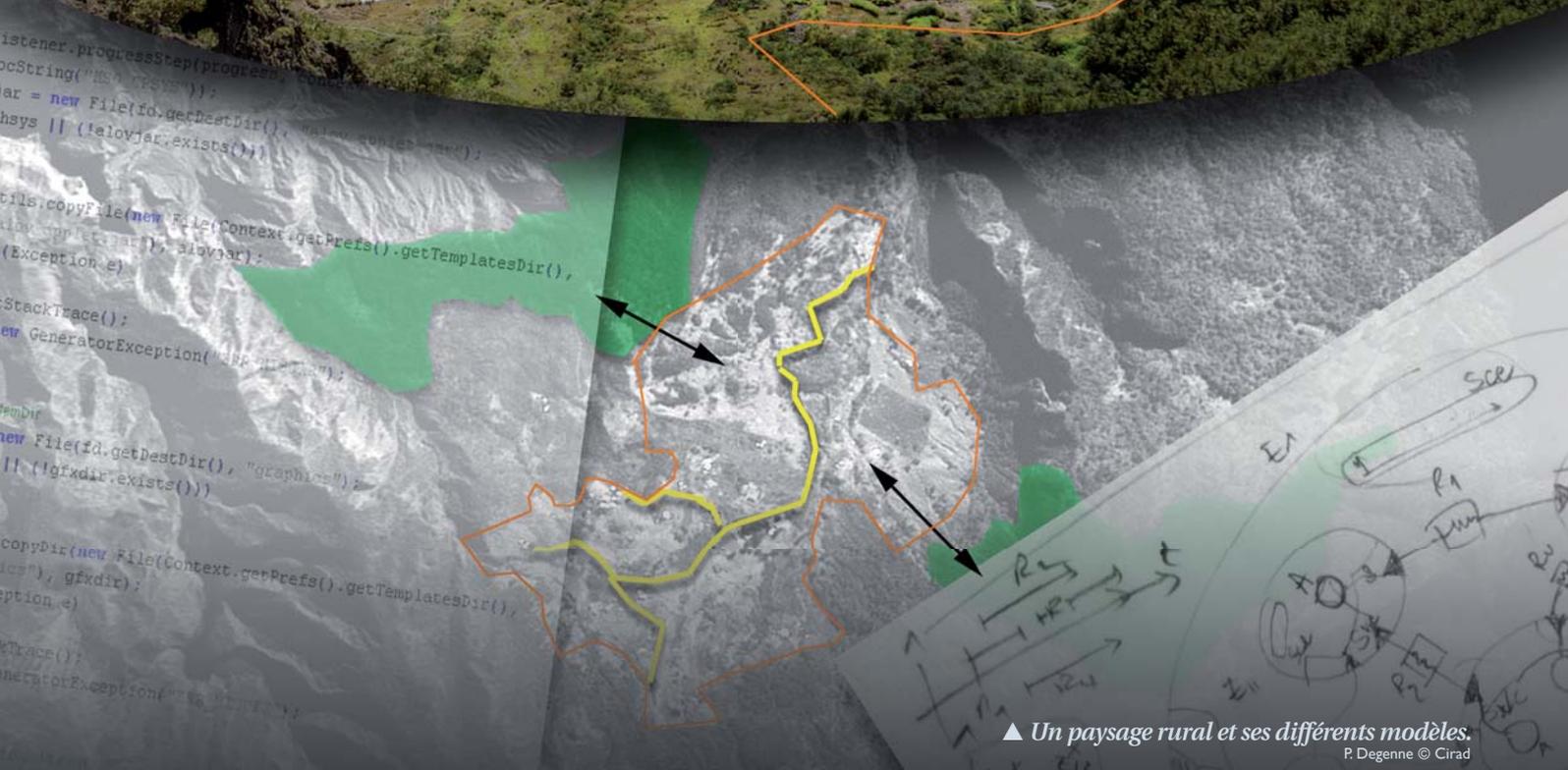
Représentation numérique des paysages agricoles pour la modélisation hydrologique

Maîtriser les crues et l'érosion hydrique, évaluer, préserver et restaurer la qualité des ressources en eau et en sols, diagnostiquer les risques environnementaux liés à l'utilisation des sols constituent des enjeux environnementaux et agronomiques essentiels dans un contexte de croissance démographique et d'intensification des modes de culture. Dans ce cadre, les modèles hydrologiques distribués constituent des outils privilégiés pour comprendre les processus hydrologiques à l'échelle des bassins versants et prévoir les effets des changements sur la réponse de ces bassins.

Pour représenter les transferts d'eau et de substances transportées par l'eau au sein de bassins versants agricoles, il est nécessaire de disposer d'une représentation numérique du paysage qui tienne compte de tous les éléments du paysage ayant un impact sur ces transferts. Une telle représentation nécessite de combiner différentes sources d'informations spatialisées (topographie, carte des sols, présence de nappes, parcellaire, espèces cultivées, mode de conduite sur ces parcelles), auxquelles s'ajoutent des discontinuités naturelles (cours d'eau) ou d'origine humaine (talus, fossés, routes, limites de parcelles agricoles) qui peuvent avoir un effet important sur les transferts d'eau.

Dans le cadre de ses travaux sur la modélisation hydrologique de petits bassins versants cultivés, l'UMR LISAH a développé Géo-MHYDAS, procédure originale de découpage et de caractérisation des paysages agricoles qui comprend trois étapes. La première étape importe les objets géographiques qui peuvent être de natures et tailles variées (unités de sol, sous-bassins versants, parcelles agricoles, réseaux de fossés...). La deuxième étape combine ces différentes informations géographiques pour créer des unités hydrologiques homogènes, préservant les objets initiaux mais restant compatibles avec l'application des fonctions de transfert d'eau du modèle hydrologique, l'utilisateur gardant le contrôle sur l'ordre hiérarchique de combinaison des objets selon ses objectifs spécifiques. La troisième étape crée la topologie orientée qui permettra de simuler les flux d'eau à travers le paysage lors de la modélisation hydrologique proprement dite. La spécificité de Géo-MHYDAS est de permettre la prise en compte d'une grande diversité de caractéristiques des paysages agricoles et de ne pas les hiérarchiser selon la seule topographie.

Contacts : Philippe Lagacherie, lagache@supagro.inra.fr
Michael Rabotin, rabotin@supagro.inra.fr
François Colin, colinf@supagro.inra.fr
Roger Moussa, moussa@supagro.inra.fr
& Marc Voltz, voltz@supagro.inra.fr



▲ Un paysage rural et ses différents modèles.
P. Degenne © Cirad

Modéliser pour mieux comprendre les paysages dont les changements nous affectent

La démarche de modélisation se retrouve au cœur de l'étude de nombreuses questions importantes auxquelles nos sociétés actuelles sont confrontées. Qu'il s'agisse de l'émergence et de la diffusion de maladies liées à de nouvelles conditions environnementales, des transformations rapides des espaces périurbains, ou encore de la dégradation des écosystèmes naturels et de la perte de biodiversité, il est nécessaire de bien comprendre avant d'agir. Pour un problème donné, quels sont les éléments clés qui composent le paysage ? Comment interagissent-ils ? Comment le paysage fonctionne-t-il et évolue-t-il en tant que système ? L'étude de tels systèmes ne pouvant la plupart du temps faire l'objet d'expérimentation en grandeur nature, s'appuie de façon privilégiée sur la modélisation informatique, même si elle reste confrontée aux problèmes de représentation de l'espace, de gestion du temps et des multiples échelles spatiales et temporelles.

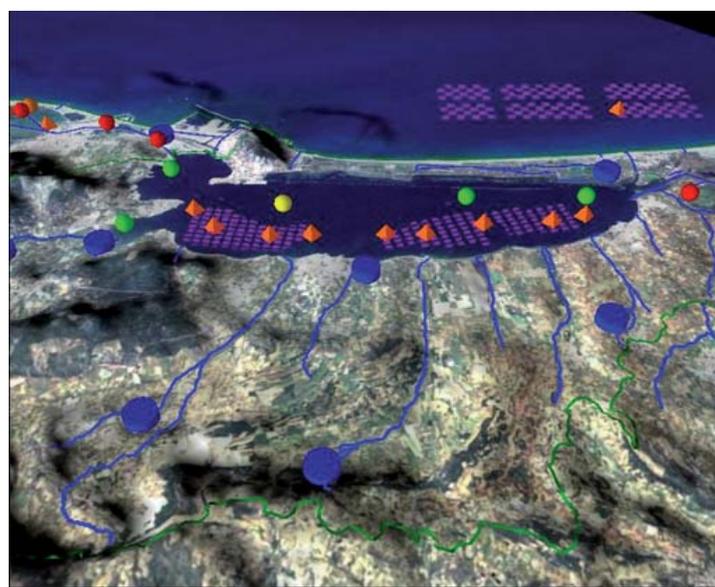
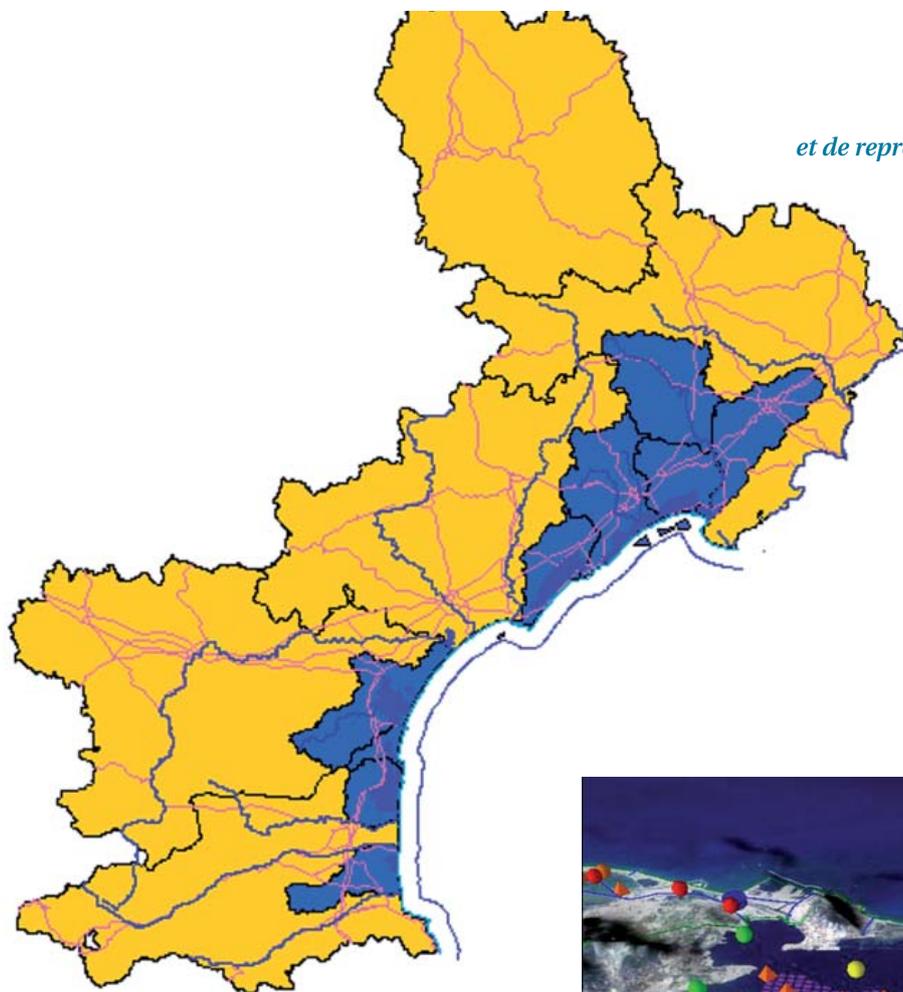
Afin de résoudre ces problèmes, de nouveaux outils sont recherchés, tels qu'un langage dédié à la modélisation des paysages et à la simulation de leurs dynamiques. Les éléments de ce langage doivent permettre d'aider les scientifiques à mieux décrire la composition des paysages qu'ils étudient, à mettre en

relation leurs composantes, à préciser les modes d'évolution et produire des simulations suivant différents scénarios expérimentaux (par exemple un changement de législation sur l'utilisation des terres). En complément du langage, l'approche retenue permet de constituer des bibliothèques d'éléments de paysages appelés « primitives ». L'utilisateur peut ainsi puiser dans ces bibliothèques et assembler les primitives nécessaires à la modélisation du paysage étudié.

Ces travaux sont menés dans le cadre du projet STAMP (*Spatial, Temporal and Multi-scale Primitives for modelling dynamic landscapes, 2008-2010*) soutenu par le Programme Blanc (ouvert à toutes les thématiques) de l'Agence Nationale de la Recherche. Ils associent des chercheurs des UMR TETIS et AMAP, de l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) et de l'Université Marne-la-Vallée, ainsi que des chercheurs de différents champs thématiques (épidémiologie, agronomie, écologie...).

**Contacts : Pascal Degenne, pascal.degenne@cirad.fr
& Danny Lo Seen danny.lo_seen@cirad.fr**

◀ ▼ *Conception de systèmes de gestion
et de représentation (projets AGIL et SYSCOLAG).*



Systemes d'information *et observatoires*

Un système d'information est un dispositif scientifique, technique, institutionnel qui assure, par le biais de l'information, les liens au sein d'une communauté (entreprises, organismes publics, collectifs de recherche, association territoriale...) en vue de créer de la connaissance, de participer à la coordination et à la négociation entre acteurs concernés par un enjeu spécifique de territoire ou de société. Ensemble de moyens humains et matériels structurés, il organise et intègre selon des protocoles définis et reproductibles, l'acquisition, le traitement, la gestion, le partage et la diffusion des données. Ces fonctionnalités sont adaptées selon que l'accent est mis sur les besoins de création de connaissance, de coordination ou de négociation entre acteurs.

Tout système d'information couvre des aspects managériaux et organisationnels qui sont à l'origine de sa création, et des aspects relatifs aux technologies de l'informatique. Il peut donc se décliner selon deux points de vue : celui de la typologie et de la nature des informations circulant entre individus et celui de l'architecture du système, construction facilitant les échanges et la sauvegarde de ces informations.

La typologie des systèmes d'information est large. Parmi ceux dédiés à l'environnement nous pouvons distinguer, sans être exhaustifs :

- des systèmes d'information techniques dans lesquels nous pouvons classer les services d'observation qui s'appuient sur des réseaux de capteurs ;
- des systèmes d'information organisationnels permettant à certaines organisations de structurer leurs informations, comme les observatoires de recherche en environnement pour la communauté scientifique ;
- des systèmes d'information qui s'appuient sur des réseaux informels dans lesquels circule l'information et qui peuvent servir d'appui à des projets territoriaux ;
- des systèmes d'information relevant à la fois de l'observation et de l'appui à la décision que nous pouvons dénommer « observatoires ».

Une partie des équipes d'Agropolis concentrent leurs recherches sur des méthodologies spécifiques aux questions de gestion des ressources et de changements environnementaux. Les systèmes d'information développés dans ce cadre doivent rendre compte de la complexité des questions en termes de diversité des acteurs, des échelles d'espace et de temps. Le contexte multi-institutionnel multiplie les représentations que les acteurs ont d'un même système (p. ex. un territoire), leurs motivations à adhérer à un objectif commun de partage de l'information, l'hétérogénéité des données (nature, format, échelle...).

Les observatoires constituent un cas particulier de systèmes d'information. Ils ont pour objectif d'observer (suivre, analyser, comprendre) sur une portion d'espace représentative d'une entité territoriale objet d'étude, les dynamiques socio-environnementales résultant d'interactions dynamiques de systèmes socio-économiques et biophysiques. Ils sont un lieu de production, d'échanges et de partage d'informations et de connaissances qui s'inscrit dans la durée. Ils exigent de ce fait des méthodologies spécifiques adaptées à la gestion des processus cumulatifs des données (durabilité, répétitivité, stockage...) et à la gestion des processus de construction de connaissances (partage, échange, interaction...).

À travers une sélection d'exemples représentatifs, ce chapitre montre la mobilisation des équipes pour des recherches en amont ou en accompagnement de la mise en œuvre opérationnelle de ces systèmes d'information et observatoires dans divers territoires du monde : analyse des besoins, spécification, instrumentation. Ils montrent également la diversité d'usage, selon que l'accent est mis sur la production de connaissances, la gestion et le partage de l'information ou encore l'accompagnement des processus de décision. Ils mettent en évidence les défis pour réussir à intégrer au mieux la diversité des acteurs et de leurs points de vue, pour prendre en compte les différentes dimensions spatiales et temporelles des informations, représenter ces complexités, gérer les incertitudes associées aux données, mobiliser et croiser des sources multiples de données, etc.

**Thérèse Libourel (LIRMM),
Maud Loireau (US ESPACE)
& Michel Passouant (UMR TETIS)**

Systemes d'information et observatoires

Les principales équipes

BRGM, Service Géologique Régional :
Services opérationnels « Eau » et
« Aménagement et risques naturels »
(cf. page 49)

**LGEI - Laboratoire Génie de
l'Environnement Industriel et des Risques
Industriels et Naturels**
(cf. page 49)

**UMR G-EAU - Gestion de l'Eau,
Acteurs, Usages**
(cf. page 44)

UMR Géosciences Montpellier
(CNRS, UM2)
87 scientifiques dont 12 impliqués dans la thématique
Directeur : Serge Lallemand,
lallemand@gm.univ-montp2.fr
www.gm.univ-montp2.fr/spip/index.php

UMR HydroSciences Montpellier
(cf. page 18)

**UMR LISAH - Laboratoire d'étude
des Interactions Sol - Agrosystème -
Hydrosystème**
(cf. page 18)

**UMR LIRMM - Laboratoire
d'Informatique, de Robotique et de
Micro-électronique de Montpellier**
(CNRS, UM2)
155 scientifiques dont 9 impliqués dans la thématique
Directeur : Michel Robert,
michel.robert@lirmm.fr
www.lirmm.fr

**UMR TETIS - Territoires, Environnement,
Téledétection et Information Spatiale**
(cf. page 8)

**UPR Ressources forestières
et politiques publiques**
(Cirad)
25 scientifiques dont 6 impliqués dans la thématique
Directeur : Alain Billand,
alain.billand@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/ressources_forestieres

UPR SCA - Systèmes de culture annuels
(cf. page 38)

**US ESPACE - Expertise et SPatialisation
des Connaissances en Environnement**
(cf. page 8)

Autres équipes concernées par ce thème

UPR Dynamique des forêts naturelles
(cf. page 44)

**UPR Fonctionnement et pilotage
des écosystèmes de plantations**
(cf. page 38)

**UR Great Ice - Glaciers et Ressources en
Eau d'Altitude - Indicateurs Climatiques
et Environnementaux**
(cf. page 44)

URP Pastoralisme
(cf. page 38)

Étude et prévention des risques géologiques

Le laboratoire *Géosciences Montpellier* (CNRS, UM2) réunit l'ensemble des moyens scientifiques en sciences de la Terre *sensu stricto*. La dynamique terrestre (ou géodynamique), depuis l'échelle atomique jusqu'à celle des plaques, est au cœur des missions du laboratoire. Les outils mis en œuvre sont ceux de la tectonique, de la géochimie, de la géochronologie, de la géodésie ou de la sédimentologie. La géodynamique concerne les différentes enveloppes depuis le profond jusqu'à la surface en passant par la lithosphère et ses interactions avec le manteau. Ce savoir-faire, issu de problématiques fondamentales, est mis à profit dans l'étude de plusieurs axes de recherche finalisée dans les domaines des risques naturels (séismes, glissements, dynamique littorale, précipitations intenses), des réservoirs géologiques (architectures sédimentaires, fracturation, transferts de fluides, pétrophysique), de l'environnement et du développement durable (séquestration du CO₂, géothermie, hydrodynamique souterraine, ressources en eau : évaluation du stock, suivi des transferts et qualité). La plupart de ces thèmes passent par l'observation continue ou récurrente de paramètres physiques sur des

sites méditerranéens instrumentés pour la plupart en région Languedoc-Roussillon (France) ainsi que par l'analyse et la modélisation des processus en laboratoire.

Au laboratoire, l'information spatiale est dédiée au service de l'étude et de la prévention des risques géologiques comme, par exemple, la reconnaissance de failles ou de glissements de terrain. Les techniques utilisées sont l'interférométrie radar (InSAR) ou la corrélation d'images satellitaires, voire aériennes, optiques à haute résolution. Le laboratoire étudie en priorité les zones à risques présentant des mouvements de terrain mesurables soit de manière continue (intersismique, glissements lents) soit de manière catastrophique (séismes, avalanches). Il dispose d'une bibliothèque d'images sur des secteurs clés permettant, en cas de catastrophe naturelle, d'étudier des couples « avant-après déformation ».

La mission de *Géosciences Montpellier* est de développer des connaissances nouvelles sur la dynamique interne et externe de notre planète et d'apporter sa contribution aux problèmes de société en matière d'évaluation des aléas naturels, de gestion des ressources minérales (fluides géologiques) et de l'environnement.

Génie Logiciel et systèmes d'information

Le **Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM, CNRS, UM2)** propose un large spectre de compétences dans les domaines des sciences et technologies de l'information, de la communication et des systèmes (STICS). Théorie, outils, expérimentations et applications sont des facettes des recherches menées par le laboratoire et présentes dans tous ses domaines de compétence scientifique. Ces activités sont développées dans trois départements scientifiques de recherche : Informatique (INFO), Microélectronique (MIC), Robotique (ROB).

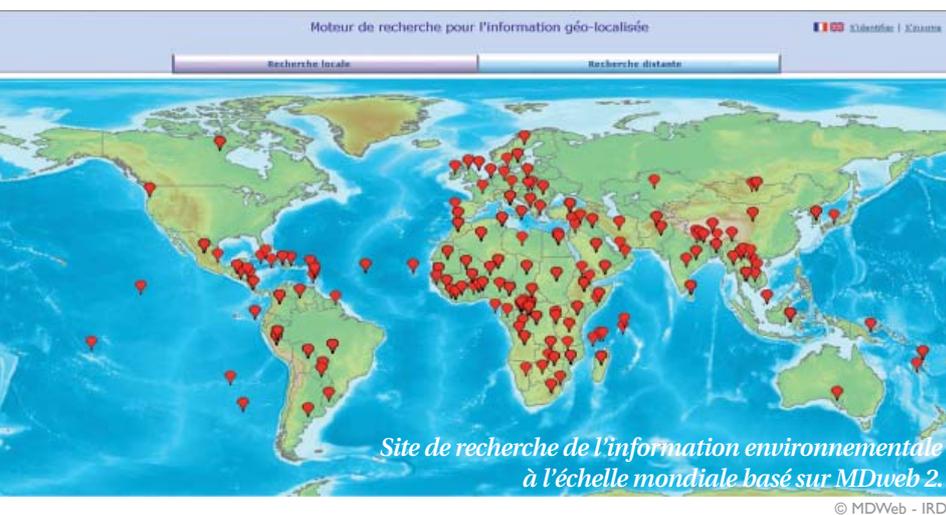
L'équipe « Données Objets Composants pour les systèmes complexes » correspond à l'une

des douze équipes-projets du département « Informatique ». Les recherches menées par cette équipe relèvent de la coopération de deux domaines : génie logiciel (composants et objets) et systèmes d'information avec une orientation vers la modélisation et l'ingénierie de systèmes complexes dans divers domaines applicatifs (chimie, sciences du vivant, sciences de l'environnement, robotique).

Les travaux portent sur l'apport de la modélisation objet dans l'établissement de modèles de données et de traitements les plus expressifs possibles tout en intégrant la notion d'évolution. La variété et la masse d'informations accumulées font que les scientifiques de ces domaines sont confrontés, au-delà de la pérennisation des systèmes, au problème de partage et de diffusion de l'information : en un mot il s'agit de « servir » une

information pertinente aux usagers. La conception d'infrastructures de médiation constitue un challenge. Il s'agit, à partir des concepts de métadonnées et d'ontologies, de construire de réels systèmes qui intègrent la « sémantique » du domaine aux données et traitements sous-jacents. La réflexion porte sur des infrastructures d'intégration et de médiation adaptées aux domaines concernés. Les sources initiales de données sont multiples, hétérogènes et distribuées. Leur localisation est effectuée via un niveau méta comportant la description sémantique du domaine (métadonnées et ontologies). Ces différents aspects de recherche ont été développés grâce à l'implication du LIRMM au sein du groupe de recherche « Systèmes d'Information Géographique Méthodologie et Applications » (GDR SIGMA, CNRS). ■

Infrastructures de partage et de diffusion de données environnementales



distribution des données et des traitements, constituent les grands champs de réflexion auxquels s'intéressent les recherches dans le domaine des systèmes d'information et de connaissance. Ces recherches débouchent sur des solutions opérationnelles en proposant des outils à base de « briques logicielles » nécessaires à la création des infrastructures de données.

Parmi les solutions proposées, le projet MDweb fait figure d'exemple. Outil de catalogage et de localisation de ressources accessible sur internet, MDweb est un constituant essentiel pour la mise en œuvre d'une infrastructure de partage et de mutualisation. Il est né de la collaboration de plusieurs partenaires (IRD, LIRMM, Cemagref, Cirad, CEPALMAR, Région Languedoc-Roussillon) au sein de projets de recherche

Diverses conventions internationales (Rio 1992, Aarhus 1998...) et plus récemment la Directive européenne INSPIRE (*IN*frastructure for *S*patial *I*nfoRmation in Europe), affirment la nécessité d'assurer les conditions d'accès du public à l'information environnementale et d'échange de cette information entre différentes sources, à des fins de gestion de l'environnement.

Ces évolutions illustrent la prise de conscience actuelle de l'importance de la mutualisation des connaissances environnementales et de leur transfert vers la décision publique. La mise en œuvre d'une telle démarche d'accès aux connaissances peut être étendue bien au-delà du volet environnemental vers les volets technique, social et économique pour la gestion intégrée des territoires.

Le respect de l'autonomie des organismes et de leur production d'information, la construction collaborative de la connaissance, la

(observatoires de la désertification ROSELT, catalogues de données SYStèmes CÔtiers et LAGunaires du Languedoc-Roussillon [SYSCOLAG]). MDweb est un outil générique, *open source* (licence libre française CeCILL). Il s'appuie sur les standards de métadonnées de l'information géographique (ISO 19115, CEN) pour le référencement des ressources, et sur les standards de communication de l'*Open Geospatial Consortium*. Le moteur de recherche intégré est accessible à tout public et propose des recherches multicritères guidées par les dimensions spatiales (interface cartographique) et thématique (thesaurus) des ressources.

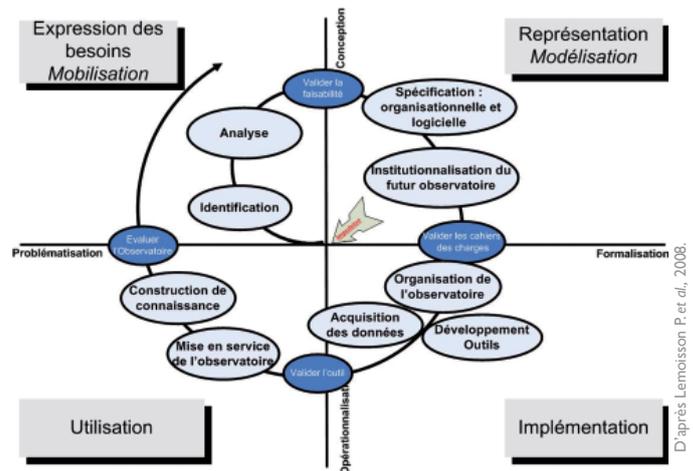
Contacts : Jean Christophe Desconnets, jean-christophe.desconnets@teledetection.fr & Thérèse Libourel, libourel@lirimm.fr

Pour plus d'informations : <http://mdweb.codehaus.org/>
Démonstrateur en ligne : <http://demo20.mdweb-project.org/>

Méthodes de conception et analyse de systèmes d'information territoriaux

Dans un monde rural en pleine mutation, le partage entre les différents acteurs d'une information localisée, fiable, actualisée et adaptée aux enjeux est un élément clef du développement territorial. Ceci est vrai qu'il s'agisse de comprendre les dynamiques d'un territoire, de coordonner les pratiques agricoles, de caractériser et gérer les risques liés aux crues, de maîtriser les pollutions, restaurer l'état écologique des cours d'eau...

L'UMR TETIS conduit des recherches sur les concepts, les formalismes et les méthodes de conception et mise en place de systèmes d'information, en les instrumentant par des outils informatiques originaux. Par exemple, elle a conçu, en lien avec l'UMR G-EAU, une nouvelle démarche fondée sur une approche participative pour construire des observatoires sur des territoires définis autour d'une action collective visant un enjeu particulier. Entre 2005 et 2007, un test a été mené en France sur deux territoires : le bassin de l'Aume-Couture (Charente) où la question centrale à traiter était celle de la gestion quantitative de l'eau, et la vallée de l'Hien (Isère) où les enjeux étaient liés à la biodiversité et à la qualité de l'eau. Les collectifs d'acteurs du monde rural concernés y ont été sollicités afin d'établir la base d'un système d'information. Quatre étapes structurent cette nouvelle démarche itérative : l'expression des besoins, la représentation des points de vue, le développement de l'application informatique et l'utilisation du système d'information résultant.



▲ Spirale de conception d'observatoires

La représentation et la capitalisation à long terme des connaissances mobilisées lors du développement des systèmes d'information constituent un autre exemple des recherches de l'unité. Un atelier de génie logiciel, conçu initialement pour la modélisation et le développement d'applications informatiques, a ainsi été adapté pour ajouter des pictogrammes porteurs des concepts spatiaux et temporels utilisés dans le cadre des observatoires. Des fonctionnalités développées dans cet atelier enrichissent automatiquement les modèles réalisés lors de l'analyse en fonction des concepts spatiaux et temporels introduits. L'automatisation de l'enrichissement des modèles permet de gagner en rapidité, traçabilité, qualité, fiabilité et contribue à l'efficacité du processus de développement de systèmes d'information.

Contacts : André Miralles, andre.miralles@teledetection.fr
& Michel Passouant, michel.passouant@cirad.fr



Négociation difficile entre trois commerçants urbains et un producteur (assis) de charbon de bois rural au Mali.

Usage d'un jeu de rôles dans l'analyse préalable d'un SIG participatif pour la gestion concertée

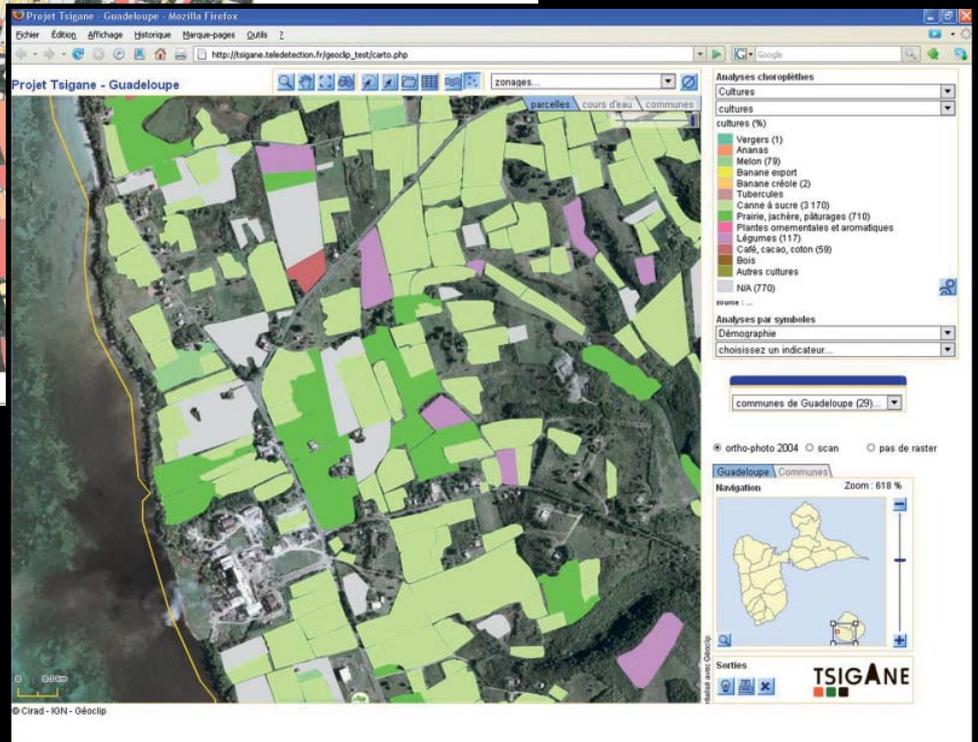
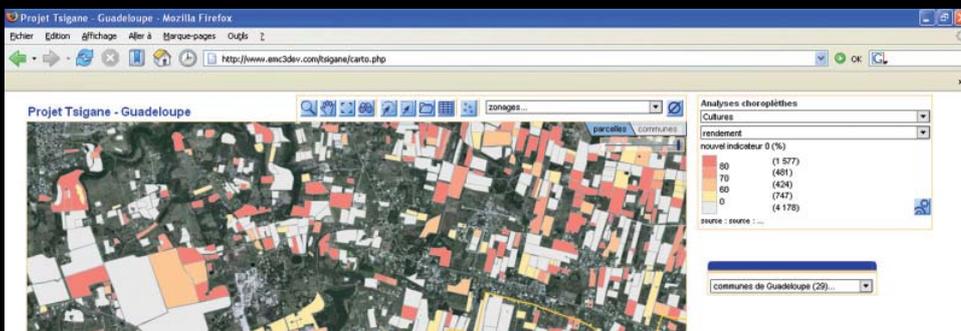
Face aux nombreuses critiques faites à l'encontre des SIG accusés d'être des outils inaccessibles aux citoyens et essentiellement au service du pouvoir politique, s'est développée depuis une quinzaine d'années une recherche visant à concevoir des SIG participatifs à même de rassembler différents partenaires (en particulier des communautés de base) autour d'une décision de nature spatiale. Ce concept est encore flou et les méthodes de conception de tels systèmes ne sont pas formalisées.

Dans ce nouveau champ d'investigation, le Cirad (UPR Ressources forestières et politiques publiques) a entrepris, avec l'administration forestière malienne, une recherche d'accompagnement visant à construire un SIG participatif avec tous les acteurs de la filière d'approvisionnement en bois énergie de

Bamako. Cette filière se caractérise par un très grand nombre d'acteurs, aux buts parfois antagonistes, et par de grandes asymétries dans l'accès à l'information. Cette recherche repose sur l'hypothèse que le SIG, compris comme un objet intermédiaire permettant de construire collectivement une vision partagée du bassin d'approvisionnement de Bamako, peut faciliter la coordination des acteurs et favoriser ainsi une meilleure gestion de la ressource forestière.

La démarche retenue s'appuie sur un jeu de rôles et s'apparente à une approche des besoins par les scénarios. Elle vise à faire décrire aux acteurs de la profession leur point de vue sur le SIG exprimant ainsi leurs besoins, leurs buts et le chemin pour l'atteindre. Le jeu permet aux différents acteurs d'être les protagonistes, à part entière, du système d'information simulé. Ils sont mis en situation dans un espace structuré (une salle) à la fois comme utilisateurs, vecteurs et producteurs de l'information. L'expérience met en évidence la richesse du jeu dans l'explicitation des points de vue, l'analyse des besoins et la mise en évidence des stratégies de partage de l'information. Elle ouvre de nouvelles perspectives pour la conception de systèmes d'information dans des organisations peu structurées.

Contact : Laurent Gazull, laurent.gazull@cirad.fr



- ▲ Le suivi des rendements visualisé sous Tsigane.
- Présentation de la sole agricole de Marie Galante (Guadeloupe).

Le système TSIGANE : un outil d'information spatialisée pour le pilotage des cultures agro-industrielles

Pour être rentables et respecter les réglementations, les productions agricoles doivent être gérées à une échelle plus large que la parcelle individuelle. L'exploitant doit ainsi résoudre un problème d'optimisation des productions sous de multiples contraintes. Pour faciliter cette tâche, l'UPR Systèmes de culture annuels (Cirad) a développé des outils d'aide au pilotage de la production des cultures à l'échelle régionale qui s'appuient sur des informations géographiques :

- un système d'information contenant les données administratives, agronomiques, climatiques et de production pour toutes les parcelles agricoles, connecté à des modèles issus de la recherche ;
- un serveur cartographique accessible en ligne permettant de restituer ces données sous forme de cartes contenant à la fois des données de type Raster (images satellitaires, orthophotos, etc., comme les cartes de suivi de croissance ou de récolte), des données de type vecteur (parcelles, routes...) et attributaires (rendement, dates de récolte, surface...).

Ces outils sont destinés :

- aux agriculteurs qui souhaitent gérer plus finement la croissance de leurs cultures au niveau des parcelles ;
- aux structures d'encadrement pour ajuster leurs conseils techniques ;
- aux industriels pour mieux préparer l'outil de production (approvisionnement, volume à traiter, dates optimales pour les itinéraires techniques...)

- aux institutions afin qu'elles disposent d'une image plus précise des capacités de production filière par filière et anticipent les montants des aides nécessaires (garantie de prix, catastrophes naturelles...)
- aux organismes de recherche.

Ces outils sont maintenant intégrés en un produit modulaire utilisable par le plus grand nombre grâce à la mise en œuvre de nouvelles technologies de l'information et de la communication.

La plateforme TSIGANE est un système d'information en ligne qui intègre différentes composantes métier :

- gestion des informations climatiques ;
- gestion et diffusion des données agronomiques à la parcelle (SIG et *Web mapping*) ;
- prévision de récolte ;
- simulation de croissance ;
- cartographie de suivi de récolte par images satellitaires.

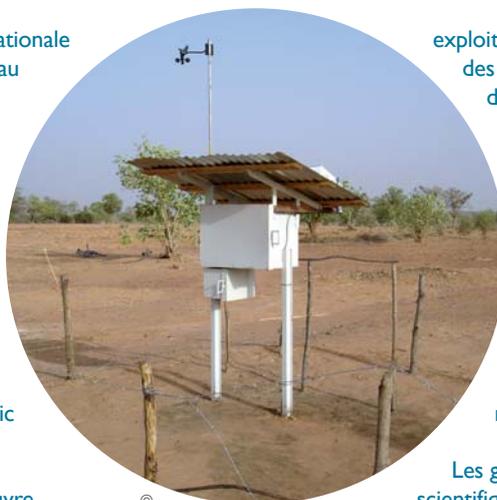
Évolutive, la plateforme permet d'intégrer d'autres composants issus des travaux de recherche.

Contact : Jean-Baptiste Laurent, jean-baptiste.laurent@cirad.fr

Pour plus d'informations sur la plateforme TSIGANE (Technologie et systèmes d'information géographique pour l'agriculture via le net) : <http://tsigane.teledection.fr>

Un système d'information pour le suivi de la désertification en Afrique sub-saharienne : le réseau ROSELT/OSS

Dans les contextes de la convention internationale de lutte contre la désertification et du réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (ROSELT/OSS), l'US ESPACE (IRD) a conçu, développé et mis en œuvre un système d'information. Ce SI englobant, depuis la collecte de données biophysiques et socio-économiques sur un territoire (guides méthodologiques) jusqu'au partage et diffusion de l'information produite (MDweb), en passant par le traitement intégré et spatialisé des données, autorise un diagnostic partagé de la dynamique des territoires. Ce système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (SIEL-ROSELT) est une œuvre collective, avec une implication forte des institutions de recherche chargées des observatoires dans les pays membres du réseau (Institut des Régions Arides, Tunisie, Université d'Alexandrie, Égypte, Centre de Suivi Écologique, Sénégal, « Cellule ROSELT » rattachée au ministère de l'Environnement nigérien).



© D. Ruelland

MDweb, outil de catalogage et de recherche de l'information environnementale via le web, assure l'inventaire, la description et l'accès aux informations produites sur tous les observatoires.

Le SIEL-ROSELT couple SIG et modèles génériques sur une plateforme ArcGIS pour évaluer la vulnérabilité du milieu, en

exploitant un minimum de données et en calculant des indices synthétiques spatialisés de risque de dégradation des terres, comparables dans le temps et d'un observatoire à l'autre. Les modèles sont adaptés aux zones sèches caractérisées par de fortes interactions Nature/Sociétés, une grande variabilité spatiale et temporelle et des prélèvements simultanés ou successifs des ressources pour divers usages. Le changement des paramètres d'entrée produit des cartes prospectives facilitant la discussion auprès des gestionnaires des ressources.

Les guides thématiques sont des documents scientifiques évolutifs, partagés au sein du réseau. Ils visent à organiser progressivement le dispositif harmonisé de surveillance par thème (Nature/Sociétés), seule garantie de l'approche synchronique et diachronique de ROSELT. Les méthodes préconisées d'échantillonnage, de collecte et de traitement des données permettent d'élaborer des indicateurs spécifiques à la thématique et des indicateurs adaptés à l'approche spatiale interdisciplinaire déclinée dans le SIEL.

Contacts : Maud Loireau, maud.loireau@mpl.ird.fr & Jean-Christophe Desconnets, jcd@teledetection.fr

Pour plus d'informations sur le réseau ROSELT/OSS : www.oss-online.org
Pour plus d'informations sur MDweb : www.mdweb-project.org

▲ *Appareil de mesure météorologique, bassin versant expérimental de Koumbaka (Mali) site d'étude HydroSciences Montpellier/G-EAU.*

Les observatoires méditerranéens de l'environnement

L'observation systématique du milieu naturel et de son utilisation par l'homme est indispensable à l'étude des changements globaux et des risques naturels. Les observatoires sont des structures mutualisées qui s'appuient sur les unités de recherche prenant en charge la définition des observables, la mise en œuvre des moyens techniques d'observation et la conception des systèmes d'information. Leur pérennité et leur mission sont assurées par des structures autonomes et souples dont tous les acteurs assurent la gouvernance via des comités *ad hoc*. Les concepteurs et utilisateurs premiers des observatoires sont ces unités. Les produits de l'observation sont parfois pertinents pour d'autres acteurs (communautés territoriales, partenaires publiques ou privés). Beaucoup d'observatoires sont associés, voire développés, avec ces autres acteurs. Cette démarche est conçue sur le long terme (plus d'une dizaine d'années).

La région méditerranéenne est à la fois victime et témoin des risques et changements globaux. C'est une zone de forte instabilité tellurique, où l'eau constitue à la fois un risque (précipitations extrêmes, inondations) et une ressource rare difficilement exploitable, ainsi qu'un *hotspot* de la biodiversité. Plusieurs observatoires régionaux sont dédiés à l'observation du milieu naturel et anthropisé méditerranéen :

■ L'Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau (LISAH, HydroSciences Montpellier...), se focalise sur les hydro-

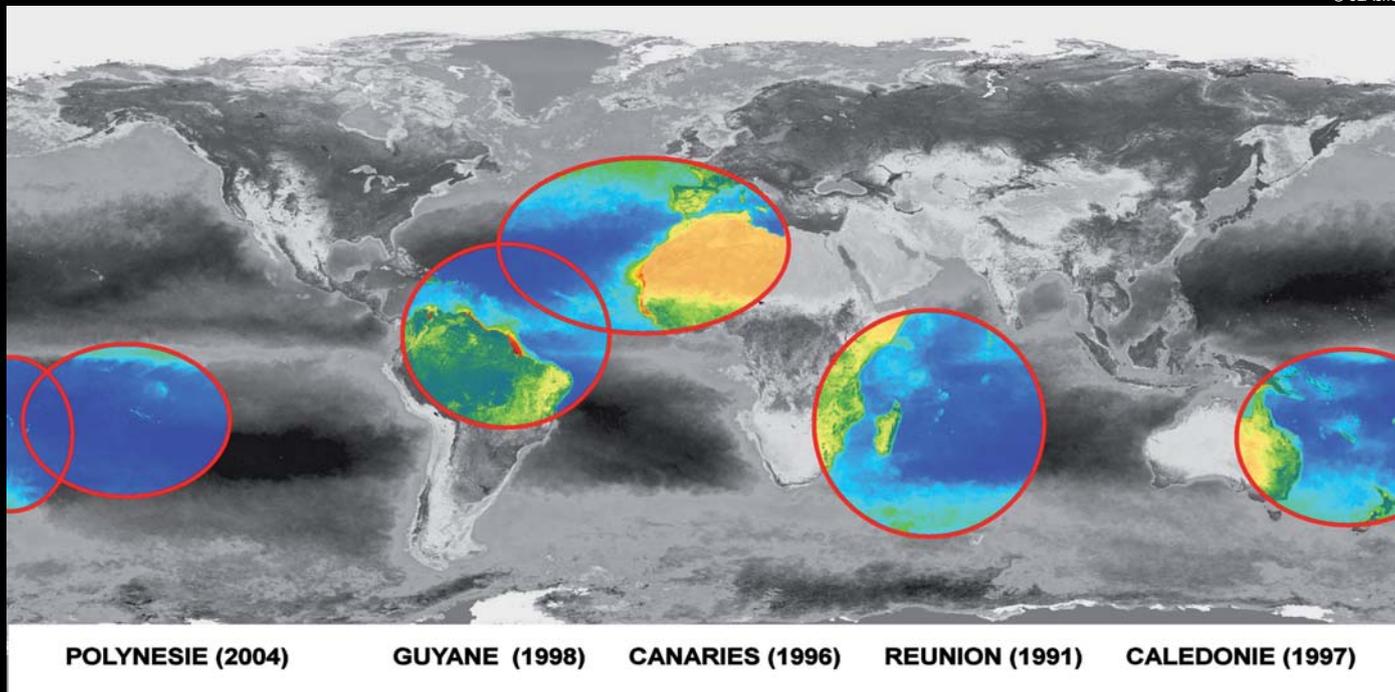
systèmes cultivés méditerranéens, dont l'étude présente plusieurs intérêts : contexte hydrologique intermédiaire entre milieux arides et tempérés, soumis à une gamme étendue de processus hydrologiques (sécheresses intenses, crues extrêmes, inondations...) ; contexte social et humain où les actions anthropiques millénaires subissent actuellement des évolutions considérables liées à un accroissement rapide de la densité de population.

■ L'Observatoire Hydro-Météorologique méditerranéen Cévennes-Vivarais veut améliorer les connaissances et les capacités de prévision du risque hydro-météorologique associé aux pluies intenses et aux crues éclaircies, en fédérant les compétences de chercheurs de disciplines variées. Animé par le Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (Grenoble), il associe de nombreux laboratoires (Géosciences Montpellier, HydroSciences Montpellier, ESPACE, EMA).

■ L'Observatoire de Recherche Méditerranéen de l'Environnement (OSU-OREME) mobilise les moyens d'observation du milieu naturel autour de disciplines diverses et complémentaires pour évaluer l'impact du changement global et des risques naturels sur les milieux méditerranéens. Géosciences Montpellier, HydroSciences Montpellier, CEFE, ISEM, ECOLAG et CBAE en sont les principaux concepteurs et utilisateurs.

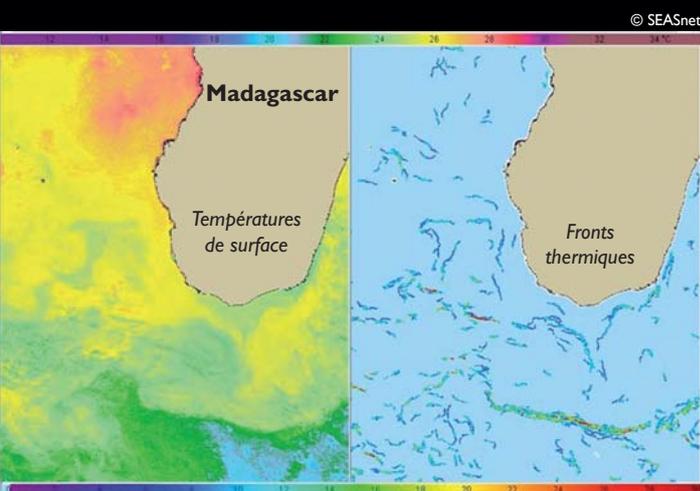
Contact : Nicolas Arnaud, nicolas.arnaud@gm.univ-montp2.fr

▲ *Cordon littoral entre Palavas et Frontignan (France) : vue sur les cônes de tempêtes.*



▲ *Implantation et emprise des stations du réseau SEASnet*

SEASnet : un réseau d'observatoires de l'environnement au service du développement durable



▲ *Exemples de données acquises sur les eaux de surface autour de Madagascar. Températures à gauche et fronts thermiques (gradients de température) à droite.*

À partir de l'expérience réussie de Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellites (SEAS) initiée il y a plus de quinze ans dans l'océan Indien, l'US ESPACE (IRD) a installé plusieurs stations de réception de satellites environnementaux à large champ et en exploite les images reçues dans le cadre de ses programmes de recherche et de ses partenariats.

Réparties dans la ceinture intertropicale (La Réunion, Canaries, Nouvelle Calédonie, Guyane, Tahiti), les stations de l'IRD et de ses partenaires locaux (Université de Las Palmas, Service de la Pêche de Polynésie) sont regroupées au sein du réseau SEASnet et fonctionnent comme des observatoires de l'environnement, en assurant un flux continu de produits spatiaux thématiques validés scientifiquement (températures de surface et turbidité des eaux, état de la végétation...), accessibles par internet. Les champs d'application sont nombreux (pêche, zone côtière,

turbidité de l'Amazonie...) et concernent aussi bien le domaine terrestre que côtier ou encore l'océan pélagique. Depuis plus d'une dizaine d'années, cette activité d'observatoire à forte valeur ajoutée scientifique est menée en partenariat avec les agences spatiales (ESA, CNES, NASA). Elle a vocation à contribuer aux initiatives de surveillance spatiale de l'environnement au niveau régional, européen et international comme ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique), AMESD (African Monitoring of the Environment for Sustainable Development), etc.



© IRD SEASnet

Ce concept de réseau aux compétences géographiquement réparties se démarque de l'usage courant de centralisation en un seul site de l'acquisition et du traitement global des données satellitaires. Au contraire, en donnant la possibilité à chaque station de constituer un espace régional de technologie avancée, sans frontière, SEASnet intègre pleinement les recommandations de la déclaration de Rio. C'est sur les concepts de SEASnet qu'a pu être développé en 2006 le projet d'installation à Cayenne d'une station de réception des satellites à haute résolution Spot et ENVISAT. Un projet similaire voit le jour à la Réunion.

**Contacts : Michel Petit, michel.petit@ird.fr
& Antonio González Ramos, aramos@pesca.gi.ulpgc.es**

Pour plus d'informations : www.seasnet.org et www.gobiernodecanarias.org

▲ *Antenne de réception des satellites de l'environnement large champ.*



Applications *de l'information spatiale* par champs thématiques

Agriculture, pêche et forêt

Environnement

Aménagement du territoire, Risques

Populations et sociétés



Agriculture, *pêche et forêt*

Dans un contexte de démographie croissante, de changement climatique et d'impact accru des activités humaines sur les écosystèmes, il est nécessaire de gérer durablement notre environnement et les ressources renouvelables qu'il procure, et, en premier lieu, l'alimentation. Gérer l'environnement implique d'être capable de décrire son état, passé et actuel, de comprendre les processus qui y prennent place, et d'être en mesure de simuler des scénarii de gestion en prévoyant son évolution sous la contrainte des pressions que nous lui imposons.

Les surfaces continentales forment un système à l'organisation spatiale complexe résultant de la combinaison de la géologie, de la topographie et des sols, du climat, de la faune et de la flore, ainsi que des modes d'occupation des terres par les populations humaines. Cette extrême variabilité spatiale s'exprime à toutes les échelles : plante, parcelle agricole, petite région, pays, continent. À cette structure spatiale s'ajoutent des évolutions dans le temps, elles aussi à des échelles variables : cycle journalier, événements météorologiques, saisons, évolution du climat à plus long terme. Il en est de même pour les océans, mers et eaux continentales, dont les caractéristiques varient fortement tant dans l'espace que dans le temps.

Il est ainsi indispensable de disposer de méthodes de description spatialisée de notre environnement - les techniques de télédétection sont ici des outils privilégiés - mais aussi d'organiser les informations spatiales de nature et d'origines diverses, ce que permettent les systèmes d'information géographique (SIG) et les techniques de modélisation spatialisée. Il est également nécessaire de décrire et de comprendre l'évolution de ces variables spatialisées : c'est l'objet des travaux de modélisation dynamique que les données de télédétection peuvent nous aider à renseigner.

Dans le domaine des ressources renouvelables présentées dans ce chapitre - agriculture, foresterie, écosystèmes et ressources halieutiques - les besoins en matière d'informations spatialisées recouvrent tout d'abord l'obtention de variables caractérisant les milieux considérés : la topographie, les sols (minéralogie, humidité,

états de surface), la végétation (type, état, croissance et développement, interception du rayonnement solaire et albédo, hauteur), l'organisation spatiale du paysage (parcellaire, réseaux de fossés), les pratiques culturales (modes de conduite, opérations de travail du sol, applications de pesticides), la température de l'eau, les nutriments et le plancton pour les ressources halieutiques. Pour la plupart de ces variables, la connaissance de leur évolution au cours du temps est essentielle. Si dans un certain nombre de cas, ces informations spatialisées sont directement utilisées dans une optique de gestion (techniques d'agriculture de précision, gestion des récoltes sur des périmètres de production, maîtrise des pollutions diffuses), elles sont souvent employées comme paramètres ou entrées de modèles décrivant les processus au sein des milieux considérés (modèles de culture, modèles hydrologiques, modèles d'échanges entre surface et atmosphère).

La complexité de l'organisation spatiale des milieux terrestres - notamment des milieux cultivés - fait qu'il existe un fort besoin en méthodes de représentation et de traitement de l'information spatialisée. Les SIG sont ainsi largement mis en œuvre pour combiner des informations spatiales de natures et d'origines différentes dans les domaines de l'agriculture et de la caractérisation des écosystèmes. Au-delà de cette utilisation classique, il existe des besoins plus spécifiques, comme l'emploi de la modélisation spatiale pour étendre à l'ensemble du domaine considéré des informations ponctuelles, difficiles à obtenir en un grand nombre de points, en vue de leur cartographie (techniques d'interpolation spatiale, simulations stochastiques spatiales). Enfin, ces milieux très hétérogènes sont parcourus par des flux latéraux importants : transferts d'eau par ruissellement, écoulement des cours d'eau, mouvements des nappes, transport atmosphérique de gaz et de particules (pollen, pesticides...). La représentation de ces flux implique une caractérisation spatialisée de ces milieux et la modélisation des flux eux-mêmes, domaine faisant l'objet de recherches actives.

**Laurent Prévot (UMR LISAH)
& Jean-Baptiste Laurent (UPR SCA)**



▲ *État d'avancement de la récolte de canne à sucre dans la zone de Pente Sassy, La Réunion (21/8/2008).*

Des images satellitaires pour suivre l'avancement de la récolte de canne à sucre à la Réunion

La récolte de la canne à sucre conditionne la productivité régionale de la filière par l'approvisionnement régulier des sucreries et la bonne répartition géographique des moyens de récolte. Dans les départements d'outre-mer et de nombreux pays producteurs (Afrique du Sud, Vietnam...) une grande part des surfaces cannières est détenue par des milliers de petits exploitants cultivant à peine un hectare de canne. Il est difficile dans ces conditions d'obtenir des informations fiables et exhaustives sur les surfaces de canne récoltables, leur répartition géographique et le taux d'avancement de la récolte.

Pour répondre à cette préoccupation le projet SUCRETTE (SUivi de la Canne à sucRE par TélédéTEction), conduit par le Cirad et Spot Image, a développé une méthodologie de traitement d'images SPOT 4 et 5 fournissant une cartographie des coupes en temps quasi-réel pendant la récolte.

La classification des parcelles de canne extraites des images satellitaires repose sur le fort contraste spectral entre un couvert végétal sur pied, un sol recouvert de pailis (après coupe de la canne) et un sol nu (pailis brûlé, sol labouré pour replantation). Des indicateurs statistiques de surfaces et de taux de récolte sont ainsi calculés à différentes échelles géographiques (centre de livraison, bassin cannier, usine, région) pour fournir aux décideurs des éléments d'ajustement des prévisions de production et de la logistique de récolte.

À la Réunion, le Cirad fournit à ses partenaires quatre cartes de suivi de récolte par campagne : un mois après le début de campagne, à mi-campagne, à un mois de la fin de campagne et en post-campagne, pour estimer les surfaces de canne non récoltées dans l'année.

Un système d'information en ligne (voir le système Tsigane, p. 31) est en cours de développement pour servir de support à ce type de produit, automatiser les traitements et mettre les résultats à la disposition de l'ensemble de la filière.

Contact : Pierre Todoroff, pierre.todoroff@cirad.fr

Les principales équipes

FRE MTE - Mutations des Territoires en Europe
(cf. page 55)

UMR CEFE - Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive
(cf. page 43)

UMR EME CRH - Écosystèmes Marins Exploités, Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale
(cf. page 43)

UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages
(cf. page 43)

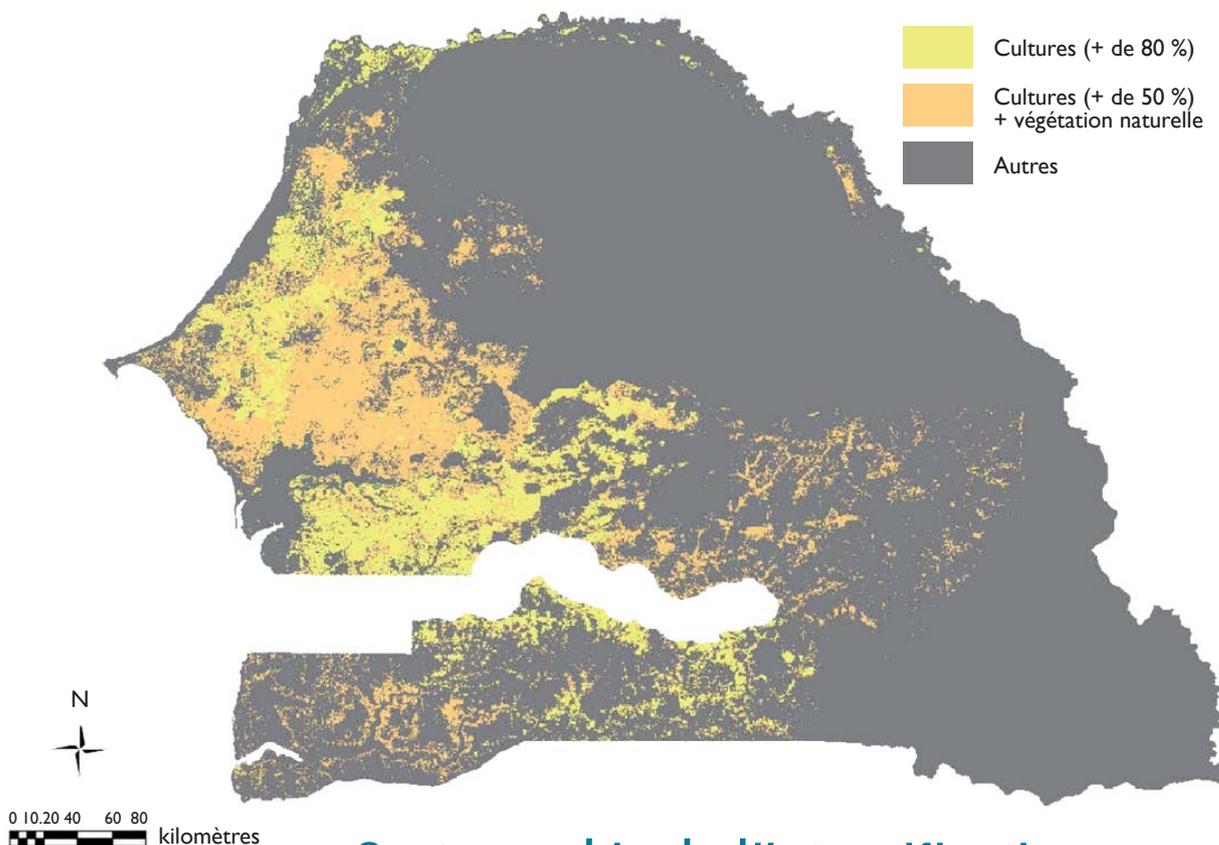
UMR ITAP - Information et Technologies pour les Agroprocédés
(cf. page 8)

UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème
(cf. page 18)

UMR SYSTEM - Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)
20 scientifiques dont 3 impliqués dans la thématique
Directeur : Jacques Wery,
wery@supagro.inra.fr
http://umr-system.cirad.fr/accueil

UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale
(cf. page 8)

... suite page 38



▲ *Le domaine cultivé du Sénégal en 2005.*

Cartographie de l'intensification agricole au Sénégal et modélisation de la production

La prévision de la production agricole est un élément clef des systèmes d'alerte précoce à la sécheresse en zone soudano-sahélienne, fortement soumise au changement climatique. Ce projet a pour objectif d'améliorer la capacité de prévision de la production en caractérisant par télédétection la variabilité des paysages agricoles. Il aborde deux questions :

- Comment s'exprime cette variabilité à différentes échelles ?
- Comment la prendre en compte pour améliorer l'estimation des rendements ?

La description des paysages agricoles repose sur la caractérisation de l'occupation du sol par analyse des informations spectrales, spatiales et temporelles, d'images de télédétection. Les données et méthodes doivent être adaptées aux milieux semi-arides et à leur mosaïque hétérogène de couverts (pâturages, cultures, savanes arborées...), mais aussi adaptées aux conditions économiques de ces régions (suivi à coût réduit). Les images MODIS et Spot VEGETATION ont été retenues pour cette étude.

Les premiers résultats sur le Sénégal (projet intégré européen 2005-2009 AMMA, Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine) ont été obtenus en combinant des informations thématiques de différentes sources avec des séries temporelles des satellites Spot VEGETATION et MODIS. Une première étape de « stratification » consiste à délimiter des zones agro-écologiques homogènes par analyse visuelle de cartes thématiques (hétérogènes en dates, supports...) décrivant le sol, les reliefs, la végétation, le climat. Une seconde étape de « classification » est menée à l'intérieur de chacune de ces zones par analyses thématiques de séries temporelles de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) issues d'images Spot VEGETATION et MODIS (dates d'étapes clés du développement des plantes...). Enfin, les taux d'occupation des sols par les cultures sont cartographiés (3 niveaux d'occupation sont retenus : absence, >50%, >80%) en analysant pour chaque pixel la série décennale de NDVI issue des images.

L'évolution au cours du temps du type d'occupation des sols fera l'objet d'études complémentaires.

Contacts : Christian Baron, christian.baron@cirad.fr
Agnès Bégué, begue@teledetection.fr
& Danny Lo Seen, loseen@teledetection.fr

Les principales équipes

UPR AIVA - Adaptation Agro-écologique et Innovation Variétale

(Cirad)

28 scientifiques dont 1 impliqué dans la thématique

Directeur : Michael Dingkuhn,
michael.dingkuhn@cirad.fr
www.cirad.fr

UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations

(Cirad)

17 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique

Directeur : Jean-Pierre Bouillet,
jean-pierre.bouillet@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/ecosystemes_plantations

URP Pastoralisme

(Cirad)

5 scientifiques dont 3 impliqués dans la thématique

Directeur : Amadou Tamsir Diop,
amtadiop@sentoo.sn

UPR SCA - Systèmes de culture annuels

(Cirad)

51 scientifiques dont 6 impliqués dans la thématique

Directeur : Florent Maraux,
florent.maraux@cirad.fr
www.cirad.fr/fr/pg_recherche/ur.php?id=153
www.cirad.fr/fr/pg_recherche/ur.php?id=123

Autre équipe concernée par ce thème

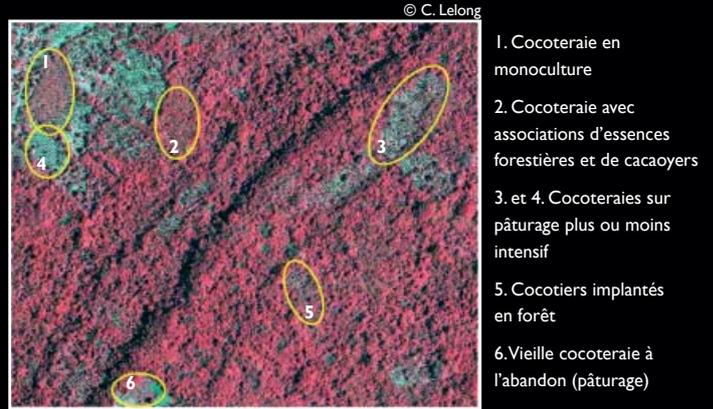
UMRAMAP - botanique et
bioinformatique de l'Architecture
des Plantes
(cf. page 18)

Comment les informations issues de la géomatique permettent une meilleure compréhension des systèmes de culture complexes

La caractérisation et l'évaluation des systèmes complexes de culture à base d'associations diverses mis en œuvre sur les parcelles paysannes, incluant par exemple des fruitiers (cocotiers, papayers, cacaoyers, bananiers, etc.) et des jardins vivriers, soulèvent des difficultés méthodologiques spécifiques. Les agronomes se tournent alors vers de nouveaux outils comme la géomatique, qui les aident à comprendre ces systèmes à différentes échelles. Des études à résolution spatiale modérée aident à quantifier les structures et leur évolution au cours du temps au niveau d'une région, tandis que la très haute résolution permet de recentrer les études au niveau de la parcelle cultivée.

Une étude préliminaire a été menée par l'équipe du Cirad de l'UMR SYSTEM et l'UMR TETIS sur les systèmes agroforestiers mélanésiens à base de cocotiers. Elle a consisté à utiliser conjointement les informations issues du terrain et de l'image satellitaire à très haute résolution spatiale, afin de mieux comprendre la structure intra-parcellaire de ces systèmes. Une image a ainsi été acquise en 2003 par le capteur Quickbird, couvrant 64 km² sur l'île de Malo (archipel du Vanuatu) et exploitée à une résolution de 0,65 m/pixel dans trois bandes spectrales (vert, rouge, PIR proche infrarouge).

Les résultats montrent que les cocoteraies sont clairement identifiables dans l'image et peuvent être classées selon leur âge. Les principaux types agroforestiers sont reconnus et cartographiés grâce à une classification basée sur la texture, permettant une première analyse de leur disposition et de leur densité. Un indice de télédétection quantifiant l'ouverture du couvert, en relation avec



1. Cocoteraie en monoculture
2. Cocoteraie avec associations d'essences forestières et de cacaoyers
3. et 4. Cocoteraies sur pâturage plus ou moins intensif
5. Cocotiers implantés en forêt
6. Vieille cocoteraie à l'abandon (pâturage)

▲ Composition colorée PIR-Rouge-Vert d'un extrait d'image Quickbird fusionnée à 0,65m/pixel, faisant apparaître plusieurs types de systèmes agroforestiers à base de cocotiers sur l'île de Malo (Vanuatu).

la complexité des associations en présence, a aussi été développé. Toutefois, la méthode n'est pas suffisante pour rendre compte de l'ensemble des systèmes agroforestiers rencontrés sur le terrain et notamment des structures très complexes dont les plantes associées restent invisibles sous le couvert dominant.

Contacts : **Nathalie Lamanda**, nathalie.lamanda@cirad.fr
Dominique Nicolas, dominique.nicolas@cirad.fr
& Camille Lelong, camille.lelong@cirad.fr

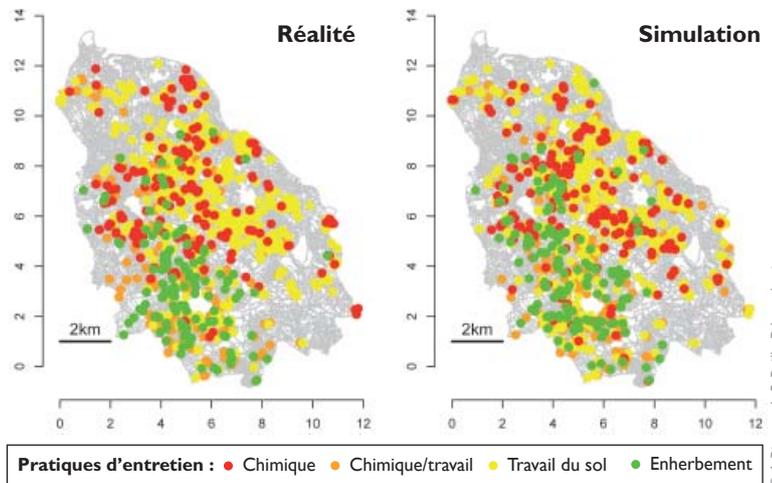
Spatialisation des pratiques d'entretien du sol en vignoble languedocien

Les pratiques d'entretien du sol sous vignoble constituent un facteur important de variation des risques de crue, d'érosion du sol et de pollution diffuse par les pesticides. Ces pratiques résultent de décisions prises par les agriculteurs compte tenu de contraintes et d'opportunités variées qui s'expriment à différentes échelles spatiales – de la parcelle à l'aire de production – et à différents pas de temps. Il en résulte une organisation spatiale et temporelle complexe à l'échelle de bassins versants, dont il faut pouvoir rendre compte pour évaluer les risques.

Dans le cas d'échelles spatiales importantes (plusieurs dizaines de km²), les données nécessaires à ces évaluations des risques ne peuvent être obtenues par enquêtes ou observations exhaustives. L'UMR LISAH s'est ainsi engagée dans une autre voie d'analyse de l'organisation spatiale de ces pratiques agricoles en zone viticole languedocienne (France) afin de permettre leur quantification et leur localisation.

Des enquêtes auprès de 65 viticulteurs de la basse vallée de la Peyne (80 km²) représentant 1460 parcelles de vigne ont permis d'établir une typologie des pratiques d'entretien du sol qui rend compte des gammes d'utilisation des pesticides et de l'évolution des états de surface des sols conditionnant le ruissellement.

L'analyse multi-variée des déterminants de ces pratiques et de leur localisation a mis en évidence une forte structure spatiale des pratiques, liée à la localisation communale des parcelles. La largeur



▲ Exemple de carte de répartition des pratiques d'entretien du sol dans la vallée de la Peyne (gauche) et de simulation stochastique spatiale (droite).

des inter-rangs de vigne constitue un deuxième déterminant important des pratiques d'entretien du sol.

Enfin, des simulations stochastiques spatiales, basées sur des méthodes de classification à partir de ces déterminants, dont certains peuvent être extraits par télédétection (collaboration UMR TETIS), ont permis de générer des cartes réalistes des pratiques d'entretien du sol, à l'échelle de la parcelle pour l'ensemble de la basse vallée de la Peyne. Ces cartes pourront être utilisées en entrée de modélisations hydrologiques distribuées permettant l'évaluation des risques.

Contacts : **Anne Biarnes**, biarnes@supagro.inra.fr
Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr
& Philippe Lagacherie, lagache@supagro.inra.fr

Le SIG, un outil pour la compréhension de la dynamique des agro-écosystèmes arborés méditerranéens : figueraies et oliveraies du nord du Maroc

© Y. Thomas



▲ Paysages agraires à dominante de figuiers et d'oliviers dans la région de B'ni Ahmad, nord du Maroc.

Les arbres et les composantes arborées à caractère forestier sont des éléments structurants de différents types d'agro-écosystèmes méditerranéens, qu'il s'agisse de la châtaigneraie cévenole, de l'arganeraie du sud-ouest marocain ou des vergers à dominante de figuiers et d'oliviers du nord du Maroc. Les dynamiques d'extension ou de régression de ces formations arborées sont liées à des facteurs historiques, socio-économiques et politiques, dont la compréhension nécessite le recours à une analyse spatiale et temporelle de l'information.

Le nord du Maroc (péninsule tingitane et Rif) est une région remarquable quant à l'extension des oliveraies et des figueraies.

Un projet de recherche interdisciplinaire regroupant des généticiens et ethnobiologistes du CEFE, de l'UMR « Développement et Amélioration des Plantes » (Inra Maroc) et de l'Université Abdelmalek Essaadi (Tétouan), étudie les processus de domestication des figuiers et des oliviers sous deux angles : la construction de paysages arborés et la structuration génétique de l'agrobiodiversité arborée et des savoirs ethnobiologiques associés.

Pour la compréhension des paysages, le SIG est un outil d'analyse pertinent permettant de confronter des témoignages oraux (données ethnohistoriques) avec des données politiques et historiques. Ainsi, l'annexion du nord du Maroc par les espagnols a pu avoir un impact positif sur l'extension de ces vergers (diffusion de nouvelles techniques agricoles, de plants...). De même, au moment de l'indépendance en 1956, les données historiques laissent supposer que les populations auraient profité d'une période de transition pour étendre leurs droits sur les terres en plantant de grandes superficies de vergers de figuiers et d'oliviers. Des photos aériennes datant de différentes périodes (avant et après l'indépendance) et d'anciennes cartes d'état major géoréférencées sont utilisées pour mener cette analyse.

Pour la compréhension de la structuration génétique, le projet rassemble actuellement un grand nombre de données géoréférencées sur la zone du Rif, concernant la variabilité génétique intravariétale du figuier et de l'olivier. Leur croisement avec les données ethnobiologiques sera facilité par le recours au SIG.

Contacts : [Yildiz Aumeeruddy-Thomas, yildiz.thomas@cefe.cnrs.fr](mailto:Yildiz.Aumeeruddy-Thomas@cefe.cnrs.fr) & [Younes H'mimsa, hmimsa.younes@caramail.com](mailto:Younes.H'mimsa@caramail.com)

Des outils de modélisation pour comprendre et gérer durablement les systèmes pastoraux

L'élevage extensif mobile joue un rôle prépondérant dans l'économie des pays du Sahel et de l'Afrique au sud du Sahara en général. Cette activité, pratiquée avec une grande diversification des espèces élevées, contribue à la sécurité alimentaire des ménages ruraux et urbains. Les interactions entre élevage et environnement sont nombreuses et ambivalentes. L'élevage induit des impacts négatifs comme des pressions de pâturage extrêmes ou des risques sanitaires induits par la pollution des eaux. Il peut aussi induire des impacts positifs sur les écosystèmes, comme, par exemple, en assurant l'amélioration de la fertilité des sols par un meilleur recyclage de la matière organique ou en augmentant la biodiversité herbacée et la variété des paysages par la pression de pâturage.

La caractérisation des potentialités des systèmes pastoraux et l'analyse de leur fonctionnement et de leurs dynamiques spatio-temporelles nécessitent une approche interdisciplinaire et l'utilisation d'une multitude de données à référence spatiale. Aussi, des informations précises et actualisées sur l'état des ressources naturelles, leurs dynamiques, leurs multiples fonctions et leurs utilisations par les populations humaines et

animales, sont indispensables pour les prises de décision en vue d'actions de planification, de développement local et de sécurisation des parcours.



© I. Toure

Les acteurs, les collectivités territoriales et les services techniques expriment une demande croissante en matière de données spatiales, systèmes d'informations, indicateurs et modèles de simulation. Ceci pose des questions de recherche finalisée autour du processus d'élaboration des connaissances et de la mobilisation de l'information dans les outils d'aide à la décision.

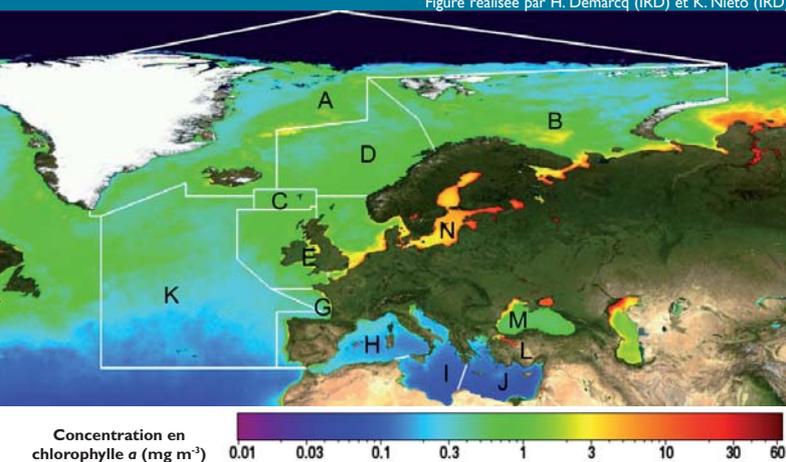
Pour y répondre, certains des axes de recherche du programme scientifique de l'URP Pastoralisme (Cirad, Pôle Pastoral Zones Sèches) portent aussi bien sur la prise en compte des besoins en informations et données de base pertinentes pour alimenter les outils d'aide à la décision et de gestion des ressources, que sur la co-construction d'indicateurs et l'utilisation partagée des systèmes d'information.

Contact : [Ibra Touré, ibra.toure@cirad.fr](mailto:ibra.toure@cirad.fr)

▲ *Atelier de cartographie participative basée sur l'interprétation d'images satellitaires avec les éleveurs.*

La production primaire marine régule les niveaux de capture de poissons des eaux européennes

Figure réalisée par H. Demarcq (IRD) et K. Niero (IRD)



Des relations linéaires positives et statistiquement significatives ont été mises en évidence entre la production primaire et les captures de petits poissons pélagiques, ainsi qu'entre la production primaire et les captures totales. Les résultats montrent que la variabilité spatiale à large échelle de la production primaire détermine les gradients spatiaux de production halieutique. Ceci met en évidence la prédominance d'un lien trophique (lié à la nutrition) de type « *bottom-up* » dans les mers européennes : les patrons (structures spatiales) cohérents observés sont liés aux transferts énergétiques depuis la biomasse — produite lors de l'activité photosynthétique du phytoplancton — vers les niveaux trophiques supérieurs, par prédation le long de la chaîne alimentaire.

Les résultats sont importants dans le contexte d'une approche écosystémique des pêches, en particulier pour estimer la capacité des écorégions à soutenir une exploitation durable. Ils sont aussi pertinents dans un contexte de changement climatique et permettent de mieux apprécier les variations des niveaux trophiques supérieurs et *in fine* des pêcheries, en fonction des modifications des communautés planctoniques résultant d'un réchauffement.

Combiner les informations satellitaires concernant la production biologique des océans avec les bases de données halieutiques mondiales, s'avère particulièrement adapté à la détection de patrons écologiques à grande échelle, ainsi qu'au test d'hypothèses sur la structure et/ou le fonctionnement des écosystèmes marins.

Contact : Emmanuel Chassot, emmanuel.chassot@ird.fr

▲ Concentration journalière moyenne en chlorophylle de surface calculée à partir des images MODIS (période 2002-2007). A à M : écorégions utilisées pour le calcul.

La productivité des écorégions marines de l'Atlantique nord-est, de la Méditerranée, de la Mer Noire et de la Mer Baltique a été caractérisée spatialement à partir de données de production primaire (biomasse) issues d'un modèle basé sur les images satellitaires « couleur de l'eau » et de données de capture pour la période 1998-2004. Ce travail a permis d'analyser le lien entre la productivité marine (phytoplancton, zooplancton...) et la production halieutique marine (prises effectives) dans les mers européennes.

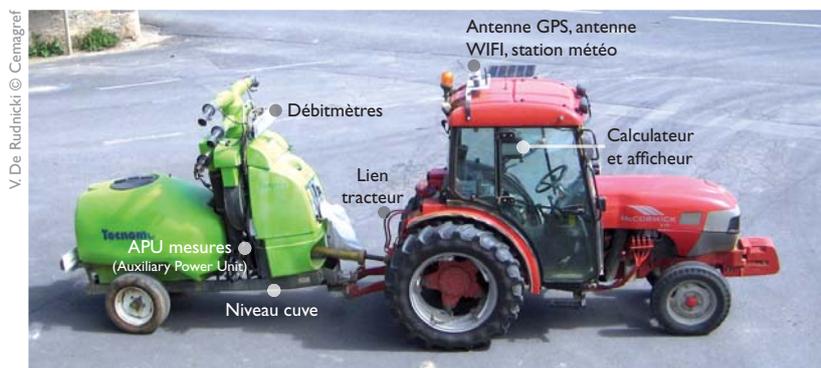
Un système d'information pour limiter les pollutions dues aux produits phytosanitaires

Dans le cadre du projet européen LIFE « A Water Assessment to Respect the Environment » (AWARE), le Cemagref a développé une nouvelle technologie de matériel embarqué permettant la surveillance et l'enregistrement des données d'application de produits phytosanitaires. Ce système permet de suivre dans le détail les traitements effectués puisqu'il mesure et enregistre toutes les secondes les paramètres d'application avec géoréférencement par GPS. Les données de traçabilité collectées (débits, volume de cuve, données météorologiques, etc.) sont analysées puis comparées aux données déclaratives afin de proposer aux viticulteurs des voies d'amélioration de leurs pratiques.

Avec cet outil, les viticulteurs peuvent étalonner quotidiennement leur appareil et connaître les conditions météorologiques. De plus, ils visualisent en temps réel les paramètres de fonctionnement de l'appareil pour détecter des dysfonctionnements.

Un SIG permet de collecter et représenter l'ensemble des données : délimitation du bassin versant, parcelles des viticulteurs, réseau hydrographique, relief, produits phytosanitaires appliqués, etc., afin de produire des cartes et des analyses spatiales sur le bassin versant concerné. La précision du GPS permet de différencier les rangs des parcelles de vigne.

Le système produit un ensemble de données objectives pour l'édition automatique des cahiers de traitement comprenant un résultat graphique de la parcelle sur lequel peut être affiché l'un des paramètres mesurés (débits en l/mn) ou issus de calculs (p. ex. volume par hectare, vitesse et orientation du vent) ainsi qu'un résumé écrit des différents paramètres : réglage courant



▲ Système prototype embarqué sur les pulvérisateurs pour mesurer les paramètres d'application des produits.

du pulvérisateur, mesures météorologiques, surface traitée, nombre de rangs parcourus, doses utilisées, etc.

De plus, les données déclaratives papier sont comparées avec celles enregistrées automatiquement, permettant un retour d'expérience et des discussions avec les viticulteurs. Ainsi, des voies d'amélioration des méthodes d'épandage sont mises en évidence. Elles débouchent sur une réduction des pertes lors des applications et une diminution des quantités de produits utilisées grâce à l'optimisation des techniques.

Contacts : Vincent de Rudnicki, vincent.derudnicki@cemagref.fr
Bernadette Ruelle, bernadette.ruelle@cemagref.fr
& Michaël Douchin, michael.douchin@cemagref.fr

Environnement

La gestion de l'environnement et la préservation de la biodiversité sont considérées unanimement comme une priorité dans le contexte de l'accélération des changements globaux qui affectent les ressources physiques et biologiques de notre planète. Tout comme il faut réfléchir avant d'agir, il faut comprendre avant de gérer. Or, comprendre le fonctionnement des écosystèmes continentaux et aquatiques n'est pas chose facile, demande du temps, de nombreuses observations et des experts de différents domaines scientifiques pour expliquer avec plus ou moins de succès les phénomènes. L'information spatiale est un support clef de cette démarche.

Ainsi, plusieurs équipes de recherche montpelliéraines oeuvrent à formaliser les connaissances d'ensemble des processus physiques, biologiques et socio-économiques nécessaires à la gestion durable des ressources naturelles. Elles procèdent à la mise au point de bases de données et de modèles qui rassemblent les connaissances acquises et permettent le test d'hypothèses. Ces dispositifs, conçus d'abord comme des outils de connaissance traduisant une certaine vision du système étudié, ont aussi pour ambition de guider l'action des gestionnaires des ressources. Afin de mobiliser une grande diversité de données et de prendre en compte leurs relations spatiales et temporelles, ils ont de plus en plus recours aux méthodes d'acquisition et de traitement de l'information spatiale, telles que la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique. Ces méthodes se sont largement répandues dans le domaine des sciences de l'environnement car elles constituent un support privilégié d'intégration des informations et d'analyse cartographique.

Les exemples présentés dans ce chapitre illustrent les interactions étroites qui existent entre les techniques d'acquisition, de gestion et de représentation des données environnementales et des domaines thématiques de recherche aussi variés que l'eau, la forêt ou la biodiversité animale et végétale en milieu terrestre et aquatique. Ainsi, de nombreuses recherches environnementales font appel aux traitements d'images satellitaires (basse ou haute résolution, optique ou radar) pour caractériser la distribution spatio-temporelle de leur objet d'étude à différentes échelles d'espace et de temps : suivi des glaciers andins, des couverts végétaux africains, des proliférations d'algues toxiques en Méditerranée, des niches environnementales de rongeurs réservoirs de maladies en Asie, des systèmes coralliens ou encore des tourbillons océaniques en lien avec les populations de prédateurs marins. La plupart de ces recherches s'appuient aussi sur des systèmes de gestion de base de données géographiques qui permettent de cartographier et d'analyser les interactions spatiales entre le milieu physique, le milieu du vivant et les pressions d'origine climatique et anthropique. De ce croisement entre données environnementales naît une vision différente et plus riche des mécanismes en jeu car favorisant l'interdisciplinarité par le dialogue spatial. Elle permet d'améliorer la compréhension des processus et la connaissance de leur distribution dans l'espace et dans le temps et d'élaborer des modèles explicatifs plus performants pour orienter les stratégies de gestion, de restauration ou de conservation à mettre en œuvre.

**Nicole Pasteur (IFR Biodiversité),
Denis Ruelland (HydroSciences Montpellier)
& Nicolas Arnaud (Géosciences Montpellier)**

Les principales équipes

BRGM, Service Géologique Régional :
Services opérationnels « Eau » et
« Aménagement et risques naturels »
(cf. page 49)

**EMPA - Écologie et maîtrise
des populations d'acridiens**
(cf. page 50)

**EA GESTER - Gestion des Sociétés,
des Territoires et des Risques**
(cf. page 49)

**FRE MTE - Mutations des Territoires
en Europe**
(cf. page 55)

**UMR CBGP - Centre de Biologie et de
Gestion des Populations**
(Inra, Montpellier SupAgro, Cirad, IRD)
46 scientifiques dont 5 impliqués dans la thématique
Directeur : Denis Bourguet,
bourguet@supagro.inra.fr
www.l.montpellier.inra.fr/CBGP

**UMR CEFE - Centre d'Écologie
Fonctionnelle et Évolutive**
(CNRS, UM1, UM2, UM3, Cirad,
Montpellier SupAgro, EPHE)
74 scientifiques dont 3 impliqués dans la thématique
Directeur : Jean-Dominique Lebreton,
jean-dominique.lebreton@cefe.cnrs.fr
www.cefe.cnrs.fr

**UMR ECOLAG - Laboratoire
Écosystèmes Lagunaires**
(CNRS, Ifremer, UM2)
80 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique
Directeur : Marc Troussellier,
marc.troussellier@univ-montp2.fr
www.ecolag.univ-montp2.fr

**UMR EME CRH - Écosystèmes Marins
Exploités, Centre de Recherche
Halieutique méditerranéenne
et tropicale**
(IRD, Ifremer, UM2)
52 scientifiques dont 12 impliqués dans la thématique
Directeur : Philippe Cury,
philippe.cury@ird.fr
www.crh-sete.org

**UMR G-EAU - Gestion de l'Eau,
Acteurs, Usages**
(Cemagref, CIHEAM-IAMM, Cirad, AgroParisTech/
ENGREF, IRD, Montpellier SupAgro)
88 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique
Directeur : Patrice Garin,
patrice.garin@cemagref.fr
www.g-eau.net

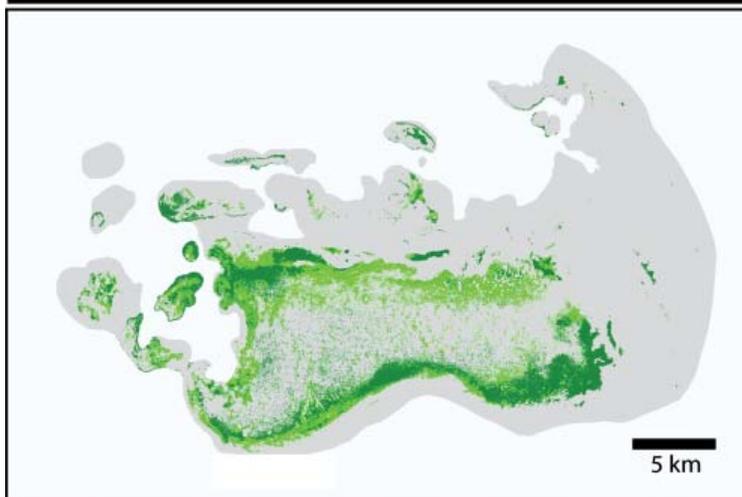
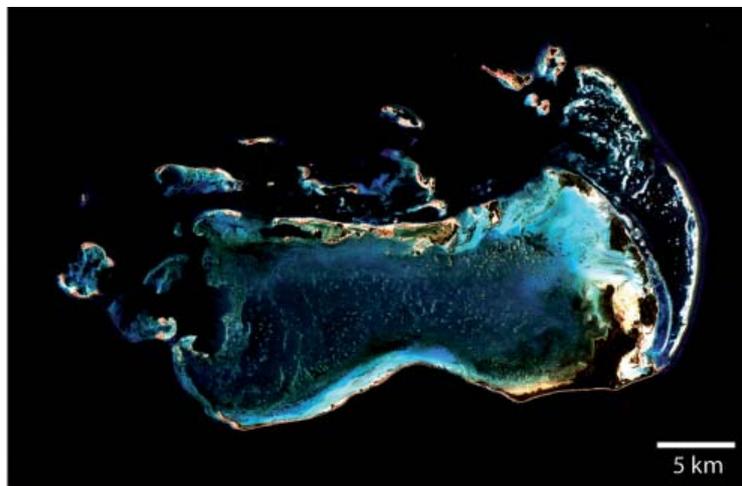
UMR HydroSciences Montpellier
(cf. page 18)

**UMR ISEM - Institut des Sciences
de l'Évolution**
(CNRS, UM2)
107 scientifiques dont 10 impliqués dans la thématique
Directeur : Jean-Christophe Auffray,
Jean-Christophe.Auffray@univ-montp2.fr
www.isem.cnrs.fr

**UMR TETIS - Territoires, Environnement,
Télédétection et Information Spatiale**
(cf. page 8)

**UPRAGIRs - Animal et gestion intégrée
des risques**
(cf. page 55)

... suite page 44



Herbiers denses Herbiers moyennement denses à clairsemés Autres

▲ Exemple de cartographie d'habitats réalisée dans le cadre d'une étude régionale sur les tortues marines et les herbiers des Caraïbes, issu d'images Landsat.

Télédétection et biocomplexité des systèmes coralliens

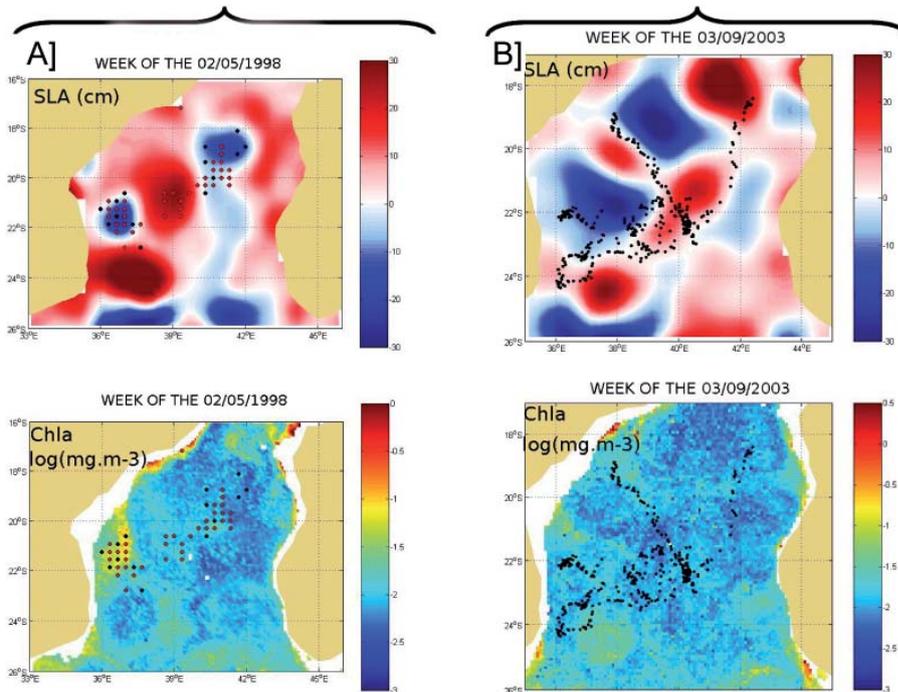
L'étude par télédétection de la biocomplexité des systèmes coralliens a pour objectif d'aider à quantifier la diversité biologique, notamment celle des habitats associés aux écosystèmes coralliens. S'y ajoute la compréhension des processus qui régulent cette diversité et des processus qui en dépendent, et enfin son interaction avec les communautés humaines. Ce dernier volet inclut l'exploitation durable des ressources biologiques et leur conservation.

L'étude par télédétection optique passive est adaptée à la spécificité des milieux coralliens situés en milieux côtiers tropicaux, peu profonds, souvent en eaux claires, et, dans la plupart des cas, difficiles d'accès. Le traitement de l'imagerie spatiale ou aéroportée, souvent couplée à des observations de terrain, permet la création de produits utiles à de nombreuses études multidisciplinaires telles que plans d'échantillonnage sur le terrain, cartes d'habitats multi-thématiques, atlas géomorphologiques, cartes bathymétriques, cartes de qualité des eaux et suivis diachroniques multi-capteurs. Ils constituent le premier niveau de produits, descriptifs, dont les applications fournissent des aides à la décision pour les gestionnaires : étude des communautés vivantes, définition de réseaux d'aires marines protégées, inventaire des stocks halieutiques, modélisation des processus hydrodynamiques, suivi des systèmes récifaux dans un contexte de fortes pressions anthropiques ou de changement global.

L'UR CoRéUs intervient sur de nombreux chantiers dans la zone indopacifique. Les sites principaux sont localisés en Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Wallis et Futuna, La Réunion, Fidji, Vanuatu, Maldives et Madagascar. Les travaux sont conduits en partenariat fort avec des acteurs locaux et internationaux. Par ailleurs, la donnée spatiale étant disponible pour n'importe quel site, l'unité est aussi impliquée comme partenaire dans des collaborations de recherche internationales (Australie, États-Unis) via des programmes « ressources marines » d'organisations régionales (tels que le Secrétariat Général de la Communauté du Pacifique) et globales (via le Millennium Coral Reef Mapping Project, Mora et al. 2006).

Contact : Serge Andréfouët, serge.andrefouet@noumea.ird.nc

D'après Wabnitz, C. et al., 2008.



▲ Superpositions (en haut) des anomalies de hauteur d'eau (SLA en cm, données AVISO) et (en bas) de la chlorophylle de surface (en log [mg.m⁻³], données SeaWiFS) avec (en points) les positions de captures de thons (A) ou les positions de Frégates (B).

Les structures rouges correspondent à des tourbillons anticycloniques chauds (convergent en surface) riches en chlorophylle à leur périphérie et les structures bleues à des tourbillons cycloniques froids (divergent en surface) riches en chlorophylle en leur centre; la bordure entre deux tourbillons est également très productive.

D'après Tew Kai E. et Marsac F., 2008.

Tourbillons méso-échelle et top prédateurs dans le canal de Mozambique

Le canal du Mozambique (10°-30°S/30°-50°E) est un laboratoire naturel d'étude des tourbillons océaniques méso-échelle (diamètre de 50 à 300 km, durée de vie d'une semaine à plusieurs mois) et de leur influence sur les populations de prédateurs supérieurs. Chaque année, 4 à 7 tourbillons, alternativement cycloniques et anticycloniques, se succèdent dans le canal. Ils sont principalement détectés par altimétrie satellitaire radar (mesure satellitaire de la hauteur locale de la mer). L'utilisation de descripteurs spatiaux des tourbillons et des structures associées (front, filaments) a permis l'étude de leur influence sur la distribution des thons.

Deux types d'indicateurs de la présence de bancs de thons ont été utilisés : les données de captures de thons ainsi que les géolocalisations de frégates équipées de balises. Les frégates, oiseaux incapables de plonger, suivent les bancs de thons pour s'alimenter de petits animaux pourchassés par les grands prédateurs marins, essentiellement en périphérie des tourbillons : elles adaptent leur stratégie d'alimentation à des habitats restreints où la probabilité de trouver des proies reste forte et elles jouent ainsi un rôle de « sentinelles permettant de mieux connaître l'évolution de l'état de santé des écosystèmes » (F. Marsac).

Les observations de captures directes de thons (associées à la position des bateaux en action de pêche) sont obtenues soit en périphérie, soit au cœur des tourbillons, où la production phytoplanctonique est importante. L'analyse de la distribution spatiale des thons à partir de ces deux familles d'indicateurs montre qu'ils sont, comme d'autres prédateurs supérieurs (tortues, lions de mer...), capables d'utiliser les tourbillons (cœur et périphérie) pour se nourrir. Les tourbillons à méso-échelle peuvent donc constituer des habitats transitoires pour ces grands pélagiques.

Cet exemple montre l'importance de la détection et la caractérisation des structures tourbillonnaires des océans pour une meilleure connaissance des habitats hauturiers, et, *in fine*, une meilleure gestion des ressources exploitées.

Contacts : Émilie Tewkai, emilie.tewkai@ird.fr & Francis Marsac, francis.marsac@ird.fr

Les principales équipes

UPR Dynamique des forêts naturelles (Cirad)

11 scientifiques dont 3 impliqués dans la thématique
Directrice : Sylvie Gourlet-Fleury, sylvie.gourlet-fleury@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/dynamique_forestiere

UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations (cf. page 38)

UPR GREEN - Gestion des ressources renouvelables et environnement (cf. page 18)

UPR Ressources forestières et politiques publiques (cf. page 28)

UR CoRéUs - Biocomplexité des écosystèmes coralliens de l'Indo-Pacifique (IRD)

14 scientifiques dont 4 impliqués dans la thématique
Directrice : Jocelyne Ferraris, jocelyne.ferraris@ird.fr
www.coreus.ird.fr

UR Great Ice - Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude - Indicateurs Climatiques et Environnementaux (IRD)

19 scientifiques dont 4 impliqués dans la thématique
Directrice : Marie-Pierre Ledru, marie-pierre.ledru@ird.fr
www.ird.fr/ur032

Depuis janvier 2009, cette UR est incluse dans HydroSciences Montpellier (UMR 5569).

URP Pastoralisme (cf. page 38)

US ESPACE - Expertise et SPAtialisation des Connaissances en Environnement (cf. page 8)

Autres équipes concernées par ce thème

UMR AMAP - botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes (cf. page 18)

UMR Géosciences Montpellier (cf. page 28)

UMR LIRMM - Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier (cf. page 28)

UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème (cf. page 18)

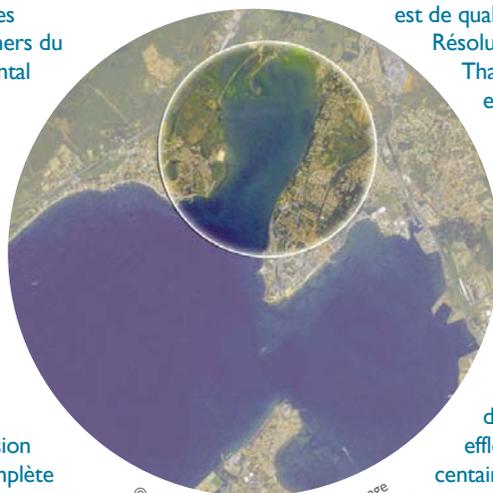
UR Dynamiques socio-environnementales et gouvernance des ressources (cf. page 55)

Suivi des efflorescences de l'algue toxique *Alexandrium catenella* par imagerie satellitaire sur trois sites méditerranéens (Thau, Tarragone, Olbia)

Les efflorescences d'algues toxiques sont des phénomènes présents sur l'ensemble des mers du globe qui induisent un impact environnemental et socio-économique important (souvent néfaste pour l'aquaculture et les activités récréatives).

Ce constat a motivé la mise en œuvre de moyens permettant d'analyser la dynamique de ces proliférations algales et son lien avec les activités anthropiques, dans le cadre des politiques de gestion intégrée des milieux. L'imagerie satellitaire est venue renforcer les moyens de mesure existants (prélèvements et analyses d'échantillons d'eau) : en fournissant une vision spatiale synoptique du phénomène, elle complète de façon pertinente les mesures *in situ*. Cependant, la résolution spatiale des capteurs satellitaires dédiés à ce suivi (instrument SeaWiifs [Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor] : environ 1 km de résolution) reste insuffisante pour la description locale ou régionale des phénomènes d'efflorescence, notamment aux échelles de bassins ou lagunes.

L'objectif du projet en cours, mené par l'UMR ECOLAG en collaboration avec l'Ifremer et la société Nev@ntropic et en partenariat avec le réseau collaboratif Planet Action de Spot Image,



© NSPO 2008 - Distribution Spot Image

est de qualifier l'apport de l'imagerie satellitaire « Haute Résolution » sur trois sites pilotes : le bassin de Thau (France), le port de Tarragone (Espagne) et le golfe d'Olbia (Sardaigne, Italie). Ces sites sont le lieu d'apparitions régulières et parfois simultanées d'une algue toxique, *Alexandrium catenella*, dont les efflorescences ont une forte incidence sur la qualité du milieu. En complément des mesures *in situ*, l'imagerie satellitaire Haute Résolution permet de préciser et comprendre le déterminisme de leur développement à travers l'analyse de leur distribution spatio-temporelle et la caractérisation du cycle biologique des espèces. La distribution en taches des efflorescences (typiquement de l'ordre de la centaine de mètres de long/large) constitue un véritable défi pour l'évaluation de la biomasse totale de ces algues toxiques. En donnant accès à une vision intégrée et synoptique du phénomène, l'imagerie satellitaire permet de suivre son développement et sa disparition dans le temps.

Contacts : Yves Collos, yves.collos@univ-montp2.fr
François Marques, fm.nev@ntropic.fr
Annie Pastoureaud, annie.pastoureaud@ifremer.fr
& André Vaquer, vaquer@univ-montp2.fr

▲ *Efflorescences d'algues toxiques dans la crique de l'Angle, située au nord-est de l'étang de Thau (Hérault, France). La crique constitue le point de démarrage de ces efflorescences qui se propagent ensuite dans la partie principale de l'étang.*

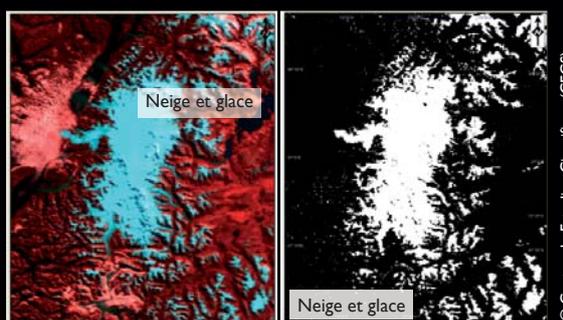
Suivi du couvert neigeux du Campo de Hielo Norte, Patagonie (Chili), avec des images satellitaires MODIS

Une part significative de la communauté scientifique s'attache aujourd'hui à mieux comprendre les conséquences du changement climatique sur notre planète. La fonte des glaciers est l'une de ces conséquences les plus visibles. Malheureusement, l'acquisition d'informations est compliquée par les difficultés d'accès (reliefs abrupts) et la grande extension des zones englacées concernées.

La télédétection satellitaire et aérienne s'avère très utile pour combler ces lacunes puisqu'elle permet d'observer et d'analyser à distance de grandes étendues. Son intérêt croît en outre avec l'amélioration régulière des résolutions spatiale et temporelle.

L'Amérique du Sud possède un grand nombre de glaciers dans la Cordillère des Andes, glaciers situés depuis la Colombie jusqu'à la Patagonie. Le continent sud-américain n'est pas distinct du contexte mondial, puisque ses zones englacées diminuent aussi. Plus particulièrement, dans la région patagonienne, le Campo de Hielo Norte (CHN), un champ de glace de 4 200 km², présente une diminution de sa surface et un recul accéléré des glaciers qui le constituent.

Pour mieux cerner les facteurs climatiques locaux influençant les variations des glaciers du CHN, l'évolution des surfaces enneigées de ce champ de glace est suivie sur la période 2000-2006 à l'aide de l'indice NDSI (*Normalized Difference Snow Index*) appliqué aux images satellitaires MODIS.



© Centro de Estudios Científicos (CECs).

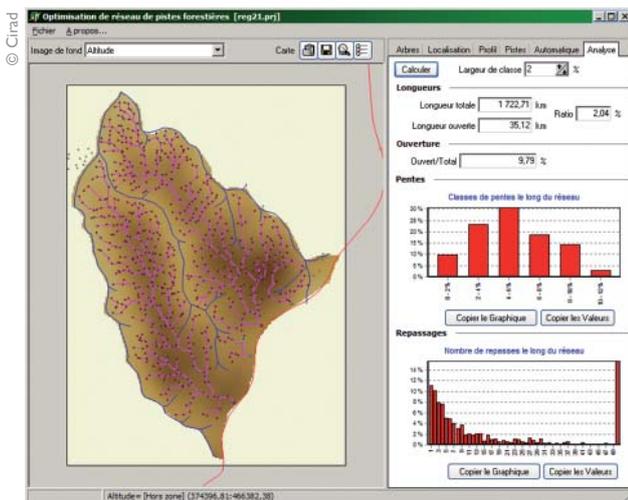
Les travaux permettent de préciser la saisonnalité de l'évolution intra-annuelle des surfaces enneigées : en été (décembre - mars), ces surfaces se réduisent à 3 600 km² (ce qui correspond à la zone d'accumulation), en présentant donc très peu de variations interannuelles durant cette saison, tandis qu'elles sont beaucoup plus étendues en hiver (jusqu'à 11 700 km²), avec de fortes variations interannuelles.

Cette étude laisse supposer que la partie occidentale du CHN verra ses couvertures neigeuses fondre plus rapidement en réponse à des températures plus clémentes, mais pourra aussi en être plus rapidement recouverte en cas de chutes de neige plus fréquentes et abondantes.

Contact : Paulina Lopez, lopez@msem.univ-montp2.fr

▲ *Exemple de l'application de l'Indice NDSI à une image MODIS.*

Les SIG, des outils indispensables pour l'aménagement des forêts tropicales



▲ Interface cartographique d'un outil d'aide au tracé d'un réseau de pistes forestières.

Depuis le sommet « Planète Terre » (Rio, 1992), les principes de la gestion écologiquement viable des écosystèmes forestiers tropicaux sont unanimement admis. En Afrique centrale, l'aménagement forestier durable est devenu l'un des éléments majeurs des nouvelles politiques forestières. Pendant ces 10 dernières années, les outils de traitement de l'information géographique (GPS, logiciels de traitement d'image et SIG) se sont largement répandus dans le milieu professionnel et le SIG est devenu l'outil indispensable de « l'aménagiste forestier » africain.

Dans une démarche de recherche d'accompagnement, le Cirad s'est engagé depuis plus de 15 ans dans le développement de méthodes de télédétection du couvert forestier et dans le développement d'outils d'aide à la décision organisés autour des SIG.

En aménagement forestier, devant la complexité des objectifs à atteindre (notamment la conciliation d'usages multiples), l'aménagiste se heurte de plus en plus à la difficulté de traduction des objectifs et des scénarios de gestion envisageables en un ensemble d'équations mathématiques. Cette difficulté provient en partie de l'incapacité des forestiers à pouvoir connaître l'état du système à un instant donné mais également du caractère imprécis, voire intuitif, des éléments de décision.

Les recherches en cours visent le développement d'outils d'aide à la décision en matière de tracé d'un réseau de pistes forestières, de création d'un parcellaire homogène, d'exploitation à faible impact et de prévision de la croissance des peuplements. Devant les limites contextuelles (acceptabilité et appropriation par les acteurs) des approches d'automatisation et d'optimisation mathématiques, le Cirad cherche à développer des outils interactifs et semi-automatisés d'aide à l'aménagement où le logiciel SIG occupe une situation privilégiée, comme outil d'intégration des informations et d'analyse cartographique, mais également comme interface entre l'utilisateur et des procédures de calcul automatique.

Des prototypes sont actuellement testés sur le terrain en Guyane, en République Centrafricaine et au Gabon.

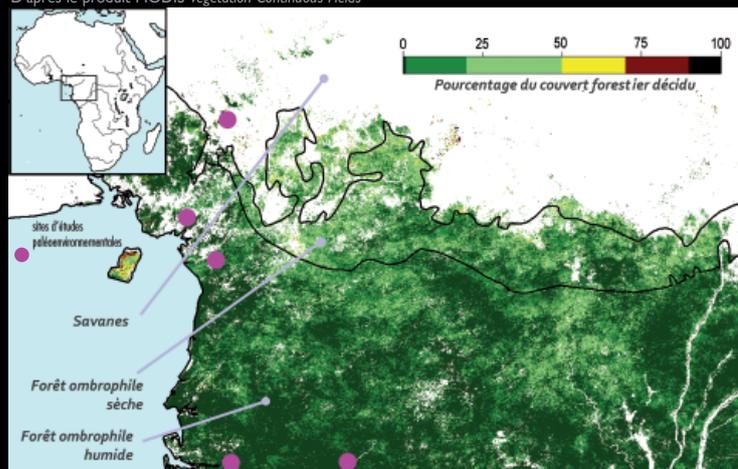
Contacts : Laurent Gazull, laurent.gazull@cirad.fr & Guillaume Cornu, guillaume.cornu@cirad.fr

Des données satellitaires de végétation comme outil pour la paléoécologie de l'Afrique centrale

Les changements du climat et les activités humaines sont les moteurs des modifications de la flore ou de la structure de la végétation. Dans la région forestière d'Afrique centrale, les sites d'études paléoenvironnementales qui permettent de retracer sur les derniers millénaires l'évolution de la végétation et de ses forçages, se réduisent à quelques points disséminés sur la carte. Afin de reconstituer une histoire régionale de l'étendue et de la nature de la forêt, l'interpolation de ces informations ponctuelles doit se faire au moyen d'une spatialisation de modèles fonctionnels qui déduisent les caractéristiques des formations végétales en fonction des caractéristiques climatiques et pédologiques.

En Afrique centrale, les sorties de ces modèles peuvent être interprétées en termes de structure de la végétation, par exemple, en évaluant : la biomasse totale, la répartition du couvert entre herbes et arbres en savane, la proportion du couvert arboré décidu en saison sèche dans le cas de la forêt. De telles informations sur la végétation actuelle, longtemps limitées à des zones de faible étendue, sont aujourd'hui disponibles sur une large échelle grâce à des produits issus de la télédétection. Ces données, généralement disponibles publiquement, constituent un outil essentiel au travail d'intégration des connaissances écologiques et paléoécologiques sur l'Afrique centrale, engagé à l'ISEM (Institut des Sciences de l'Evolution, CNRS, UM2) : i) elles compensent les mesures de terrain manquantes pour étalonner des indices paléo-environnementaux permettant de retracer l'histoire de la structure des végétations ; ii) elles permettent une comparaison régionale entre la physionomie de la végétation et les domaines phytogéographiques, c'est-à-dire la répartition des associations floristiques, sur lesquelles sont basées les cartes de végétation actuelles ; iii) elles constituent une source de validation des modèles de végétation ; ces derniers pourront ainsi représenter plus fidèlement la situation actuelle, avant d'être utilisés pour reconstituer ou prédire les évolutions passées et futures.

D'après le produit MODIS Vegetation Continuous Fields



▲ Cartographie de la forêt ombrophile sèche ou humide, basée sur les associations floristiques (domaines phytogéographiques identifiés par White, traits noirs) ou sur le pourcentage de couvert arboré décidu (forêts semperviventes en vert foncé, semi-décidues en vert clair).

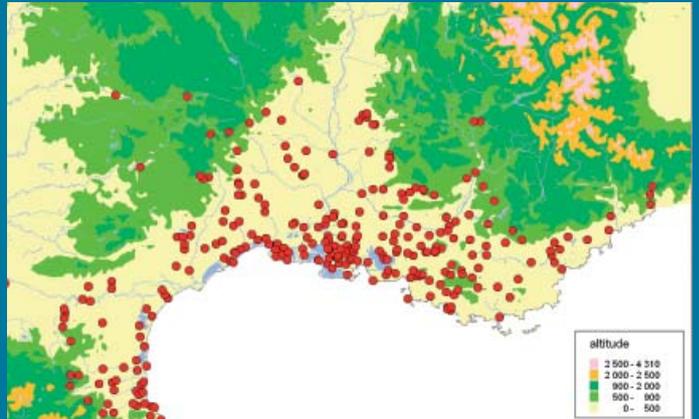
Contact : Charly Favier, charly.favier@univ-montp2.fr

Bases de données géoréférencées et référentiel taxonomique sur les vertébrés (amphibiens, reptiles, mammifères) du sud de la France

Depuis une trentaine d'années, l'équipe « Écologie et Biogéographie » de l'École Pratique des Hautes Études (CEFE-EPHE) centralise des informations sur les vertébrés du sud de la France résultant d'observations ponctuelles, faites par des naturalistes professionnels et amateurs. Aujourd'hui informatisées et spatialisées, elles permettent de répondre à de nombreuses interrogations de nature scientifique ou opérationnelle.

Sur le plan scientifique, ces bases de données offrent la possibilité d'aborder de nombreuses questions : comment se distribue la biodiversité dans l'espace méditerranéen ? Quels sont les facteurs qui expliquent le mieux les gradients observés ? Quelles sont les évolutions au cours des dernières décennies ? Il est ainsi possible de suivre la progression d'espèces envahissantes (p. ex. tortue de Floride, rat musqué, discoglosse peint) et bâtir des scénarios de lutte contre celles-ci, ou, à l'inverse, suivre le devenir d'espèces patrimoniales méritant des actions de conservation : loutre, lézard ocellé, tortue cistude, etc.

Sur un plan plus appliqué, ces bases de données permettent de répondre à de nombreuses demandes actuelles liées à la préservation de la biodiversité : quelles sont les zones à forts enjeux pour la préservation de la biodiversité ? Où se situent les zones de conflit entre développement économique et protection de l'environnement ? Elles sont de ce fait utilisées par de nombreuses administrations et collectivités (Direction Régionale de l'Environnement, Agence Régionale de l'Environnement, Conseils Généraux...) ayant en charge la protection des milieux naturels : mise en place du réseau



F. Poitevin © CEFE

Natura 2000, inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique, politique d'acquisition pour les Espaces Naturels Sensibles, élaboration d'une stratégie régionale en faveur de la biodiversité... Elles permettent également de répondre à des demandes plus larges telles que les suivis de biodiversité nationaux ou européens. À terme, ces bases de données devraient rejoindre les bases de données publiques qui se développent à l'échelle nationale (Système d'Information sur la Nature et les Paysages) ou internationale (Global Biodiversity Information Facility).

Contacts : Marc Cheylan, marc.cheylan@cefe.cnrs.fr
Françoise Poitevin, francoise.poitevin@cefe.cnrs.fr
& Philippe Geniez, philippe.geniez@cefe.cnrs.fr

▲ Répartition géographique de la musaraigne étrusque (*Suncus etruscus*) dans la région méditerranéenne française (points rouges).

Écologie des communautés de rongeurs et de leurs pathogènes en Asie du Sud-Est

La forte biodiversité reconnue de l'Asie du Sud-Est est aujourd'hui menacée par un développement économique rapide où l'emprise des activités humaines sur les écosystèmes est grandissante. Dans ce cadre de changements environnementaux brutaux et radicaux, les populations de rongeurs, qui représentent l'essentiel de la biomasse animale vertébrée, émergent comme des vecteurs majeurs de maladies (certaines pouvant être mortelles pour l'homme : leptospirose et typhus des broussailles p. ex.) et comme des destructeurs de récoltes.

Le projet CEROPATH, financé par l'Agence Nationale de la Recherche « Biodiversité », s'intéresse aux conséquences des changements environnementaux sur l'évolution des communautés de rongeurs, de leurs parasites (helminthes, arthropodes) et de leurs pathogènes (microparasites). Il regroupe différents laboratoires français et étrangers, aux disciplines complémentaires : la génétique des populations (CBGP, ISEM), la morphométrie (ISEM, Muséum National d'Histoire Naturelle), l'analyse spatiale (TETIS et National Agricultural and Forestry Institute au Laos), l'épidémiologie moléculaire avec la recherche de virus (Institut Pasteur, Cambodge), de bactéries (Hôpital de Siriraj - Université de Mahidol, Thaïlande), de champignons (Institut Pasteur, Lille) et de parasites sanguins (Université de Kasetsart, Thaïlande).

À partir de huit sites d'étude localisés au Cambodge, au Laos et en Thaïlande, ce projet cherche à caractériser les processus contribuant aux associations hôtes-pathogènes observées, tout en considérant l'environnement et l'histoire évolutive des espèces en interaction. L'une des problématiques clés est l'identification des espèces de rongeurs et l'estimation de leur distribution spatiale et de leur dynamique spatio-temporelle. L'étude repose sur un SIG intégrant les observations *in situ* des rongeurs. Ce dernier exploite des images satellitaires à différentes échelles, depuis le niveau régional permettant de comparer les sites étudiés et les replacer dans leur contexte géographique, jusqu'au niveau local autorisant une caractérisation à haute résolution spatiale des niches environnementales. Sur cette base, le projet vise à construire des modèles de dynamique spatio-temporelle des populations et des projections des changements de communautés hôtes-pathogènes qui seront associés aux changements écologiques.

Contacts : Serge Morand, serge.morand@univ-montp2.fr
Jean-François Cosson, cosson@supagro.inra.fr & Vincent Herbreteau, vincent.herbreteau@teledetection.fr

▲ Estimation de la distribution potentielle de *Rattus tanezumi* dans la province de Nakhon Pathom en Thaïlande par couplage des données de capture terrain et d'analyse d'images satellitaires.



© V. Herbreteau

Aménagement du territoire, *Risques*

Les recherches menées en géomatique visent à mieux connaître l'espace des hommes et participent à une meilleure gestion et gouvernance des territoires. Leurs résultats sont largement publiés au travers de produits « visuels » tels que cartes (thématiques, en 3D, photocartes...) mais aussi images et photographies diverses (orthophotoplans, photographies aériennes, images satellitaires...). Cette panoplie « d'images » en constante évolution (« cartes animées », Web Mapping, « globes virtuels »), et tendant vers toujours plus de précision, d'exhaustivité et de diversité, interroge le chercheur sur les choix à retenir pour les acteurs, en fonction des connaissances assemblées ainsi que de la problématique et des objectifs à atteindre.

La mobilisation de l'information spatiale pour l'aménagement du territoire constitue un véritable processus de co-construction et de co-responsabilité. Le projet contribue en effet à « construire » une vision partagée du territoire en s'appuyant sur les outils à disposition : la télédétection qui permet l'acquisition d'informations sur des espaces étendus et des cibles d'intérêt ; les systèmes d'information géographique (SIG) et le géoréférencement de différentes couches d'informations qui conduisent à la mise en relation spatiale de données d'origines diverses. La mobilisation de l'information géographique peut se définir comme « la mise en place d'un processus informationnel par un individu (ou groupe d'individus) afin de rendre compte de –ou de communiquer sur– l'espace du social ». Ainsi ce processus relève-t-il à la fois d'une approche technique et sociale. La diffusion accélérée de ces multiples outils géographiques et leur utilisation dans de nombreux domaines, notamment l'aménagement du territoire et les risques, conduit cependant à questionner le sens de certains concepts (tels que « information géographique », « système d'information », « complexité »...), les modifications des savoirs et leur utilisation, le statut du territoire au regard de la géomatique (entre espace réel et espace virtuel par exemple), etc.

Les exemples de travaux de recherche présentés dans ce chapitre expriment une grande diversité, tant des territoires étudiés que des échelles considérées : d'une vision nationale au travers de la prévention des invasions de criquets à Madagascar à une caractérisation fine de la vulnérabilité d'une région (Ile de France) face à un accident de transport de matières dangereuses, mais également au travers des objectifs visés. Les applications présentées traitent ainsi de la caractérisation et l'évaluation d'une mutation du territoire (la consommation des terres agricoles à destination de l'habitat), de l'observation de l'évolution d'un phénomène (l'érosion côtière), jusqu'à la caractérisation d'aléas géologiques (les séismes). Des études intégratrices sont également présentées : elles visent à construire des systèmes d'information géographiques « appliqués » comme par exemple le SIG RINAMED sur les risques naturels en Méditerranée, ou « intégrés » tel que par exemple le projet Syscolag pour la gestion globale des zones côtières. Ces études illustrent, par leur diversité, la gamme de problématiques liées à l'utilisation de l'information géographique. Ces problèmes sont centrés sur l'incertitude, sur l'échelle de validité de l'information spatiale utilisée, et leur impact sur les modèles associés. L'étude de la spatialisation de l'analyse coût-bénéfice des projets de prévention des inondations illustre parfaitement ce type de problématique.

L'utilisation de l'information géographique, si elle permet d'aborder l'ensemble des thématiques liées à l'aménagement du territoire et des risques en apportant des éléments probants en termes d'aide à la décision, amène également de nouveaux questionnements scientifiques, questionnements qui constituent les thématiques de recherche à venir.

**Jean-Paul Bord (EA GESTER)
& Pierre-Alain Ayrat (LGEI)**



© A. Franc

▲ **Essaim de criquets migrants.** Les ravages agricoles liés à la dernière invasion de 1996-2000 ont nécessité le traitement de plus de 4 millions d'hectares par des pesticides chimiques, d'où l'enjeu d'un réseau d'avertissement opérationnel.

Analyse spatiale pour prévenir les invasions de criquets ravageurs à Madagascar

Les principales équipes

EA GESTER - Gestion des Sociétés, des Territoires et des Risques (UM3)

31 scientifiques impliqués dans la thématique
 Directeur : Jean-Marie Miossec,
jean-marie.miossec@univ-montp3.fr
<http://recherche.univ-montp3.fr/gester>

LGEI - Laboratoire Génie de l'Environnement Industriel et des Risques Industriels et Naturels (EMA)

20 scientifiques dont 4 impliqués dans la thématique
 Directeur : Miguel Lopez-Ferber,
miguel.lopez-ferber@ema.fr
www.ema.fr/LGEI

BRGM, Service Géologique Régional : Services opérationnels « Eau » et « Aménagement et risques naturels » (BRGM Languedoc-Roussillon)

29 scientifiques dont 14 impliqués dans la thématique
 Directeur : Marc Audibert,
m.audibert@brgm.fr
www.brgm.fr

UMR Géosciences Montpellier (cf. page 28)

UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème (cf. page 18)

UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (cf. page 8)

... suite page 50

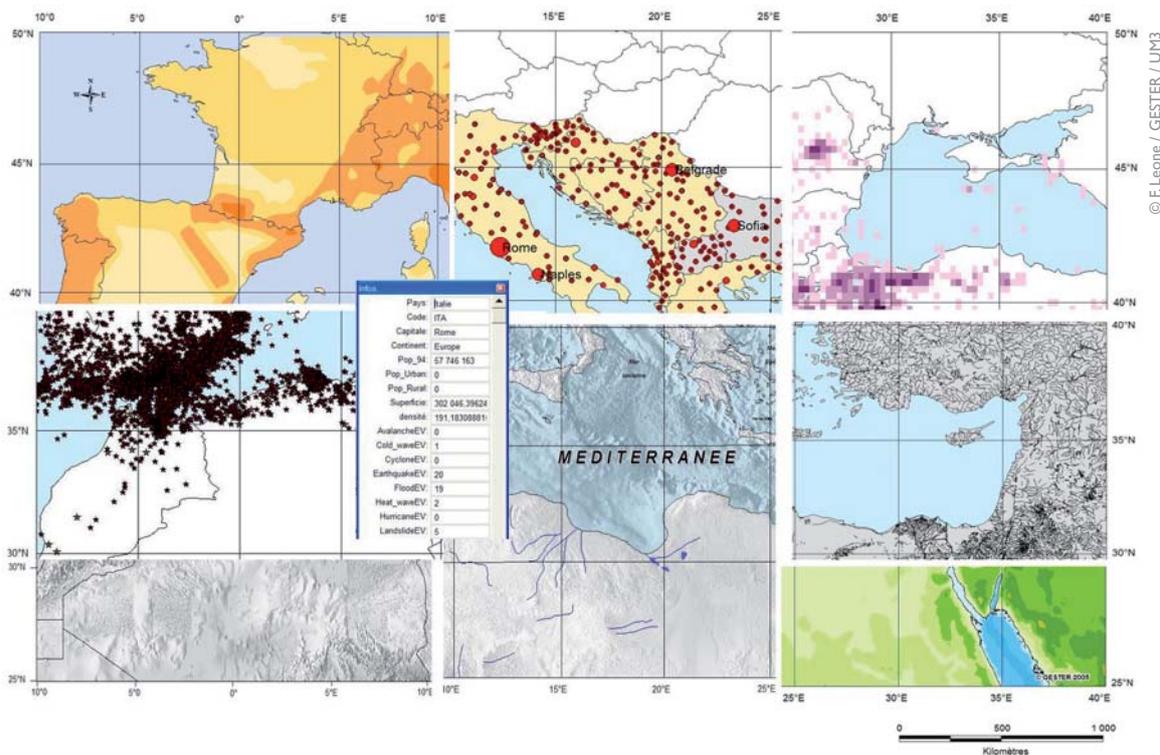
Le criquet migrateur malgache, *Locusta migratoria capito* Sauss., présente la particularité de pouvoir changer de phase suivant la densité de sa population, les phases solitaire ou grégaire étant caractérisées par des comportements spécifiques et des traits de morphologie, physiologie et d'écologie profondément différents. En phase solitaire, les criquets vivent dispersés et sont inoffensifs pour les cultures. Ils migrent par vol à la recherche de conditions propices à leur développement : si les zones favorables sont spatialement réduites, tous les criquets s'y rassemblent, provoquant une augmentation de leur densité. Les criquets peuvent alors, en quelques générations, passer en phase grégaire : ils constituent des bandes larvaires et des essaims qui engendrent des ravages sur l'agriculture et les pâturages.

Un projet de recherche opérationnelle mené par l'EMPA (Cirad), en collaboration avec le Centre National Antiacridien Malgache, vise à améliorer le système de surveillance et d'avertissement contre ce fléau. Il consiste en un croisement des informations obtenues mensuellement sur la pluviométrie, les biotopes et la biologie du criquet (densité, phase et stade). Le croisement des données spatialisées permet de délimiter les zones de regroupement potentiel, où des densités accrues pourraient induire la transformation phasaire et déclencher une invasion.

Une délimitation spatiale des biotopes a été réalisée grâce à l'analyse d'une douzaine d'images Landsat en haute résolution. Ces données spatialisées sur la structure des biotopes sont complétées chaque mois à l'aide de données de terrain ponctuelles : la pluviométrie et la biologie du criquet migrateur sont intégrées dans un SIG pour être interpolées sur l'ensemble de l'aire d'origine des invasions, soit 100 000 km². Il est ainsi possible chaque mois de suivre l'évolution des zones favorables au regroupement des criquets et de prévenir les risques d'invasion.

La surveillance spatiale des criquets ravageurs, à Madagascar et ailleurs, représente une recherche extrêmement finalisée. Elle demande une connaissance fine du terrain, la maîtrise de l'information spatiale ainsi que des partenariats de longue durée avec les pays concernés.

Contact : Alex Franc, alex.franc@cirad.fr



▲ *Mosaïque de cartes extraites du SIG RINAMED.*

Le système d'information géographique sur les risques naturels en Méditerranée : outil d'analyse territoriale, d'évaluation des risques et de production d'atlas permanent

Les principales équipes

UPR EMPA - Écologie et maîtrise des populations d'acridiens

(Cirad)
9 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique
Directeur : Michel Lecoq,
lecoq@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/acridologie

URP Pastoralisme

(cf. page 38)

US ESPACE - Expertise et SPatialisation des Connaissances en Environnement

(cf. page 8)

Autres équipes concernées par ce thème

FRE MTE - Mutations des Territoires en Europe

(cf. page 55)

UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages

(cf. page 43)

UMR LIRMM - Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier

(cf. page 28)

UPR GREEN - Gestion des ressources renouvelables et environnement

(cf. page 18)

UR Dynamiques socio-environnementales et gouvernance des ressources

(cf. page 55)

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une action européenne visant à développer une culture de prévention des risques naturels en Méditerranée (programme Interreg RINAMED : initiative européenne de coopération interrégionale « Risques NATurels en MEDiterranée »). Il consiste au développement d'une plateforme d'information géographique interactive et évolutive (SIG et *Webmapping*) sur les risques et les catastrophes d'origine naturelle, couvrant l'ensemble du bassin méditerranéen. Ce bassin cumule une grande variété de phénomènes naturels dommageables (séismes, crues éclairs, éruptions volcaniques, mouvements de terrain, tempêtes, etc.) et bénéficie d'un certain nombre d'initiatives en matière de réduction des risques, constituant un territoire exceptionnellement intéressant.

Les principales difficultés du projet résident dans le travail d'intégration, de synthèse, d'homogénéisation et d'analyse critique de multiples sources de données disponibles, ainsi que dans la constitution d'un réseau de correspondants étrangers. En outre, la production cartographique nécessite la mise au point d'une chaîne graphique, d'une charte graphique spécifique et d'une cartographie interactive numérique sur le web.

Les premières applications découlant de la base de donnée (SIG RINAMED) portent sur la réalisation de cartes destinées à un futur atlas permanent des risques naturels en Méditerranée (Atlas RINAMED) ainsi que sur la mise au point d'indicateurs synthétiques de risques à l'échelle NUTS3 (découpage international équivalent au niveau départemental français) sur l'Arc latin (action correspondante intitulée « Indicateurs RINAMED »).

Les développements actuels et futurs portent sur la réalisation d'un outil informatique de mise en ligne interactive du SIG. Cet outil est basé sur les technologies *open source*. Il doit permettre côté client, via Internet, de gérer des couches d'informations, de rapatrier des données, de réaliser des requêtes spatiales, d'élaborer des analyses statistiques et d'éditer des cartes. Ce travail doit, à terme, déboucher sur un outil évolutif, riche et performant, destiné à améliorer notre connaissance et développer le partage de l'information géographique sur les risques naturels en Méditerranée.

Contact : Frédéric Leone, frederic.leone@univ-montp3.fr

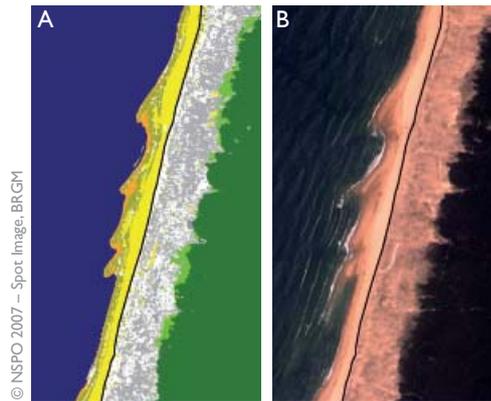
Le suivi du trait de côte et de l'érosion côtière en Aquitaine à l'aide de l'imagerie FORMOSAT-2

Dans le cadre du Contrat de Plan État-Région 2000-2006, l'État, le Conseil Régional d'Aquitaine, le BRGM et l'Office National des Forêts se sont associés pour créer l'Observatoire de la Côte Aquitaine, qui vise à mettre un outil d'aide à la décision à la disposition des gestionnaires du littoral aquitain.

La problématique de l'érosion côtière est abordée via l'analyse par télédétection du système plage-dune. Cette étude s'appuie sur le programme Kalideos (CNES) qui propose des données satellitaires sur le Bassin d'Arcachon. L'objectif est de mettre en place une méthode de suivi d'un certain nombre de faciès sédimentaires et biologiques qui caractérisent les avancées et recul de la côte.

Une méthode mixte combinant la précision des levés de terrain (trop coûteux s'ils devaient être mis en œuvre sur les 270 km de la côte aquitaine) et la vision synoptique de 14 images satellitaire à haute résolution (FORMOSAT-2) a été retenue pour réaliser ces suivis. La cartographie par télédétection permet une mise à jour régulière de différents faciès comme le haut et le bas de plage, les dunes grises et blanches, mais aussi des limites majeures constituées par le trait de côte et l'interface dune/forêt.

Une première phase préparatoire a consisté en un contrôle du géoréférencement des données, puis en l'analyse radiométrique des scènes. Le littoral aquitain a fait l'objet d'une classification non supervisée sur quatre secteurs différenciés, avec prise en compte



◀ Superposition du trait de côte (en noir) : (A) à la classification supervisée et (B) à l'image FORMOSAT (secteur d'Hossegor).

© NSFO 2007 – Spot Image-BRGM

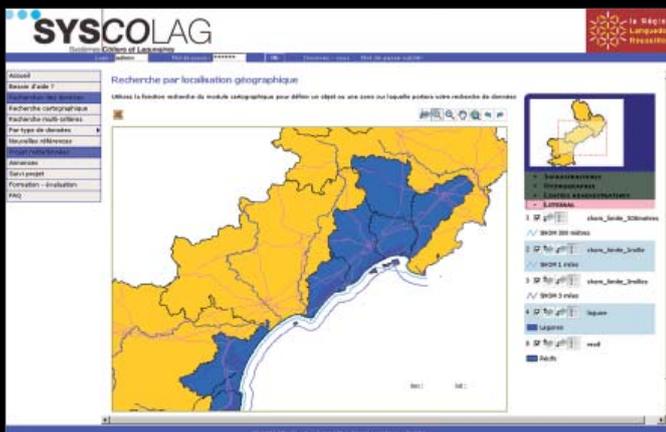
des variations du contenu de l'atmosphère pouvant influencer sur le transfert radiatif (liées par exemple aux différences de dates, à la variabilité naturelle de la couleur des substrats...).

Les résultats de la classification sont globalement performants sur les cibles choisies (forêt, dunes grise et blanches, banquette, haut de plage, bas de plage). La détection du trait de côte (précision de la cartographie de 5,3 m) est encore optimisée (jusqu'à 84,6% de réussite) par l'utilisation d'un filtre destiné à extraire le contour extérieur des objets.

Contact : Jean-François Desprats, jf.desprats@brgm.fr

Approche intégrée milieu / société appliquée à la gestion et au développement durable des territoires d'interfaces : les littoraux et les îles

© SYSCOLAG – Région Languedoc-Roussillon



▲ Site de recherche de l'information environnementale en région Languedoc-Roussillon (France) pour le programme SYSCOLAG basé sur l'outil MDweb.

En règle générale, les écosystèmes et sociosystèmes les plus complexes occupent des positions d'interface entre milieux contrastés. Sur le littoral, le contact terre/mer attire les populations humaines et les activités économiques, accentuant les conflits d'usages. Dans les îles, la diversité paysagère, l'espace réduit et l'isolement génèrent une organisation atypique des écosystèmes et sociosystèmes.

Dans ce contexte, le développement durable ne peut être envisagé selon une approche sectorielle, activité par activité, mais selon une approche intégrée de la gestion des territoires. La recherche intervient alors de deux manières :

- en élaborant et validant les outils d'intégration et de gestion des connaissances, comme l'outil MDWeb de gestion des métadonnées adapté dans le cadre du projet SYSCOLAG (SYStèmes CÔtiers et LAGunaires du Languedoc-Roussillon) par les équipes ESPACE, LIRMM et TETIS et les acteurs régionaux CEPALMAR du Languedoc-Roussillon (Centre d'Études et de promotion des Activités lagunaires et Maritimes du Roussillon, France) ;

- en proposant à chacun des trois principaux types d'acteurs du territoire –les pouvoirs publics, les décideurs économiques, les usagers– une description des dynamiques et dysfonctionnements de ce système, précisant leurs responsabilités respectives, afin qu'ils prennent conscience des problèmes et construisent de concert des solutions.

Dans cette perspective, l'US ESPACE (IRD) a développé trois modules méthodologiques portant respectivement sur :

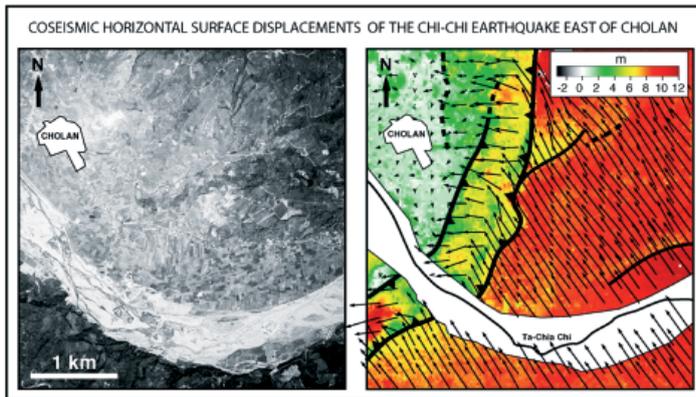
- la modélisation de l'impact des dynamiques des bassins versants sur les zones côtières ;
- l'analyse des concordances et discordances spatiales et temporelles des territoires administratifs en vue d'une intégration institutionnelle des politiques publiques ;
- l'estimation de la valeur socio-économique des écosystèmes.

L'ensemble de ces actions implique le partage, l'analyse et la gestion concertée de l'information spatiale sur les territoires et concourt à une meilleure gouvernance des littoraux et des îles.

Contacts : Gilbert David, gilbert.david@ird.fr & Hélène Rey-Valette, helene.rey-vallette@univ-montp1.fr

L'imagerie spatiale au service de la recherche sur les risques géologiques et leur prévention

© S. Dominguez



▲ *Mesure, par corrélation d'images aériennes orthorectifiées, des déplacements du sol engendrés par le séisme de Taïwan (1999) : en rouge, déplacements jusqu'à 10 m.*

d'images satellitaires optiques à haute résolution (type Ikonos, Quickbird ou SPOT5) acquises avant et après le séisme, permet d'identifier la faille qui a joué et de mesurer précisément la composante horizontale des déformations du sol sur une large région autour de l'épicentre. Ces données sont indispensables pour comprendre le comportement des failles sismiques et évaluer l'aléa et le risque qui leur sont associés.

Les glissements de terrains constituent une autre source majeure de risques pour les populations et les infrastructures. Ils jouent un rôle primordial dans l'évolution de la topographie d'une chaîne de montagne. Les techniques de télédétection permettent une surveillance globale des zones à risques s'affranchissant des contraintes de terrain. L'intérêt de l'interférométrie radar (InSAR) est de pouvoir quantifier avec une précision centimétrique la déformation intervenue entre deux prises de vue. Elle permet de déterminer avec précision la distribution spatiale de la déformation de surface. Par ailleurs, l'étude de l'évolution temporelle de l'activité du glissement permet d'analyser l'influence des forçages tectoniques ou climatiques susceptibles de provoquer un glissement catastrophique.

Contacts : Stéphane Dominguez, stephane.dominguez@gm.univ-montp2.fr & Michel Peyret, michel.peyret@gm.univ-montp2.fr

Parmi les différentes catégories de risques géologiques, les tremblements de terre sont ceux qui ont le plus grand impact sociétal, avec de lourds bilans humains. Sur les cinq dernières années, les seuls séismes majeurs (Iran en 2003, Sumatra et Pakistan en 2005, Indonésie en 2006, Chine en 2008) ont provoqué près de 500 000 victimes (source : United States Geological Survey).

L'imagerie satellitaire s'avère très utile pour mieux comprendre les mécanismes qui contrôlent ces phénomènes géologiques et constitue un moyen efficace d'acquisition de mesures quantitatives.

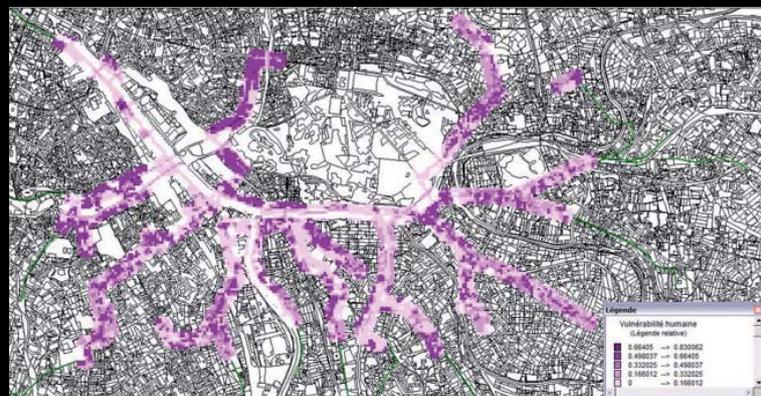
Une nouvelle méthode d'imagerie, développée par le Commissariat à l'Énergie Atomique et mise en service récemment à Géosciences Montpellier, permet de compléter les mesures ponctuelles GPS et les observations de terrain réalisées après un séisme. Cette technique, basée sur la corrélation

Évaluation de la vulnérabilité face au risque de transport de matières dangereuses

La compréhension et la prévention des événements à risques sont essentielles à la sécurité des populations sur un territoire. Les recherches méthodologiques sur la caractérisation du risque portent, d'une part, sur la quantification des sources de danger, et, d'autre part, sur la prise en compte de manière organisée et formelle des enjeux (population, biens, environnement) et de leur vulnérabilité et enfin sur le croisement de ces informations. Les méthodes d'analyse de risques s'appuient ainsi sur l'analyse spatiale de l'information.

Une analyse de risques relative à l'activité de transports d'hydrocarbures sur l'ensemble du territoire de l'Île de France (IdF) a étudié la modification du niveau de risques induite par le déplacement des dépôts d'hydrocarbures de la petite couronne (4 départements limitrophes de Paris) vers la grande couronne (4 départements périphériques de l'IdF).

Le nombre de kilomètres parcourus pour acheminer les carburants vers Paris augmentant de manière conséquente, il est devenu primordial d'évaluer le risque généré. Le « niveau » de risque est défini comme une fonction couplant une variable de potentiel danger (quantifiée par une approche probabiliste et déterministe) générée par la source (transport d'hydrocarbure) et une variable de vulnérabilité des enjeux présents sur le territoire. La méthodologie a été mise en œuvre sous un SIG permettant d'aboutir à la cartographie du risque relatif aux transports d'hydrocarbures en IdF. Deux catégories d'information cartographique sont obtenues :



▲ *Exemple de cartographie de la vulnérabilité humaine.*
D'après Tixier et al., 2006.

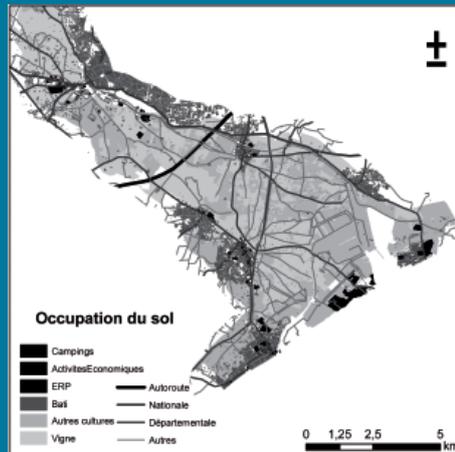
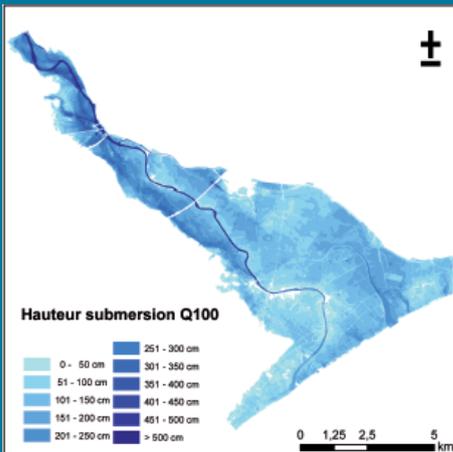
- cartographie de la vulnérabilité du territoire (enjeux humains, naturels, matériels) ;
- cartographie du niveau de risque relatif à un dépôt d'hydrocarbures.

L'ensemble de ces informations permet de réaliser une analyse en termes de risque du déplacement d'un dépôt d'hydrocarbures et de prévoir l'impact d'un scénario donné.

Ce projet a été financé par la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi) et soutenu par le Pôle « préparation à la gestion de crise » de la Direction Régionale de l'Équipement d'IdF/Service Sécurité Défense (ministère de l'Équipement).

Contact : Jérôme Tixier, jerome.tixier@ema.fr

Spatialisation de l'analyse coût-bénéfice des projets de prévention des inondations



▲ Exemple de cartes d'aléa et occupation du sol pour l'analyse économique du risque d'inondation (Orb, France).

les relations spatiales entre systèmes. Les enjeux sont souvent considérés comme des unités spatiales élémentaires et indépendantes (p. ex. une coopérative, une exploitation agricole) alors que les dommages supportés par un enjeu dépendent également de ses relations avec les autres enjeux : par exemple, une coopérative agricole située hors zone inondable est un système concerné via les dommages supportés par ses exploitations agricoles adhérentes situées en zone inondée. Deuxièmement, une analyse de sensibilité est requise pour valider la démarche. Elle doit prendre en compte la propagation des incertitudes lors du couplage des différents modèles mobilisés et permettre d'identifier les données clés de l'ACB. L'imprécision d'un modèle numérique de terrain, par exemple, se répercute sur la mesure de l'efficacité de certaines protections locales, telles que les batardeaux (remblais provisoires de protection).

L'analyse coût-bénéfice (ACB) est une méthode d'évaluation des politiques publiques qui repose sur la comparaison des inconvénients et avantages attendus de ces politiques. Dans le cadre de projets de prévention des inondations, les avantages sont estimés par le biais des dommages évités grâce à ces projets. Le calcul de ces dommages fait intervenir des données spatialisées : cartes de submersion pour une gamme de différentes intensités d'inondation (issues d'un couplage entre modèles hydrologiques, hydrauliques et topographiques) et carte d'occupation du sol. Ces données sont croisées via des fonctions de vulnérabilité définies pour chaque type d'enjeux. Plusieurs questions de recherche liées à la dimension spatiale de l'ACB émergent de sa mise en œuvre.

certaines protections locales, telles que les batardeaux (remblais provisoires de protection).

Effectuer une ACB spatialisée permet de proposer une représentation cartographiée des différents résultats intermédiaires et finaux : carte des dommages pour une inondation, carte synthétisant les dommages pour une gamme d'inondations ; carte des dommages évités pour un projet étudié. Elle permet de qualifier ainsi l'exposition d'un territoire aux inondations. Au regard du croisement de cartes réalisé, cette dernière étape demande une réflexion sur la précision des cartes utilisées et produites, leur légende et l'échelle spatiale d'analyse.

Premièrement, la modélisation économique de la vulnérabilité des enjeux nécessite de développer des méthodes prenant en compte

Contacts : Frédéric Grelot, frederic.grelot@cemagref.fr, Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr & Katrin Erdlenbruch, katrin.erdenbruch@cemagref.fr

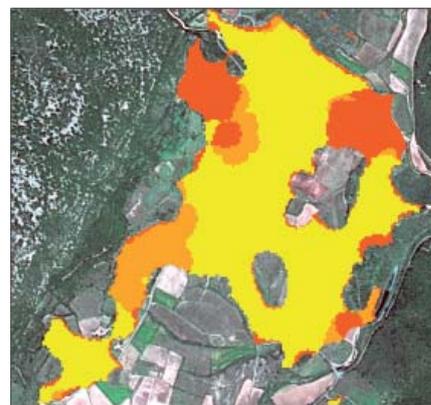
Une méthode pour évaluer la consommation de terres agricoles par la pression urbaine

Le développement périurbain, le développement de l'habitat en zones rurales et le développement des infrastructures de transport et touristiques se font le plus souvent par prélèvement de terres agricoles. La logique locale (croissance de la population, enjeux économiques, implantation d'infrastructures et d'immobilier aux dépens de quelques hectares de terres agricoles) et l'intérêt des propriétaires fonciers, amènent systématiquement à entériner le prélèvement de terres agricoles.

Cette dynamique de consommation de terres agricoles au profit de l'urbanisation, jugée marginale à l'échelle locale, devient préoccupante à l'échelle régionale et *a fortiori* nationale, quand elle est multipliée par le nombre de communes et cumulée au cours du temps. On peut en effet craindre que cette disparition de terres agricoles soit irréversible : il serait difficile et coûteux (sinon impossible ou économiquement irréaliste) de les remobiliser pour une production agricole. C'est donc un patrimoine stratégique dans le contexte international de l'alimentation et du commerce des produits agricoles et denrées alimentaires qui est consommé, pour un intérêt économique immédiat, sans réflexion sur son utilité collective à moyen et long termes.

L'UMR TETIS, en partenariat avec l'UMR LISAH, a développé en 2008 sur une zone pilote de la région Languedoc-Roussillon, une méthode de quantification et qualification de la dynamique spatiale et temporelle de consommation de terres agricoles par le développement de l'habitat. Conçue pour être généralisable sur tout le territoire français, elle est basée sur l'exploitation d'images satellitaires acquises ces 20 dernières années, de bases de données d'occupation du sol récentes et de l'inventaire cartographique des sols. Cette méthode sera appliquée à cette région en 2009, afin d'être validée et de produire des résultats objectifs de consommation des terres agricoles sur ce territoire depuis 1989.

À terme, on peut imaginer qu'une stratégie nationale de préservation des terres agricoles s'avère justifiée, comme le sont maintenant reconnues les stratégies de préservation des espaces naturels ou des milieux aquatiques.



Emprise territoires artificialisés

- Spot 1 19/07/1989
- Spot 3 29/05/1996
- Spot 5 27/04/2005

▲ Évolution de l'emprise des territoires artificialisés, commune de *Vailhauques (Hérault, France)*.

Contacts : Éric Barbe, eric.barbe@teledetection.fr & Philippe Lagacherie, philippe.lagacherie@supagro.inra.fr

Populations *et sociétés*

Depuis longtemps déjà, la carte, et plus récemment la photographie aérienne ou l'image satellitaire, sont utilisées comme support à la décision des hommes. Ces données visent d'abord à « restituer » une réalité par des projections, des cartes d'état-major, des orthophotos, des spatio-cartes, des plans divers. Elles constituent une source d'information car elles présentent l'espace naturel géographique et y localisent les ressources physiques, les hommes et leurs activités. Pour être compréhensibles, elles nécessitent bien sûr une interprétation qui permet de donner du sens à des formes, des couleurs, des symboles... Elles peuvent aussi constituer un support pour le recueil des informations multiples et diverses qui peuvent être mobilisées dans les bases de données ou à partir des savoirs locaux et des témoignages. Elles prennent la forme d'Atlas, de systèmes d'information.

Le développement des moyens informatiques a pu faire croire à une puissance illimitée de gestion de données. Mais l'expérience montre que l'information géographique disponible n'est pleinement utilisée que quand elle est au service d'une démarche. Elle est alors un « objet intermédiaire » support de la réflexion individuelle ou collective. Elle permet de modéliser des phénomènes et d'émettre des hypothèses quant aux relations de cause à effet. Il s'agit alors d'identifier des déterminants, des indicateurs, des critères dont il faut ensuite valider la pertinence. Les plateformes d'échanges facilitent la gestion des données pour comprendre les relations entre systèmes d'activités, emprise territoriale et impact sur les ressources. Une fois ce travail réalisé, l'image et la carte sont des outils de communication, permettant la présentation des résultats sous des formes attrayantes et accessibles. Cartes de risques naturels ou sanitaires, schémas d'aménagement, cadastre, maquettes sont autant de produits d'aide à la décision. La cartographie en ligne permet d'alimenter les débats sociétaux.

Ainsi, l'information géographique a enrichi la démarche scientifique mais aussi les processus de décision et de gestion des projets. C'est cette approche qui est présentée et illustrée dans ce chapitre au travers de nombreux utilisateurs et d'applications variées.

Les historiens et les géographes peuvent analyser et comprendre les évolutions dans l'occupation des espaces à partir de l'étude des réseaux routiers ou de la dynamique des paysages. Les politologues s'appuient sur les différentes sources de données géographiques disponibles dans leur interprétation des mutations des territoires sous l'éclairage des dynamiques de guerre et de paix. Pour de telles études, les systèmes d'information géographique facilitent l'analyse de données hétérogènes multi-sources et multi-dates. Dans le domaine foncier, les images de télédétection permettent de renouveler la gestion foncière, comme par exemple à Madagascar, où des images à très haute résolution spatiale sont utilisées comme fonds de carte, permettant aux communautés de reporter les limites des parcelles sur ces cartes et d'élaborer un cadastre à coût moyen. La mise en relation de données géographiques et de données sanitaires permet aux épidémiologistes de mettre en lumière certains déterminants environnementaux ou sociaux de la distribution de maladies. Enfin, les aménagistes proposent des scénarii du futur en concertation avec les différents acteurs territoriaux, concertation facilitée par l'utilisation des systèmes d'information comme outil de communication.

**Annelise Tran (UPRAGIRs)
& Jean-Philippe Tonneau (UMR TETIS)**



▲ Groupe d'enfants mangeant dans la même assiette à Puerto Salinas (Bolivie).

© P. Handschumacher

Les principales équipes

EA GESTER - Gestion des Sociétés, des Territoires et des Risques
(cf. page 49)

FRE MTE - Mutations des Territoires en Europe
(CNRS, UM3, UPVD)

33 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique
Directrice : Geneviève Cortes,
genevieve.cortes@univ-montp3.fr
<http://recherche.univ-montp3.fr/mte>

UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale
(cf. page 8)

UPR AGIRs - Animal et gestion intégrée des risques
(Cirad)

40 scientifiques dont 6 impliqués dans la thématique
Directeur : François Monicat,
francois.monicat@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/faune_sauvage

UR Dynamiques socio-environnementales et gouvernance des ressources
(IRD)

Équipe « Gestion sociale de la nature »
30 scientifiques dont 5 impliqués dans la thématique
Directrice : Geneviève Michon,
michon@mpl.ird.fr
www.mpl.ird.fr/ur199

UR EPIPREV - Épidémiologie et prévention : environnement et efficacité des interventions*
(IRD)

14 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique
Directrice : Kirsten Simondon,
kirsten.simondon@ird.fr
www.mpl.ird.fr/epiprev

* Cette unité n'existe plus depuis janvier 2009

... suite page 59

L'exposition différentielle des populations riveraines du Río Beni (Amazonie bolivienne) à la contamination par le mercure

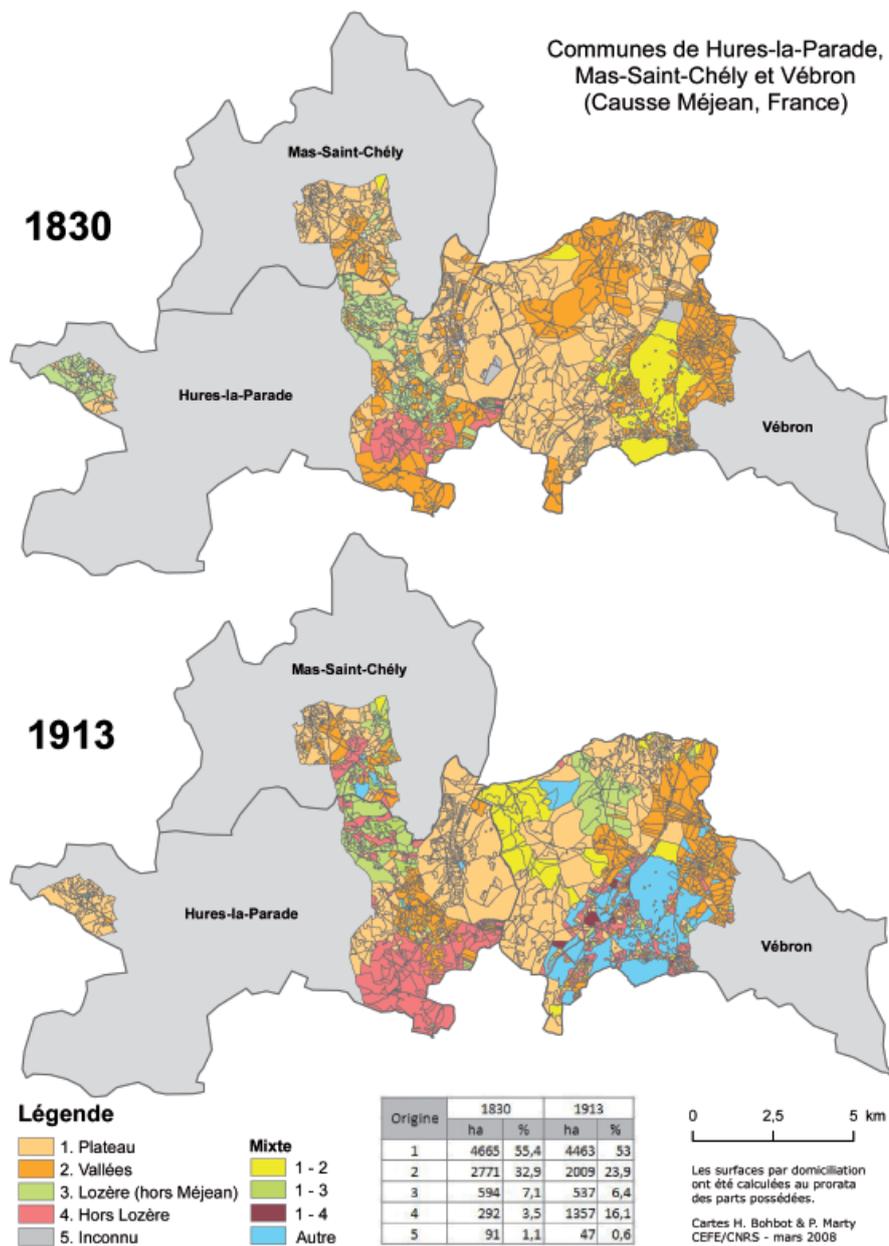
En Bolivie, le questionnement épidémiologique sur la variabilité de la contamination par le méthylmercure dans les communautés riveraines du Río Beni a généré une problématique géographique, où le niveau de contamination devient indicateur des modes de vie et des pratiques spatiales. Quels sont les facteurs non-biologiques, liés aux pratiques territoriales et à la gestion des ressources, responsables des inégalités face à la contamination ?

Deux enquêtes ont été menées de front dans 15 communautés riveraines : une enquête épidémiologique auprès des femmes et de leurs enfants et une enquête géographique au niveau des foyers. La mise en perspective des données biologiques et géographiques a conduit à la mise en évidence d'espaces contrastés en termes de contamination. Le recours à différentes ressources est en effet de règle au sein de la population étudiée, qui jongle entre agriculture, chasse, pêche, cueillette, exploitation du bois et autres activités rémunératrices (construction de maisons et de bateaux...). Cependant, les importances relatives de ces activités créent un contraste au niveau du risque sanitaire. Une typologie des modes de gestion et d'exploitation des ressources a été élaborée à partir d'une enquête transversale pluridisciplinaire. Elle a permis d'individualiser cinq groupes spécifiques, témoignant de niveaux de contamination par le mercure hétérogènes.

Cette étude menée par l'équipe EPIPREV (IRD) met en évidence le poids des pratiques sociales sur le risque sanitaire chez les populations riveraines du Río Beni, au sein d'espaces nettement individualisés. Si le rôle de la pêche dans le degré d'exposition est confirmé, il est fortement modulé par les systèmes d'exploitation spécialisés ou diversifiés dans lesquels s'investissent les familles. Ainsi, plus que la proximité au Río Beni, c'est l'activité dominante qui conditionne le niveau de contamination.

Des travaux portant sur la construction des territoires, les pratiques des populations et la disponibilité des ressources sont en cours. L'objectif de ce travail est de permettre une diminution des risques d'exposition par une meilleure gestion de l'environnement.

Contacts : Céline Tschirhart, celinetchi@hotmail.com & Pascal Handschumacher, handschup@hotmail.com



▲ *Évolution de la domiciliation des propriétaires fonciers entre 1830 et 1913.*

Dynamiques et transformations des paysages : processus écologiques et socio-économiques

Afin d'analyser le rôle des sociétés humaines dans les dynamiques des paysages, une base de données a été construite avec le SIG ArcGIS® à partir d'informations spatiales historiques décrivant l'utilisation des sols sur les Grands Causses.

Pour le XIX^e siècle, la numérisation des plans cadastraux et des plans d'assemblage mentionnant les natures des cultures a permis d'établir les structures du paysage. Confrontées à des sources écrites plus anciennes, ces informations permettent de donner une image de ce qu'était le paysage des montagnes calcaires périméditerranéennes dans la période 1700-1900 : des espaces fortement marqués par la céréaliculture et quasiment dépourvus d'arbres. Les informations du début du XX^e siècle montrent l'impact sur le paysage de la transition vers une économie fondée sur l'élevage ovin : diminution des cultures et augmentation des landes et pelouses, timide progression de la forêt. Outre l'occupation du sol, les sources cadastrales permettent l'analyse d'un certain nombre de paramètres sociaux : modes d'appropriation du sol (privé ou communautaire), évolution de la taille des propriétés, lieu de résidence des propriétaires.

Les informations qui décrivent les stades récents (fin du XX^e siècle) de l'occupation du sol sont issues de travaux de photo-interprétation ou d'analyse d'images satellitaires. Elles montrent d'importants changements dans la structure du paysage avec une très forte progression forestière. Celle-ci est partiellement le fait de reboisements mais est surtout liée à la progression spontanée de la forêt, à partir des noyaux anciens. Ces changements sont à mettre en relation avec la modernisation des systèmes d'élevage qui utilisent bien moins intensément les ressources des landes et pelouses. La dynamique de transformation des paysages, enclenchée à partir de l'abandon de la céréaliculture à la fin du XIX^e siècle, est encore renforcée par la diminution de la pression de pâturage. Ces transformations sont aujourd'hui socialement considérées comme problématiques sur les plans biologique (perte de biodiversité) et culturel.

**Contacts : Pascal Marty, pascal.marty@cefe.cnrs.fr
Hervé Bohbot, herve.bohbot@cefe.cnrs.fr
Elie Pélaquier, elie.pelaquier@univ-montp3.fr
& Jacques Lepart, jacques.lepart@cefe.cnrs.fr**

Renseigner l'impossible : le développement d'un SIG sur un territoire hautement stratégique, la région frontalière gréco-albanaise

La région frontalière gréco-albanaise est un bout du monde à quelques encablures à peine de la côte italienne. Depuis ses montagnes abruptes, le regard embrasse les forêts et les plages de Corfou. Pourtant, ce secteur des Balkans est resté pendant près de cinquante ans l'une des sections les plus hermétiques et surveillées de l'ancien rideau de fer. L'état de guerre établi en 1940 entre la Grèce et l'Albanie n'a été levé qu'en 1987. La haute militarisation de la zone et le contrôle strict de la circulation ont « gelé » la fréquentation de nombreux villages et contraint à l'exil des populations marginalisées. Depuis le début des années 1990, en dépit des multiples désordres qui ont affecté le sud albanais, la situation s'est apaisée et les relations entre Athènes et Tirana se sont progressivement normalisées.

Comment est-on passé du *vilayet* ottoman de Ioannina (disparu en 1912), ouvert à la circulation et aux échanges, à des espaces si fragmentés ? Comment expliquer la transformation récente de territoires et paysages que tout semblait encore opposer il y a peu ?

Afin de cerner les mutations successives des territoires, différents outils SIG et télédétection ont été mis en œuvre. Le projet initial (CNRS, École Française d'Athènes) a été ralenti par des obstacles multiples, dont l'interdiction d'accès à toute information cartographique ou image jusqu'à une date récente. De nombreux séjours sur le terrain ont néanmoins permis de collecter des données très variées : statistiques ottomanes, grecques et albanaises (population, agriculture, occupation du sol) établies

© R. Darques



Ioannina (Grèce), son kastro et l'île de Nisi, vus depuis la rive opposée du lac éponyme.

depuis un siècle, anciennes photographies aériennes, documents déclassifiés issus des satellites CORONA*, archives Landsat MSS, images SPOT 5 et Quickbird sur les villes de Gjirokastrë et Ioannina. Un tel effort de capitalisation et d'analyse de données spatialisées multisources, fourni par un acteur dans le cadre de ses recherches (en vue de publications), représente une étape indispensable à cette approche de géographie physique et humaine : elle nécessite du géographe une capacité d'adaptation aux différentes méthodes de traitement de l'information spatiale.

Contact : Régis Darques, regis.darques@univ-montp3.fr

* Satellites militaires américains de photo-reconnaissance (1960-1980).

La télédétection, outil central de la réforme foncière malgache

Engagée depuis 2005 avec l'appui de différentes expertises (dont UMR TETIS et UMR INNOVATION*), la réforme foncière malgache est basée sur la décentralisation de la gestion foncière. Désormais, les communes équipées d'un « guichet foncier » gèrent les terrains relevant de la propriété privée non titrée pour lesquels elles délivrent des certificats fonciers (CF) suite à la tenue de commissions de reconnaissance locale (CRL).

Des images de télédétection à très haute résolution orthorectifiées et géoréférencées servent alors de patron cartographique pour la réalisation au niveau communal d'un plan local d'occupation foncière (PLOF) figurant les différents statuts des terrains : propriété privée titrée, propriété privée non titrée, aires à statut spécifique... Lors des CRL, les demandeurs de certificats et leurs voisins tracent les limites des parcelles à certifier en se basant sur des « marqueurs fonciers » visibles sur l'image (canal d'irrigation, diguette, chemin, arbre remarquable, bâti...). L'image sert ainsi de support à une cartographie foncière locale, participative et contradictoire. L'édition papier de chaque CF comporte un extrait du PLOF dessiné sur l'image, permettant aux propriétaires de visualiser les contours de leur propre parcelle et des parcelles de leurs voisins. Les images utilisées par les collectivités et les services fonciers malgaches proviennent de télédétection satellitaire (satellites



© A. Teyssier

Quickbird et Ikonos) ou aérienne. Leur résolution est comprise entre 0,5 et 1 mètre. Elles sont projetées dans le système Laborde Madagascar et sont utilisées à une échelle comprise entre 1:2500^{ème} et 1:10000^{ème}.

La disponibilité de telles images sur de vastes étendues régionales pose inévitablement des questions de coûts d'acquisition et de délais d'obtention dès lors que l'on ne se contente pas d'images d'archives.

Fin 2008, 300 communes sur 1550 disposent d'un guichet foncier et d'un PLOF ce qui suppose un investissement considérable pour l'acquisition des images correspondantes et pour la formation à leur utilisation à des fins de gestion foncière.

Contacts : Pascal Thinon, thinon@supagro.inra.fr & André Teyssier, ateyssier@cirad.mg

* UMR INNOVATION : Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (Montpellier SupAgro, Inra, Cirad)

▲ *Délivrance d'un acte de reconnaissance de la propriété sur la commune de Miadanandriana à Madagascar (novembre 2006).*

Des systèmes d'information à l'intelligence territoriale : le cas du territoire de Thau



B. Térébenec © CPIE Bassin de Thau

▲ Maquette en relief pour l'Agenda 21 de Villeveyrac.
Source : Association Pour le Bassin de Thau.

La mise en cohérence des politiques publiques territoriales en France se heurte à de nombreuses difficultés, en particulier la capacité des acteurs à s'organiser pour faire face collectivement aux enjeux de leur territoire. Le défi est d'autant plus grand que la loi impose d'associer à des degrés divers l'ensemble des parties concernées ainsi que la population à l'élaboration et la mise en œuvre des projets de territoire. La question des outils d'information et de communication dans ce nouveau contexte occupe une place centrale car elle conditionne les capacités d'apprentissage collectif au sein de réseaux d'acteurs hétérogènes.

L'UMR TETIS travaille depuis trois ans, avec d'autres laboratoires, en partenariat étroit avec le Syndicat Mixte du Bassin de Thau et différents acteurs de ce territoire, pour élaborer et mettre en œuvre des outils tendant vers une gestion intégrée et durable (schéma de cohérence et d'orientation territoriale, schéma d'aménagement et de gestion des eaux, Agendas 21).

Les outils d'information et de communication mis en œuvre ou en cours de développement sont extrêmement variés et répondent à différents niveaux de participation des acteurs. En voici quelques-uns à titre d'exemples : l'outil MDWeb pour inventorier et valoriser les ressources informationnelles disponibles au sein du réseau d'acteurs, la cartographie « à dire d'acteurs » pour combiner données d'observatoires et savoirs locaux, les maquettes physiques en relief pour faciliter le dialogue territorial, un automate cellulaire couplé à un système d'information géographique pour représenter les dynamiques de l'étalement urbain de 1940 à 2020, de nouveaux outils basés sur le Web 2.0 et la cartographie en ligne pour supporter des débats publics à grande échelle (projet INTERMED, INTERnet pour la MEDIation). Au-delà des contributions à l'élaboration et la diffusion de ces innovations, l'UMR TETIS mène aussi une évaluation de leurs usages pour mesurer la progression vers une forme d'intelligence territoriale.

Contact : Pierre Maurel, pierre.maurel@teledetection.fr

Pour plus d'informations sur MDWeb : www.mdweb-project.org

Les réseaux routiers andins : histoire des techniques et géographie des populations

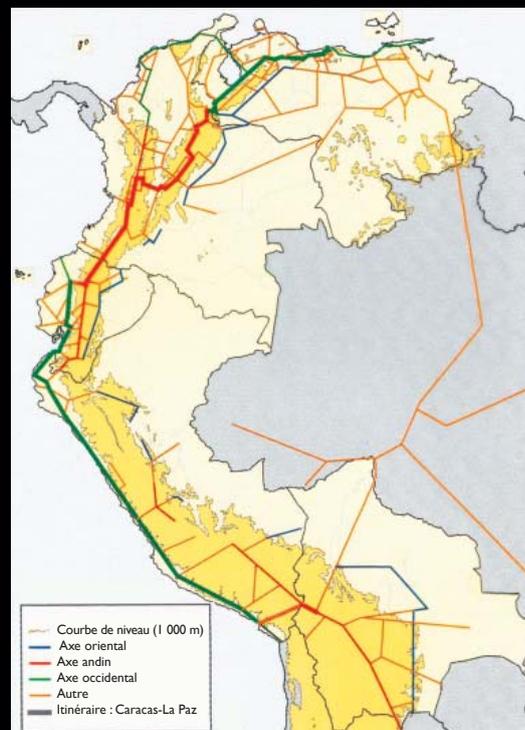
La distribution spatiale des réseaux de transport et communication est à la fois un reflet de la structure sociale, économique, politique et des moyens technologiques d'une société, et un déterminant de son développement. Les approches historique et géographique de ces réseaux spatialisés sont étudiées au sein de l'UR Dynamiques socioenvironnementales et gouvernance des ressources (IRD).

À l'époque précolombienne, l'axe principal de circulation est andin et relie les confédérations locales. Le « Chemin de l'Inca » reprend les pistes antérieures. Il y a un progrès technique dans la qualité de la construction, l'entretien et l'organisation des relais car l'empire a besoin de routes pour contrôler les territoires et leurs populations. Sur plus de 4 000 km, le Chemin de l'Inca file droit, avale montagnes, altiplanos et vallées sans coup férir. Jusqu'à la révolution industrielle, la pente importe peu pour le cheminement du piéton.

Au Pérou et en Équateur, la majorité de la population habite maintenant la plaine littorale. La liaison panaméricaine a suivi ce déplacement. Alors que son projet initial était fondé sur un réseau de chemins de fer, on ne parle maintenant plus que de route. Dans le langage populaire, route et panaméricaine sont parfois synonymes. Le camion s'est imposé dans les Andes au milieu du XX^e siècle en supplantant le train qui ne pouvait remonter des pentes supérieures à 4%. Néanmoins, il perd 10% de sa puissance tous les 1 000 m d'altitude. Entre altiplano à 4 000 m et plaine littorale, le choix de développement n'est pas aussi simple qu'il paraît.

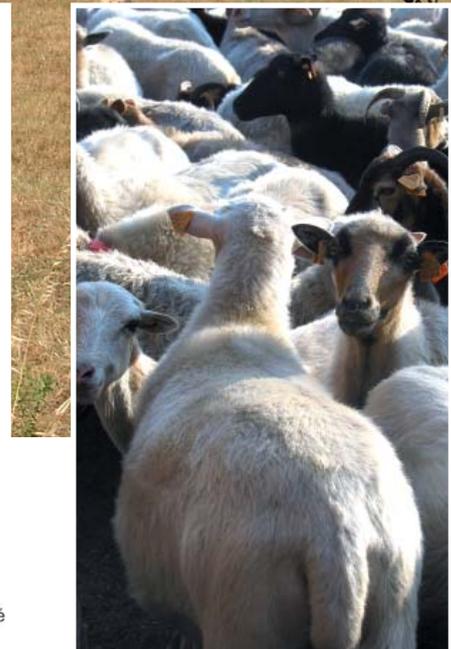
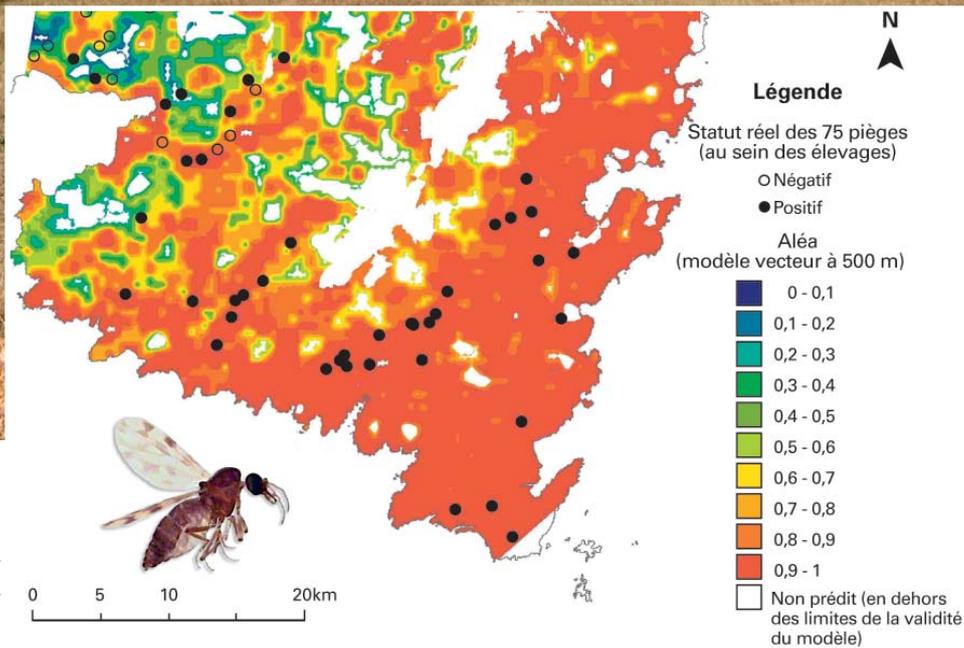
Un nouvel axe se dessine à l'est des Andes. Du Venezuela au centre du Pérou, il n'est interrompu ou dangereux qu'à cause des situations de violence connues en piémont amazonien. La population y augmente rapidement. La coca et le pavot ne sont pas partout. Pour aller de Caracas à La Paz, il sera plus rapide de passer par l'intérieur de l'arc andin plutôt qu'à l'extérieur comme actuellement. Plus rapide encore est –et sera– l'itinéraire direct qui, par Manaus et la transamazonienne, relie déjà les deux capitales andines les plus excentrées.

© P. Gondard & H. Mazurek © IRD



▲ Itinéraire terrestre Caracas – La Paz.

Source : Amérique du Sud (Nord-Ouest) 1 / 4.000.000 et groupe d'information ORELLANA.



© Guis (2007)

▲ **Carte d'aléa de présence du moucheron *Culicoides imicola*** (indicateur entre 0 absence et 1 présence) : **approche entomologique.**

▲ **Image de fond : Approche environnementale - paysage Corse.**

► **Approche épidémiologique : troupeau de moutons de race Corse.**

Géomatique et épidémiologie : des images satellitaires pour traquer des mouchérons

Du fait des changements climatiques et des actions de l'homme, la répartition des vecteurs (insectes et acariens transmettant des pathogènes) et des maladies qu'ils transmettent se modifie. L'équipe AGIRs et l'UMR TETIS collaborent afin d'étudier les déterminants environnementaux de la distribution de maladies.

Les thèmes abordés concernent la recherche d'indicateurs utiles en épidémiologie et pouvant être obtenus à partir d'images satellitaires ainsi que l'application des outils géomatiques à la spatialisation des risques sanitaires. Une des thèses issue de cette collaboration, réalisée avec l'université de Franche-Comté, vise à identifier sur des images du satellite Spot couvrant la Corse, couplées à des informations de terrain, les paysages favorables à *Culicoides imicola*, petit moucheron exotique transmettant aux moutons la fièvre catarrhale ovine. L'arrivée récente (fin des années 1990) de ce moucheron dans les pays du pourtour du bassin méditerranéen a entraîné une épizootie (épidémie animale) majeure de la fièvre catarrhale ovine. Après avoir effectué une importante campagne de piégeages de ce moucheron dans les élevages ovins de Corse du Sud, les caractéristiques du milieu telles que l'occupation du sol, l'agencement spatial de la végétation, l'altimétrie et l'hydrographie au voisinage des sites où le moucheron était présent ont été comparées avec celles présentes au voisinage des sites où il était absent. Les résultats indiquent que la présence de ce moucheron est associée à des milieux présentant une végétation dont l'activité chlorophyllienne est faible et à une diversité importante des types d'occupation du sol. À partir de ces résultats, des cartes de risque ont été produites afin de cibler les mesures de surveillance de la maladie et des vecteurs, à la fois en zone infectée et en zone indemne.

Les principales équipes

URP Pastoralisme
(cf. page 38)

US ESPACE - Expertise et SPatialisation des Connaissances en Environnement
(cf. page 8)

Autres équipes concernées par ce thème

UMR CBGP - Centre de Biologie et de Gestion des Populations
(cf. page 43)

UMR CEFE - Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive
(cf. page 43)

UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages
(cf. page 44)

Contact : **Hélène Guis**, helene.guis@cirad.fr

Thématiques couvertes par les équipes de recherche

(avril 2009)

Ce dossier est structuré en quatre chapitres. Les trois premiers chapitres sont méthodologiques et concernent les questions de recherche liées au développement de méthodes. Le quatrième chapitre est thématique ; il est structuré en quatre sous-chapitres illustrant l'utilisation de la télédétection et de l'information spatiale dans différents champs de recherche thématiques.

Les différentes unités et équipes de recherche apparaissant dans le texte de ce dossier sont consignées dans le tableau ci-dessous. Les thématiques « principales » de chacune des équipes sont représentées par un triangle (▲) et celles « secondaires » par un cercle (●). La couleur rouge (▲) indique le chapitre dans lequel les caractéristiques de l'équipe sont présentées.

1. Télédétection spatiale et aéroportée
2. Méthodes d'analyse spatiale et de modélisation spatio-temporelle
3. Systèmes d'information et observatoires
4. Applications de l'information spatiale par champs thématiques :
 - 4.1. Agriculture, pêche et forêt
 - 4.2. Environnement
 - 4.3. Aménagement du territoire, Risques
 - 4.4. Populations et sociétés

Unité	1	2	3	4.1	4.2	4.3	4.4
UPR AGIRs - Animal et gestion intégrée des risques (Cirad) François Monicat					▲		▲
UPR AIVA - Adaptation Agro-écologique et Innovation Variétale (Cirad) Michael Dingkuhn				▲			
^{2,3} UMR AMAP - botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes (Cirad, Inra, CNRS, IRD, UM2) Daniel Barthémély	●	▲		●	●		
² UMR CBGP - Centre de Biologie et de Gestion des Populations (Inra, Montpellier SupAgro, Cirad, IRD) Denis Bourguet					▲		●
^{2,3} UMR CEFE - Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CNRS, UM1, UM2, UM3, Cirad, Montpellier SupAgro, EPHE) Jean-Dominique Lebreton		●		▲	▲		▲
UR CoRéUs - Biocomplexité des écosystèmes coralliens de l'Indo-Pacifique (IRD) Jocelyne Ferraris	●				▲		
² UPR Dynamique des forêts naturelles (Cirad) Sylvie Gourlet-Fleury		▲	●		▲		
UR Dynamiques socio-environnementales et gouvernance des ressources (IRD) Équipe « Gestion sociale de la nature » Geneviève Michon					●	●	▲
^{2,3} UMR ECOLAG - Laboratoire Écosystèmes Lagunaires (CNRS, Ifremer, UM2) Marc Troussellier					▲		
UMR EME (CRH) - Ecosystèmes marins exploités, Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale (IRD, Ifremer, UM2) Philippe Cury				▲	▲		
² UPR EMPA - Écologie et maîtrise des populations d'acridiens (Cirad) Michel Lecoq					▲	▲	
UR EPIPREV - Épidémiologie et prévention : environnement et efficacité des interventions (IRD) Kirsten Simondon <i>Cette unité n'existe plus depuis janvier 2009.</i>							▲

Unité	1	2	3	4.1	4.2	4.3	4.4
^{1,4} US ESPACE - Expertise et SPAtialisation des Connaissances en Environnement (IRD) Frédéric Huynh	▲	▲	▲		▲	▲	▲
UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations (Cirad) Jean-Pierre Bouillet	●	●	●	▲	▲		
¹ UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages (Cemagref, CIHEAM-IAMM, Cirad, AgroParisTech/ENGREF, IRD, Montpellier SupAgro) Patrice Garin			▲	▲	▲	●	●
³ UMR Géosciences Montpellier (CNRS, UM2) Serge Lallemand	▲		▲		●	▲	
EA GESTER - Gestion des Sociétés, des Territoires et des Risques (UM3) Jean-Marie Miossec		●			▲	▲	▲
UR Great Ice - Glaciers et Ressources en Eau d'Altitude - Indicateurs Climatiques et Environnementaux (IRD) Marie-Pierre Ledru <i>Depuis janvier 2009, cette unité de recherche est incluse dans l'UMR HydroSciences Montpellier.</i>			●		▲		
UPR GREEN - Gestion des ressources renouvelables et environnement (Cirad) Martine Antona		▲			▲	●	
^{1,3} UMR HydroSciences Montpellier (CNRS, IRD, UMI, UM2) Éric Servat	●	▲	▲		▲		
^{2,3} UMR ISEM - Institut des Sciences de l'Évolution (CNRS, UM2) Jean-Christophe Auffray					▲		
¹ UMR ITAP - Information et Technologies pour les Agroprocédés (Cemagref, Montpellier SupAgro) Véronique Bellon-Maurel	▲	●		▲			
¹ LGEI - Laboratoire Génie de l'Environnement Industriel et des Risques Industriels et Naturels (EMA) Miguel Lopez-Ferber		●	▲			▲	
UMR LIRMM - Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier (CNRS, UM2) Michel Robert			▲		●	●	
¹ UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème (Inra, IRD, Montpellier SupAgro) Marc Voltz	▲	▲	▲	▲	●	▲	
FRE MTE - Mutations des Territoires en Europe (CNRS, UM3, UPVD) Geneviève Cortes				▲	▲	●	▲
URP Pastoralisme (Cirad) Amadou Tamsir Diop			●	▲	▲	▲	▲
UPR Ressources forestières et politiques publiques (Cirad) Alain Billand		●	▲		▲		
UPR SCA - Systèmes de culture annuels (Cirad) Florent Maraux		●	▲	▲			
¹ Service Géologique Régional : Services opérationnels « Eau » et « Aménagement et risques naturels » (BRGM Languedoc-Roussillon) Marc Audibert		●	▲		▲	▲	
UMR SYSTEM - Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (Cirad, Inra, Montpellier SupAgro) Jacques Wery				▲			
^{1,4} UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (Cemagref, Cirad, AgroParisTech/ENGREF) Pascal Kosuth	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

¹ Ces unités font partie de l'Institut Fédératif de Recherche « Institut Languedocien de Recherche sur l'Eau et l'Environnement » (ILEE, IFR 123), Directeur : Pierre Chevallier, chevalli@msem.univ-montp2.fr ; www.ifr-ilee.org

² Ces unités font partie de l'IFR « Montpellier Environnement Biodiversité » (MEB, IFR 119), Directrice : Nicole Pasteur, nicole.pasteur@univ-montp2.fr ; www.biodiversite-montpellier.org

³ Ces unités font partie de l'Observatoire des Sciences de l'Univers « Observatoire de recherche Méditerranéen de l'Environnement » (OSU OREME), Directeur : Nicolas Arnaud, nicolas.arnaud@gm.univ-montp2.fr

⁴ Ces unités font partie de GEOSUD (« GEOInformation for Sustainable Development » ; « Information spatiale et Développement Durable »), Responsable : Pascal Kosuth, pascal.kosuth@teledetection.fr

Les formations à Agropolis International

dans le domaine de « l'information spatiale pour l'environnement et les territoires »

Agropolis International, au travers de ses établissements membres, universités et écoles d'ingénieurs (et institutions spécialisées dans la formation continue), propose une offre de formation complète.

Cela représente plus de 80 formations diplômantes (de bac +2 à bac +8 : technicien, ingénieur, licence, master, mastère spécialisé, doctorat...) ainsi qu'une centaine de modules de formation continue (préexistants ou à la carte).

Les tableaux présentés ci-après détaillent les formations relevant du domaine de « l'information spatiale pour l'environnement et les territoires ». Ils précisent les niveaux de diplômes, les intitulés des formations et les établissements opérateurs.

Les formations diplômantes

Formations centrées sur la thématique de « l'information spatiale »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac+5	Master professionnel	Territoires et sociétés, aménagement et développement (TSAD) Spécialité « Systèmes d'information et informations géographiques pour la gestion et la gouvernance des territoires » (SIIG3T)	AgroParisTech/ ENGREF, UM2, UM3
Bac+6	Mastère Spécialisé de la Conférence des Grandes Écoles	Systèmes d'informations localisées pour l'aménagement des territoires (SILAT)	AgroParisTech/ ENGREF, Montpellier SupAgro

Formations centrées sur d'autres thématiques dont des composantes significatives portent sur la thématique de « l'information spatiale »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac+3	Licence	Géographie et aménagement	UPVD
		Géographie et aménagement de l'espace	UM3
		Sciences de la terre et de l'environnement	UM2
		Sciences de la terre et de l'environnement	UPVD
	Licence professionnelle	Système d'information géographique orientée Web	UPVD
		Traitement de l'information géographique	UPVD
Bac+5	Ingénieur	Ingénieur agronome - Spécialisation « AgroTIC » (Technologies de l'information et de la communication)	Montpellier SupAgro ENITA Bordeaux
		Ingénieur agronome - Spécialisation « Territoires et ressources : politiques publiques et acteurs » (TERPPA)	Montpellier SupAgro
		Ingénieur agronome - Spécialisation « Gestion de l'eau, des milieux cultivés et de l'environnement » (GEME)	Montpellier SupAgro
		Ingénieur agronome - Spécialisation « Ingénierie de l'environnement : eau, déchets et aménagements durables »	AgroParisTech/ ENGREF
		Ingénieur forestier	AgroParisTech/ ENGREF
		Ingénieur de l'École des Mines d'Alès	EMA

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac+5	Master recherche	Hommes, paysages, territoires Spécialité « Dynamiques croisées des paysages et des territoires »	UPVD
		Territoires et sociétés, aménagement et développement (TSAD) Spécialité « Acteurs, développement et nouvelles territorialités » (ADNT)	UM3
		Territoires et sociétés, aménagement et développement (TSAD) Spécialité « Innovation et développement des territoires ruraux » (IDTR)	CIHEAM-IAM.M, Montpellier SupAgro, UM3
	Master professionnel	Biologie, géosciences, agroressources, environnement (BGAE) Spécialité « Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental » Parcours « Eau et environnement » (R2E)	AgroParisTech/ ENGREF, Montpellier SupAgro, UM1, UM2
		Biologie, géosciences, agroressources, environnement (BGAE) Parcours « Géorisques »	UM2
		Biologie, géosciences, agroressources, environnement (BGAE), Parcours „Gestion des littoraux et des mers“ (GLM)	UM1, UM2, UM3
	Territoires et sociétés, aménagement et développement (TSAD), Spécialité „Gestion des littoraux et des mers“ (GLM)	UM1, UM2, UM3	
Bac+7	Ingénieur spécialisé	Ingénieurs du Génie Rural des Eaux et des Forêts	AgroParisTech/ ENGREF

Les formations courtes qualifiantes

Les établissements d'Agropolis International, en particulier AgroParisTech dans le cadre de la Maison de la Télédétection, ont développé depuis une vingtaine d'années une offre de formation diversifiée et pérenne pour les professionnels et les personnels de la recherche souhaitant se familiariser avec les méthodes et les outils de l'information spatiale et les mettre

en œuvre dans différents champs thématiques.

Cette offre « catalogue » est complétée par la réponse à des demandes de prestations adaptées aux besoins spécifiques de tel ou tel organisme partenaire et s'accompagne de travaux d'ingénierie pédagogique permettant de formaliser les

démarches de formation et de diffuser des méthodes et des outils de formation à la géomatique. En particulier, le déploiement de technologies éducatives permet d'adapter les offres de formation aux contraintes et à la diversité des publics visés (formations ouvertes et à distance, personnalisation des processus d'apprentissage).

Établissement	Intitulé de la formation
AgroParisTech/ENGREF	Pratique des S.I.G. : méthodes et outils (ArcGIS) (5 j)
	Pratique des SIG : méthodes et outils (MapInfo) (5 j)
	Administration de données localisées (5 j)
	Conduite de projet SIG (4 j)
	Images et orthophotos dans les SIG (3 j)
	Modèles Numériques de Terrain (3 j)
	Représentation cartographique (3 j)
	Webmapping et services SIG en ligne (4 j)
	Prise en main du logiciel "Definiens Developer" (5 j)
	Langage UML : modélisation d'applications environnementales (5 j)
	MapServer / PostGIS par la pratique
	S.I.G. et logiciels libres : initiation (2 j)
	S.I.G. et logiciels libres : prise en main (2 j)
	Statistiques spatiales (5 j)
	Gestion participative des projets territoriaux : initiation à la facilitation (3 j)
	Gestion participative des projets territoriaux : apport des outils géomatiques (3 j)
	Cirad
CIHEAM / IAM.M	L'approche multiusage de l'espace – La clôture comme support pédagogique (formation de formateurs, formation semi à distance, 7 j)
Montpellier SupAgro	Les outils de l'aménagement (8 j)

Les formations à Agropolis International

Écoles doctorales en rapport avec le thème de « l'information spatiale »

D'une durée de trois ans, le doctorat sanctionne un travail de recherche dans un laboratoire. Tout étudiant s'inscrivant en doctorat est en outre rattaché à une école doctorale. Les écoles doctorales regroupent les unités de recherche ou laboratoires d'accueil autour de grandes thématiques.

Elles ont pour mission, outre l'encadrement scientifique direct des doctorants, d'offrir des compléments de formation apportés pendant les trois années de préparation de la thèse sous forme de séminaires et conférences scientifiques et de modules de formation. Ces modules ont pour but d'améliorer la formation scientifique des doctorants et de mieux préparer leur avenir professionnel.

Trois écoles doctorales sont concernées par la thématique de « l'information spatiale » :

L'école doctorale SIBAGHE compte environ 440 doctorants et s'appuie sur 45 unités de recherche qui lui sont rattachées, 350 encadrants et plusieurs équipes de recherche extérieures associées. Chaque étudiant de l'école doctorale SIBAGHE doit justifier du suivi de deux modules de formation scientifique et de deux modules d'ouverture professionnelle. L'école doctorale gère les inscriptions en thèse, assure le suivi des doctorants, veille au respect de la charte de thèse et organise les cours de thèse et aide à l'insertion professionnelle. Elle est assistée d'un conseil et gérée par un bureau.

Dans le domaine de l'information spatiale, l'école doctorale SIBAGHE accueille des thèses sur les méthodes de télédétection aéroportée et satellitaire, l'analyse spatiale et la modélisation spatialisée appliquées à l'eau, l'agriculture, l'environnement, les risques, la santé, etc.

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

L'école doctorale TTSD (Territoires, Temps, Sociétés et Développement) est une école de l'UM3 et l'UPVD. Elle concerne 14 équipes de recherche, plus de 200 enseignants chercheurs et près de 500 doctorants. Elle regroupe

Contacts et coordonnées

École doctorale « Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement » (ED SIBAGHE)
(UM2, Montpellier SupAgro, AgroParisTech, UAPV, UM1, UPVD)
Directeur : Bernard Godelle,
godelle@univ-montp2.fr
Secrétariat : joelle.lopez@univ-montp2.fr
www.sibaghe.univ-montp2.fr

École doctorale « Territoires, Temps, Sociétés et Développement » (UM3, UPVD)
(UM1, UM2, Montpellier SupAgro)
Directeur : Paul Pandolfi,
Paulpandolfi@aol.com
www.univ-perp.fr

École doctorale « Information, Structures, Systèmes » (I2S)
(UM2, UM1, UM3, UAPV)
Directeur : François Forest,
francois.forest@univ-montp2.fr
Secrétariat : Nadine Tilloy,
nadine.tilloy@lirmm.fr
www.edi2s.univ-montp2.fr

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

L'école doctorale SIBAGHE (Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement), est une école doctorale concernant les Sciences de la Vie et de la Terre. Elle est co-accréditée par AgroParisTech/ENGREF, Montpellier SupAgro, l'UM2, l'Université d'Avignon pour les Sciences agronomiques et environnementales, ainsi que par les universités UM1 et UPVD pour la génomique et le développement végétal, la microbiologie et la parasitologie.



© AgroParisTech

▲ *Formation aux logiciels spécialisés en traitement d'image et analyse spatiale, Maison de la Télédétection.*

treize doctorats, dont le doctorat « Géographie et aménagement de l'espace ». Les principaux axes de recherche comprennent entre autres :

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

Dans le domaine de l'information spatiale, l'école doctorale TTSD accueille des thèses sur l'analyse des dynamiques spatiales et temporelles des territoires et sur la place de l'information dans le développement territorial, à la fois en termes de définition et de mise en œuvre des politiques publiques et des modes de gouvernance et de concertation entre acteurs.

École doctorale « *Information, Structures, Systèmes* » (I2S)

L'école doctorale I2S (Information, Structures, Systèmes) est rattachée à l'UM2, avec la participation de l'UM1, UM3, de Montpellier SupAgro. L'Inra et le Cirad interviennent comme établissements associés. Cette école forme des doctorants dans un large domaine des sciences dures (Mathématiques, Mécanique, Physique, Sciences et Technologies de l'information) avec des échanges importants avec les sciences de la vie. Elle s'appuie sur 17 unités d'accueil reconnues dans chacune des disciplines.

Elle regroupe sept spécialités doctorales : biostatistique, électronique, informatique, mathématiques, mécanique et génie civil, systèmes automatiques et

microélectroniques, physique. L'école accueille actuellement plus de 440 doctorants.

Dans le domaine de l'information spatiale, l'école doctorale I2S accueille des thèses sur la conception de systèmes d'information à références spatiales ainsi que sur les méthodes de traitement d'image et de traitement du signal. ■

Liste des acronymes *et abréviations*

AgroParisTech	Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement
BRGM	Géosciences pour une terre durable
Cemagref	Institut de recherche finalisée pour la gestion durable des eaux et des territoires
Cepralmar	Centre d'études et de promotion des activités lagunaires et maritimes du Roussillon
Cerf	Centre d'essai de recherche et de formation
CEROPATH	<i>Community Ecology of RODents and their PATHogens in South-East Asia</i>
CIHEAM-IAMM	Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéenne - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNES	Centre National d'Études Spatiales
CNPq	<i>Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico</i> , Brésil
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
EA	Équipe d'accueil
ED	Ecole doctorale
EMA	École des Mines d'Alès
ENGREF	École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, école interne d'AgroParisTech
ENITA	École Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles
ENVISAT	ENVironnement SATellite (ESA)
EPHE	École Pratique des Hautes Études
ESA	<i>European Space Agency</i> , Agence spatiale européenne
ETP	Évapotranspiration potentielle
FRE	Formation de Recherche en Évolution
GEOSUD	GEOInformation for SUstainable Development
GPS	<i>Global Positioning System</i> / Système de géolocalisation par satellite
HH -HV	Polarisations de transmission et de réception : H horizontale, V verticale (radar)
IFR	Institut fédératif de recherche
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IGN	Institut Géographique National
Inra	Institut national de la recherche agronomique
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
InSAR	<i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IUT	Institut universitaire de technologie
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MODIS	<i>MODerate resolution Imaging Spectroradiometer</i>
Montpellier SupAgro	Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques
MSS	Multi-Spectral Scanner, capteur radiomètre multi-spectral du satellite Landsat
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
ONF	Office National des Forêts
PIR	Proche InfraRouge
Radar	<i>RAdio Detection And Ranging</i> / Détection et télémétrie par onde radio
ROSELT	Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme
SEAWifs	<i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i>
SIG	Système d'information géographique
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SYSCOLAG	SYStèmes CÔtiers et LAGunaires du Languedoc-Roussillon
TSIGANE	Technologies et système d'information géographique pour l'agriculture <i>via</i> internet
UAPV	Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
ULM	Ultra léger motorisé
UM1, 2, 3	Universités Montpellier 1, 2, 3
UMR	Unité mixte de recherche
UPR	Unité propre de recherche
UPVD	Université de Perpignan <i>Via Domitia</i>
UR	Unité de recherche
URP	Unité de recherche en partenariat
US	Unité de service

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

AgroParisTech/Engref	Ifremer
BRGM	Inra
Cemagref	INRIA
CIHEAM/IAM.M	IRD
Cirad	Montpellier SupAgro
CNES	Spot Image
CNRS	UM 1
EMA	UM 2
EPHE	UM 3
ESA	UPVD

Ainsi que : Cepharmar, CPS, EADS Astrium, Guyane Technopole, IFB, Institut Pasteur, IRA, MAP, MEEDAT, MNHN, ONEMA, ONERA, ONE, OSS, Région Réunion, Thales Alenia Space, UAG

Directeur de la publication : Bernard Hubert

Coordinateur scientifique : Pascal Kosuth (Cemagref)

Coordinateur Agropolis International : Patrick Bisson

Rédactrice scientifique : Isabelle Chaffaut (Cemagref)

Édition : Isabelle Amsellem (Agropolis Productions)

Iconographie : Isabelle Chaffaut, Nathalie Villemejeanne (Agropolis International)

Ont participé à ce numéro : Serge Andréfouët, Martine Antona, Nicolas Arnaud, Marc Audibert, Jean-Christophe Auffray, Yildiz Aumeeruddy-Thomas, Pierre-Alain Ayrat, Jean-Stéphane Bailly, Éric Barbe, Christian Baron, Pierre Bazile, Agnès Bégue, Véronique Bellon-Maurel, Anne Biarnes, Alain Billand, Alain Bize, Hervé Bohbot, Jean-Paul Bord, Aurélie Botta, Fabien Boulter, Christine Boutavin, Flavie Cernesson, Isabelle Chaffaut, Emmanuel Chassot, Marc Cheylan, François Colin, Yves Collos, Guillaume Cornu, Geneviève Cortes, Jean-François Cosson, Pierre Couteron, Philippe Cury, Sandrine Dalmar, William's Daré, Régis Darques, Jean Dauzat, Gilbert David, Geneviève Debussche, Pascal Degenne, Philippe Delacourt, Carole Delenne, Hervé Demarcq, Francine Delmas, Jean-Marc Deragon, Jean-Christophe Desconnets, Michel Deshayes, Jean-François Desprats, Michael Dingkuhn, Amadou Tamsir Diop, Vincent Dollé, Stéphane Dominguez, Anabelle Dos Santos, Michaël Douchin, Sylvie Durrieu, Katrin Erdlenbruch, Charly Favier, Jocelyne Ferraris, Nathalie Finot, Alex Franc, Patrice Garin, Laurent Gazull, Philippe Geniez, Pierre Gondard, Antonio González Ramos, Nathalie Gorretta, Sylvie Gourlet-Fleury, Frédéric Grelot, Hélène Guis, Pascal Handschumacher, Vincent Herbreteau, Younes H'mimsa, Frédéric Huynh, Christophe Jung, Andrés Jacome, Bruno Jaudon, Pascal Kosuth, Philippe Lagacherie, Nathalie Lamanda, Anne-Elizabeth Laques, Serge Lallemand, Nathalie Lamanda, Jean-Baptiste Laurent, Valentine Lebourgeois, Jean-Dominique Lebreton, Grégoire Leclerc, Michel Lecoq, Marie-Pierre Ledru, Camille Lelong, Guerric le Maire, Frédéric Leone, Jacques Lepart, Thérèse Libourel, Maud Loireau, Joëlle Lopez, Paulina Lopez, Miguel Lopez-Ferber, Danny Lo Seen, Paulina Lopez, Maillys Luye, Jacques Maillat, Florent Maraux, François Marques, Claire Marsden, Arnaud Martin, Pascal Marty, Pierre Maurel, Geneviève Michon, André Miralles, Jean-Marie Miossec, François Monicat, Serge Morand, Florent Mouillot, Mireille Mourzelas, Roger Moussa, Jean-Pierre Müller, Dominique Nicolas, Myriam Niel, Karen Nieto, Yann Nouvellon, Paul Pandolfi, Michel Passouant, Nicole Pasteur, Annie Pastoureaud, Elie Pélaquier, Michel Petit, Marie-Odile Petrusiak, Michel Peyret, Françoise Poitevin, Cécile Poussard, Laurent Prévot, Christophe Proisy, Gilles Rabatel, Michael Rabotin, Serge Rambal, Jean-Pierre Ratte, Vincent de Rudnicki, Hélène Rey-Valette, Thierry Rieu, Bruno Roux, Denis Ruelland, Bernadette Ruelle, Éric Servat, Nathalie Tardieu, Emilie Tewkai, André Teyssier, Pascal Thinson, Nadine Tilloy, Jérôme Tixier, Pierre Todoroff, Jean-Philippe Tonneau, Ibra Touré, Annelise Tran, Marc Troussellier, Céline Tschirhart, André Vaquer, Marc Voltz, Jacques Wéry

Corrections : Isabelle Chaffaut

Remerciements pour l'iconographie :

ESA, SPOT Image... «et tous les contributeurs au dossier»

Conception, mise en page et infographie :

Olivier Piau (Agropolis Productions)
agropolisproductions@orange.fr

Impression : Les Petites Affiches (Montpellier)

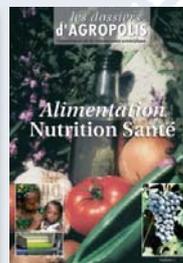
ISSN : 1628-4240 • **Dépot légal :** Janvier 2010



Déjà parus dans la même collection



Mai 2001
24 pages
Français et Anglais



Septembre 2005
60 pages
Français et Anglais



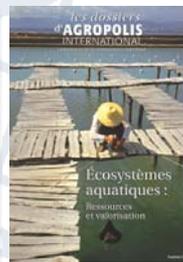
Novembre 2005
56 pages
Français et Anglais



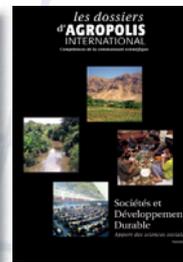
Mars 2007
60 pages
Français et Anglais



Mars 2007
64 pages
Français et Anglais



Octobre 2007
68 pages
Français et Anglais



Décembre 2008
68 pages
Français et Anglais



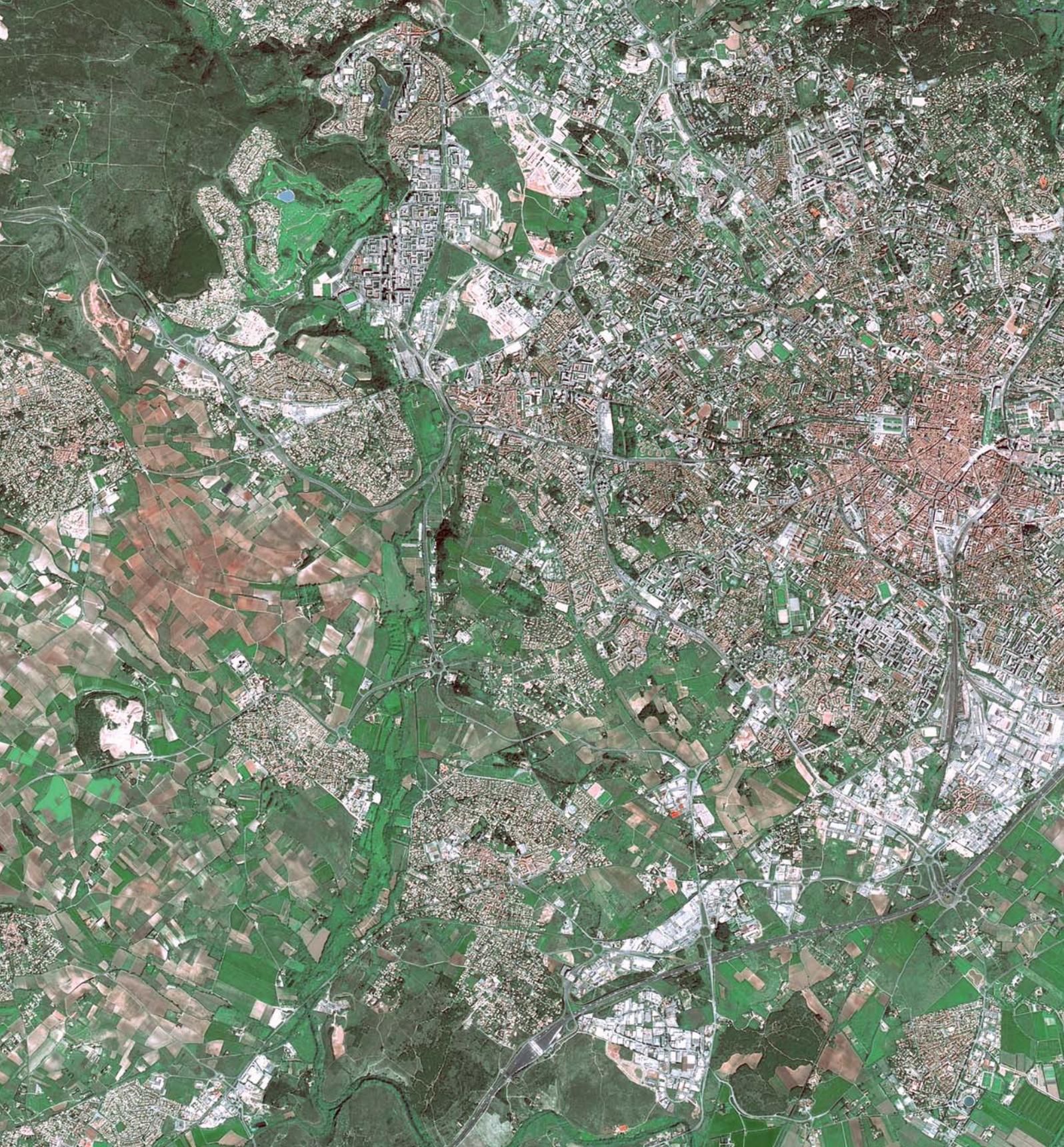
Juin 2009
52 pages
Français et Anglais

— Les dossiers d'Agropolis International —

La série des « dossiers d'Agropolis International » est une des productions d'Agropolis International dans le cadre de sa mission de promotion des compétences de la communauté scientifique.

Chacun de ces dossiers est consacré à une grande thématique scientifique. On peut y trouver une présentation synthétique et facile à consulter de tous les laboratoires, équipes et unités de recherche présents dans l'ensemble des établissements d'Agropolis International et travaillant sur la thématique concernée.

L'objectif de cette série est de permettre à nos différents partenaires d'avoir une meilleure lecture et une meilleure connaissance des compétences et du potentiel présents dans notre communauté mais aussi de faciliter les contacts pour le développement d'échanges et de coopérations scientifiques et techniques.



AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Avenue Agropolis
F-34394 Montpellier CEDEX 5
France

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

agropolis@agropolis.fr
www.agropolis.fr