

SOMMAIRE

Actualités	1
Présentation des CES	3
CES thématiques	3
CES régionaux	13

Mot des directeurs scientifique et technique

Les 16 et 17 septembre 2014 s'est tenu le premier séminaire des centres d'expertise scientifique (CES) de Theia au Cesbio à Toulouse.

Ce séminaire qui a rassemblé une quarantaine de participants issus de nombreux organismes officialise le démarrage des CES Theia. Il a permis de réaliser un état des lieux des principaux produits et services basés sur la télédétection spatiale et de mesurer la pertinence de ces produits et services par rapport à l'existant ou à ce qui est prévu dans d'autres programmes comme Copernicus par exemple.

Les animateurs des CES ont également montré leur volonté de jouer un rôle central dans l'animation des utilisateurs (scientifiques et acteurs publics) à l'échelle des régions, et de participer aux efforts de formation de la communauté.

Les CES sont abondamment décrits dans ce numéro.



Nicolas Baghdadi



Marc Leroy

ACTUALITÉS

Séminaire Theia-Geosud

Le Pôle Thématique Surfaces Contininentales Theia et l'Equipex Geosud organisent leur premier séminaire conjoint sur le thème « Les données spatiales au service de la communauté scientifique et des acteurs publics » les 1er et 2 juin 2015 à Montpellier.

Le but de ce séminaire est de présenter le potentiel de l'utilisation des images satellites à travers l'offre de produits et de services issues des Infrastructures de Données Spatiales de Geosud et de Theia. Des produits thématiques en développement dans les centres d'expertise scientifique de Theia seront également présentés. Retours d'expériences, tables rondes, ateliers thématiques se dérouleront sur les deux journées.

Nicolas Baghdadi - Pierre Maurel
(Tetis / Irstea)



Couverture Spot 6/7 complète de la métropole atteinte en 2014

Grâce aux satellites Spot 6/7 et aux efforts conjoints d'Airbus et de l'IGN, un beau challenge vient d'être atteint : « imager » la France en un an à 1,5m. Cette couverture annuelle offre des perspectives pour de nouveaux usages, fortement attendus par les utilisateurs, notamment en région.

Le Cnes, l'IGN et Irstea, via le projet Equipex Geosud, se sont accordés pour partager l'achat des images auprès d'Airbus et en faire bénéficier tous les utilisateurs institutionnels par des licences complémentaires.

Pour garantir un usage maximal, les acquisitions ont été spécifiées par l'IGN, programmées par Airbus et suivies conjointement pour valider au plus tôt les images conformes. Pour assurer la com-

plétude, les conditions d'acquisitions ont été légèrement relâchées en fin de période, le satellite Spot 7 étant arrivé à la fin de l'été.

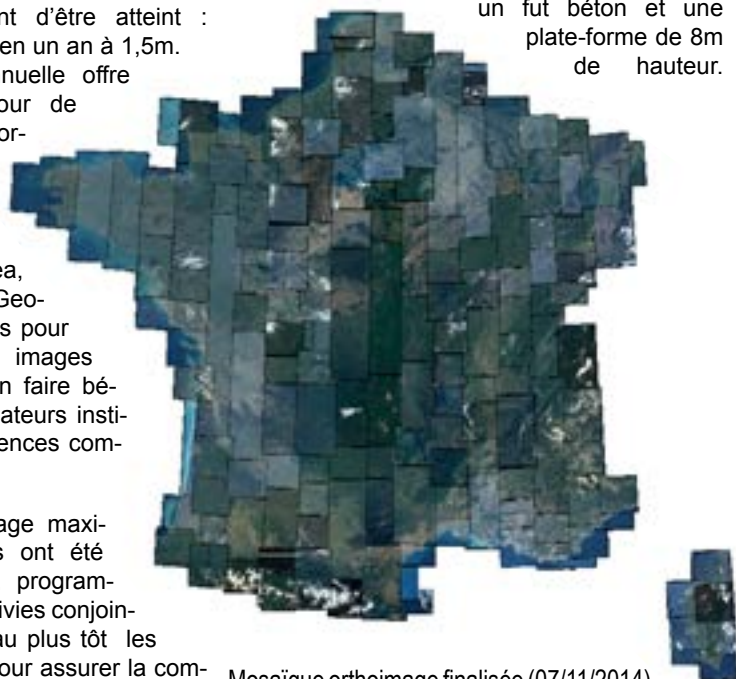
L'IGN a mis en place un processus permettant de disposer au plus tôt des couvertures et profiter ainsi de la fraîcheur de l'information : production des orthoimages au fil de l'eau, constitution de mosaïques régionales, publications sur le Geoportail.

Jean Paul Sempère (IGN)

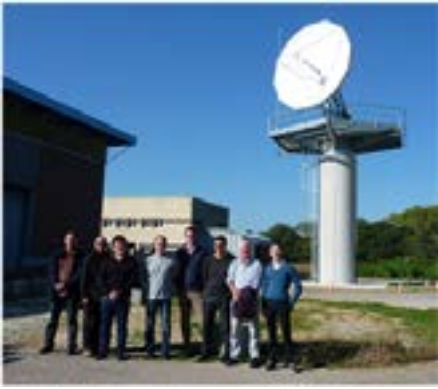
Dispositif mutualisé de réception satellitaire Geosud - Theia

L'installation du dispositif mutualisé de réception satellitaire Geosud - Theia s'est accélérée au cours de l'automne 2014, avec la livraison et la mise en opération de ses principaux composants : antenne de réception et terminal satellitaire. Des sessions de formation à leur manipulation se poursuivent jusqu'à la mi-décembre 2014, date à laquelle le dispositif, conformément au calendrier prévisionnel, pourra être considéré opérationnel.

L'antenne de réception, acquise par Irstea dans le cadre de la partie du projet Geosud financé par le CPER / Feder LR 2007-2013, est une antenne en bande X de 5,5 m de diamètre fixée sur un hexapode reposant sur une plate-forme de 8m de hauteur.



Mosaïque orthoimage finalisée (07/11/2014)



Dispositif de réception satellitaire © G. Pinget

Cette antenne est capable de recevoir et de formater le signal des missions satellitaires Spot 6/7, Landsat 8, Deimos 2 ainsi que d'autres missions moyennant des adaptations matérielles (Pléiades, CBERS4, COSMO-SkyMed). Un shelter abrite sur le site Irstea une partie des équipements, reliés par fibre optique à un poste de contrôle et monitoring dans une salle des opérations installée provisoirement dans le bâtiment actuel de la Maison de la Télédétection. Cette salle des opérations rejoindra à l'hiver 2015/2016 le nouveau bâtiment Geosud en cours de construction.

Le Terminal Spot 6/7 du dispositif mutualisé a été acquis par l'IRD à l'automne 2014 sur budget Equipex Geosud pour le compte des Consortiums Geosud et Theia, conformément aux expressions de besoin formulées par leurs instances dirigeantes. Connecté via le réseau informatique d'Irstea à l'antenne, le terminal permet de placer et piloter des programmations de satellite Spot 6 et/ou Spot 7, et de reconstruire des données images à partir du signal acquis et préformaté. L'équipement est composé d'un serveur, de la suite logicielle Spot, d'un centre de calcul (Blade center IBM 11 lames). Evolutive, l'architecture matérielle de l'équipement est conçue pour pouvoir accueillir des suites logicielles d'autres missions (Pléiades, TerraSAR-X/TanDEM-X, PASS, puis DMC2, Sentinelle1/2, Landsat 8). En salle des opérations, 3 postes déportés dédiés à l'opération du terminal et un poste supplémentaire dédié à la gestion des programmations et aux interactions avec Airbus Defense & Space complètent le PC de pilotage de l'antenne.

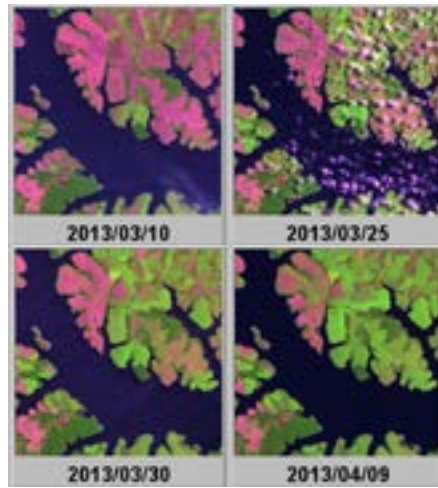
Doté de la capacité à planifier, recevoir, ingérer, cataloguer, traiter et livrer des flux d'images Spot 6/7 reçus en situation de réception directe ou indirecte, mais aussi de Spot 5 en situation virtuelle (Gerals), le dispositif Geosud/Theia livrera en temps réel les métadonnées issues des acquisitions au catalogue mondial ADS et au méta-catalogue Theia. Il alimentera l'infrastructure distribuée de données spatiales Theia, via Geosud, en produits images utiles aux différentes catégories d'usages et d'utilisateurs du dispositif.

L'effort actuel est porté sur la mise en place du contrat de télémessure Geosud-Theia, qui permettra une mise en opérations du dispositif au service des communautés institutionnelles. L'objectif est de démarrer la campagne d'acquisition 2015 à partir du début de mois de mars prochain.

Jean-François Faure (IRD)

Reconduction de l'expérience Take 5 avec Spot 5 au printemps 2015

Après le succès de l'expérience Spot 4 (Take 5), dont les données ont été téléchargées par plus de 600 utilisateurs différents, l'ESA et le Cnes se sont mis d'accord pour reconduire l'expérience Take 5 avec Spot 5, du mois d'avril au mois d'août 2014.



Extrait de la série temporelle Spot 4 (Take 5) obtenue sur le Paraguay

L'expérience Take 5 proposée par le Cesbio, consiste à utiliser la période de fin de vie des satellites Spot 4 et Spot 5 pour simuler les séries temporelles qui seront fournies par la mission Sentinelle 2 de l'ESA. Avant d'éteindre définitivement le satellite, le Cnes modifie l'altitude de l'orbite de Spot de quelques kilomètres pour donner au satellite un cycle orbital de 5 jours : pendant la durée de l'expérience, Spot passe donc au même endroit tous les 5 jours.

Lors de l'expérience Spot 4 (Take 5), 45 sites ont été observés tous les 5 jours, du 31 janvier au 16 juin 2013, sous des angles de prise de vue constants. Les données avaient été ortho-rectifiées et corrigées des effets atmosphériques puis distribuées par le pôle Theia à partir de chaînes développées au Cnes ou au Cesbio.

Dans le cas de Spot 5, c'est l'ESA qui va choisir les sites à observer, au travers d'un appel à proposition de sites qui doit être émis au cours du mois de novembre 2014.

Olivier Hagolle (Cesbio / Cnes)

Usage des couvertures annuelles Spot 6/7 pour suivre l'artificialisation des sols

L'objectif du projet « suivi de l'artificialisation des sols à partir d'images Spot 6/7 » est de cartographier la tache artificialisée en France et de la mettre à jour annuellement à l'aide d'images satellite Spot 6/7.

La méthode de production envisagée se base sur l'hypothèse suivante, à savoir qu'un objet anthropisé, une fois construit, est rarement détruit. Dès lors, les éléments anthropisés présents dans les Bases de Données IGN (BD TOPO®) sont intégrés dans la tache artificialisée. De même, les éléments non anthropisés provenant du RPG (Registre Parcellaire Graphique) sont pris en compte comme éléments non artificialisés. Une fois cette étape d'intégration des BD effectuée – on parle de « canevas de base » (Illustration 1) – la saisie des éléments restants est réalisée par un opérateur. Elle est facilitée par l'utilisation du logiciel pyram de segmentation d'image (Illustration 2) qui fournit une première interprétation de la scène Spot 6/7.

La méthode est actuellement calibrée au service IGN Espace (Illustration 3), sur le département des Hautes-Pyrénées qui sert également de laboratoire au projet OCS-GE.

Nicolas Champion (IGN)

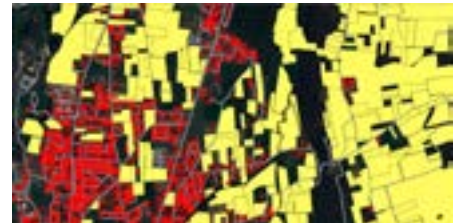


Illustration 1 : Réalisation d'un canevas de base, par intégration de la BD TOPO® (bâtiments en rouge et routes en gris) et du RPG (en jaune) sur une Image Spot 6 de la commune d'Aureilhan (65)



Illustration 2 : Aide à la photo-interprétation : segmentation de l'image en entrée avec l'outil pyram



Illustration 3 : Tache artificialisée produite, après labellisation des segments pyram par un opérateur

Les centres d'expertise scientifique Theia

Les centres d'expertise scientifique (CES) du pôle thématique surfaces continentales Theia sont des laboratoires ou regroupements de laboratoires menant des travaux de recherche et développant des méthodes innovantes autour des données satellitaires sur des problématiques « surfaces continentales ».



Réunion du CES régional Languedoc-Roussillon

Deux catégories de CES ont été définies :

- CES thématiques : ce sont des CES autour d'un produit à valeur ajoutée avec éventuellement des services associés à ce produit. Ce sont des CES mono ou multi-équipes, distribués sur une ou plusieurs régions. Exemple : CES occupation des sols, CES Albedo ...
- CES régionaux : ce sont des CES dont la mission principale est de fédérer, d'animer les utilisateurs (scientifiques et acteurs publics) à l'échelle des régions, et de participer aux efforts de formation de la communauté notamment sur des produits à valeur ajoutée développés dans les CES thématiques. Les CES régionaux devraient avoir une bonne interaction avec les CES thématiques.

De nombreux CES ont été formalisés par les animateurs et une description de leurs contributions au pôle Theia a été formalisée, comme le montrent les différents articles de ce bulletin. De plus, de l'expertise haut niveau est également proposée à la communauté scientifique sur les techniques de changement d'échelle (Agrégation/Désagrégation), et l'assimilation des données satellites dans les modèles d'écosystèmes terrestres (NDVI, Chlorophylle, Biomasse).

CES THÉMATIQUES

CES Réflectance de surface

Le CES réflectance de surface a pour objectif de fournir des séries temporelles de réflectance de surface à haute résolution, à partir des données des satellites Sentinelle 2, Landsat 5, 7 et 8, Venµs, ou encore des expériences **Take5** réalisées avec Spot 4 ou Spot 5. Il prend en charge deux types de produits, le **produit de niveau 2A** et le **produit de niveau 3A**.

Le produit de niveau 2A est un produit instantané, acquis en un seul passage du satellite, exprimé en réflectance de surface après **correction atmosphérique**, et accompagné d'un masque repérant les nuages, les ombres, la couverture neigeuse et l'eau. Ce produit devrait être le produit de base pour la plupart des applications de Sentinelle 2. Sa qualité est donc cruciale et d'importants efforts ont été menés depuis plusieurs années au Cesbio, avec le soutien du Cnes et du CNRS, pour obtenir une chaîne précise et robuste. Pour obtenir ce produit, la méthode MACCS (Multitemporal Atmospheric Correction and Cloud Screening) utilise une méthode originale basée sur le fait que les réflectances de surface varient beaucoup moins vite avec le temps que les effets atmosphériques (qu'il s'agisse des nuages ou des aérosols).

La chaîne de niveau 2A est déjà passée en production opérationnelle, pour traiter les données **Spot 4 (Take 5) en 2013**, ou **les données Landsat 5, 7 et 8** sur la France à partir de mai 2014. C'est pour l'instant une chaîne prototype, appelée MACCS et développée au Cesbio qui est utilisée par Theia pour produire les données, mais la version opérationnelle développée par CS-SI pour le Cnes va bientôt entrer en production.

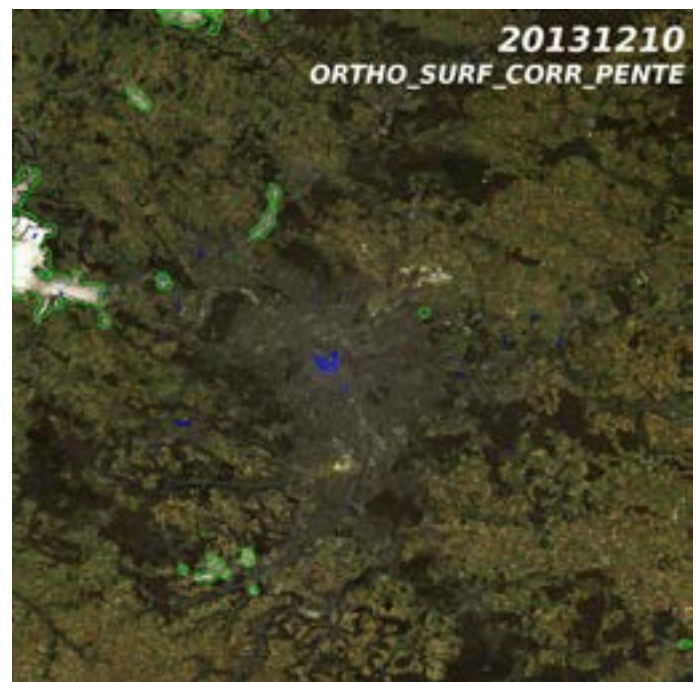
Le produit de niveau 3A est en cours de développement, même s'il en existe une version pour le satellite Venµs. C'est une synthèse mensuelle des produits de niveau 2A, fournissant pour chaque pixel, une moyenne pondérée des réflectances de surface pour les dates où ce pixel n'est pas nuageux. Le produit est destiné aux utilisateurs souhaitant limiter le volume de données à traiter ou dont les méthodes s'accommodent difficilement des absences de données dues aux nuages dans l'image.

Pour Sentinelle 2, les deux produits devraient être mis en production au sein de Theia sur une surface de 10 fois la France, à partir de 2016, à partir des produits de niveau 1C fournis par l'ESA.

Des discussions avec l'Union Européenne, l'ESA et le DLR ont lieu pour étendre cette production au reste du monde.

Même si le développement des produits est bien avancé, il reste une certaine marge d'amélioration, les travaux du CES pourront y contribuer en travaillant par exemple sur : i) la détermination du type d'aérosols, probablement à partir de modèles météorologiques, qui peuvent maintenant prédire la quantité d'aérosols de différents types, ii) des améliorations **du masque d'ombres de nuages** ou iii) **la correction des effets directionnels** pour le produit de niveau 3A. Ces travaux pourraient impliquer le Cesbio, le LSCE, le CNRM et tout autre laboratoire souhaitant rejoindre le projet.

Olivier Hagolle (Cesbio / Cnes)



Exemple de produit de niveau 2A, après correction atmosphérique, obtenu sur Paris à partir de Landsat 8. Les nuages détectés sont entourés en vert. Ces données sont disponibles sur le serveur du pôle Theia : <http://www.theia-land.fr>

CES Albédo

Le CES Albédo a pour vocation première de contribuer au calcul du bilan d'énergie à échelle fine. L'albédo de la surface est une variable clé pour les cycles de l'eau et du carbone. Il se décline en albédos spectraux correspondant à des bandes instrumentales, et aussi en albédos bande large définis pour des spectres standard (visible, proche infra rouge, solaire). L'albédo est le résultat de l'intégration angulaire de la réflectance sur la visée pour avoir l'albédo hémisphérique, puis sur l'éclairement pour avoir l'albédo bi-hémisphérique. Les albédos sont alors des quantités normalisées pouvant aussi être combinées pour dériver des indices de végétation utilisables par la communauté scientifique concernée par les changements du paysage.

Le CES Albédo vise à combler les besoins utilisateurs en matière d'albédo haute résolution (HR) spatiale, alors que la basse résolution (BR) spatiale est bien couverte par les projets de l'Union européenne et des agences spatiales. Les données d'entrée considérées dans un premier temps sont les images Landsat et Spot5 d'une résolution inférieure à 50m. Elles doivent servir à prototyper un algorithme de calcul de l'albédo pour être ensuite appliqué à Sentinelle 2 (S2) par le biais de collaborations entre laboratoires (CNRM, Cesbio, Inra) qui auront un rôle à jouer en matière de correction atmosphérique et de calcul d'albédo aux différentes échelles.

Des pistes méthodologiques à l'étude

L'utilisation de modèles statistiques de la Fonction de Distribution de la Réflectance Directionnelle (FDRB) est une voie possible ayant fait ses preuves avec les capteurs grand champ. Les derniers projets en date concernent la mission PROBA-V avec la résolution 300m dans le cadre du projet FP7/ImagineS (voir illustration) et la résolution 1km dans le cadre du service Global Land Copernicus. La FDRB de PROBA-V pourrait alors être utilisée pour contraindre les données S2 dans le futur. Une autre voie possible qui a déjà été validée pour le HR est de partir d'un code de transfert radiatif et de bibliothèques spectrales afin de réaliser l'apprentissage d'un réseau de neurones apte à simuler des albédos pour des tailles de parcelle répertoriées par S2. La convergence des approches sera un atout pour la mise en oeuvre de la méthode finale.

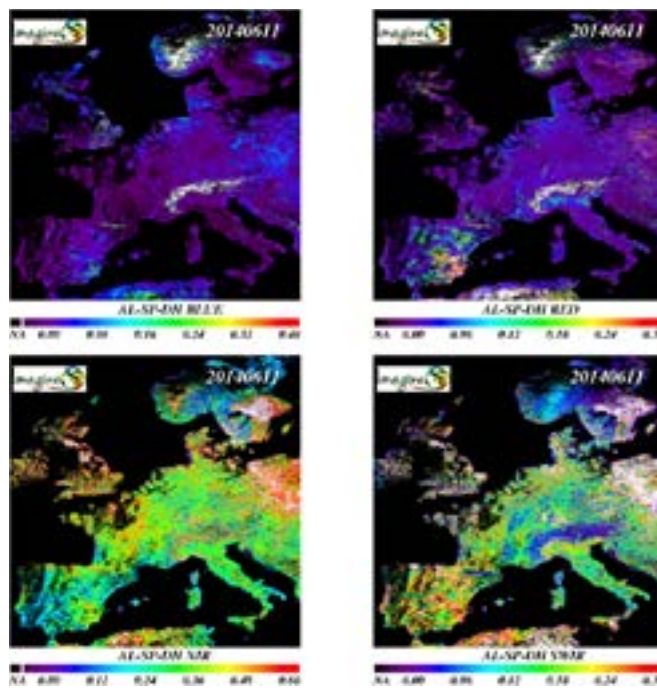


Illustration pour le 11 juin 2014 des albédos spectraux de PROBA-V à 300m de résolution.

Le produit albédo S2 aura une couverture globale et sera réalisé à la résolution nominale du capteur, soit entre 10m et 20m selon la prise en compte ou non de l'information moyen infra-rouge. Le produit aura une fréquence de mise à jour mensuelle avec S2a seul, ensuite améliorée lors de S2b en orbite de vol. Les données d'entrée nécessaires à la réalisation du produit sont toutes les bandes S2 du spectre solaire d'une résolution ne dépassant pas 20m. Les corrections atmosphériques s'appuieront sur des champs d'entrée issus du CEPMMT (Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme) pour la vapeur d'eau et l'ozone, et a priori sur les données MACC-II du service atmosphère de Copernicus pour les aérosols. La mise à disposition du produit ne pourra se faire avant l'été 2016 car il faut un cycle annuel de données S2 pour qualifier la méthode et valider le produit.

Jean-Louis Roujean (CNRM / Game UMR3589)

CES Occupation des sols

L'occupation des sols comprend la couverture (bio-)physique de la surface des terres émergées et le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'Homme. La mosaïque paysagère est cartographiée en identifiant les types homogènes de milieux (ex : zones artificialisées, zones agricoles, forêts ou landes, zones humides, etc.).

L'occupation des sols constitue un enjeu crucial pour beaucoup de travaux de recherche et pour de nombreuses applications

opérationnelles. En conséquence, il est nécessaire de mettre à jour de façon régulière et fréquente ces informations.

De la même façon, il est nécessaire de remonter dans le temps pour faire une analyse des tendances et proposer des scénarios d'évolution. L'imagerie satellitaire est une source d'information incontournable pour atteindre ces objectifs. Cependant, pour une disponibilité dans des délais raisonnables et avec une qualité suffisante, il est nécessaire de disposer de méthodes automatiques robustes et fiables, capables d'exploiter de façon efficace les données disponibles.



Carte d'occupation des sols obtenue avec des séries temporelles Landsat 5 et 7 des années 2010 produites par les chaînes de traitement Theia

Un produit sans équivalent

Le CES Occupation des sols opérationnelle a comme objectif la production de cartes à échelle nationale avec une nomenclature de 15 à 20 classes, une résolution spatiale entre 10m et 20m et une fréquence de mise à jour annuelle.

Les données nécessaires pour la génération de ce type de produit sont des séries d'images optiques multi-temporelles à haute résolution (de type Sentinelle 2), mais aussi des données auxiliaires de référence pour l'étalonnage des méthodes et la validation des produits.

Le type de produit visé n'a pas d'équivalent aux mêmes échelles spatiales ni temporelles (fréquence de mise à jour). Par exemple, **Corine Land Cover** a une fréquence de mise à jour beaucoup plus faible et les produits Copernicus ont des nomenclatures

simplifiées (**High Resolution Layers**) ou des étendues géographiques limitées (**Urban Atlas**).

En 2015 une chaîne de production de cartes d'occupation des sols répondant aux spécifications ci-dessus sera développée afin de réaliser des démonstrations sur des portions restreintes du territoire français en 2016. Il est envisagé de construire une chaîne capable de produire l'occupation des sols sur toute la France à l'horizon 2017. D'autres CES produits en développement devraient contribuer à raffiner les classes d'occupation du sol, on peut citer notamment le CES Urbanisation - Artificialisation pour les zones urbaines ou le CES Cartographie phytosociologique de la végétation naturelle pour les milieux naturels.

Jordi Inglada (Cesbio / Cnes) - Samuel Alleaume (Tetis / Irstea) - Anne Puissant (A²S / Unistra)

CES Variables biophysiques végétation

Les variables principales considérées sont l'indice foliaire (GAI, Green Area Index), la fraction de rayonnement photosynthétiquement actif absorbé par les parties vertes du couvert et le taux de couverture. Ces variables sont indicatrices de l'état du couvert en particulier la dynamique et peuvent être intégrés dans des modèles de fonctionnement de la végétation.

Deux types de produits à développer

Longues séries temporelles globales à résolution kilométrique. Il s'agit d'exploiter l'archive AVHRR qui a récemment été traitée par E. Vermote (NASA GSFC) qui fournit le produit LTDR (version 3) de réflectance de surface sur la période 1981-2014. L'algorithme développé s'appuie sur les produits GEOV2 (Geoland2/ Copernicus) utilisant en entrée les observations de Vegetation.

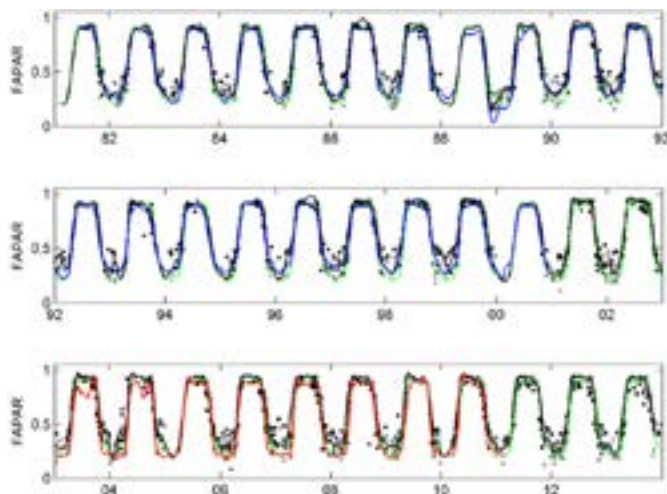


Illustration 1. Profils temporels de FAPAR obtenus à partir de la version AVHRR/LTDR3 sur un site caractérisé par une forêt décidue (39.5°N, 80.5°W)

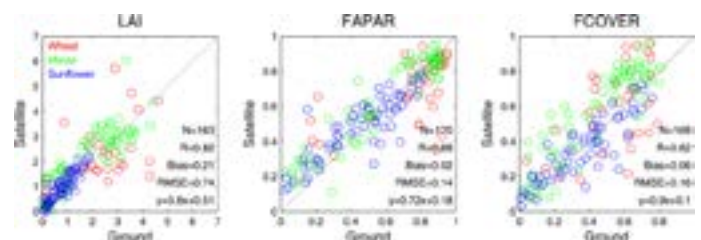


Illustration 2. Comparaison entre mesures au sol et produits Landsat 8 / Spot 4 sur le site sud-ouest de la France.

Le produit couvrira l'ensemble du globe, au pas de temps de 10 jours sur la période 1981-2014 et à une résolution de 5 km. Il est conçu pour être très cohérent avec le produit GEOV2. Il devrait être disponible dans le courant de 2015. Ce produit global couvrant une longue période temporelle de plus de 33 années permettra d'identifier d'éventuelles tendances liées au changement global et d'étudier les anomalies en relation avec le climat. (Illustration 1)

Suivi décimétrique régional. Il s'agit ici d'exploiter les capacités de revisite des capteurs décimétriques de Landsat 8 (résolution de 30m) et de Sentinelle 2 (résolution de 10 à 20m). L'algorithme nécessite en entrée les données de réflectance de surface (voir l'article d'Olivier Hagolle p.3). Les réflectances de surface sont transformées en variables biophysiques en utilisant un algorithme générique développé à partir de simulations de modèles de transfert radiatif. Les premiers résultats de validation montrent d'assez bonnes performances d'estimation (Illustration 2). L'algorithme pourrait être appliqué dans un premier temps à un certain nombre de sites incluant des paysages agricoles (sites JECAM en particulier) ainsi que des sites utilisés pour mesurer les flux de carbone et d'eau. Outre la contribution à une meilleure connaissance de la dynamique de la végétation et de sa variabilité spatiale, ces données contribueront à valider l'algorithme par comparaison à des mesures au sol. Les premières évaluations pourront être disponibles fin 2016, après quelques mois d'activité de S2. Ce projet est une extension du projet FP7 ImagineS.

Frédéric Baret (Emmah / Inra)

CES Evapotranspiration

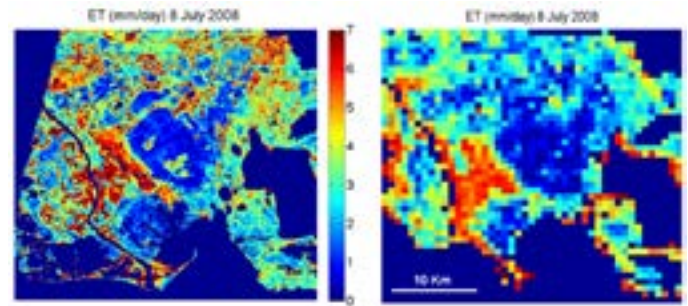
En raison des tensions croissantes sur la ressource en eau à l'échelle du globe, il est nécessaire de mieux quantifier et suivre la consommation hydrique des surfaces agricoles (évapotranspiration). L'intérêt potentiel est une meilleure gestion des apports à l'échelle de périmètres irrigués ou une évaluation des risques de stress hydrique en zone d'agriculture pluviale. A l'échelle de bassins versants, l'enjeu est une meilleure connaissance des flux, par exemple les pompages dans les nappes, pour une meilleure gestion de la ressource. Enfin, l'évapotranspiration est une information déterminante pour appréhender le bilan hydrique régional et pour les analyses climatiques.

Les produits évapotranspiration ne sont actuellement disponibles de manière systématique qu'à basse résolution et/ou pour des intégrations temporelles au mieux de l'ordre de la semaine (ex: produit MOD16, 1 km, tous les 8 jours) ; leur validité est de plus questionnable. Dans le cadre de ce CES, plusieurs types de produits sont envisagés, d'une part des cartographies périodiques de l'évapotranspiration à partir d'images thermiques à résolution hectométrique (Landsat 8, au mieux tous les 16 jours) ou kilométrique (Modis, tous les jours), et d'autre part des cartographies journalières de l'évapotranspiration à haute résolution spatiale (10-30m) à partir d'images de réflectance (Spot, Sentinelle 2, Landsat 8...).

Une approche basée sur des images gratuites

Les produits basés sur les images thermiques Landsat et MODIS reposent sur des modèles de bilan d'énergie de la surface utilisant en entrée la température de surface, des informations sur la végétation comme l'albédo et l'indice foliaire, et les rayonnements incidents. A basse résolution, ces informations sont actuellement disponibles auprès de plusieurs sources de données (Copernicus Land Monitoring Services, Modis products, LSA-SAF). Les algorithmes développés fournissent des cartographies d'évapotranspiration associées à des cartographies d'incertitudes aux dates d'acquisition des images. Un outil pré-opérationnel est d'ores et déjà disponible qui pourrait être déployé sur des zones d'études particulières d'ici fin 2015.

Pour les produits issus d'images en réflectance, la méthode envisagée consiste à faire fonctionner un modèle de type Transfert Sol Végétation Atmosphère simplifié basé sur la méthode FAO-56, qui permet de générer des estimations d'évapotranspiration et le cas échéant des estimations des lames d'irrigation. Dans ce modèle, la quantité de végétation active présente au sol, déterminant majeur de l'évapotranspiration, sera renseignée par des séries temporelles d'images Sentinelle 2 (images corrigées en réflectance sol, 15m). Le modèle nécessite également en entrée des données météorologiques journalières issues d'un réseau de stations au sol ou de sorties de modèles météorologiques (pluie, température, humidité, vent, rayonnement). Il est également nécessaire de disposer d'une cartographie de l'occupation du sol en temps quasi réel et régulièrement actualisée, avec identification des zones irriguées. Compte tenu des besoins de calibration et validation spécifiques des types de végétation et pratiques agricoles, notamment les pratiques d'irrigation (techniques, fré-



Cartographie de l'évapotranspiration journalière obtenue à partir d'images thermiques au moyen de la chaîne EVASPA sur la zone Crau-Camargue : Landsat 7 à gauche (résolution 60m) et Modis à droite (résolution 1km). Les images sont centrées sur la Crau sèche (43,5°N - 4,9°O).

quences, doses), le produit pourrait être mis à disposition progressivement à l'échelle des régions agricoles. A terme, une évolution majeure du modèle est prévue consistant à assimiler ponctuellement des images thermiques haute résolution issue de la méthode précédente, ou bien des images SAR haute résolution (Sentinelle 1) afin de mieux contraindre l'humidité du sol.

Compte tenu des données nécessaires selon les approches considérées, le CES évapotranspiration est dépendant des CES réflectance, albédo, occupation du sol, surface irriguées, humidité du sol. Une future mission thermique haute résolution (projet Thirsty) sera également d'un grand intérêt pour améliorer les différents produits.

Vincent Simonneaux (Cesbio/IRD) - Gilles Boulet (Cesbio/IRD)
Dominique Courault, Albert Oliosio (Emmah - UAPV / Inra)

CES Surfaces irriguées

La connaissance des surfaces irriguées est une donnée essentielle pour les gestionnaires de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. En effet, elles peuvent consommer jusqu'à 80% des ressources en eau mobilisables. En France, les surfaces irriguées sont passées de 500 000 ha en 1970 à 1 576 000 ha en 2000 (Recensement général de l'agriculture, 2000), puis se sont stabilisées, représentant aujourd'hui 5.8% de la SAU (Surface Agricole Utile) en 2010. Environ 60% des surfaces irriguées sont localisées dans le quart Sud-Ouest de la France. Les gestionnaires ne disposent pas d'outil leur permettant de connaître précisément les surfaces irriguées. Disposer de cartes de surfaces irriguées en début, en cours et en fin de campagne d'irrigation pourrait leur permettre de mieux gérer la demande en eau d'irrigation qui est devenue un enjeu crucial notamment lors d'épisodes de forte sécheresse, comme on en rencontre actuellement, 1 année sur 5 dans la région Midi-Pyrénées.

La distinction entre cultures irriguées et cultures pluviales est un défi. Par exemple, le récent produit occupation du sol issu de Meris (CCI LandCover) parvient à identifier les grandes régions irriguées (delta du Nil, bassin de l'Indus...) mais nous avons constaté que de nombreuses zones irriguées comme le bassin du Lerma au Mexique, le Sud-Ouest de la France ou le Tensift au Maroc ne sont pas détectées.



Exemple de l'intérêt de l'imagerie thermique. A gauche, une composition colorée Landsat (TM 3, 4, 7) sur la plaine du Haouz (Maroc), au centre le NDVI et à droite l'image thermique correspondante. Par rapport à la composition colorée et au NDVI, la température accentue le contraste entre les périmètres irrigués (sombres donc froids) et les zones de culture pluviale (claires donc plus chaudes).

Des cartes à haute résolution spatiale

Nous proposons ici de développer des méthodes permettant de fournir des cartes de surfaces irriguées/non irriguées à haute résolution spatiale (résolution décimétrique) à une fréquence bi-mensuelle (voire décadaire). L'enjeu est d'arriver à développer des approches à la fois simples et robustes qui soient valides sur différents territoires et applicables en opérationnel. L'originalité de l'approche consiste à combiner l'information issue d'images multi-longueurs d'ondes à hautes résolution spatiale et temporelle, qui sont ou seront très prochainement disponibles gratuitement sur l'ensemble du globe : Landsat8, Sentinelle 1 et Sentinelle 2. L'exploitation combinée d'indices de végétation optiques (NDVI), d'humidité du sol par imagerie radar et de températures de surface par imagerie thermique associés à l'utilisation de modèles SVAT (Sol Végétation Atmosphère) simplifiés devrait permettre de fournir un produit novateur répondant aux besoins des gestionnaires de l'eau.

Des images Spot 4 ont été acquises en 2013 dans le cadre de la campagne Spot 4 (Take 5) sur le Sud-Ouest de la France, le bassin du Tensift au Maroc, et la plaine irriguée de Kairouan en Tunisie. En 2015, une nouvelle campagne d'acquisition d'images Spot 5 est prévue sur ces mêmes sites. Des données de validation sont également disponibles sur ces zones ainsi que les données de Landsat. Nous proposons donc, d'évaluer les méthodes développées à l'aide de ce jeu de données unique. L'applicabilité de ces méthodes pourra ensuite être testée lors de la pleine disponibilité des données Sentinelle 1 et 2. Pour ce travail nous avons besoin de produits de niveau 2A.

Les produits fournis pourront également être utilisés pour évaluer les cartes d'utilisation des sols moyenne et basse résolutions fournies par la FAO (FAO GMIA), la Goethe University (Mirca 2000), la Nasa (Modis) et l'ESA (CCI LandCover).

Valérie Demarez (Cesbio / UPS)
Michel Le Page, Vincent Simonneaux (Cesbio / IRD)
Vincent Rivalland (Cesbio / CNRS)
Mehrez Zribi (Cesbio / IRD)

CES Cartographie numérique des sols

Le CES « cartographie numérique des sols » a pour objectif de fédérer les efforts des laboratoires de recherche français développant des approches de cartographie numérique des propriétés pérennes des sols. Ces propriétés sont nécessaires pour l'aide à la décision et la modélisation spatialisée des surfaces continentales dans les domaines d'activité où le sol joue un rôle clé (agronomie, environnement et écologie). La définition précise des objectifs repose sur des spécifications définies à l'échelle mondiale dans le cadre du projet international « GlobalSoilMap ». Il s'agit ainsi d'estimer aux nœuds d'une grille de maille 100m, un ensemble de propriétés de sol d'intérêt majeur (granulométrie 3 fractions, pH, Carbone Organique, CEC, profondeur, Densité Apparente, Réserve Utile), sur six intervalles de profondeurs (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 et 100-200cm) et avec une indication quantifiée du degré d'incertitude des estimations produites (estimations délivrées sous la forme d'intervalle de confiance à 90%).

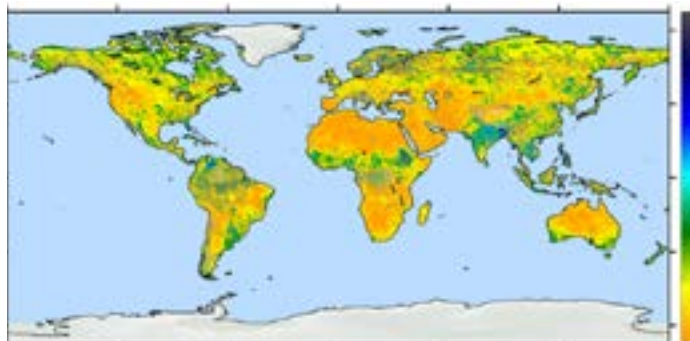
La démarche générale repose sur l'utilisation de modèles de fouilles de données (ex : Random Forest, SVM,...) et/ou de géostatistiques (krigeage, régression krigeage,...) utilisant des covariables du sol dont les spatialisations sont aisément disponibles. Ces covariables concernent soit des facteurs potentiels de formation du sol (climat, relief, roche mère) soit des facteurs fortement influencés par la nature du sol (végétation, occupation du sol). Les modèles ainsi alimentés sont calibrés à partir d'une vérité terrain correspondant à des sites ponctuels ou des délimitations d'unités de sol où les propriétés des sols sont mesurées. En fonction du niveau d'opérationnalité atteint par les recherches en cartographie numériques des sols, deux étapes de développement sont envisagées.

Etape 1 : utilisation de sources de covariables du sol aisément

CES Humidité des sols

Le contenu en eau des sols est une variable très importante pour de nombreuses applications allant de l'hydrologie à la prévision du temps ou le suivi du climat. La quantité d'humidité superficielle des sols conditionne les échanges d'eau et d'énergie entre le sol et l'atmosphère de notre planète. Connaître l'humidité superficielle est crucial pour pouvoir suivre la répartition et l'évolution de nos réserves en eau. Cette connaissance nous aidera à évaluer l'ensemble des composantes terrestres du cycle de l'eau et ainsi à mieux gérer cette ressource.

Pour arriver à satisfaire cet objectif, Smos utilise un concept très novateur d'interférométrie (1,4 GHz). Le capteur acquiert des signatures angulaires d'émissivité des surfaces par tous les temps avec les quatre paramètres de Stokes et deux fois par jour (environ 6 et 18 h solaire). Ces signatures en température de brillance peuvent être inversées afin de donner une mesure de l'humidité superficielle avec une résolution de 43 km

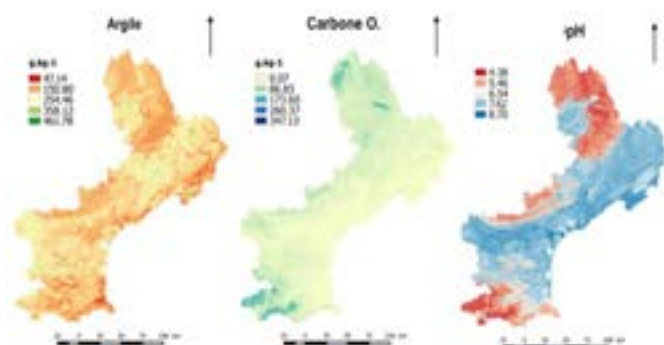


Carte d'humidité superficielle composite pour la période du 27 au 28 juillet 2013 obtenu par Smos. Chaîne Niveau 3 CATDS. Crédits Cesbio CATDS (Cnes Ifremer)

disponibles à l'échelle nationale (sorties de modèles climatiques, MNT et dérivées, images d'occupation du sol, images numérisées de cartes géologiques) associées à des données pédologiques anciennes déjà disponibles dans les bases de données actuelles. Pour cette étape un guide méthodologique ainsi que des procédures de développement pourraient être produits d'ici 2016.

Etape 2 : Utilisation de données de télédétection pour augmenter la densité de caractérisation des propriétés de sol (et donc les performances des modèles) en association avec les covariables pré-citées. Les images de télédétection visées sont des images Vis-SWIR et LWIR hyperspectrales et multi-spectrales ainsi que des images de gamma-radiométrie aéroportée. Des recherches en cours dans les laboratoires devraient déboucher sur des réalisations opérationnelles synchrones avec la mise à disposition de nouvelles données satellitaires en 2018, notamment hyperspectrales (ENMAP).

Philippe Lagacherie (Lisah / Inra)



Trois exemples de cartographie numérique de propriétés de sols sur la région Languedoc-Roussillon (intervalle de profondeur 5-15 cm). (d'après Vaysse et Lagacherie, 2014, Geoderma Regional)

en moyenne, et cela tous les trois jours au plus. Ces acquisitions multi-angulaires permettent en outre d'accéder au contenu en eau de la végétation, ou aux caractéristiques de gel/dégel sur les terres. Après traitement on peut les utiliser pour estimer l'eau dans la zone racinaire et, par ce biais, un indice de sécheresse (produits opérationnels). Il existe d'autres produits (pourcentage de surface en eau libre, risques d'inondations, ...) qui sont en cours de validation ou en cours d'implémentation comme les champs d'humidité désagrégés (résolution 1 km).

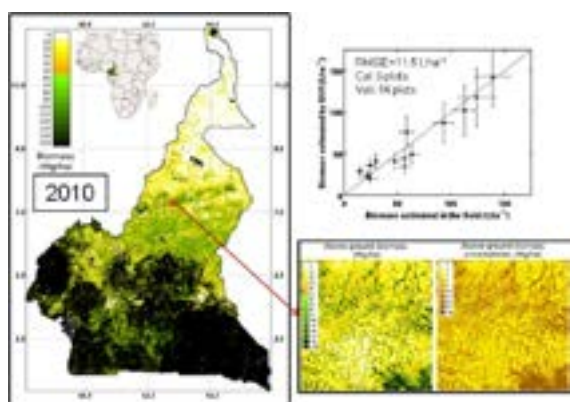
Une plateforme ouverte à tous

Actuellement ces produits sont élaborés et testés au Cesbio sur la plateforme de recherche (centre d'expertise scientifique humidité – CES-SM) du CATDS (Centre Aval des données Smos – Cnes-Ifremer). Plateforme ouverte à toute personne voulant tester de nouveaux produits. Une fois prototypés, validés et agréés par le Comité de Pilotage ces produits sont implémentés de façon opérationnelle sur le centre de production du CATDS à Brest (Ifremer). Le pôle thématique Theia offrira aux utilisateurs un lien direct à cette base de données. Les données actuellement disponibles sont au format NetCDF et dans une grille EASE-grid-2 avec un échantillonnage à 25 km. Il y a des données journalières et des composites sur 3 ou 10 jours et des synthèses mensuelles. Les principales données, outre les températures de brillances multi-angulaires, sont les champs d'humidité superficielle, de constante diélectrique et d'opacité de la végétation. En cours d'implémentation, il y a des humidités dans la zone racinaire, des indices de sécheresse et des champs d'humidité à 1 km sur certaines tuiles Modis. En développement, il y a des champs d'humidité désagrégée à 100m sur certaines zones, des indicateurs de risques d'inondation, des cartes de fraction en eau libre etc...

Yann Kerr (Cesbio / Cnes)

CES Biomasse forestière et changement de couverture forestière

Le produit biomasse correspond à une cartographie des estimations de biomasse aérienne (Above Ground Biomass AGB, en tonnes par hectare) des formations végétales, majoritairement ligneuses, contenues dans chaque cellule de résolution. Le produit biomasse issu de télédétection est obtenu à partir des données radar. Le produit actuel, dérivé des données radar en bande L (Alos/Palsar et Alos 2), est limité à 150 tonnes/ha. La méthode utilisant Alos/Palsar développée au Cesbio a été appliquée sur plusieurs endroits (Cameroun, Afrique australe, Vietnam, France) et sera testée avec les données de Alos 2. En attendant le SAR bande P de la mission Biomass qui fournira en 2020 les estimations de biomasse jusqu'à 500 tonnes/ha, le produit actuel couvre les forêts à faible biomasse, les plantations et les savanes arborées, jusqu'ici négligées dans les bilans de carbone. L'enjeu scientifique est donc très important dans l'évaluation du rôle de la forêt comme puits et source de carbone. L'enjeu est aussi d'ordre économique, avec le développement d'un marché mondial du carbone.



Carte de biomasse des savanes arborées du Cameroun en 2010 (gamme de biomasse aérienne : 0-150 tonnes/ha). En bas à droite : détail d'une zone de 10 km x 10 km, cartes de biomasse et d'incertitudes en biomasse. En haut à droite : Résultats de validation.

Deux types de capteurs pour deux types de méthodes

Le produit couverture forestière est obtenu à partir de 2 types de capteurs : 1) à partir des données de Palsar ou Alos 2 en segmentant les cartes de biomasse à partir d'un seuil défini en accord avec la définition de la forêt adoptée par chaque pays. Son changement dans le temps fournit l'information sur la déforestation, la dégradation des forêts et le recrû forestier ; 2) à partir des séries temporelles denses de Sentinelle 1 sur des zones critiques de déforestation et dégradation, en utilisant un algorithme de détection des changements. La cartographie précise de ces changements est utilisée pour répondre aux besoins de REDD (Reduced Emissions through Deforestation and Degradation), programme des Nations Unies qui demande aux pays de compenser les émissions de carbone dont ils sont responsables.

Pour le produit biomasse la résolution est de 25m aux différentes échelles Région/Pays/Mondial et 20m sur des sites 'hot spot' de déforestation et de dégradation. De manière optimale, le produit biomasse est à renouveler annuellement et le produit changement de couverture forestière 2 fois par an.

Les données Alos/Palsar à 25 m à l'échelle mondiale sont disponibles avec une couverture par an pour 2007, 2008, 2009, 2010. Pour Alos 2 lancé en Mai 2014, des données acquises dans le cadre du programme 'Kyoto and Carbon initiatives' de la Jaxa seront disponibles à partir de 2015. La série temporelle des données Sentinelle 1 à 10m de résolution sur des zones 'hotspot' est également nécessaire au produit. Les principales données auxiliaires comprennent le DEM à 30m issu de SRTM en 2015 et les cartes d'occupation du sol disponibles dans divers programmes.

Les méthodes utilisant Alos/Palsar déjà validées seront disponibles en 2015. La méthode utilisant Alos 2 et Sentinelle 1 après validation, le sera probablement fin 2015. Seront en outre mis à disposition des résultats cartographiques validés et publiés. Le développement des méthodes s'effectuent en liaison avec les programmes suivants : Global Forest Observation Initiatives (GFOI), REDD+, UNREDD, Kyoto et Carbon Initiatives (Jaxa), GlobBiomass (ESA).

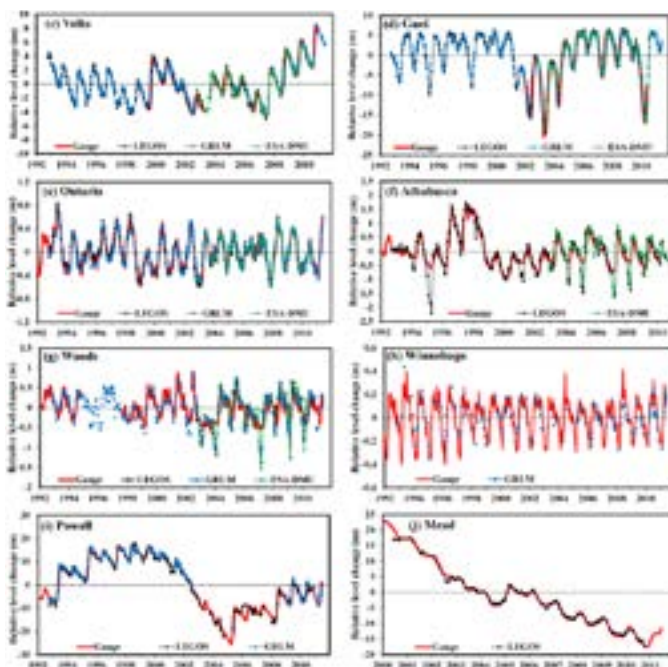
Thuy Le Toan, Stéphane Mermoz, Alexandre Bouvet (Cesbio)

CES hauteur des lacs et rivières

Le service Hydroweb (www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/HydroWEB) a été développé au Legos en 2003 afin de délivrer à la communauté scientifique des séries temporelles continues et de longue durée pour les niveaux des grands lacs et réservoirs ainsi que des fleuves calculées à partir des données des satellites altimétriques. Cette base de données s'est peu à peu enrichie de nouveaux produits, tant en diversité des objets suivis (aujourd'hui environ 230 lacs et une vingtaine de grands fleuves sont dans la base) qu'en terme de nature des produits : en particulier, outre les niveaux, désormais les étendues et les variations de volume d'une centaine de grands lacs font également partie du portfolio de produits disponibles.

S'il y a une dizaine d'années le nombre d'utilisateurs de cette base de données restait assez faible, nous avons observé ces trois quatre dernières années une montée en puissance due à un intérêt croissant de cette technique auprès des scientifiques qui sont encore largement majoritaires dans l'utilisation de ces produits.

Cependant il est assez rapidement apparu que le mode de fonctionnement et d'alimentation de la base Hydroweb en nouveaux produits et le délai de mise à jour des séries temporelles devenaient obsolètes et pénalisants pour que son utilisation se généralise notamment auprès d'institutionnels et d'acteurs privés demandeurs d'une utilisation plus opérationnelle de ce type de base de données.



Comparaison des séries temporelles sur 8 grands lacs entre différentes bases de données. En fonction de la taille des lacs l'exactitude varie de 2-3 cm à quelques dizaines de cm.

Une base modernisée, en temps réel et automatisée

Profitant de l'émergence du pôle surfaces continentales Theia, le Legos, en accord et en coordination avec le Cnes a défini un cahier des charges de modification de fond de la base Hydroweb afin de le moderniser et de le rendre compatible aux exigences de temps réel et d'automatisation des traitements sous forme de processus industriel.

Début 2015, cette transformation de la base de données Hydroweb sera concrétisée sous forme d'hébergement dans Theia et sera opérée par un industriel avec le Cnes et le Legos en support.

Le produit délivré consistera en un sous-groupe d'une centaine de grands lacs et de quelques grands fleuves pour lesquels les variations de niveaux seront calculées de façon automatique et en temps quasi réel. La fréquence de mise à jour ne sera fonction que du temps de revisite des satellites utilisés, de 10 à 35 jours selon les satellites, mais pourra être ramenée à 2-3 jours pour les grands lacs profitant de passages multiples lors d'un cycle orbital.

Pour le reste de la base de données, le fonctionnement restera sous un mode dit recherche, c'est-à-dire que la mise à jour sera effectuée environ une à deux fois par an, mais l'idée dès que

le service sera en place, est de transférer progressivement le maximum possible de lacs et de fleuves en mode opérationnel, notamment lorsque les satellites Jason 3 et Sentinelles 3 seront en orbite. L'ensemble des continents est visé, l'objectif étant à court terme (année 2015) de soumettre ce service comme base de données opérationnelle et interopérable avec les autres services de Theia auprès du programme Copernicus pour le suivi des eaux continentales. Les satellites utilisés aujourd'hui pour le calcul des produits d'Hydroweb sont Jason 2 et Saral/AltiKa, dans un avenir proche Jason 3 et Sentinelles 3, à moyen terme Jason CS et à plus long terme Swot. Pour le calcul des étendues d'eau et des variations de volume des lacs, les produits sont issus d'un traitement combinant ces mesures d'altimétrie satellitaires avec des classifications de zones en eaux à partir d'imagerie satellitaire.

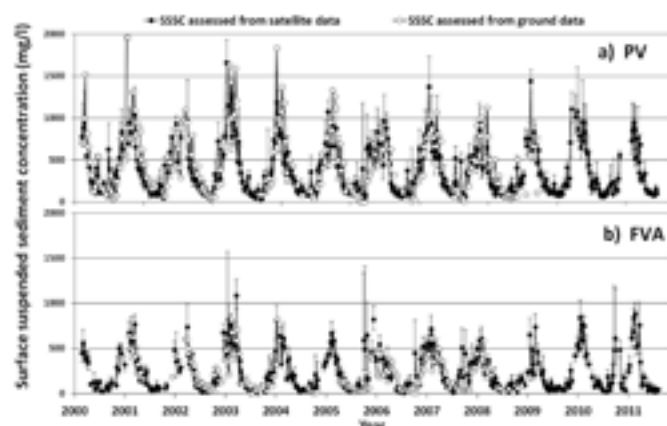
Le Legos assurera un contrôle qualité permanent par le biais de comparaisons à des données in situ et de campagne de validation terrain, mais également une activité de recherche et développement pour faire évoluer la liste des produits diffusés à partir de nouveaux capteurs spatiaux.

Jean-François Cretaux (Legos / Observatoire Midi Pyrénées)

CES Couleurs des eaux continentales

L'étude des eaux de surface continentales revêt une double importance puisqu'elles représentent la plus grande partie de la ressource hydrique disponible pour nos sociétés et que la qualité de ces eaux permet de tracer de nombreux processus à l'œuvre au sein des bassins versants (érosion, changements d'occupation des sols, pollutions, variations climatiques).

Il s'agit de développer des produits « concentration en matières en suspension » et « concentration en chlorophylle-a » pour les eaux de surface de rivières, lacs ou estuaires. Le produit sera adapté en fonction de la plateforme satellite (résolution spectrale et radiométrique) et bénéficiera de travaux antérieurs intégrant des mesures radiométriques hyperspectrales (propriétés optiques inhérentes et apparentes des eaux), des techniques de caractérisation des eaux de rivières, de la modélisation bio-optique et l'analyse de séries temporelles basses résolutions d'images Modis/Meris. Il pourra être fourni sous la forme de données ponctuelles, similaires à ce que fournit une station hydrologique, ou sous la forme de cartes 2D. Les applications potentielles vont depuis l'estimation des processus d'érosion ou d'ensablement des cours d'eaux jusqu'à l'eutrophisation de plan d'eaux.



Concentration en matières en suspension à la surface du Rio Madeira (Brésil) estimées par satellite (points noirs) et mesurées in situ tous les 10 jours (points blancs) par le Service d'Observation HYBAM aux stations hydrologiques de l'Agence de l'Eau du Brésil : Porto Velho (graphique a) et Fazenda Porto Alegre (graphique b).

Les utilisateurs finaux déjà intéressés

Un démonstrateur pré-opérationnel a été développé avec l'Agence de l'Eau du Brésil grâce à une collaboration avec l'IRD (UMR GET) et le Service d'Observation HYBAM. Un portail internet (ana.gov.br/hidrosat) donne accès au suivi de la concentration en matières particulaires en rivières et des processus d'eutrophisation de lacs par satellite sur plusieurs bassins hydrologiques dans ce pays. Les images Modis sont utilisées en entrée et une chaîne de traitement automatisée a été développée. Ce démonstrateur préfigure le type de produit à développer pour le pôle Theia mais aussi l'intérêt des utilisateurs finaux, du type Agence de l'Eau, pour ce genre de produits thématiques.

Nous évaluerons les nouvelles plateformes satellite, et notamment celles de haute résolution. Ce travail sera d'abord réalisé sur des jeux de données issus de mesures terrain, de modélisation et de satellite existants (Modis, Landsat 8) afin de simuler les prochaines configurations satellites (Sentinelles 2 et 3). Les algorithmes d'inversion et méthodes de traitement d'images seront ensuite testés sur les images des nouveaux satellites lorsqu'elles seront disponibles sur plusieurs sites test en France et au Sud. Les travaux bénéficieront des méthodes opérationnelles de corrections radiométriques et atmosphériques développées pour Theia.



Image satellite Modis au-dessus du Rio Madeira au Brésil. La couleur de la rivière est contrôlée par la présence de matières particulaires et dissoutes qui vont définir les propriétés d'absorption et de diffusion de la lumière.

En France, différents laboratoires spécialisés en hydrologie et transport sédimentaire ont montré leur intérêt pour bénéficier de séries temporelles de produits concentration en matières en suspension des eaux sur leurs sites. Les produits proposés par ce CES ne sont pas considérés dans le Land Service Copernicus et constituent donc des applications originales.

Jean-Michel Martinez (UMR GET / IRD)

CES surface enneigée

La neige joue un rôle essentiel dans les processus hydro-météorologiques de montagne. En particulier la dynamique de la fonte contrôle la recharge des aquifères et le débit des rivières qui approvisionnent les régions en aval. L'eau de fonte est souvent utilisée pour la production d'hydroélectricité et l'irrigation des cultures. Pour modéliser le stock de neige en montagne la principale difficulté est la forte variabilité spatiale des conditions physiographiques et météorologiques au regard des observations in situ.

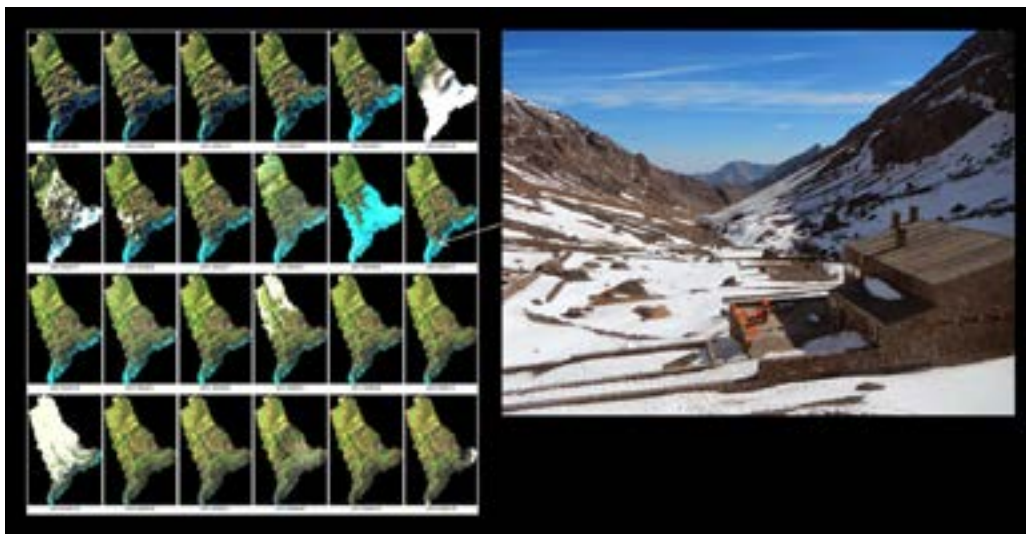
Aujourd'hui les capteurs spatiaux ne permettent pas de mesurer de façon robuste la hauteur de neige ou son équivalent en eau en contexte de montagne. La variable qui peut être obtenue par télédétection est la surface enneigée. Pour cela les algorithmes actuels se basent sur des données optiques multi-spectrales, mais les produits générés souffrent soit d'une résolution spatiale insuffisante vis-à-vis du relief accidenté des montagnes, soit d'une fréquence d'acquisition qui est trop basse pour appréhender correctement la dyna-

mique de la fonte. Les données Sentinelle 2 offriront la possibilité unique de dépasser ce compromis et donc d'améliorer notre connaissance des ressources en eau de montagne.

Couvrir les massifs européens les plus anthropisés

Le produit proposé est un masque codé par pixel de 20 m à une fréquence de 10 jours : (1) présence de neige, (2) absence de neige, (3) nuage, (4) présence de neige après interpolation (5) absence de neige après interpolation. L'objectif est de mettre au point un algorithme parcimonieux capable de traiter de grands volumes de données afin de couvrir à terme les massifs européens les plus anthropisés. Le produit utilisera les réflectances de surface (i.e après correction de l'atmosphère et des effets de pente) calculées à partir des observations des deux satellites Sentinelle 2. A plus grande échelle (ex. hémisphère nord) les produits à moyenne résolution (Sentinelle 3) sont suffisants et en cours de développement dans le cadre du projet GlobSnow-2.

La méthode sera testée avec les données Spot 4 (Take 5) et Landsat 8 et dans le meilleur des cas mise à disposition fin 2015.



Simon Gascoïn
(Cesbio / CNRS)

Gauche : exemple de série temporelle d'images de type Sentinelle 2 (Spot 4 (Take 5) sur un bassin versant semi-aride dans le Haut-Atlas marocain (Rheraya 225 km², altitude : de 1084 à 4167 m).

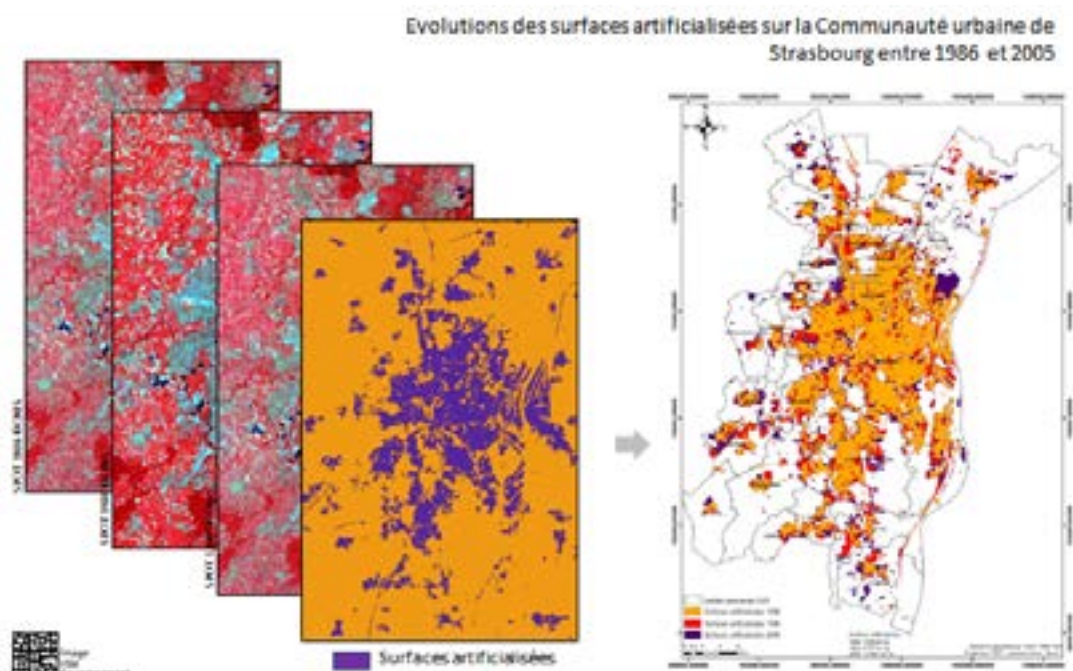
Droite : photo prise depuis le refuge du Toubkal dans ce bassin. La résolution spatiale et la répétitivité de Sentinelle 2 sont nécessaires pour capturer la variabilité temporelle (comme l'événement fugace au début avril) et spatiale de l'enneigement (en fonction de l'exposition, la pente, etc.).

CES Urbanisation - Artificialisation

L'explosion démographique mondiale s'accompagne d'une artificialisation galopante qui provoque elle-même une expansion géométrique des aires urbaines. Depuis 2008, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, plus de la moitié de la population vivait en milieu urbain. En 2050, on estime qu'environ 70% de la population mondiale sera urbaine. Cette artificialisation du territoire pèsera lourdement sur les ressources naturelles à grande échelle avec des tensions sur les terres disponibles, les milieux et la biodiversité.

Face à ce défi sociétal, le suivi de l'artificialisation et la caractérisation des changements urbains sont devenus indispensables dans de nombreuses applications opérationnelles. Ceux-ci nécessitent de disposer d'informations avec une fréquence de mise à jour en adéquation

avec les besoins. Le CES Urbanisation-artificialisation a pour objectif (i) de développer l'usage des outils, méthodes et données de télédétection appliqués à cette problématique, et (ii) de valoriser et qualifier les informations et favoriser leur appropriation par les usagers.



Dans ce cadre, il s'agit :

- de produire à l'échelle nationale, à une résolution de 10 à 20 m, plusieurs produits de référence (cartographie des surfaces artificialisées et de leur degré d'artificialisation, cartographie des formes de changements) avec une fréquence de mise à jour annuelle voire bi-annuelle selon les produits. Pour atteindre ces objectifs, les images optiques à haute fréquence temporelle de type Sentinelle 2 ainsi que des données publiques et disponibles seront utilisées afin de calibrer les méthodes et valider les produits. Le transfert opérationnel des méthodes proposées dans ce CES, notamment leur mise en production à grande échelle, relève quant à lui de partenariats en cours de développement avec des établissements ayant cette vocation (IGN).
- d'élaborer des indicateurs valorisant ces produits de réfé-

rence au service du suivi des politiques publiques territoriales.

- de développer des méthodes de qualification des produits de référence et des indicateurs.
- de définir les meilleures conditions d'appropriation de ces informations par les utilisateurs.

Ce CES est complémentaire à d'autres CES thématiques (CES Changements / CES Cartographie physiognomique de la végétation naturelle pour les milieux naturels) et il permettra d'affiner les propositions d'autres CES comme le CES Occupation des sols. Les produits proposés sont différents de ceux proposés par Copernicus (ex. HR Layer Imperviousness) de par leur meilleure résolution spatiale et leur plus grande fréquence de mise à jour potentielle.

Anne Puissant (A²S / Unistra) - Eric Barbe (Tetis / Irstea)

CES Risques associés aux maladies infectieuses

Ces dernières décennies ont été marquées par l'émergence de nombreuses maladies infectieuses humaines et animales, avec un important impact sur la santé publique et vétérinaire, en particulier des maladies à transmission vectorielle : c'est le cas de maladies humaines comme la dengue, le chikungunya ou zoonotiques comme la fièvre de la Vallée du Rift et la fièvre du Nil Occidental. D'autre part, certains agents pathogènes dont la transmission n'est pas vectorielle peuvent être à l'origine d'épidémies (ex. épidémies de méningite en Afrique).

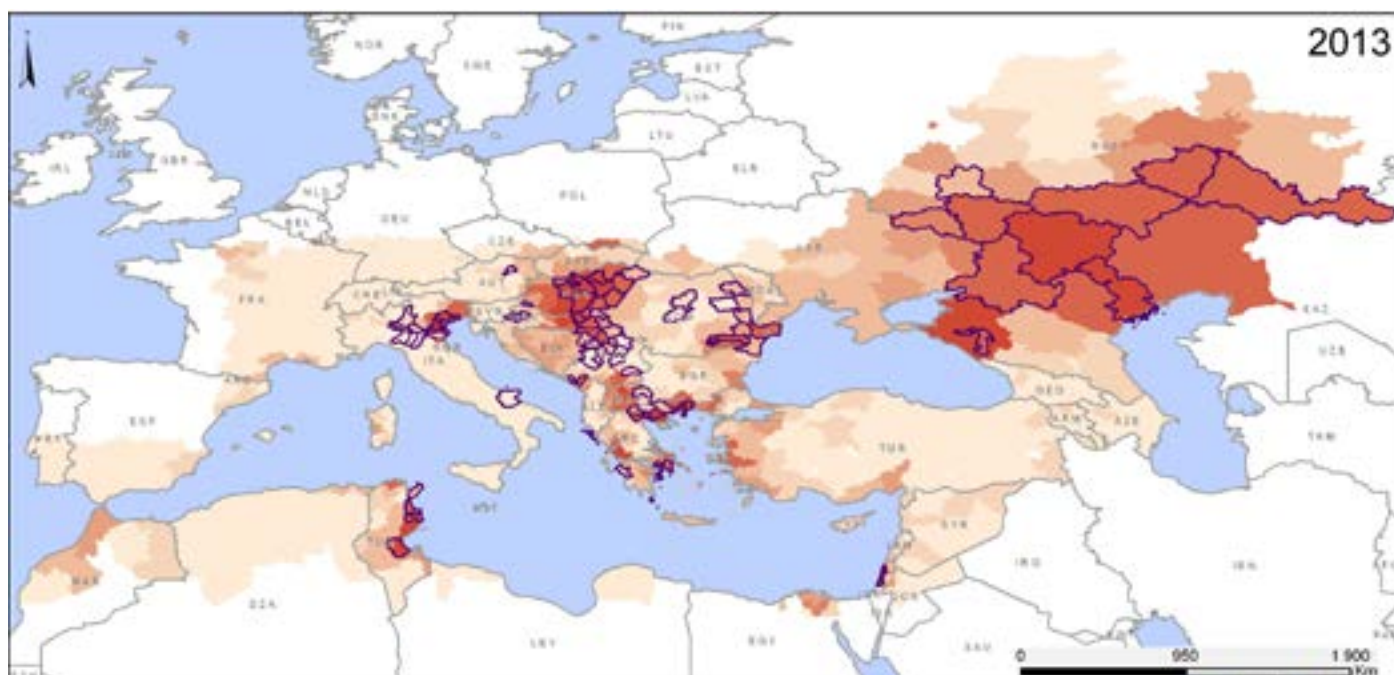
La télédétection offre le potentiel de caractériser les conditions environnementales qui peuvent être propices à la présence d'un pathogène dans l'environnement ou à celle des vecteurs : les équipes impliquées dans le CES « risques maladies infectieuses » ont ainsi développé différentes méthodes et modèles pour mieux comprendre le lien entre la présence, l'abondance des vecteurs, le risque de transmission d'une part, et des indices environnementaux et météorologiques dérivés d'images de télédétection d'autre part. Certains résultats de recherche ont abouti au développement de méthodes opérationnelles de cartographie des risques épidémiologiques de différentes maladies infectieuses, vectorielles ou non, à partir de données de télédétection, en particulier pour la fièvre du Nil Occidental, la

fièvre de la Vallée du Rift, le paludisme, la présence des moustiques *Aedes albopictus* ou *Aedes aegypti*, vecteurs des virus de la dengue et du chikungunya, le risque de déclenchement des épidémies de méningites en Afrique de l'Ouest.

Cartographier les risques épidémiologiques

Les produits proposés sont des cartes de risque, défini en termes de probabilité d'occurrence de cas ou de présence de vecteurs, pour les différentes maladies infectieuses citées précédemment, différentes zones d'études (Europe, Afrique, Amérique du Sud et Asie) et différentes échelles spatiales (de l'échelle locale à continentale), correspondant aux résultats de recherche des équipes proposant, avec des fréquences de mise à jour variables selon les besoins (génération de cartes hebdomadaires, mensuelles ou annuelles). Les données de télédétection utilisées comprennent notamment des images optiques à très haute, haute et moyenne résolution spatiale (Pléiade, Spot 5, Modis). Ces cartes sont destinées à contribuer à la diffusion de l'information sur les risques épidémiologiques liées aux maladies infectieuses, en particulier auprès des acteurs de santé publique et vétérinaire, et de manière plus générale sur les approches holistiques environnement/santé utilisatrices de la télédétection.

Annelise Tran (Cirad) - Emmanuel Roux (IRD)
Nadège Martiny (CRC Université de Bourgogne)
Jean-Pierre Lacaux (Observatoire Midi-Pyrénées)
Cécile Vignolles (Cnes)



Cartographie des zones à risque d'occurrence de fièvre du Nil Occidental en Europe et Méditerranée (en rouge : risque fort ; rose : risque faible) prédites à partir de variables environnementales pour 2013, et localisation des cas de fièvre du Nil Occidental reportés en 2013 (districts en violet).

CES Détection de changements à haute fréquence

L'objectif du CES Détection de changements à haute fréquence est de produire un inventaire systématique des changements à l'échelle nationale. Pour cela, il ambitionne de proposer des méthodes incrémentales de génération des cartes de changement (le « où ? ») pouvant être (post-)traitées thématiquement (le « quoi ? ») pour la gestion des risques naturels, le suivi environnemental (observatoires) ou encore le développement territorial.

Cet objectif et les recherches méthodologiques et thématiques en découlant sont partagés avec d'autres CES thématiques tels que le CES Occupation du sol, ou le CES Urbanisation/Artificialisation.

Il s'agira de combiner le flux Sentinelle (S1 et S2) avec des don-

nées exogènes (Base de données, WEB, ...). La résolution et la fréquence de mise à jour seront donc celles de ces satellites.

Planning de mise à disponibilité

Suite aux études théoriques sur les méthodes algorithmiques incrémentales adaptée à la haute fréquence et au volume et hétérogénéités des données basées sur les travaux actuels des laboratoires impliqués : modèles de Markov, forêts d'arbres de décision, clustering collaboratif, apprentissage actif, apprentissage sous dérivation conceptuelle, une architecture logicielle et matérielle pour la mise en œuvre (en production) de la chaîne de traitements devrait être proposée en 2016, un prototype produit en 2018 pour une mise en production sur l'ensemble du territoire en 2020. L'ensemble devrait être disponible en Open Source.

Pierre Gançarski (Icube / Unistra)

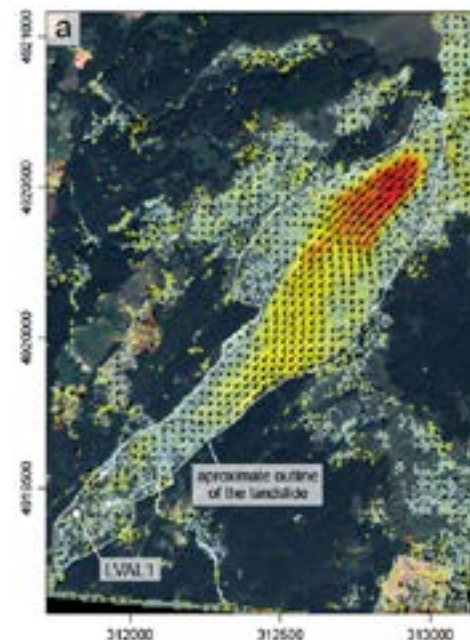
CES Déformation terrestre

Les surfaces continentales sont affectées par des mouvements du sol de différentes ampleurs et cinématiques qui contribuent à l'évolution de la forme de la terre et à la création d'aléas naturels. L'imagerie satellitaire est une source d'information incontournable pour quantifier les champs de déformation et mieux comprendre les mécanismes physiques. La haute fréquence temporelle de l'imagerie Sentinelle et la complémentarité des acquisitions radar (S1) et optique (S2) permet maintenant d'envisager le suivi de processus sur une large gamme de dynamique, de quelques centimètres à plusieurs mètres par an, et une forte réactivité pour la cartographie des déformations après des événements catastrophiques.

Prévision des risques et gestion des ressources

Le CES Déformation s'intéresse en premier lieu au suivi haute fréquence de mouvements superficiels (glissement de terrain, affaissement local, glacier, exploitation géothermique et minière) en combinant imagerie radar et optique et des mesures de référence au sol pour l'étalonnage des méthodes et la validation des produits. Il s'agit de produire en temps court (au moins aussi rapidement que la donnée image est acquise) des cartes et séries temporelles de vitesse de déplacement sur des territoires à forts enjeux (montagne, littoral, zone de forte densité démographique). Sur le plan applicatif, l'enjeu est de fournir un produit de référence pour la prévision des risques, la gestion des ressources et des infrastructures/ouvrages. Le type de produit proposé n'a pas d'équivalent aux échelles temporelles envisagées.

Plusieurs méthodes de traitement (corrélation d'images optique

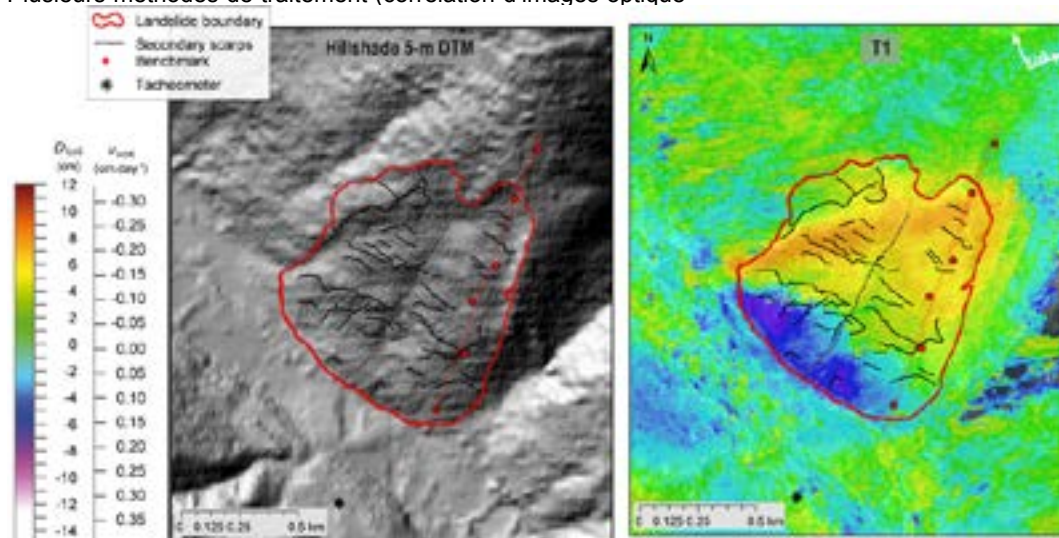


Déplacement horizontal du glissement de terrain de La Valette (Sud-Est des Alpes) entre août et octobre 2012 par corrélation d'images Pléiades

S2 ; interférométrie différentielle SBAS-InSAR et PS-InSAR S1) seront intégrées successivement dans une chaîne de traitement optimisée aux flux de données Sentinelle. Des démonstrations seront mises en place d'ici 2016 pour des observatoires où des données de référence sont disponibles. Dans ce cadre, dès 2014, un réseau de coins réflecteurs radar co-localisés avec des mesures GNSS permanentes a été déployé dans les Alpes et le Fossé Rhénan. Les méthodes de traitement mises en œuvre

pour la variable Déformation Theia participent aux développements envisagés dans le cadre du pôle Form@Ter, et intègrent d'autres laboratoires de recherche (Université de Brest, Université de Lyon, Université Joseph Fourier).

Bernard Allenbach
(A²S - Unistra / Sertit)
Jean-Philippe Malet
(A²S - Unistra / Eost)
Cécile Doubre
(A²S - Unistra / Eost)

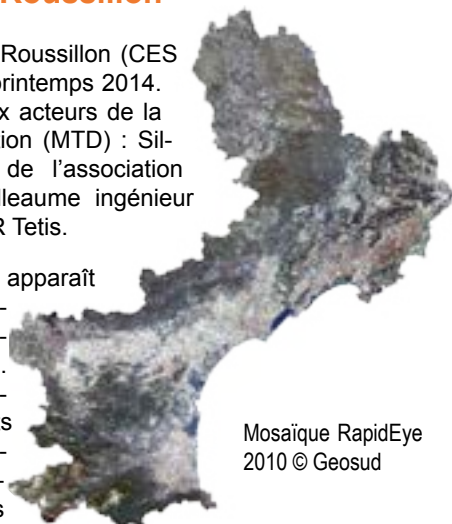


Vitesse de déformation du glissement de La Clapière (Sud-Est des Alpes) entre mai et août 2007 par interférométrie différentielle d'images Alos (bande L).

CES Languedoc-Roussillon

Le CES du Languedoc-Roussillon (CES LR) a pris son élan au printemps 2014. Il est co-animé par deux acteurs de la Maison de la télédétection (MTD) : Silvan Coste animateur de l'association SIG L-R et Samuel Alleaume ingénieur d'études Irstea de l'UMR Tetis.

Le CES régional apparaît dans un contexte géographique et historique très favorable. Le Languedoc-Roussillon a de nombreux atouts pour créer un écosystème propice au développement des usages de l'imagerie satellitaire. En effet, la MTD est une structure qui vient de fêter ses 20 années d'existence et qui regroupe des équipes de différents centres et instituts pour constituer un pôle de recherche appliquée en télédétection et en information géographique. La région est dotée de nombreux laboratoires de recherche dans les domaines de l'environnement, de l'agriculture et de la gestion des territoires.



Mosaïque RapidEye 2010 © Geosud

Dans le cadre de la stratégie régionale de spécialisation européenne, la région Languedoc-Roussillon a défini le domaine d'innovation « Acquisition de données - Traitement et visualisation des données numériques » comme prioritaire à l'horizon 2020. De plus, le CES LR s'appuie sur l'expérience et le réseau unique de l'association SIG L-R, plus ancienne plate-forme régionale d'information géographique en France.

Le premier atelier CES LR a eu lieu le 14 mai 2014 dans le cadre du séminaire Geosud. Il a mis en avant le besoin d'accompagnement et d'information autour de l'imagerie satellitaire et des produits qui en sont dérivés. Parallèlement, le CES régional pourra contribuer au développement et à la création de nouveaux produits en lien direct avec les besoins exprimés à l'échelle régionale. Un produit comme la tâche artificialisée réalisée en 2009 pourrait trouver sa continuité dans le CES LR. La prochaine réunion sera organisée le 12 décembre 2014 à 14h30 à Irstea de Montpellier à la suite d'une visite de l'antenne de réception Geosud.



Atelier CES LR, mai 2014

Samuel Alleaume (Tetis / Irstea) - Silvan Coste (SIG L-R)

CES Midi Pyrénées

De nombreuses thématiques portées par les CES produits s'appuient sur un dispositif existant en Midi-Pyrénées : l'OSR (Observatoire Spatial Régional) Sud-Ouest (www.cesbio.ups-tlse.fr/fr/osr.html). C'est un dispositif de collecte et d'analyse de données s'appuyant sur différents services d'observation terrain (mesures de flux...) et de télédétection (Kalideos...) et dont l'objectif est la calibration et la validation de produits régionaux de télédétection des surfaces continentales.

L'OSR développe également depuis 2006 une activité d'animation. En 2013, la campagne d'acquisition Spot 4 (Take 5) a alimenté plusieurs projets, dont la présentation à Toulouse, réunissant près de 80 participants, peut être considéré comme un « lancement anticipé » du CES Midi-Pyrénées (www.cesbio.ups-tlse.fr/multitemp/?p=494).

En parallèle, les acteurs institutionnels locaux s'intéressent progressivement aux potentialités des images satellites sans que l'on observe toutefois un réel basculement dans l'utilisation opérationnelle de ces technologies.

Animation

Le Cerema et le Cesbio se proposent d'animer le CES régional Midi-Pyrénées, mais la porte est ouverte à toutes les bonnes volontés.

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du MEDDE et du METL. Sa mission est d'appuyer techniquement les services institutionnels dans la mise en œuvre de leurs missions d'aménagement des territoires. En particulier, son pôle « applications satellitaires » aide les services institutionnels à intégrer les technologies spatiales dans le portage des politiques publiques. Le Cerema reliera ainsi le CES aux utilisateurs finaux que sont les Administrations et collectivités.

Le Cesbio sera en charge de l'animation auprès des laboratoires ou sur certaines thématiques (eau, agriculture...), en particulier à travers la dynamique engagée autour de l'OSR et celle liée à la constitution d'une Zone Atelier 'PYGAR' avec une quinzaine de laboratoires de la région (Insu, Inee, Inra...).

Sujets d'étude

Le CES Midi-Pyrénées a pour objectif la promotion des campagnes d'acquisition satellitaire, des CES thématiques opérationnels, et la recherche de synergies entre les acteurs (partage de données terrain, de résultats...) sur les thématiques pertinentes en Midi-Pyrénées : agriculture, forêt, montagne, occupation des sols, prairies, neige, hydrologie...

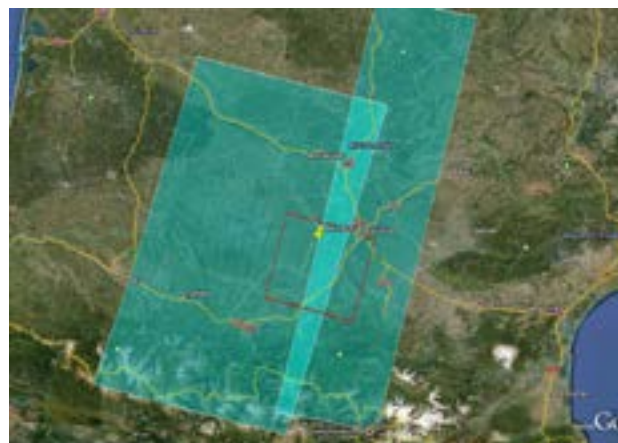
L'animation du CES Midi-Pyrénées commencera modestement en 2015 et s'amplifiera en 2016 avec un volet formation et appui aux utilisateurs. Son lancement aura lieu au 1er trimestre 2015, en parallèle du démarrage de l'action Spot 5 (Take 5) en Midi-Pyrénées et des lancements des Sentinelles 2A et 1B.

Des actions de sensibilisation sont prévues à travers des structures existantes : groupe de travail régional sur l'occupation des sols, Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC), Unités Mixtes Technologiques (UMT)... Selon les besoins, des événements spécifiques seront organisés sur des sujets métiers ciblés (agriculture, eau, occupation du sol).

Jean-François Dejoux (Cesbio / CNRS)

Olivier Hagolle (Cesbio / Cnes)

Jacques Bouffier, Dominique Hebrard (Cerema)



Emprise de la campagne Spot 4 (Take 5) (février à juin 2013) en Midi-Pyrénées

CES Aquitaine

La mise en place d'une structure fédérant l'essentiel des forces aquitaines dans le domaine de la télédétection avait déjà été initiée au sein de l'OASU (Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers) au travers de l'Action Scientifique Transverse « Télédétection » (ASTT), dès 2010. L'ASTT a permis d'apporter une grande lisibilité à ce réseau télédétection sur la période 2010 - 2014, qui place maintenant l'Aquitaine parmi les grands centres régionaux au plan national. Les travaux du CES Aquitain se positionnent sur les enjeux majeurs de l'impact des activités humaines et/ou du changement climatique sur la biosphère, et en particulier sur :

- l'évolution de la biodiversité, suivi de la qualité des eaux (bassin d'Arcachon, estuaire de la Gironde), suivi de l'érosion (littoral aquitain);
- le suivi de la productivité et de l'état sanitaire des couverts forestiers (massif des Landes) et agricoles (vignes, grandes cultures) en relation avec des événements extrêmes ou des tendances climatiques sur le long terme (tempête, canicule, dépérissement);



Pratiques d'enherbement de la vigne : complet (gauche), 1 rang sur 2 (droite). Image Pléiades « Entre deux mers » du 15/04/2014 / Vues correspondantes au sol

CES Alsace

Le programme A²S - Alsace Aval Sentinelle - qui est une initiative régionale conduite par le Sertit pour le compte de l'Université de Strasbourg, a pour objectif le développement d'un pôle de recherche régional multidisciplinaire sur l'exploitation des flux massifs d'images d'Observation de la Terre et la mise en œuvre d'un centre de production de valeurs ajoutées exploitant tout particulièrement les données de la constellation Sentinelle.

Le programme A²S comporte trois volets déclinés sous forme de projets : un volet recherche et formation, un volet production sous le double aspect des outils et de leur mise en œuvre, un volet développement de filière économique fondée sur l'exploitation des informations issues des images d'observation de la Terre.

Le CES régional Alsace (étiquette à valider) est au cœur du volet recherche et formation du programme A²S. Il consiste en un rassemblement volontaire de partenaires scientifiques dans le cadre du schéma de coordination nationale Theia. Ce rassemblement est constitué par des laboratoires de recherche, des observatoires et des écoles d'ingénieur de l'Université de Strasbourg spécialisés dans les domaines de la télédétection, de l'image, de la géodésie et de l'ingénierie et exploitant l'imagerie satellitaire pour l'analyse de nombreux domaines thématiques en sciences de l'Environnement et en sciences de la Terre.

Les équipes de recherche participant au programme appartiennent à Icube (Laboratoire des sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie, UMR 7357) avec en particulier les équipes BFO (Bioinformatique théorique, Fouille de données, et Optimisation stochastique), MIV (Modèles, Images, et Vision) et Trio (Télédétection, Radiométrie et imagerie optique), au Live (Laboratoire Image Ville Environnement, UMR 7362), à l'Eost

Les activités peuvent s'appuyer sur une grande richesse en termes de méthodes et d'objets d'étude sur le site atelier Aquitaine qui est territoire de démonstration de services (label Cnes/Kalideos, site Spot4 (Take 5), etc.). L'ensemble du domaine de longueur d'onde (optique, infrarouge thermique, microondes actif/passif) et des techniques (télédétection multispectrale et hyperspectrale, acquisitions multiples (mode stéréo, etc.) est couvert sur une large gamme de résolution spatiale : Très Haute Résolution (Pléiades, Geoeye, etc.), Haute Résolution (Spot, Rapideye, etc.), Moyenne Résolution (Spot/Vegetation, Modis, Meris, Palsar, Radarsat 2, etc.) et Basse Résolution (Smos, Smap, etc.), avec une fréquence de revisite allant de la journée à l'année suivant les systèmes.

Le CES Aquitaine qui est un interlocuteur privilégié du Pôle Aéronautique Espace et Systèmes Embarqués (Aerospace Valley) est en relation étroite avec de nombreux acteurs socio-économiques et industriels de la région Aquitaine. En particulier, le GIP Littoral, le GIP ATGeRi (avec la plateforme PIGMA depuis 2008), le SIBA, le Cete, le BRGM, l'IGN (incluant l'inventaire forestier), Département Santé des Forêts (DSF) du Ministère chargé de la forêt, filière forêt-bois, le projet Eearthlab Aquitaine de Telespazio, i-SEA, etc., sont très actifs dans l'exploitation d'informations géographiques et contribuent avec le CES Aquitaine à la cohérence de la description du territoire et de ses changements (littoral, Bassin, zones agricoles, forestières, urbaines, etc.) sur un plan stratégique et opérationnel.

Jean-Pierre Wigneron (ISPA / Inra Bordeaux Sciences Agro)
Christian Germain (IMS / Bordeaux Sciences Agro)
Virginie Lafon (Géo-Transfert)
Bertrand Lubac (Epic / Université de Bordeaux)

(École et Observatoire des Sciences de la Terre, UMS 830). Le programme associe également les écoles d'ingénieur TPS (Télécom Physique Strasbourg) et Engees (École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg). Le pôle HPC (High Performance Computing) de la Direction informatique de l'Université de Strasbourg est associé, afin d'intégrer le Centre de Calcul de l'Université au volet production. L'aspect applicatif, piloté par le Sertit (Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection), est soutenu par les différents laboratoires du site (Live, Eost, Engees), à travers la proposition et/ou la participation à plusieurs CES produits (Déformation, Urbanisation, Changement, Surface en eau, Occupation des sols).

L'aspect formation s'appuie, au sein de l'Université de Strasbourg, sur les Master OTG (Observation de la Terre et Géomatique) et Iriv (Imagerie, Robotique et Ingénierie pour le Vivant), sur des enseignements ad-hoc auprès de professionnels et d'opérateurs publics, ou des écoles thématiques (Ecoles d'Eté Image Mining).

Dans le cadre du programme A²S, l'objectif est de faire évoluer ce pôle recherche et formation en le formalisant au sein des instruments de recherche nationaux et internationaux.

Bernard Allenbach (Sertit)

Bulletin Theia

Directeurs de publication : N. Baghdadi (Irstea) - M. Leroy (Cnes)

Conception - réalisation : S. Al Ayoubi (Theia)

Ont contribué à ce numéro : S. Alleaume (Irstea), B. Allenbach (Unistra), E. Barbe (Irstea), F. Baret (Inra), J. Bouffier (Cerema), G. Boulet (IRD), A. Bouvet (Cesbio), N. Champion (IGN), S. Coste (SIG-LR), D. Courault (Inra), J.F. Cretau (Obs.MP), J.F. Dejoux (CNRS), V. Demarez (UPS), C. Doubre (Eost), J.F. Faure (IRD), P. Gançarski (Unistra), S. Gascoin (CNRS), C. Germain (Univ. Bordeaux), O. Hagolle (Cnes), D. Hebrard (Cerema), J. Inglada (Cnes), Y. Kerr (Cnes), J.P. Lacaux (Obs.MP), V. Lafon (Geot), P. Lagacherie (Inra), M. Le Page (IRD), T. Le Toan Thuy (Cesbio), B. Lubac (Univ. Bordeaux), J.P. Malet (Eost), J.M. Martinez (IRD), N. Martiny (Univ. Bourgogne), P. Maurel (Irstea), S. Mermoz (Cesbio), A. Olioso (Inra), A. Puissant (Unistra), V. Rivalland (CNRS), J.L. Roujean (Météo France), E. Roux (IRD), J.P. Sempère (IGN), V. Simonneaux (IRD), A. Tran (Cirad), C. Vignolles (Cnes), J.P. Wigneron (Inra), M. Zribi (CNRS)

