

Capteur infra rouge « low cost » pour l'analyse spectrale des arbres et des plantes

**Action d'animation scientifique (12 à 18 mois)
atelier de réflexion scientifique pluridisciplinaire**

Porteur du projet : Gérard Subsol, CR CNRS, LIRMM
gerard.subsol@lirmm.fr <http://www.lirmm.fr/~subsol/>

Thématique principale : observation du vivant et de l'environnement – étudier et mettre en œuvre de nouveaux capteurs pour analyser des écosystèmes.

Partenaires NUMEV: IES (Philippe Christol), LIRMM (Gérard Subsol)

Autres partenaires : UMR AMAP¹ « Botanique et bioinformatique de l'architecture de plantes » (CIRAD/CNRS/INRA/IRD/UM2) – thème « Imagerie pour les Plantes et les Paysages »² (Philippe Borianne)

Description courte du projet :

Ce projet d'animation scientifique consiste à mettre en place un atelier de réflexion scientifique pluridisciplinaire afin de mettre en œuvre un capteur infra-rouge « low cost » pour l'analyse spectrale des plantes et de arbres. Ce projet rassemble des spécialistes en capteur (IES), en traitement de données visuelles (LIRMM) et en modélisation de plantes (CIRAD) afin d'étudier caractéristiques des dispositifs d'acquisition « low cost » à savoir, les conditions de prise de vue, les fonctions d'étalonnage de l'image par comparaison avec des données obtenues à l'aide d'une caméra infrarouge de référence, le traitement de l'image pour le calcul d'un indice de végétation et l'interprétation et la validation de cette nouvelle cartographie.

Financement demandé : 9 k€

- Matériel : achat d'une caméra IR pour avoir une image de référence : 2 k€
- Indemnités de 2 stages de Master 2 EEA/Informatique/Physique de 6 mois (1^{er} semestre 2015) : 2 x 3 k€
- Fonctionnement : organisation de réunions et contacts avec des laboratoires français 1 k€

¹ <http://amap.cirad.fr/fr/index.php>

² http://amap.cirad.fr/espace_i2p/

Description détaillée du projet

1. Contexte scientifique

La structure anatomique des feuilles joue un rôle très important dans la signature spectrale de la végétation. La chlorophylle possède deux bandes d'absorption dans le bleu (450 nm) et dans le rouge (660 nm) avec un maximum de réflectance autour du vert (550 nm). Si les pigments chlorophylliens absorbent la majeure partie du rayonnement visible qui leur parvient, ils sont en revanche totalement transparents au rayonnement de plus grande longueur d'onde. Le proche infrarouge traverse donc la feuille jusqu'à une couche cellulaire formée de cellules irrégulières et d'espaces intercellulaires dans lesquels sont stockés les gaz échangés entre la feuille et l'atmosphère, le mésophylle. C'est au niveau de cette couche, lieu d'échange entre l'oxygène et le dioxyde de carbone dans les processus de la photosynthèse et de la respiration, que le rayonnement proche infrarouge est fortement réfléchi. Il est d'autant mieux réfléchi que le mésophylle est bien développé.

La réflectance de la végétation varie non seulement en fonction des types de végétaux (les résineux par exemple, ont une réflectance moins importante que les feuillus dans le proche infrarouge) mais également selon le stade végétatif ou l'état de santé d'une plante. La signature spectrale de la végétation dans le visible ne varie pratiquement pas quelque soit le type de végétal. En revanche, on note des différences sensibles dans le proche infrarouge.

En télédétection, des indices de végétation reliant les caractéristiques de la végétation (teneur en eau, évapotranspiration, etc.) et les mesures radiométriques (réflectance, brillance) sont calculés pour cartographier les images. Ces indices s'appuient sur les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge.

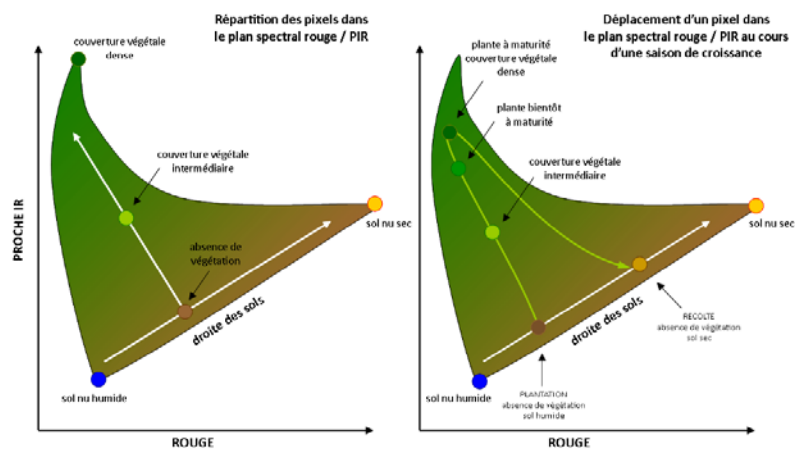


Figure 1 : répartition spectrale des réflectances dans le rouge et le proche infrarouge.

La dispersion des bandes spectrales rouge et proche infrarouge montre une répartition des valeurs de réflectance en forme de chapeau (fig. 1). La base du chapeau suit la bissectrice et représente la droite des sols, dépourvue de végétation. Plus la couverture végétale est dense, plus les valeurs de réflectance augmentent dans le PIR et plus elles diminuent dans la bande rouge. La droite des sols, dépourvue de végétation présente des réflectances qui varient en fonction de leur teneur en eau. La fig. 1-droite illustre le déplacement d'un pixel « végétal » dans l'espace multispectral rouge / PIR au cours d'une saison de croissance. Après la germination, la réflectance du pixel s'éloigne de la ligne des sols pour atteindre le sommet du chapeau. Après la récolte, le pixel retrouve une valeur de réflectance correspondant à un sol nu, éventuellement plus sec.

Du fait de ses coûts exorbitants et des problèmes techniques de recalage qu'elle soulevait, l'acquisition multi-spectrale est longtemps restée réservée à l'imagerie satellitaire. Aujourd'hui, l'apparition de dispositif plus simple et « low cost » permettent d'envisager de nombreux travaux sous un angle neuf. Par exemple, embarquer ces nouveaux capteurs sur des dispositifs mobiles pour des études précises de terrain est une perspective séduisante pour des organismes tels que le Cirad, l'Inra, l'Irstea (anciennement Cémagref), l'Ird.... De récentes études semblent bien montrer la fiabilité de ses systèmes [1,2] à l'échelle des peuplements (d'arbres) et atteste de leur fort potentiel pour les études menées à l'échelle de l'individu. Par exemple, pour les études fines portant sur l'incidence du changement climatique sur la santé des arbres [4], le proche infrarouge devrait permettre de mieux identifier les espèces atteintes, leur degré de dépérissement.

2. Problématique scientifique

Il s'agit d'étudier la transposition aux images terrestres³ PIR-Vert-Bleu des principes développés pour les images aériennes (PIR-Rouge-Vert-Bleu). Les premiers travaux sur ces capteurs ont bien montrés la similarité des résultats obtenus à partir d'images aériennes [2,3].

Mais les premiers résultats obtenus avec la Webcam Mercury développée par la jeune société Infragram⁴ sont plutôt mitigés. Il semblerait que l'utilisation des images « in situ » PIR-Vert-Bleu ne soit pas aussi simple. Par exemple, sur l'exemple ci-dessous, le signal semble être perturbé par la réflectance ambiante du signal infrarouge. En tout cas, la réponse du tronc est particulièrement délicate à exploiter.



Figure 2 : acquisition « in situ » infra-rouge. Gauche, image dans le visible (Rouge-vert-Bleu); centre haut, image obtenue avec une webcam Infragram (PIR-Vert-Bleu); centre bas, canal PIR ; gauche bas, canal bleu ; droite, approximation NDVI (Indice de Végétation Normalisé).

L'animation d'une réflexion autour de l'image « in-situ » Pir-Vert-Bleu impliquant à la fois des spécialistes des capteurs du spectre non visible (IES), du traitement des images (LIRMM) et des experts de la modélisation informatique de la plante et de l'arbre (CIRAD) semble

³ Prises en milieu naturel depuis le sol : les individus y sont vus par-dessous ou de côté (par opposition aux acquisitions aéroportées qui présentent des vues de dessus)

⁴ <http://store.publiclab.org/collections/diy-infrared-photography/products/infragram-webcam>

nécessaire. Celle-ci sera centrée sur la transposition des phénomènes physiques (notamment l'absence de sol), les caractéristiques des dispositifs d'acquisition « low cost » (notamment en termes de longueurs d'onde filtrées), l'incidence des conditions de prise de vue sur l'interprétation du signal infra rouge (en particulier l'effet de l'ensoleillement et du contexte ambiant), les fonctions d'étalonnage de l'image par comparaison avec des données obtenues à l'aide d'une caméra infrarouge de référence, le traitement de l'image pour le calcul d'un indice de végétation et l'interprétation et la validation de cette nouvelle cartographie.

3. L'apport du Labex NUMEV et les impacts scientifiques et socio-économiques

Il s'agit ici d'un sujet scientifique **nouveau, pluridisciplinaire**, qui comporte une **prise de risque** puisque les premiers résultats obtenus sont délicats à interpréter et qui nécessite de **fédérer** des équipes de recherche. Nous proposons donc de l'étudier à travers un atelier de réflexion qui s'étalera sur une période 12 à 18 mois et qui se fondera sur :

- Des interactions entre les trois partenaires afin de rassembler **un état de l'art** sur le sujet, vu à travers trois disciplines scientifiques (capteurs & physique, informatique, modélisation de la géométrie et du fonctionnement de la plante).
- Un élargissement de ces discussions au niveau des équipes de recherche locales. En particulier, des premiers contacts ont été pris avec le Département d'Ecologie Fonctionnelle du CEFÉ⁵ (CNRS/ULM2) et de l'axe « Capteurs Optiques de l'UMR ITAP⁶ (IRSTEA/Montpellier SupAgro). L'objectif est de pouvoir créer une **communauté de réflexion pluridisciplinaire au niveau de la Région Languedoc Roussillon**, de renforcer l'état de l'art et de mettre en place des **projets de plus grande envergure** (réponse à des appels d'offre ANR par exemple). Nous pourrions aussi nous appuyer sur les compétences des Labex Agro (*Agronomie et développement durable*), CeMEB (*Centre méditerranéen de l'environnement et de la biodiversité*) et CEBA (*Centre d'Étude de la Biodiversité Amazonienne*),
- Deux stages de Master 2 qui permettront de **concrétiser les premières réflexions**. Nous prévoyons un stage plutôt orienté capteurs/acquisition (master Physique ou EEA, avec un encadrement par l'IES) et un stage plutôt orienté informatique/traitement d'image et modélisation (master Informatique, avec un encadrement par le LIRMM).

Ce sujet concerne aussi le monde socio-économique. Par exemple, la société *Fruition Sciences*⁷, implantée à Montpellier, a approché le CIRAD pour son savoir-faire en cartographie d'images satellitaires. Elle fournit des outils d'expertise aux exploitants viticoles du Languedoc-Roussillon, de l'Aquitaine et de la Californie pour leur permettre de mieux gérer leur exploitation, et en particulier les ressources en eau. Leur expertise repose pour partie sur le couplage d'images aériennes NDVI produites par la société montpelliéraine *L'avion Jaune*⁸ et de capteurs hydriques installés sur les plants : mais elle souhaiterait élargir son potentiel d'expertise à partir d'images terrestres, localement plus précises et informatives.

⁵ <http://www.cefe.cnrs.fr/dptefonctionnelle/ecologie-fonctionnelle>

⁶ http://itap.irstea.fr/?page_id=656

⁷ (<http://www.fruitionsciences.com/>

⁸ <http://www.lavionjaune.fr/>

A noter que le LIRMM et le CIRAD travaillent déjà ensemble depuis de nombreuses années sur le traitement d'images et la modélisation des plantes et des arbres (co-encadrement de la thèse de Guilhem Brunel financé par NUMEV en particulier).

4. Bibliographie

[1] Mitch Bryson, Matthew Johnson-Roberson, Richard J. Murphy, Daniel Bongiorno, 2013, *Kite Aerial Photography for Low-Cost, Ultra-high Spatial Resolution Multi-Spectral Mapping of Intertidal Landscapes*, Plos one, •DOI: 10.1371/journal.pone.0073550

[2] Hunt, E.R., Jr.; Hively, W.D.; Fujikawa, S.J.; Linden, D.S.; Daughtry, C.S.T.; McCarty, G.W., 2010, *Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring*. Remote Sens. 2, 290-305

[3] E. Raymond Hunta, W. Dean Hivelya, Greg W. McCartya, Craig S. T Daughtrya, Patrick J. Forresta, Robert J. Kratochvilb, James L. Carrc, Nathaniel F. Allenc, Joseph R. Fox-Rabinovitzc & Christopher D. Millerc, 2013, *NIR-Green-Blue High-Resolution Digital Images for Assessment of Winter Cover Crop Biomass*, GIScience & Remote Sensing, Special Issue: Small-Scale Unmanned Aerial Systems for Environmental Remote Sensing, Volume 48, Issue 1, 86-98

[4] Choat, B., Bordribb, T.J. 2012. *Global convergence in the vulnerability of forests to drought*. In : Nature : 491, 752-755