

© 2009 CNES ; BD KALIDEOS ISLE-REUNION ; 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*

AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Extrait du dossier thématique d'Agropolis International
"Information spatiale pour l'environnement et les territoires"
(68 pages, février 2010)

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

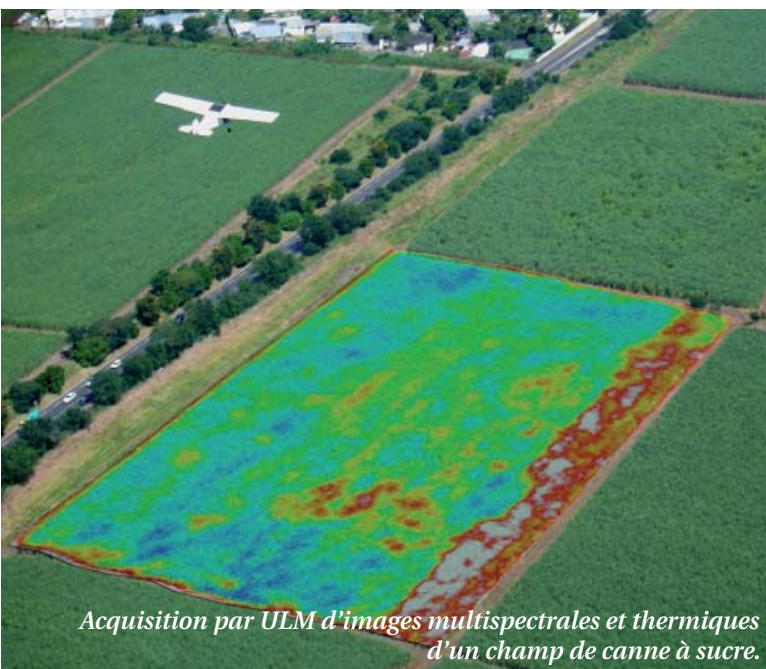
L'objectif général de l'**unité de service Expertise et SPAtialisation des Connaissances en Environnement (US ESPACE, IRD)** est de développer et mettre en œuvre des méthodologies de spatialisation des connaissances par télédétection et approches intégrées, depuis l'acquisition des données jusqu'aux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

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.

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

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 télédétection 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 Télédétection 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

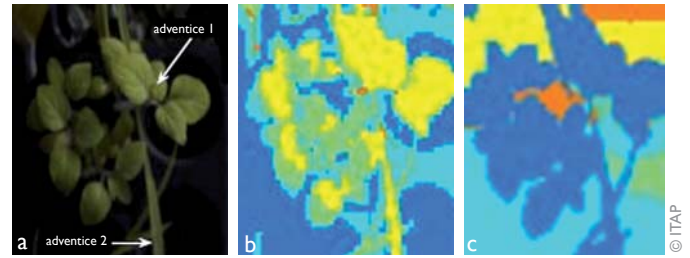
Traitement d'images hyperspectrales combinant les informations spectrales et spatiales

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

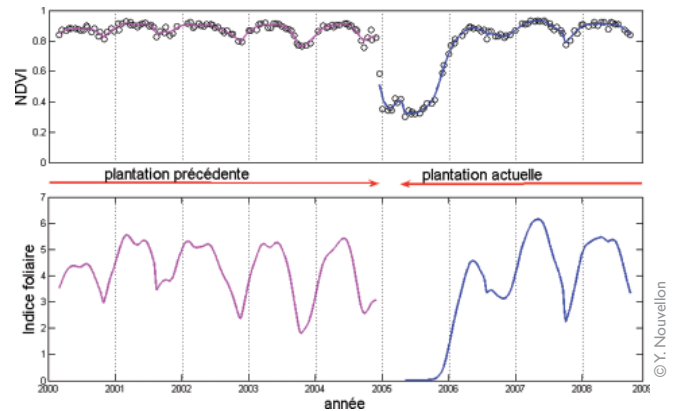
Pour répondre aux besoins croissants du marché, les écosystèmes tropicaux plantés doivent augmenter leur productivité à long terme, sans nuire à l'environnement. Or, les conditions environnementales et climatiques, les pratiques et les antécédents culturels peuvent avoir un impact majeur et durable sur 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

© A. Jacome



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

Les LIDARs (*Light Detection and Ranging*) sont des capteurs de télédétection actifs dont le principe repose sur l'émission-réception d'impulsions laser. Cette technique, traditionnellement utilisée en topométrie et météorologie, est prometteuse pour caractériser les surfaces continentales et océaniques, notamment depuis des plateformes aérospatiales. La capacité du LIDAR à pénétrer des milieux tels que l'eau et la végétation permet d'obtenir des informations complémentaires à celles issues du radar et de l'imagerie optique. Le signal issu de ces capteurs, traité suivant les principes de télémétrie, permet d'obtenir des données topographiques précises sur le terrain naturel, émergé ou faiblement immergé, et de décrire la structure tridimensionnelle de la végétation. Une forme plus complète du signal, l'onde retour d'une impulsion, peut également être exploitée, moyennant des algorithmes

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