

n° 11- Juin 2019

SOMMAIRE

■ Actualités	1
■ Missions satellitaires	4
■ Infrastructure	6
■ Produit Neige	8
■ Echos de recherche	10
■ Paroles de Theia	13

Mot des directeurs scientifique et technique

Soutenir le développement de produits performants est au cœur de Theia. La reconnaissance obtenue par le produit Neige lors d'un appel d'offre pan-européen et dans l'usage des parcs nationaux français constitue donc un motif légitime de satisfaction. Ce bulletin est aussi fier de se faire l'écho de la sortie d'un nouveau millésime d'une carte d'occupation des sols adaptée aux conditions de la Réunion ; de l'enrichissement de la couverture du Sahel par Theia ; ou encore de l'élargissement de l'offre de produits Humidité du sol.



Les contributions réunies ici explorent d'autres thèmes chers à notre pôle, comme la veille sur les nouvelles missions satellitaires en préparation et leurs ambitions ou les outils de calculs ou de coopération qui se développent au sein ou en dehors de Theia. Les applications touchent tous les domaines – santé, climat, suivi des sécheresses, mesure de la biomasse. Tous témoignent du dynamisme foisonnant de notre secteur.

La création d'un ART GéoDEV Nouvelle-Calédonie avec la tenue d'un séminaire dès juillet comme l'organisation d'un colloque national sur l'usage et le développement de la télédétection spatiale à Marseille à l'automne illustrent enfin la richesse de l'animation Theia en région. ■

ACTUALITÉS

Nouvelle-Calédonie : une animation dédiée aux enjeux satellitaires locaux

Située sur l'axe indopacifique, voisine de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, la Nouvelle-Calédonie constitue une présence française incontournable dans la région Pacifique Sud. Avec une réelle prise de conscience du manque d'information spatialisée, de la nécessité de formations et d'un accès restreint à la donnée dans la région, la communauté géomatique de la Nouvelle-Calédonie s'est renforcée ces dernières années avec la tenue régulière de colloques. La Nouvelle-Calédonie se place ainsi comme un acteur régional central dans le domaine.



Site du séminaire www.oss.nc

Dans un but d'animer et de fédérer la communauté locale, une animation régionale Theia (ART) dédiée a vu le jour en mai dernier. Co-animée par l'IRD Nouvelle-Calédonie et la startup INSIGHT SAS, l'ART GeoDEV NC est déjà à l'origine de la mise en place d'un événement en collaboration avec le Cnes. Le séminaire OSS NC, traitant de l'Observation Spatiale au Service de la NC, se tiendra ainsi les 09 et 10 juillet prochains à Nouméa. Ses objectifs affichés sont de démocratiser la technologie et de partager des connaissances techniques autour de thématiques prioritaires. L'événement et ses suites devraient ainsi contribuer au renforcement des compétences locales et au rayonnement français dans la région. ■

Marc DESPINOY (IRD Nouvelle-Calédonie) & Jean MASSENET (Insight NC)
► ART GeoDEV Nouvelle-Calédonie
www.theia-land.fr/artlist/art-geodev-nouvelle-caledonie

Toujours plus de produits Humidité

Le CES Humidité du sol à THRS continue d'élargir, géographiquement et temporellement, sa collection de produits. Des cartes d'humidité du sol à l'échelle de la parcelle et à forte répétitivité (une carte tous les six jours) sont aujourd'hui disponibles pour huit sites différents.

Les sites choisis illustrent avant tout le pourtour de la Méditerranée (sud de la France, Espagne, Liban, Sardaigne, Maroc, Grèce), mais aussi maintenant d'autres climats européens (Vienne en Autriche, Düren en Allemagne). ■

► Produits humidité www.theia-land.fr/product/humidite-du-sol-a-tres-haute-resolution-spatiale/



Sur le calendrier de Theia

- 4 juillet >> Réunion du Conseil scientifique au Cesbio à Toulouse.
- 9 & 10 juillet >> Séminaire OSS-NC à Nouméa (Nouvelle-Calédonie).
- 5 septembre >> Réunion de tous les ART à la Maison de la télédétection de Montpellier.
- 1^{er} octobre >> Atelier d'échange CES et ART GeoDEV autour des besoins des pays du Sud.
- 5 & 6 novembre >> Colloque national sur l'usage et le développement de la télédétection spatiale, organisée par l'ART Sud à Marseille.

MAJA 3.3 : quatre améliorations majeures

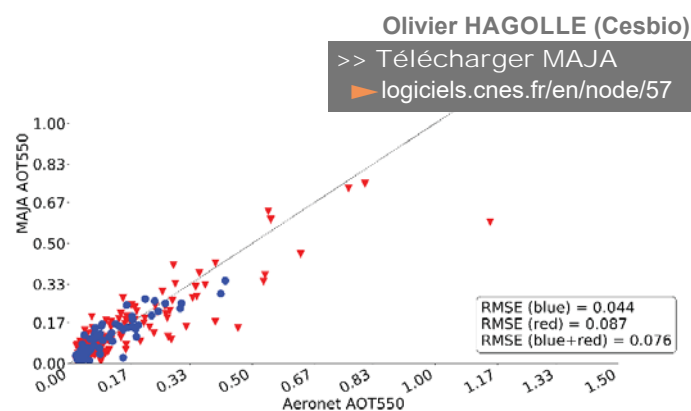
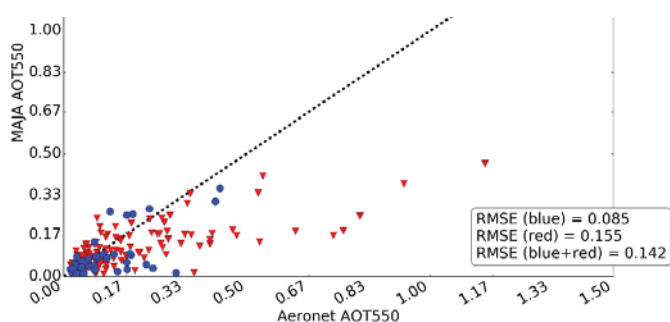
Depuis mai 2019, une version 3.3 de la chaîne de traitement MAJA est disponible sur Theia. La nouvelle version apporte quatre améliorations majeures :

- La correction du bug responsable de la détection de nuages ou d'ombres de nuages sur les bords des images.
- La correction des différents bugs qui affectaient l'option CAMS depuis la sortie de MAJA V3.0. Cette option utilise les prévisions d'aérosols de Copernicus Atmosphere pour définir le type d'aérosol avant de récupérer l'épaisseur optique des aérosols (AOT) des données Sentinel-2. Nous utilisons aussi maintenant CAMS AOT comme valeur par défaut, lorsqu'il n'est pas possible d'estimer l'AOT à l'aide des images, par exemple au-dessus d'un paysage enneigé ou pour de petits espaces dans une grande couverture nuageuse. Cette correction améliore les résultats quand les conditions sont mauvaises.

- La limitation de la correction des cirrus qui avait tendance à sur-corriger l'impact des épais nuages de cirrus, fournissant des images avec des nuages sombres.
- L'amélioration de la détection des nuages, avec un meilleur compromis entre faux positifs et faux négatifs. La version 3.3 gère également mieux la variation par rapport à l'altitude de la détection des cirrus avec la bande 10 (1,38 µm).

Une comparaison publiée récemment ([► www.mdpi.com/2072-4292/11/4/433](https://www.mdpi.com/2072-4292/11/4/433)) montre que MAJA 3.3 a des performances légèrement meilleures que FMask 4.0, et bien meilleures que Sen2Cor.

La version 3.3 a été intégrée à MUSCATE et est en cours de qualification, avant de passer en production. Certaines des améliorations (le bug sur les paramètres) ont été répercutées sur la version 3.2 et sont en production). ■



Comparaison de la validation de l'épaisseur optique des aérosols (AOT) entre la chaîne MAJA 3.1 et MAJA 3.3.

Les points bleus correspondent à une validation dans de bonnes conditions alors que les points rouges correspondent à des points de validation moins fiables.

Un modèle numérique de surface à partir de Pléiades

Le Cnes, Theia et Form@TER envisagent de mettre en place un service de génération de MNS (Modèle Numérique de Surface) pour les non-experts à partir de couples ou triplets stéréo d'images Pléiades. Les MNS obtenus sous forme d'une image GeoTIFF avec des valeurs d'élévation (Z) auraient les caractéristiques suivantes :

- Précision relative de l'ordre 1 m 50 en altitude pour un couple stéréo sur pente inférieure à 20 %
- Précision en planimétrie de l'ordre de 9 m à 90 %
- Résolution spatiale au sol : les MNS fournis peuvent être échantillonnés entre 0,5 et 10 m selon l'usage
- Projection cartographique définie par l'utilisateur
- Post traitements : filtrage des points aberrants. Une interpolation est faite pour échantillonner régulièrement. Il subsiste des zones non mesurables identifiées comme no data. Leur nombre dépend principalement de la configuration d'acquisition.
- Le MNS est accompagné d'une image de valeur radiométrique soit panchromatique soit issue de la fusion P+XS. ■

Afin de préciser les besoins des utilisateurs scientifiques et institutionnels, **un sondage en ligne est ouvert jusqu'à la fin juillet** à l'adresse suivante :

► <https://fr.surveymonkey.com/r/LXHJP2Z>

AppSpace 2019 en région Sud : le spatial, de l'observation à l'action

Après AppSpace Bretagne et AppSpace Grand-Est, l'évènement AppSpace prend la direction du Sud ! Cette 3^e édition organisée par le CRIGE Provence-Alpes-Côte d'Azur, en coopération avec le Cnes, la région Sud et l'ART locale, rassemblera l'ensemble des acteurs (collectivités, État, laboratoires de recherche, entreprises, associations...) en vue de stimuler l'usage et l'économie du spatial.

Colloque national sur l'usage et le développement de la télédétection spatiale
5-6 novembre 2019,
Hôtel de Région Marseille

Le satellitaire dévoilera ses secrets en privilégiant des approches thématiques en adéquation avec les besoins et attentes des utilisateurs territoriaux. Ces deux journées seront ouvertes à tous, du débutant à l'expert du secteur public ou privé. Les échanges (ateliers, démonstrations...) seront permanents pour croiser les regards, impulser de nouvelles dynamiques porteuses d'innovation et faire émerger des solutions durables au service des territoires. Tout sera mis en œuvre pour décloisonner et rapprocher les communautés, faciliter le dialogue entre intervenants et participants, valoriser les connaissances, les sources de données, les pratiques et les usages, rendre accessibles les technologies...



Le programme prévisionnel sera diffusé cet été et les inscriptions seront enregistrées à partir de septembre. Des experts du spatial seront au rendez-vous pour dessiner avec vous l'avenir des territoires. Venez témoigner et exprimer vos besoins ! ■

Claire Ajouc, (CRIGE-PACA)
claire.ajouc@crige-paca.org

ANISSETTE



ANISSETTE ou la traque des moustiques vecteurs de maladie

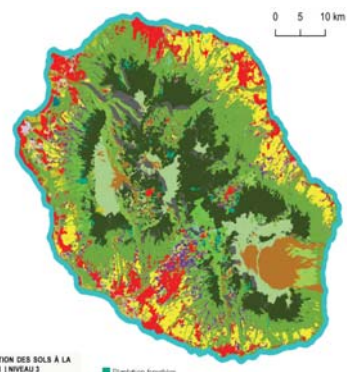
Le projet ANISSETTE – Analyse Inter-Site : Évaluation de la Télé-détection comme outil prédictif pour la surveillance et le contrôle de maladies causées par des moustiques – vient d'être lancé. Grâce à un financement Cnes, ce projet veut mesurer l'interopérabilité de méthodes couplant télédétection et modélisation spatiale pour prédire la dynamique de moustiques vecteurs et des maladies associées. Il s'agit ainsi d'identifier les images d'observation de la terre les plus adaptées pour prédire les zones favorables au développement de différentes espèces moustiques vecteurs de maladie – notamment les Aèdes (vecteurs de la dengue, de la fièvre de la Vallée du Rift) et les Anophèles (vecteurs du paludisme). Ces analyses seront menées sur des sites géographiques variés : Amérique du Sud (Brésil, Antilles, Guyane), Europe (France), Océan Indien (Madagascar, Réunion), Asie du Sud et du Sud-Est (Inde, Thaïlande, Cambodge) et Océanie (Nouvelle-Calédonie).

ANISSETTE s'inscrit dans la continuité de collaborations régulières et anciennes entre les équipes de l'Institut de Recherche pour le Développement (UMR Espace Dev) et du Cirad (UMR TETIS, UMR ASTRE), au sein de la Maison de la Télédétection à Montpellier et du groupe « Télédétection, Environnement, Santé » devenu le Centre d'Expertise Scientifique Theia « Risques Maladies Infectieuses », et en partenariat avec des chercheurs de l'UMR IDEES. Il fédère ainsi différentes équipes de recherche françaises sur la thématique Télédétection appliquée aux maladies vectorielles par les moustiques. ■

Annelise TRAN (Cirad)
anisette.cirad.fr
www.theia-land.fr/sante et
 CES Risques maladies infectieuses
www.theia-land.fr/ceslist/ces-risques-maladies-infectieuses

L'occupation des sols de la Réunion Millésime 2018

Le CES Occupation des sols vient de publier une version actualisée de ses cartes d'occupation des sols pour la Réunion proposées à l'automne 2018. Ces nouvelles cartes ont été obtenues, avec la chaîne Moringa, à partir d'une mosaïque d'images



OCUPATION DES SOLS À LA RÉUNION | NIVEAU 3
 Carte de niveau 3 à 30 classes

Spot 6/7 (acquise par le projet Kalideos) et d'une série temporelle d'images Sentinel-2 et Landsat-8 (acquise entre janvier et décembre 2018). Elles ont été produites avec une base de données terrain actualisée par rapport à celle du millésime 2017 et sont diffusées à 3 niveaux de précision : de 4 classes pour le niveau 1 à 30 classes pour le niveau 3.

Ces cartes illustrent l'effort mené au sein de l'UMR Tetis pour développer des méthodologies de classification de l'occupation du sol à partir

d'imagerie satellitaire adaptées au contexte des paysages et systèmes agricoles du Sud : couverture nuageuse importante, petit parcellaire, fragmentation des paysages et hétérogénéité des pratiques agricoles, faible disponibilité de données de référence.

Ces résultats sont issus du projet GABiR (Gestion Agricole des Biomasses à l'échelle de l'île de la Réunion) géré par le Cirad. Une version calculée à partir d'une mosaïque d'images Pléiades acquises en 2018 (en remplacement de Spot 6/7) est en cours de production et sera disponible prochainement. ■

Stéphane DUPUY (Cirad, Tetis)
 Ces données sont disponibles sur le catalogue
 AWARE : aware.cirad.fr
 CES Occupation des sols
www.theia-land.fr/ceslist/ces-occupation-des-sols

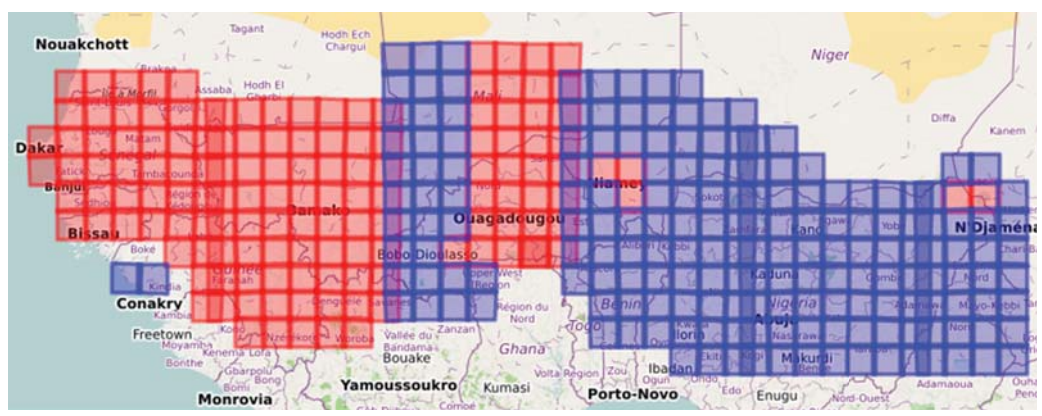
MUSCATE traite le Sahel d'ouest en est

L'amélioration de l'efficacité dans la production des données Depuis novembre 2018, le centre de production MUSCATE de Theia rajoute progressivement à son offre des zones au Sahel (Lire Bulletin n°10), depuis le Sénégal en allant vers l'est. Les données ajoutées débutent en décembre 2016, ce qui constitue un volume considérable de données à traiter.

En juin 2019, Theia a terminé le traitement des tuiles de la zone UTM29, qui couvre principalement le nord de la Guinée et l'ouest

du Mali, mais aussi partiellement le sud de la Mauritanie, la Sierra Leone et le nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Le traitement de la zone UTM 30 – Burkina Faso et Mali – est lui aussi bien avancé. L'est de cette zone est terminé, et l'ouest avance bien. La zone UTM31 a elle aussi été mise en production.

N'hésitez pas à jeter un coup d'œil de temps en temps à la carte des zones couvertes de MUSCATE : les tuiles en bleu deviennent rouges dès que l'on passe au traitement au fil de l'eau. ■



Olivier HAGOLLE (Cesbio, MUSCATE)

En rouge, les zones déjà disponibles en temps réel et depuis fin 2016, en bleu, les zones qui le seront bientôt. Les données peuvent être téléchargées sur theia.cnes.fr

Rapport de l'atelier

« La recherche française et le volet recherche de l'initiative 4P1000 »

La réunion de la communauté française travaillant sur les thématiques du 4 pour 1000 à Sète en novembre 2018 avait pour but d'identifier et de structurer les fronts de science comme des actions de recherche à programmer de façon prioritaire pour alimenter les thèmes du programme de recherche de l'Initiative 4P1000. (Lire Bulletin n°10)

Un rapport de l'atelier « La recherche française et le volet recherche de l'initiative 4 P1000 » vient d'être publié qui présente les résultats de cette réflexion menée au sein de plusieurs groupes thématiques.

Ces groupes ont traité les aspects environnementaux, socio-économiques et plus largement sociétaux associés au stockage du carbone dans le sol à plusieurs échelles de temps : la situation actuelle, une phase de transition et le long-terme en termes de recherche comme d'actions à poursuivre pour maintenir, voire augmenter le stockage du carbone des sols et assurer la transition vers les agroécosystèmes durables.



Le rapport s'intéresse ainsi aux perceptions et pratiques des agriculteurs, aux conditions du maintien et de l'augmentation à long-terme des stocks de carbone du sol et à leurs relations avec l'aménagement du territoire. Il identifie les fronts de recherche en termes d'outils d'évaluation et de suivi – notamment par l'usage de la télédétection pour dresser des bilans carbone – ainsi que de moteurs de la transition. Il s'efforce enfin de mettre en lumière les co-bénéfices des changements de pratiques. ■

Claire WEILL
Inra, 4P1000

>> Télécharger le rapport

► 4p1000sete2018.sciencesconf.org/data/pages/Mobilisation_de_la_recherche_fr_4P1000_Setee_Rapport_1.pdf

MISSIONS SATELLITAIRES

SWOT : une mission innovante dédiée à l'hydrologie continentale

SWOT est une mission de recherche proposée par la NASA dans le cadre du Decadal Survey de son programme d'Observation de la Terre. Le principal objectif de SWOT est de réunir les besoins des communautés hydrologiques et océanographiques en un seul satellite, avec le recueil de données océanographiques et hydrographiques inédites, à l'échelle planétaire, notamment la frange littorale et côtière. SWOT veut ainsi répondre aux enjeux et à la demande sociétale en termes de gestion de l'eau. La description de plus en plus précise du cycle de l'eau sur les terres émergées permet une meilleure prévision du climat et un contrôle affiné des ressources en eau de la planète (consommation et activités humaines telles que l'agriculture, l'urbanisation, la production d'énergie hydroélectrique...). Le suivi des ressources en eau à l'échelle planétaire est un enjeu de société majeur pour lequel les techniques spatiales ont un rôle déterminant à jouer.

La mission SWOT va permettre de mesurer les hauteurs d'eau des océans, des fleuves, lacs et zones inondées, en utilisant un nouveau concept technique : l'altimétrie interférométrique. Par rapport à l'altimétrie conventionnelle, qui fournit des données ponctuelles le long de profils espacés de plusieurs dizaines/centaines de km, l'altimétrie interférométrique à large fauchée sera capable de fournir des hauteurs d'eau de précision centimétrique, les pentes des plans d'eau et leur largeur – pour les fleuves d'une largeur supérieure à 100 m et rivières et les lacs et réservoirs de plus de 250 m² – avec une résolution temporelle de l'ordre de la semaine. Les applications de cette mission sont vastes : prédiction des crues, gestion des eaux de surface pour la consommation, l'irrigation, la navigation fluviale, la production d'énergie hydroélectrique, la propagation des épidémies, etc. pour l'hydrologie à la circulation méso échelle pour l'océanographie.

Accompagner les acteurs de l'eau

Soutenu par le Programme Investissement Avenir, le CNES a mis en place le programme SWOT-aval afin de préparer les

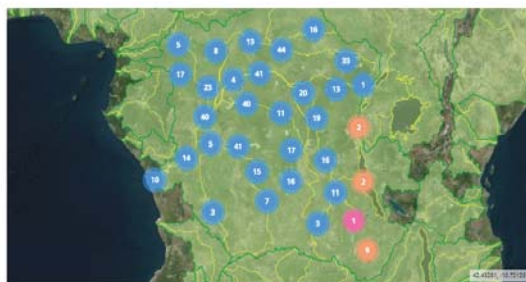
acteurs de l'eau à l'arrivée des futures données SWOT, mais également à les sensibiliser à l'utilisation du spatial (données Copernicus en particulier) en hydrologie. Le programme SWOT-aval suit et soutient les développements réalisés dans les différents CES Theia : occupation du sol (chaîne IOTA2 sur l'Afrique de l'Ouest) ; qualité des eaux (OBS2CO et l'estimation des flux sédimentaires combinés à SWOT) ; hauteurs d'eau (Hydroweb) ; les surfaces enneigées (chaîne LIS) ; les surfaces en eau avec le développement de la chaîne SurfWater basée sur Sentinel-1 et 2 ; et enfin l'humidité des sols avec SMOS et S1. En parallèle, le programme SWOT-aval met en place Hydroweb-NG, base d'informations spatialisées sur l'eau qui centralisera l'accès à toutes les données et produits issus du spatial en un point d'accès unique et sera intégrée à Theia.

Ces activités se font en lien avec le TOSCA, les différents laboratoires et Theia. Cette coordination et mise en valeur de l'excellence scientifique française constituent un réel succès reconnu au niveau européen et international : Hydroweb est maintenant intégré au programme Copernicus Global Land et Copernicus Climate Change Services et participe au Climate Change Service (CCI) sur les lacs ; les surfaces enneigées seront intégrées dans les couches haute résolution pan-européenne Neige et Glace du Copernicus Land Monitoring Service.

Démonstration sur le bassin du Congo

Afin de démontrer l'intérêt du spatial aux acteurs avals, un Groupe de travail sur l'hydrologie spatiale réunissant le Cnes, l'IRD, l'Irstea, l'AFD, l'OIEau, BRLi et la CNR a été créé en 2014. Le bassin du Congo a été choisi comme bassin pilote. Un accord entre les sept institutions publiques et privées a été signé à la COP22 à Marrakech permettant un accord avec la CICOS, l'agence de bassin transfrontalier du fleuve Congo. Avec le soutien de l'AFD, ces travaux permettent à la CICOS de disposer d'un Système d'Information Hydrologique opérationnel intégrant

les données issues de l'altimétrie spatiale d'Hydroweb et les données in-situ. L'altimétrie spatiale s'est avérée être d'un grand intérêt également pour la mise en place de services de prévision de navigabilité et pour la détermination d'un atlas du potentiel hydroélectrique du bassin.



Couverture du bassin du Congo par Hydroweb
 ► hydroweb.theia-land.fr/

Les travaux du groupe de travail se focalisent maintenant sur d'autres bassins africains, tels que le Niger, le Tchad et le Sénégal, où l'altimétrie et les autres variables d'intérêt en hydrologie (occupation du sol, qualité de l'eau, surfaces en eau, etc.) seront mises en avant, en plus de l'altimétrie. ■

Selma CHERCHALI
 (Cnes, SWOT et SWOT Downstream)

TRISHNA : une mission franco-indienne pour suivre l'état hydrique des écosystèmes continentaux

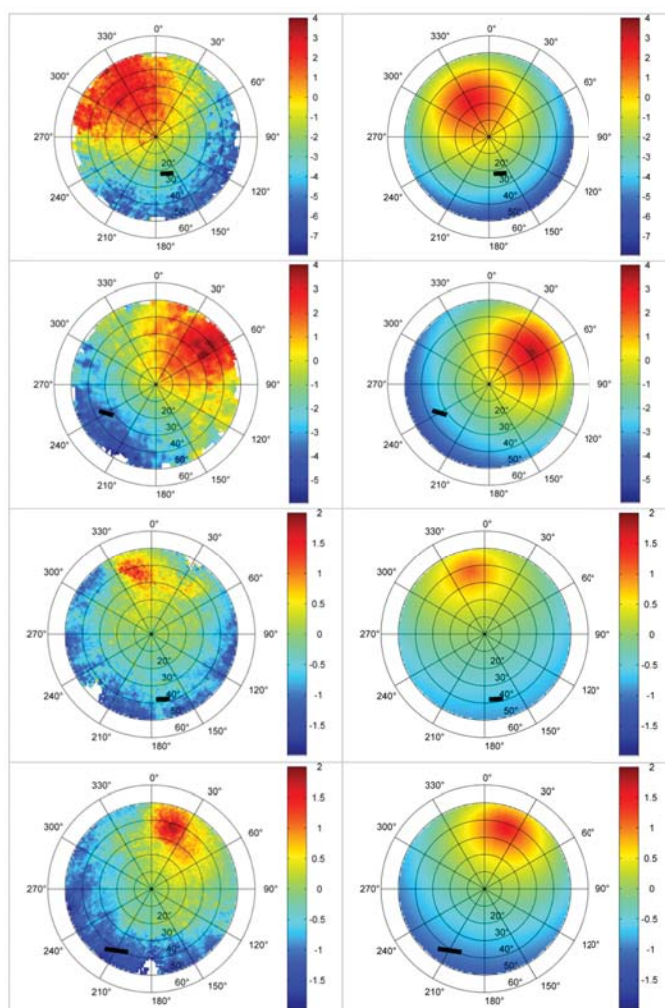
TRISHNA (Thermal infraRed Imaging Satellite for High-resolution Natural resource Assessment) est une future mission à haute résolution spatio-temporelle dans l'infrarouge thermique (IRT) étudiée en collaboration entre les agences spatiales française (Cnes et indienne (ISRO) pour un lancement prévu en 2025. Les objectifs scientifiques guidant la définition de la mission sont, par ordre de priorité, le suivi de l'état hydrique et du stress des écosystèmes continentaux ; le suivi des eaux côtières et continentales ; l'urbain ; ainsi que des applications à la Terre solide, la cryosphère et l'atmosphère.

TRISHNA sera positionné sur une orbite polaire à l'altitude 761 km procurant une revisite de 3 passages sur 8 jours avec une couverture globale. L'heure de passage autour de 13h00 LST permet d'acquérir des données thermiques en milieu de journée, mais aussi en milieu de nuit. L'instrument proposera 4 canaux thermiques (8.6 µm, 9.1 µm, 10.4 µm, 11.6 µm) et 6 canaux optiques (485 nm, 555 nm, 650 nm, 860 nm, 1 380 nm, 1 650 nm) avec une résolution spatiale comprise entre 50 m et 60 m pour tous les canaux. La précision requise est de 1k avec un NeDT de 0.2K.

TRISHNA disposera d'un grand champ de vue de 35° pour assurer la couverture globale, ce qui va générer des effets directionnels dont la magnitude a été mesurée in situ jusqu'à 5 °C (forêts) et 10 °C (vignobles, urbain). Dans la zone intertropicale et de mars à octobre, l'une des trois observations successives sera contaminée par le phénomène du hot spot, qui consiste à observer la cible dans la direction d'éclairement. Des modèles paramétriques (Roujean-Lagouarde, RL), 1D (SCOPE) et 3D (DART) sont à l'étude pour s'affranchir au mieux de la contrainte angulaire à partir d'une meilleure maîtrise de l'anisotropie directionnelle dans l'IRT. Les méthodes GWS (Global Split Window) et TES (Temperature Emissivity Separation) permettront d'estimer la température de surface corrigée des effets atmosphérique et des effets d'émissivité.

Un dispositif de recherche structuré

Un groupe de mission scientifique a été structuré en 8 sous-groupes thématiques franco-indiens (Stress des écosystèmes, Littoral-Côtier et Eaux Continentales, Urbain, Cryosphère, Atmosphère, Terre Solide, Cal/Val, Elaboration de Produits). Leurs activités sont multiples et vont de la consolidation des spécifications de mission (variabilité directionnelle, caractérisation de l'impact de la turbulence atmosphérique, estimation de l'émissivité, position et largeur des spectres thermiques) à la définition des produits et leur validation sur des réseaux in situ. Ils assurent enfin le lien avec les partenaires indiens sur chacune des thématiques en particulier au travers d'échanges scientifiques et du montage de projets collaboratifs.



Grappe polaire montrant l'amplitude du hot spot thermique en bande large pour de l'urbain (haut) et une forêt de pins (bas) et 2 positions solaires. Le signal mesuré (gauche) est comparé au signal simulé avec le modèle RL (droite). (d'après Duffour et al., RSE, 2016)

L'objectif *in fine* est de co-construire les chaînes de traitement futures, d'en dimensionner les postes d'erreur et de les valider, puis de promouvoir l'utilisation et la diffusion des données dans la communauté. A titre d'exemple, un simulateur *end-to-end* est dans ce but en cours de développement pour la végétation au Cnes avec l'aide du groupe 'tress des écosystèmes'. ■

Jean-Louis ROUJEAN
 (Cesbio)

A2S | Le temps des réalisations

A2S désigne la plateforme de calcul de l'Université de Strasbourg et du CNRS dédiée aux Applications de Surveillance par Satellite. A2S offre des services de traitement de données massives d'Observation de la Terre et constitue une Infrastructure de Données Spatiales (IDS) au service de la recherche et des usagers de l'ART Grand Est tout en étant accessible au-delà des frontières régionales.

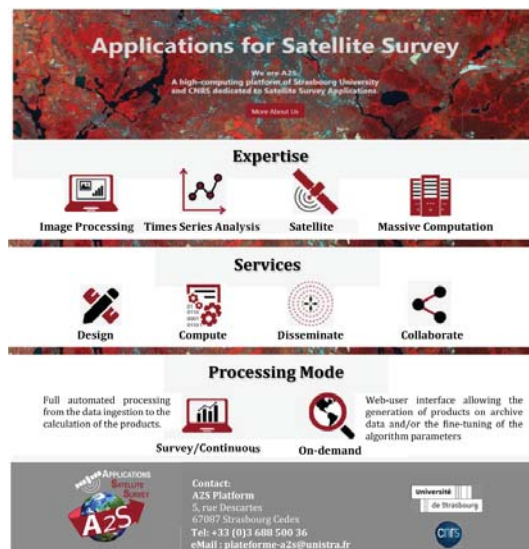
Cette IDS, présentée en détail dans le Bulletin Theia de décembre 2018, associe des capacités propres de calcul et de stockage, des logiciels spécialisés – pour l'ingestion et le pré-traitement de données et pour la réalisation de produits thématiques – ainsi qu'une équipe d'experts en traitement massif et ingénierie logicielle issue des différents laboratoires de l'Université de Strasbourg. L'objectif poursuivi par les trois laboratoires fondateurs de la plateforme (EOST, ICube et LIVE) est de valoriser et de développer les services de cette IDS, en l'intégrant et en contribuant à des initiatives nationales et européennes pour satisfaire à la fois des besoins de la recherche et ceux d'utilisateurs finaux. Sur le plan national, l'intégration s'effectue au travers les pôles de données Theia et ForM@Ter, tous deux membres de l'IR d'observation du système Terre – Data Terra. A l'échelle européenne, elle passe par le réseau de ressources de l'ESA.

Passer à la pratique

Réaliser cette intégration demande de coordonner des ressources distribuées de quatre façons :

- 1) l'organisation de la production de données de base en flux continu (images satellitaires mises en forme et produits dérivés élémentaires) et d'informations géolocalisées à valeur ajoutée type ARD (Analysis Ready Data),
- 2) la standardisation de ces différents niveaux de produits,
- 3) l'organisation de la distribution et du catalogage des produits selon les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable), et
- 4) la mise en place d'outils de diffusion interopérables.

En pratique, des travaux ont été initiés avec divers acteurs de l'observation spatiale de la Terre sur tout ou partie de ces différents plans : répartition des rôles, mise en forme des données et des produits, métadonnées, catalogage et outils de distribution.



En matière de partage de la ressource et afin de progresser autour de réalisations concrètes, le portage sur l'IDS A2S des chaînes issues des CES Humidité du sol à très haute résolution spatiale et Urbain sont en cours. Dans les deux cas, l'objectif est de réaliser une production en temps court et récurrente de produits thématiques de haut niveau, sur plusieurs régions françaises. ■

L'équipe A2S

► www.a2s-earthobservation.eu

Mundi Web Services | un espace ouvert sur de nouvelles opportunités

Mundi Web Services est une plateforme digitale d'Atos conçue pour faciliter l'accès et l'utilisation des données d'observation spatiale afin de créer et exploiter des applications innovantes quel que soit le marché. Combinant un accès simple, gratuit et illimité à l'imagerie Copernicus, aux données thématiques et in-situ, aux technologies du cloud et au Big Data, Mundi contribue à la mise sur le marché de services numériques innovants basés sur les données d'observation de la Terre.

Copernicus comme écosystème

Le programme européen Copernicus s'appuie sur une série de mission d'observation de la Terre nommées Sentinel. Les données acquises par ces missions sont systématiquement captées et traitées pour fournir des produits opérationnels aux utilisateurs. Les données et les informations distribuées par Copernicus ne s'arrêtent pas là. Les services Copernicus génèrent également des informations à valeur ajoutées ainsi que des données in-situ.

Mundi s'insère dans le programme DIAS (Data et Information Access Services) souhaité et financé par la Commission Européenne. Constitué de différents systèmes virtuels hébergés dans un environnement de calcul à distance et fournissant des services informatiques, cette infrastructure Cloud permet le traitement et l'exploitation d'un ensemble de données, fournies d'abord par Copernicus, mais pouvant également inclure d'autres données

géospatiales (par exemple, les données des missions EO ESA, des missions nationales, etc.). L'accès aux services et aux applications est également disponible sur notre Market Place offrant une diffusion mondiale.

Une collection de données Mundi permet d'utiliser les données et les informations Copernicus directement sur le cloud. Les données Sentinel bien sûr, qui constituent le cœur du service Copernicus, mais aussi les données Landsat-7, Landsat-8 voire des données privées à très haute résolution. Les données sont accessibles via des interfaces répondant aux standards OGC. D'autres jeux de données d'observation de la Terre ou de données thématiques peuvent en outre être utilisés sur Mundi offrant l'opportunité maximale de développer rapidement et facilement un service personnalisé, fiable et immédiatement monétisable.

Une collection d'outils Mundi donne accès à deux niveaux d'outils : un ensemble de services gratuits permettant une gestion simple des données d'observation de la Terre ; des outils avancés fournis par différents partenaires afin d'assurer une utilisation avancée des données. Les entreprises peuvent également utiliser leurs propres outils et logiciels sur la plateforme, au sein de leur espace cloud dédié ; l'intégration de leurs processus industriels au sein de la plateforme au plus près des données constitue un avantage important.

Des services Cloud L'Open Telekom Cloud fourni par T-System en Allemagne apporte aux utilisateurs européens de Mundi une infrastructure sécurisée, robuste et performante : capable de calculs avec des serveurs distants virtuels ; capable de stocker les données tant par blocs que par un service d'Object Storage, offrant un mécanisme d'accès très simplifié et très évolutif ; capable de distribuer le trafic de données sur de multiples ECS ; offrant des fonctions Big data.

Une assistance Atos et son consortium Mundi offrent aux utilisateurs un très large éventail de services d'assistance venant compléter leurs propres compétences. De l'assistance technique ou fonctionnelle au conseil plus thématique ou métier, l'équipe Mundi est conçue pour aider les utilisateurs à saisir de nouvelles opportunités.

Pour les entreprises comme pour les chercheurs

Mundi apporte des services utiles dans de très nombreux secteurs, dont l'agriculture, le suivi urbain, les services (Finance, Assurance, Distribution), le tourisme, les transports et l'environnement. Grâce aux éléments-clés apportés par ses partenaires, la création de services à valeur ajoutée dans Mundi repose sur des composants robustes et entretenus dans le temps. Mundi accueille déjà les résultats de différents projets de recherche menés en Europe comme EUXDAT ► www.euxdat.eu, EO4WildLife ► eo4wildlife.eu ou EO4Agri ► www.eo4agri.eu. ■

Laurent CLERGUE
Atos Integration France
mundiwebservices.com

COSPAR | Promouvoir la recherche spatiale

Créé par le Conseil International pour la Science (ICSU) en 1958, dans le sillage de l'Année Géophysique Internationale et du lancement du premier satellite artificiel de la Terre, le Comité mondial de la Recherche Spatiale (en anglais, *Committee on Space Research* ou COSPAR) a pour mission de promouvoir la recherche scientifique spatiale internationale, en mettant accent sur l'échange des résultats, des informations et des opinions.

Un forum de discussion et de coopération

Le COPSPAR fournit également à tous les scientifiques un forum de discussion des problèmes qui peuvent affecter la recherche scientifique dans l'espace. Deux à trois mille chercheurs du monde entier assistent à l'Assemblée scientifique biennale du COSPAR. Celle de 2018 a eu lieu à Pasadena en Californie (photos ci-dessous). En 2020, elle se tiendra à Sydney en Australie (► www.cospar2020.org), puis en 2022 à Athènes.

Les années impaires, le COSPAR organise un Symposium de 300 participants dans des pays déployant une activité spatiale de taille intermédiaire, tels la Thaïlande (2013), le Brésil (2015), la Corée du Sud (2017) ou Israël (► www.cospar2019.org). Les



L'Assemblée scientifique du COSPAR, Pasadena, États-Unis, 15-22 juillet 2018.

46 institutions académiques nationales et 13 organisations scientifiques internationales

46 institutions académiques nationales et 13 organisations scientifiques internationales sont membres du COSPAR. Le Conseil composé des représentants Conseil se réunit tous les deux ans, lors des Assemblées générales, et élit un Bureau, actuellement présidé par le Professeur Lennard Fisk (Université du Michigan, États-Unis).

capacités offertes par les petits satellites intéressent beaucoup dans ce contexte. En novembre 2019, le Symposium traitera des résultats du microsatellite *Venus*. Un atelier de formation intitulé *Principles and Practice of Nano-Satellite Engineering* y sera organisé du 28 octobre au 1^{er} novembre 2019.

De la formation et des publications dédiées

Le COSPAR consacre un important effort à la formation (► cosparhq.cnes.fr/events/cb-workshops). En moyenne, trois ateliers par an sont organisés dans des pays en développement, soit plus de mille participants depuis 2001, principalement en astronomie et en observation de la Terre. Par exemple, un atelier intitulé *Interdisciplinary Remote Sensing, Modeling and Validation of Environmental Processes* s'est tenu du 12 au 23 juin 2017 à Kumasi au Ghana (► feer.gsfc.nasa.gov/meetings/COSPAR2017/).

Les publications scientifiques du COSPAR, notamment *Advances in Space Research*, accueillent articles et numéros spéciaux dont plusieurs ont été consacrés à l'observation de la Terre. Un bulletin d'information, *Space Research Today*, est distribué gratuitement tous les quatre mois aux quelque 10 000 Associates qui participent aux activités du COSPAR (dont 1 800 dans la Commission A, qui couvre les sciences de la Terre).

Lors d'un séminaire stratégique tenu à Carnon en décembre 2018, le COSPAR a adopté des orientations offensives en faveur d'une plus grande implication des chercheurs en début et en milieu de carrière, avec un fort accent sur la parité et la diversité. Un site Internet amélioré (► www.cosparhq.cnes.fr) sera bientôt mis en service et une nouvelle lettre d'information mensuelle électronique sera diffusée à partir de la rentrée aux Associates et tous ceux qui en feront la demande. ■

Jean-Louis FELLOUS,
Directeur exécutif du COSPAR
www.cosparhq.cnes.fr

Basé en France, le Secrétariat du COSPAR emploie trois personnes. Depuis 2017, il est installé à Montpellier dans les locaux de la Maison de la Télédétection. Le Secrétariat assure la coordination des activités des huit Commissions Scientifiques et des onze Panels Techniques du COSPAR, les relations entre le COSPAR et les organisateurs nationaux de ses Assemblées et Symposiums, et soutient les activités de formation, les publications et les études prospectives scientifiques commanditées par le COSPAR, telles le rapport *Observation and Integrated Earth-system Science: a Roadmap for 2016-2025*.

Les parcs nationaux suivent la couverture du manteau neigeux avec Theia

L'élaboration du Plan d'applications satellitaires (PAS) 2018 du ministère de la Transition écologique et Solidaire (MTES) et du ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales (MCTRCT) a permis l'expression de nombreux besoins de services (► Lire Bulletin n°10).

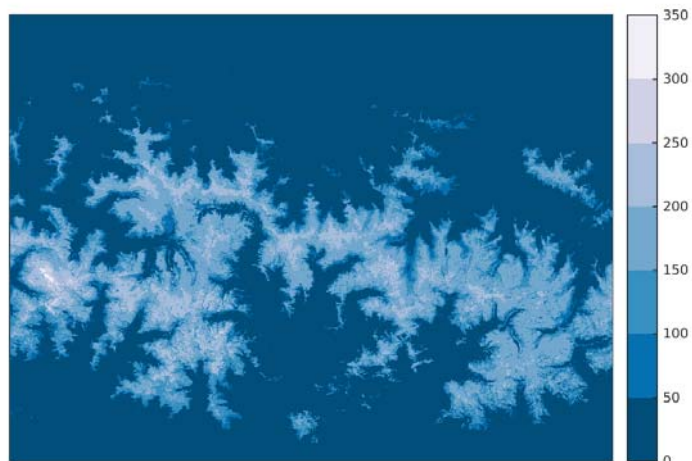
Parmi les 20 besoins retenus (► www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/plan-d-applications-satellites-2018-r1016.html), on trouve la connaissance de la couverture du manteau neigeux. Le Parc national de la Vanoise en assure le pilotage. Outre le suivi du recul des glaciers, le Parc national de la Vanoise – ainsi que le Parc national des Ecrins – utilise l'imagerie satellitaire dans le cadre du programme « Alpages sentinelles » qui vise à connaître l'évolution des alpages d'altitude vis-à-vis des changements climatiques (date de la fonte des neiges et disponibilité de l'herbe).

D'autres Parcs nationaux, en particulier le Parc du Mercantour, sont également intéressés par cette question, notamment pour le suivi de certains animaux, le lièvre variable et le lagopède. La connaissance de l'étendue de la couverture du manteau neigeux et de son retrait, permet de suivre ces espèces et d'anticiper leurs déplacements.

L'intérêt du produit Neige Theia

Dans la perspective générale de mise en œuvre du PAS 2018, la Mission de l'information géographique (MIG) du MTES a noué des relations avec Theia et identifié un produit existant répondant à cette problématique de couverture du manteau neigeux. Des cartes sont produites à partir des images Sentinel-2, fréquence tous les 5 jours, résolution 20 m. La légende est : neige, pas de neige, nuages. Les cartes sont disponibles 4 jours après les prises de vue. Elles sont gratuites et accessibles sur le site de Theia (► www.theia-land.fr/product/neige/). Les résultats obtenus sont très bons, même s'il subsiste deux difficultés, distinction de la neige des nuages, détection de la neige dans les forêts denses.

Afin de favoriser la réutilisation de cette application, déjà opérationnelle, le Parc national de la Vanoise, avec le soutien de la MIG a organisé une réunion d'échanges avec les utilisateurs



Carte de la durée d'enneigement dans les Pyrénées au cours d'une année hydrologique (1^{er} septembre 2016 au 31 août 2017), produite par synthèse des produits de surface enneigée Theia.



Le produit Theia permet d'établir des cartes de durée d'enneigement synthétique et simplifiant l'utilisation des données Theia pour les acteurs de terrain.

► osr-cesbio.ups-tlse.fr/echangeswww/majadata/simon/snowMaps.html

intéressés, le CNES et le pôle Theia. Cette séance s'est tenue le 23 mars à Chambéry, au Parc national de la Vanoise. Y ont contribué, outre le Parc, le Parc national du Mercantour, celui des Pyrénées, plusieurs DDT (15, 62, 74) et le syndicat mixte d'aménagement de la vallée de la Durance (SMAVD).

Inventorier les usages et les besoins

Les participants ont ainsi découvert les possibilités de l'outil développé par Theia et partagé leurs pratiques et attentes. Plusieurs usages ont été présentés : meilleure connaissance des ressources en eau dans un massif, sentiers enneigés à une date donnée, suivi régulier de l'enneigement des stations de ski, risques de crue.

Ils ont également évoqué plusieurs attentes : cartes de durée d'enneigement, mesure des surfaces enneigées, estimation des stocks d'eau (en projet), dates de dé-enneigement à haute fréquence, dynamique de la neige de culture, indicateurs du changement climatique, fourniture uniquement du masque de neige, format de livraison (raster ou vecteur ?), montage en tuiles (flux WMS), plusieurs options au téléchargement, formation des utilisateurs.

Les participants ont également convenu de compléter l'inventaire des usages et des besoins, et d'ouvrir à d'autres acteurs potentiellement intéressés : agences de bassin, autres Parcs nationaux, DDT des massifs montagneux, SHAPI, etc.

La MIG mettra également à disposition des acteurs un espace de partage qui permettra de recueillir des besoins d'utilisateurs (document préparé par le parc national de la Vanoise disponible sur : ► lite.framacalc.org/iu7tFICwqr), de disposer de documents (exposés, guides) et un outil de discussion (forum). ■

Claire LAGAYE
Parc national de la Vanoise
claire.lagaye@vanoise-parcnational.fr

José DEVERS
MTES – MIG
applications-satellites@developpement-durable.gouv.fr

Simon GASCOIN
Cesbio, CES Surfaces enneigées
simon.gascoin@cesbio.cnes.fr



La neige dans les montagnes de Wicklow en Irlande près de Dublin le 02 février 2019 par Sentinel-2.

Mesurer l'enneigement : un défi relevé et reconnu

Quelle est l'histoire et la spécificité du produit Neige disponible sur Theia ?

Simon GASCOIN : La production opérationnelle du produit Neige de Theia a démarré fin 2017. Avant cela, nous avons généré de nombreux produits sur les serveurs de calcul du Cesbio, et puis il y a eu une première phase de production sur un lot d'images Sentinel-2 par MUSCATE au Cnes pour tester la chaîne de traitement en condition de production opérationnelle.

L'algorithme et le produit ont été, pour l'essentiel, définis en 2015 à partir de séries SPOT-4 Take 5 sur les Pyrénées et l'Atlas. Il a peu évolué depuis, mais les paramètres ont été ajustés. Le produit neige bénéficie surtout des améliorations de la chaîne de traitement de niveau 2A en amont.

Il n'y a pas de produit équivalent à ce jour. L'USGS distribue des cartes de la fraction de la surface enneigée à partir de données Landsat, mais ce n'est pas une production continue et, surtout, ces cartes n'offrent pas la répétitivité de Sentinel-2. Nous avons pris le parti de distribuer la présence ou l'absence de neige et non la fraction enneigée par pixel : ce produit est à mon avis plus facile à adopter pour les utilisateurs, même si la fraction de neige est une information plus riche en théorie.

Ce produit est le résultat d'un travail d'équipe : au Cnes, Manuel Grizonnet, au Cesbio, Olivier Hagolle et Simon Gascoin, à Magellium, Germain Salgues. Manuel a changé de service et sera remplacé par Aurore Dupuis au Cnes. Mais il faut citer aussi toute l'équipe de MUSCATE, sans oublier Arnaud Sellé et Nicolas Bagdhadi pour la coordination de Theia, ainsi que Sophie Ayoubi et Isabelle Biagiotti à la communication !

Vous venez de participer à un appel d'offre européen qui comporte une dimension « Neige ». En quoi le produit neige Theia tel qu'il existe a contribué au succès de la proposition ?

Simon GASCOIN : Nous avons travaillé avec l'entreprise Magellium dans le cadre du développement de la chaîne de traitement. Il était naturel de continuer à collaborer avec eux pour

répondre à un appel d'offre européen qui vise à cartographier en temps réel les surfaces enneigées et englacées avec Sentinel-2 à l'échelle de l'Europe pour le compte de l'Agence européenne de l'Environnement au titre du programme Copernicus.

Grâce à Theia, nous avons la démonstration toute faite que notre système était opérationnel à grande échelle. Le développement du produit Theia nous a aussi poussé à maintenir le code et sa documentation au fur et à mesure des évolutions des données de niveau 2A. Lors d'une réunion Theia, quelqu'un m'a demandé si j'avais fait une évaluation du produit neige Theia avec des mesures *in situ*. Au départ, je n'étais pas convaincu de l'intérêt de cette comparaison car je préférais valider visuellement ou alors avec d'autres images de télédétection à plus haute résolution. Mais cette question m'a poussé à réaliser une comparaison avec des données de stations Météo-France. Outre son intérêt scientifique, je pense que ce travail a été payant, car c'était une demande explicite de l'appel d'offre et nous avons donc pu montrer des résultats très encourageants en ce sens.

Quel est l'avenir du produit Neige ?

Simon GASCOIN : De nombreux utilisateurs ont besoin de condenser l'information fournie par des cartes de l'enneigement et sont gênés par les nuages dans leurs analyses. De plus, le produit Neige Theia n'est disponible qu'à la date de passage du satellite. Nous aimerions donc proposer un service à la demande qui permette d'obtenir une carte de la durée d'enneigement par pixel de 20 m pour une période définie par l'utilisateur indépendamment de la date de passage du satellite.

Ce service permettrait de résoudre ces deux obstacles et donc élargir la communauté d'utilisateurs. Un démonstrateur est disponible ici : ► www.cesbio.ups-tlse.fr/multitemp/?p=14620. ■

Entretien avec Simon GASCOIN
CES Surface enneigée

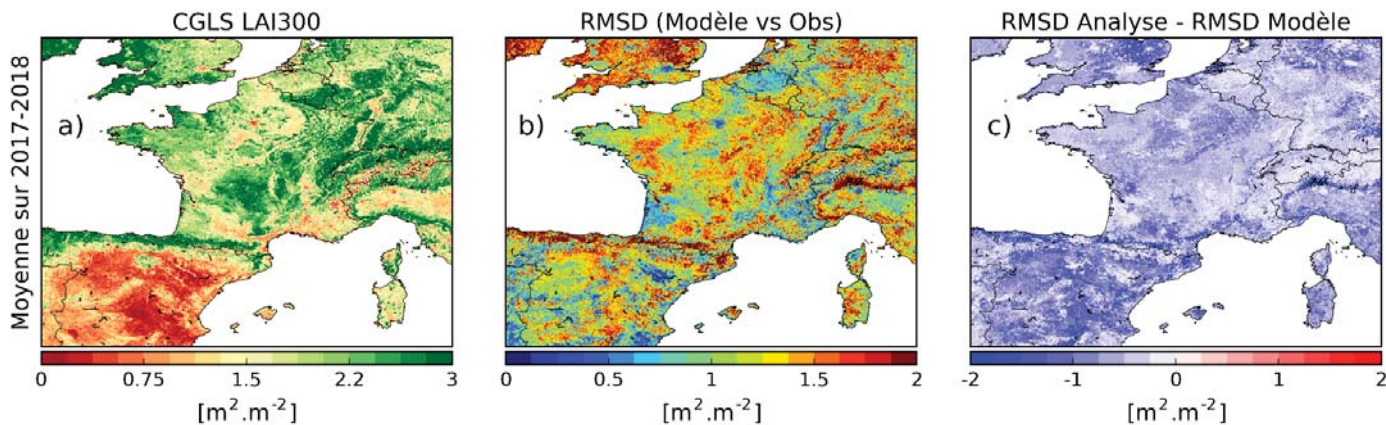
www.theia-land.fr/ceslist/ces-surface-enneigee

Vers l'assimilation de données satellitaires à haute résolution spatiale sur les surfaces terrestres

Dans le contexte de changements climatiques, les phénomènes extrêmes et particulièrement la sécheresse sont de plus en plus fréquents en France. La détection et le suivi des sécheresses font intervenir de nombreuses variables du système sol- plante, comme le contenu en eau des sols et l'indice de surface foliaire (LAI) de la végétation.

Le modèle Interaction Sol-Biosphère-Atmosphère (ISBA) dédié aux surfaces continentales, développé par le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), est capable de reconstituer ces variables à diverses échelles spatiales, de l'échelle locale à l'échelle mondiale. Intégré à la plateforme de modélisation SURFEX de Météo-France, ce modèle permet de simuler les principaux processus liés au bilan hydrique. Un système d'assimilation de données (*land data assimilation system*), LDAS-Monde, permet

de l'assimilation du LAI à 300 m de résolution sur le LAI modélisé par ISBA sur le domaine couvert par AROME-France, le modèle de prévision numérique du temps à maille fine exploité en opérationnel par Météo France. Ce modèle atmosphérique a une résolution spatiale de 1,3 km. Les données sont agrégées à 2,5 km sur la figure. À gauche se trouvent les observations de LAI moyennées sur deux ans, 2017 et 2018. Au centre, l'erreur quadratique moyenne (RMSD) entre le modèle ISBA (sans assimilation) et les observations est présentée. Enfin à droite, on montre la différence entre la RMSD pour l'analyse avec assimilation et la RMSD pour le modèle ISBA seul. Cette dernière est entièrement dominée par des valeurs négatives (en bleu) montrant ainsi que l'assimilation de données produit un LAI plus proche des observations que le modèle ISBA seul.



l'intégration de différents produits satellitaires afin de contraindre le modèle ISBA. Par exemple, LDAS-Monde permet l'assimilation dynamique d'observations satellitaires de LAI dans ISBA et, ainsi, une réduction des incertitudes sur les variables simulées. Ces observations de LAI sont désormais disponibles à l'échelle mondiale en temps quasi réel, de manière répétée dans le temps, à 1 km ou à 300 m de résolution (service « global land » de Copernicus).

L'importance de l'assimilation

LDAS-Monde a été mis en place pour différentes échelles spatiales, de l'échelle globale à 0.25° de résolution à l'échelle de la région à 1 km de résolution. La figure ci-dessous décrit l'impact

de l'assimilation permet d'inclure de l'information géographique manquante dans le modèle, de réduire la cascade des incertitudes affectant les simulations et de compenser l'absence de certains processus dans le modèle. ■

Clément ALBERGEL, Bertrand BONAN
& Jean-Christophe CALVET
(Centre National de Recherches Météorologiques,
Meteo France, CNRS)
Contact : clement.albergel@meteo.fr

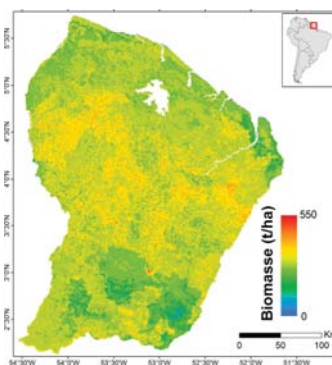
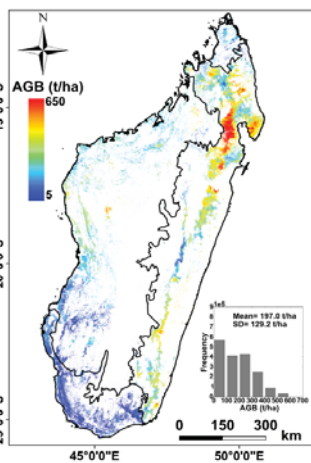
Biomasse forestière aérienne : le défi d'une fusion de données multi-capteurs

Les données LiDAR de la mission GLAS/ICESAT ont été exploitées sur de nombreux sites ces dernières années à Tetis pour l'élaboration de cartes de biomasse forestière aérienne (AGB). Comme ces données sont peu denses, il a été nécessaire de les utiliser en complément à d'autres sources de données : données de télédétection (radar satellitaire en bande L du capteur ALOS/PALSAR), données optiques du capteur MODIS, jeux de données environnementales.

L'approche utilisée est basée sur la technique de régression-krigeage des données de télédétection et des variables environnementales (pluviométrie, température, pente...). La méthodologie suit quatre étapes principales :

- (1) établir un modèle (Random Forest) pour lier les estimations *in situ* de la biomasse aux paramètres dérivés des données spatiales et des données climatiques ;
- (2) appliquer le modèle établi (étape 1) pour dériver une carte de biomasse préliminaire,
- (3) estimer la meilleure régression linéaire entre des métriques (variables) dérivées des formes d'onde lidar du satellite GLAS/ICESat (footprint d'environ 60 m de diamètre) et des données *in-situ* de biomasse (*Forest Above Ground Biomass - AGB*),
- (4) améliorer la précision de la carte de biomasse obtenue précédemment (étape 2) en lui rajoutant le résidu (AGB GLAS – carte de l'étape 2) krigé.

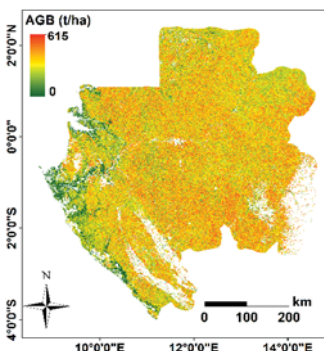
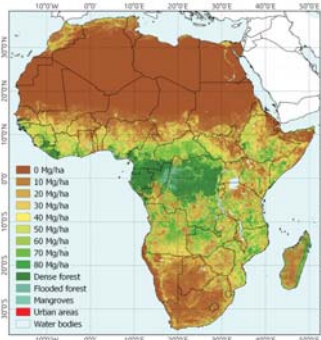
Des cartes de biomasses sur la Guyane (1 km x 1 km), Madagascar (250 m x 250 m) et le Gabon (50 m x 50 m) ont été produites avec une erreur quadratique moyenne (RMSE) entre 50 et 70 Mg/ha. Ces cartes présentent un fort potentiel compte tenu de leur précision en comparaison aux deux cartes d'AGB mondiales de Baccini, et Avitabile. En effet, la comparaison entre les deux cartes globales et les données AGB *in situ* sur nos sites montre que les deux cartes globales présentent des fortes erreurs (RMSE entre 135 et 168 Mg/ha).



Des travaux ont également été menés au CESBIO pour élaborer une carte de biomasse sur l'Afrique (résolution de 50 m x 50 m). L'approche est basée sur l'inversion bayésienne d'une mosaïque continentale de données SAR bande L de l'instrument ALOS PALSAR (polarisations HH et HV). La biomasse aérienne est estimée jusqu'à 85 tonnes/ha dans les milieux de savanes et forêts ouvertes ; les forêts denses, forêts inondées, mangroves, zones urbanisées et surfaces en eau sont masquées à partir du produit ESA CCI Land Cover. ■

Vers une meilleure précision encore

L'arrivée de nouvelles données lidar (GEDI et ICESAT-2) avec une densité de points plus importante va nous permettre de proposer de produits de biomasse avec une meilleure précision et sur des résolutions spatiales plus fines (quelques centaines de m). Ces nouvelles données pourront être utilisées en complément aux données radar bande L (ALOS/PALSAR) ou P (mission Biomass).



Nicolas BAGHDADI
(Irstea, Tetis)

Produits biomasse
▶ www.theia-land.fr/acces-aux-donnees/

Madagascar, Gabon et Guyane, Afrique – des résultats concrets d'évaluation de la biomasse forestière aérienne à partir de données LIDAR.

L'indice L-VOD pour le suivi du fonctionnement et de la biomasse de la végétation

Les mesures micro-ondes passives ou actives (radar) sont fortement sensibles aux effets de l'humidité du sol, du contenu en eau de la végétation et aussi à la rugosité de surface, la structure de la végétation et à d'autres paramètres davantage secondaires (texture du sol, température, etc.).

Les ondes émises (passif) ou réfléchies (actif) par le sol, plus ou moins intensément en fonction de son humidité (SM), sont atténuées par le couvert végétal avant d'être mesurées par les capteurs satellites. L'indice de végétation *Vegetal Optical depth* (VOD) permet de caractériser cet effet d'atténuation des radiations micro-ondes par la végétation. Dans le domaine passif, le VOD est bien relié linéairement au contenu en eau de la végétation (*Vegetation Water Content* - VWC).

De nombreuses études récentes s'appuient sur l'indice VOD pour le suivi du fonctionnement de la végétation. Le VOD prend ainsi progressivement une place croissante dans la littérature aux côtés des indices végétation issus de mesures optiques (NDVI, EVI, etc.). Plus la longueur d'onde est grande et la fréquence basse (~20 cm à 1.4 GHz ; ~5 cm à 6 GHz ; ~3 cm à 10 GHz, correspondant aux bandes L-, C- et -X), mieux les ondes passent à travers la végétation, et l'effet d'atténuation (et donc le VOD) décroît. Les mesures en bande L (SMOS, SMAP pour le passif, PALSAR pour l'actif) sont donc mieux adaptées au suivi de l'humidité du sol. Elles saturent moins vite aussi dans le suivi de la végétation sur des couverts denses.

Des applications variées

Le VWC varie à l'échelle diurne, et cette variation est fonction du fonctionnement hydrologique de la végétation et des conditions

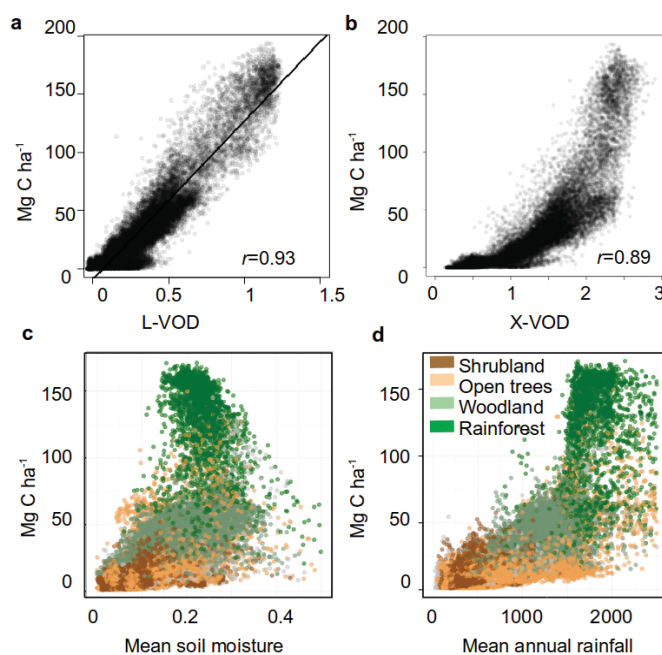


Figure 1. Relation entre AGC (Above-Ground Carbon) et (a) L-VOD et (b) X-VOD sur le continent Africain.

AGC est issu de la carte de biomasse de Saatchi et al., PNAS, 2011

Brandt et al., *Nature Ecology and Evolution*, 2018

© M. Brandt – Université de Copenhague

de stress hydrique. Cette propriété a récemment été utilisée pour une cartographie globale des propriétés d'isohydricité des écosystèmes (Konings and Gentine, 2016). Le VOD permet aussi de suivre les variations saisonnières du contenu en eau de la végétation. Ainsi le L-VOD (i.e. VOD en bande L; version SMOS-IC) issue des mesures SMOS a permis de révéler un comportement spécifique et méconnu du fonctionnement des forêts tropicales sèches (Tian et al., *Nature EE*, 2018) : ces forêts accumulent de l'eau en fin de période humide et sont « gonflées » d'une réserve d'eau au cours de la saison sèche qui vient en appui au développement foliaire quelques semaines avant la saison des pluies (phénomène de « pre-rain green-up »). L'étude a ainsi révélé un découplage temporel de l'ordre de 6 mois entre la phénologie foliaire et celle du contenu en eau dans l'immense forêt tropicale du Miombo (Figure 1).

Le VWC dépend de la biomasse sèche (B_s , kg/m^2) et de l'humidité pondérale (M_g , %) du couvert. Sur de longues périodes temporelles, l'humidité pondérale de la végétation varie peu à grande échelle. La moyenne annuelle du VOD est ainsi bien reliée à la biomasse sèche de la végétation. Cette propriété a été utilisée dans plusieurs études récentes s'appuyant sur le X-VOD (i.e. VOD haute fréquence en bande X) pour caractériser et découpler les impacts climatiques/anthropiques sur les tendances positives (greening) ou négatives (browning et déforestation) de la végétation à des échelles continentales (Liu et al., *NCC*, 2015; Brandt et al., *NEE*, 2017).

Suivre la biomasse aérienne

Des études très récentes se sont appuyées sur le nouveau produit SMOS-IC L-VOD dans le suivi de la biomasse aérienne (AGC) à l'échelle continentale. Le L-VOD est relié à peu près linéairement à la biomasse issue de cartes globales de référence (Baccini, Saatchi). A la différence du X-VOD, aucune saturation n'est discernée avec le L-VOD jusqu'à des niveaux de biomasse de l'ordre de 400 t/ha (soit ~200t/ha en termes de carbone; Figure 2).

En appliquant une calibration spatiale L-VOD / AGC et via une substitution « espace – temps », Brandt et al. (2018) ont mis en évidence l'impact des sécheresses sur les tendances négatives des stocks de carbone dans les régions arides d'Afrique. Les tra-

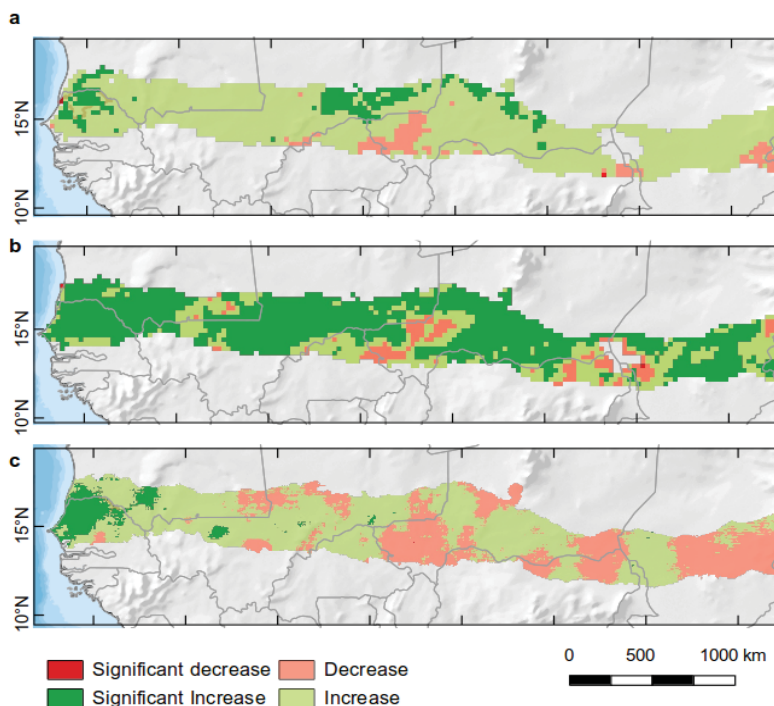


Figure 3. Tendances de l'indice X-VOD et des précipitations (1992–2012) sur la partie ouest du Sahel.

- (a) X-VOD P90-P30, (= écart percentile 90 moins percentile 30), relié à la biomasse herbacée.
- (b) X-VOD P30, relié à la biomasse ligneuse.
- (c) tendance des précipitations.

Les tendances significatives ($P < 0.05$) sont indiquées en foncé.

Brandt et al., *Communications Biology* (2019)

© M. Brandt – Université de Copenhague

vaux sont en cours d'extension à l'échelle de toutes les tropiques (Fan et al., *Nature Plants*, in review), des forêts boréales et à l'échelle globale. Ces études s'intègrent dans le cadre de collaborations de l'INRA avec des laboratoires nationaux, l'Université de Copenhague, la NASA et de nombreux autres partenaires internationaux (Universités d'Oklahoma, Boston, Munich, etc.). Ainsi, de nombreuses autres études basées sur le SMOS-IC L-VOD ont été publiées ou sont en cours dans le suivi de la déforestation en Amazonie, l'effet de greening au Sahel (Figure 3), la réponse asymétrique de la NPP aux perturbations climatiques positives /négatives, les grands programmes d'afforestation en Chine, etc. ■

Jean-Pierre WIGNERON (Inra ISPA Bordeaux)
M. BRANDT (R. Fensholt, University of Copenhagen)
& Philippe CIAIS (LSCE, Paris)

>> Toutes les références sont disponibles auprès de l'auteur ou sur ResearchGate

www.researchgate.net/project/SMOS-IC-2

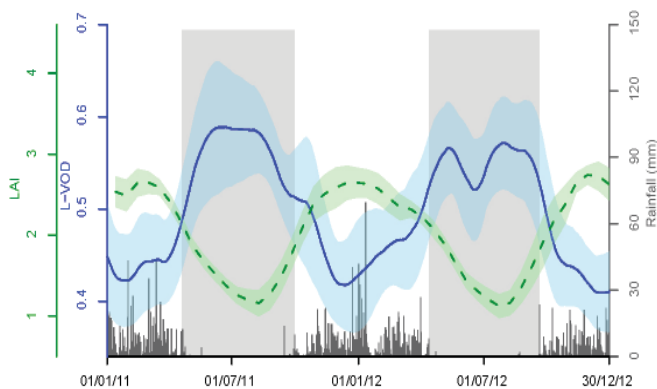


Figure 2. Variations saisonnières sur la forêt tropicale sèche du Miombo en Afrique du contenu en eau des plantes, de la phénologie foliaire et des précipitations.

La période sèche est grisée.

Tian et al., *Nature Ecology and Evolution*, 2017

© F. Tian – Université de Copenhague

Organiser la communauté scientifique pour relever le défi technique de l'exploitation des données et de la diffusion des résultats de recherche.

Vous êtes un spécialiste de traitement d'images géospatiales. Comment êtes-vous impliqué dans Theia ?

Rémi CRESSON : Je suis ingénieur de recherche à l'UMR Tetis (Irstea, prochainement Inrae) et spécialiste en traitement d'image. Je m'intéresse aux approches qui permettent d'extraire de l'information à partir des images géospatiales (en particulier optique et radar). Je fais également de la veille scientifique et technologique et j'accompagne techniquement les chercheurs de mon laboratoire.

Je suis également impliqué dans des projets open-source (comme par exemple les projets Orfeo ToolBox et Zoo-Project), une orientation qui me semble être primordial en tant qu'ingénieur dans un organisme de recherche publique. Ces projets constituent en effet un plateau technologique précieux et indispensable aux scientifiques et académiques.

Je suis amené typiquement à travailler sur des problématiques de calcul, de passage à l'échelle et d'apprentissage machine. Les données que je mobilise la plupart du temps sont des données Spot 6/7, Sentinel-1 et Sentinel-2 mais je suis amené à utiliser toutes sortes de données auxiliaires publiques.

Je contribue déjà à différents CES – Humidité du sol à très haute résolution spatiale et Urbanisation et artificialisation, notamment. J'espère contribuer à d'autres CES prochainement.

Qu'est-ce qui vous motive à vous impliquer dans un réseau comme Theia ?

Rémi CRESSON : Ma matière première est essentiellement constituée d'images satellitaires ! Aujourd'hui, toutes les images sur lesquelles je travaille sont fournies par le pôle Theia : les



Entretien avec Rémi CRESSON

Ingénieur de recherche
UMR Tetis
www.umar-tetis.fr

Contributeur aux
CES Humidité du sol à THRS
► www.theia-land.fr/ceslist/ces-humidite-du-sol-a-tres-haute-resolution-spatiale

CES Urbain
► www.theia-land.fr/ceslist/ces-urbain

données Spot 6/7 sont disponibles gratuitement pour les acteurs publics via Geosud ; les données Sentinel-2 mises en réflectance par les équipes du Cesbio et du CNES sont devenues une donnée de référence fiable et mobilisable par des personnes qui, hier, ne l'auraient jamais fait par manque d'expertise ou de ressource.

Par ailleurs, les CES de Theia constituent une formidable opportunité pour les scientifiques : ils permettent de réunir des experts par thématiques, de favoriser leurs échanges, mais aussi d'augmenter la visibilité de leurs travaux. Theia accorde une grande importance à la valorisation des travaux de recherche, et on voit de solides produits émaner des CES. Il me semble que c'est la première fois qu'une telle organisation permet cela à l'échelle nationale dans notre domaine.

Quels sont aujourd'hui les défis pour l'avenir pour la recherche et pour Theia ?

Rémi CRESSON : Aujourd'hui, nous sommes face à une révolution technologique. D'un côté, il existe de plus en plus de données géospatiales : images satellitaires en flux continu et disponibles publiquement (par exemple Sentinel-1 et Sentinel-2) ; données in situ ouvertes ; données issues de crowdsourcing, etc. D'un autre côté, nous voyons apparaître de nouvelles techniques et architectures (pour le calcul, le stockage, etc.) pour exploiter toute cette masse d'information.

Le défi pour la recherche est de s'adapter à ce changement de paradigme. L'organisation des ressources me paraît un point central que seule une entité comme Theia, avec une échelle nationale au moins, peut rendre efficace. Si la communauté scientifique avance en ordre dispersé, je pense qu'elle sera tôt ou tard en difficulté devant le défi technique que représentent l'exploitation des données et la diffusion de ses propres résultats de recherche.



« Aider les utilisateurs à traiter les masses de données disponibles et leur transférer les résultats de la recherche publique sous une forme exploitable et utilisable

Vous êtes l'animatrice du CES Urbanisation et artificialisation et partie prenante de l'ART Grand-Est (Kalideos-Alsace). Qu'est-ce qui motive votre implication dans Theia ?

Anne PUISSANT : A travers mes activités de recherche et mon implication dans la formation comme responsable d'un Master dédié à l'exploitation des données géographiques numériques (Master 'Observation de Terre et Géomatique' de l'Université de Strasbourg), j'ai toujours essayé de développer des recherches à vocation opérationnelle, c'est-à-dire qui répondent en partie à des besoins identifiés du monde socio-économique. Le lien avec la formation permet d'initier et de proposer à certains organismes d'exploiter des données multisources dont l'imagerie satellitaire fait partie ; source de données à laquelle ils n'auraient pas pensé a priori pour leurs applications. Ces échanges formation/recherche permettent également de développer les liens avec les acteurs du territoire, notamment grâce à des anciens étudiants en poste, et permet d'assurer une veille scientifique dans le domaine.

C'est ainsi que dans le cadre de mes activités de recherches appliquées aux domaines de l'aménagement du territoire et de la planification urbaine, je participais déjà au réseau d'animation régional CIGAL (Coopération pour l'Information géographique en Alsace – devenu depuis le réseau GeoGrandEst). A travers ce réseau très actif, les travaux de recherche étaient ainsi portés à connaissance des acteurs. C'est donc tout naturellement que, lorsque que le réseau des ART a été créé, j'ai intégré l'ART Geo Grand-Est. J'ai ainsi pu formaliser cette animation réalisée auparavant sans véritable cadre en étroite collaboration avec l'ensemble des partenaires du réseau GeoGrandEst.



Entretien avec Anne Puissant

Professeure en géographie et géomatique à l'Université de Strasbourg et rattachée au Laboratoire Image, Ville, Environnement.

Animatrice du CES Urbain
► www.theia-land.fr/ceslist/ces-urbain

Co-animatrice de l'ART Grand-Est
► www.theia-land.fr/artlist/art-kalideos-grand-est/

Co-directrice de la plateforme A2S - Application for Satellite Survey
► www.a2s-earthobservation.eu

Comment cette implication s'articule-t-elle avec vos travaux de recherche ?

Anne PUISSANT : Parallèlement à mes activités de formation, je travaille en collaboration depuis de nombreuses années avec des laboratoires spécialisés sur les questions urbaines (domaine des sciences sociales), et/ou des laboratoires de recherche spécialisés dans les nouvelles technologies (domaine des sciences de l'ingénieur et informatique).

La création de Theia a été une opportunité pour rassembler l'ensemble des laboratoires intéressés par ces deux domaines. Le CES permet d'échanger et de travailler ensemble sur les problématiques et les défis qui sont posés à l'heure actuelle à l'environnement urbain face au changement climatique : étalement urbain, diminution des terres agricoles, perte de biodiversité, îlot de chaleur urbain, etc. L'animation du CES permet d'être en lien direct avec les acteurs des territoires et de développer des recherches permettant de répondre à leurs besoins en allant jusqu'au prototypage/ conception de 'produits à valeur ajoutée' dérivés de l'imagerie satellitaire.

Quel est le principal défi pour l'avenir ?

Anne PUISSANT : Avec l'arrivée des images de la constellation Sentinelle, l'accès facilité aux archives d'images (Landsat, SPOT, etc) et avec le mouvement de l'Open Data, le défi de demain est double : aider les utilisateurs à traiter ces masses de données et leur transférer les résultats de la recherche publique sous une forme exploitable et utilisable dans leurs différents services (gestion, planification, prospective, décisionnelle, etc.). C'est dans ce cadre que les laboratoires de l'Université de Strasbourg se sont regroupés afin de proposer une plateforme dédiée au traitement massif d'imagerie satellitaire (Plateforme A2S). (► Lire p. 6)

Bulletin Theia

Directeurs de publication : N. Baghdadi (Iristea) - A. Sellé (Cnes)

Conception - réalisation : I. Biagiotti (Theia)

Ont contribué à ce numéro : C. Albergel, N. Baghdadi, B. Bonan, M. Brandt, J.-C. Calvet, S. Cherchali, P. Ciais, L. Clergue, R. Cresson, J. Devers, S. Dupuy, J.-L. Fellous, S. Gasoin, M. Despinoy, O. Hagolle, C. Lagaye, J. Massenet, A. Puissant, A. Tran, C. Weill, J.-P. Wigneron

Nous suivre :

► www.theia-land.fr | ► @PoleTheia | ► [linkedin.com/company/pole-theia](https://www.linkedin.com/company/pole-theia)

