

L'infrastructure de recherche « Pôle de données et services pour le système Terre », à la pointe des techniques d'imagerie et de cartographie numérique

Par Frédéric HUYNH

Directeur de l'IR système Terre

Nicolas BAGHDADI

IRSTEA, directeur du pôle Theia

Michel DIAMENT

IPGP, directeur du pôle ForM@Ter

Nicole PAPINEAU

CNES, directrice du pôle AERIS

Gilbert MAUDIRE

IFREMER, directeur du pôle ODATIS

Richard MORENO

CNES, directeur technique IR système Terre

et Pierre MAUREL

IRSTEA, responsable Dinamis

Observer, comprendre et prévoir de manière intégrée l'historique, le fonctionnement et l'évolution du système Terre soumis aux changements globaux est un enjeu fondamental de recherche et une nécessité pour la mise en œuvre des objectifs du développement durable. Cela nécessite des infrastructures interopérables permettant d'accélérer l'extraction, l'analyse, la diffusion et l'usage intelligent des données, des indicateurs et des modèles issus des systèmes nationaux et internationaux d'observation. Destinés aux scientifiques, aux acteurs publics et à ceux de l'innovation, ces produits et services sont accessibles *via* des portails dédiés, contribuant aux missions spatiales, à celles des réseaux d'observation et venant en appui des politiques de développement durable. Coordonner, fédérer et optimiser l'ensemble des institutions, dispositifs et moyens existants constitue une des ambitions importantes de l'IR système Terre, qui a aussi une vocation européenne et internationale dans ce domaine.

Contexte

Depuis plus de vingt ans, la France a contribué à organiser et structurer une centaine (en 2018) d'infrastructures nationales et européennes qui ont transformé les pratiques de recherche et ont permis des avancées scientifiques majeures. Repousser les frontières de la connaissance passe notamment par de grands équipements de recherche permettant de mettre des évolutions technologiques

majeures au service de la science. C'est la vision énoncée par la DGRI ⁽¹⁾ du MESRI ⁽²⁾ en introduction de la feuille de route ⁽³⁾ nationale des infrastructures de recherche (IR) ⁽⁴⁾.

(1) DGRI : direction générale de la Recherche et de l'Innovation.

(2) MESRI : ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

(3) <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid70554/la-feuille-de-route-nationale-des-infrastructures-de-recherche.html>

(4) IR : infrastructure de recherche.

Ces outils se singularisent par leur pérennité et l'ampleur de leurs ambitions, mais aussi par des moyens importants qu'il convient de mettre en perspective avec les stratégies nationales, européennes et internationales.

La loi pour une République numérique promulguée en 2016 incite les établissements publics à rendre leurs données ouvertes et réutilisables. Les IR y contribuent en participant 1) à la définition et à la construction de l'EOSC⁽⁵⁾ ; 2) à l'initiative GO FAIR⁽⁶⁾, dont la France est l'un des membres fondateurs (création en 2017), et 3) à la mise en place d'un écosystème de science ouverte.

Dans le domaine de l'environnement, les données et produits de recherche délivrés par les IR permettent 1) de comprendre, modéliser, scénariser et prédire l'évolution de notre planète en matière de climat, de ressources et de biodiversité ; 2) de développer les recherches sur l'adaptation aux changements globaux ou leur atténuation ; 3) d'aider la prise de décision face aux risques (climatiques, telluriques, liés à l'activité anthropique...) et 4) évaluer les effets des politiques publiques.

Les IR et TGIR⁽⁷⁾, pensées à l'échelle européenne (ESFRI⁽⁸⁾) ou internationale, sont bâties à partir de dispositifs labellisés par les établissements de recherche et sont soutenues par le MESRI, leurs établissements supports ou des financements du programme des investissements d'avenir ; la cohérence de leurs actions est assurée dans le cadre de l'alliance AllEnvi. Ces instruments sont multi-tutelles et leur gouvernance adaptée à la diversité des établissements partenaires.

L'IR « Pôles de données et services pour le système Terre »

La connaissance intégrée du système Terre repose sur des données acquises par des satellites, des navires, des avions ou des ballons sondes, ainsi que par des dispositifs de mesures *in situ*, mais également sur des données transformées. Ces informations numériques (données d'acquisition et transformées) constituent un patrimoine à préserver sur le long terme. Faciliter l'accès à des données et produits d'information de qualité sur l'ensemble des compartiments du système Terre, indépendamment de leur nature, de leur mode de collecte ou de leur localisation, est un défi capital. Y répondre nécessite des infrastructures interopérables permettant d'accélérer l'extraction, l'analyse, la diffusion et l'usage intelligent des données, indicateurs et modèles issus des systèmes nationaux et internationaux d'observation. Destinés à la communauté scientifique comme aux acteurs publics et socio-économiques, ces produits et services sont accessibles *via* des portails dédiés. Coordonner, fédérer et optimiser l'ensemble des institutions, dispositifs et moyens existants constitue une des ambitions importantes de l'IR système Terre, à l'échelle nationale comme aux échelles européenne et internationale.

Pour être en mesure de répondre aux questions que se posent nos sociétés sur leur environnement, la recherche doit appréhender le « système Terre » dans son ensemble, du noyau terrestre jusqu'aux limites de l'atmosphère. Elle

doit pour cela prendre en compte les interactions entre les différents compartiments du système en question et en considérer tous les aspects, du milieu physique au vivant.

Le pôle de données et services pour le système Terre est une IR depuis 2016. Il offre l'accès à un portail unifié et cohérent fondé sur quatre pôles de données – Aeris, Odatis, ForM@Ter et Theia – ainsi qu'à de nouveaux dispositifs, services et outils transversaux, dont l'ambition est de rendre interopérables l'ensemble des données et services.

Le pôle de données THEIA (Surfaces continentales)

Créé en 2012, le pôle de données et de services Surfaces continentales Theia⁽⁹⁾ est soutenu par douze institutions françaises impliquées dans l'observation de la Terre et les sciences de l'environnement (CEA, Cerema, Cirad, Cnes, IGN, Inra, CNRS, IRD, Irstea, Météo France, Onera et AgroParisTech). Son objectif est d'accroître l'utilisation par la communauté scientifique et, plus largement, par les acteurs publics et les collectivités territoriales, des données spatiales, aéroportées et *in situ*. Theia met à la disposition de tous ces acteurs publics des données et produits à valeur ajoutée issus de la télédétection par satellite, qui viennent en complément de l'offre européenne Copernicus (voir le Tableau 1 de la page 11 et la Figure 1 de la page suivante). Theia a aussi pour mission de coordonner la communauté scientifique nationale afin de mutualiser des ressources et faciliter l'accès aux données spatiales et leur traitement, et de rendre visibles les réalisations aux échelles nationale, européenne et internationale.

Theia structure la communauté scientifique qu'elle réunit en centres d'expertise scientifiques (CES), organisés autour de la conception et du développement de produits à valeur ajoutée (voir la Figure 2 de la page suivante). La vingtaine de CES existants encouragent le développement et le partage d'outils et de méthodes innovantes construits autour des données de télédétection pour traiter des problématiques liées aux surfaces continentales. Ils regroupent des équipes, réparties sur une ou plusieurs régions, dont les travaux de recherche visent à concevoir des produits à valeur ajoutée : réflectance de surface, occupation du sol, hauteur des niveaux des lacs et des rivières, surfaces enneigées, humidité du sol... Un dispositif d'animation régionale Theia (ART) permet par ailleurs de fédérer et d'animer les utilisateurs (scientifiques et acteurs publics et/ou privés) à l'échelle des différents territoires français et dans les pays du Sud (voir la Figure 1). Les ART participent aux efforts de formation de la communauté,

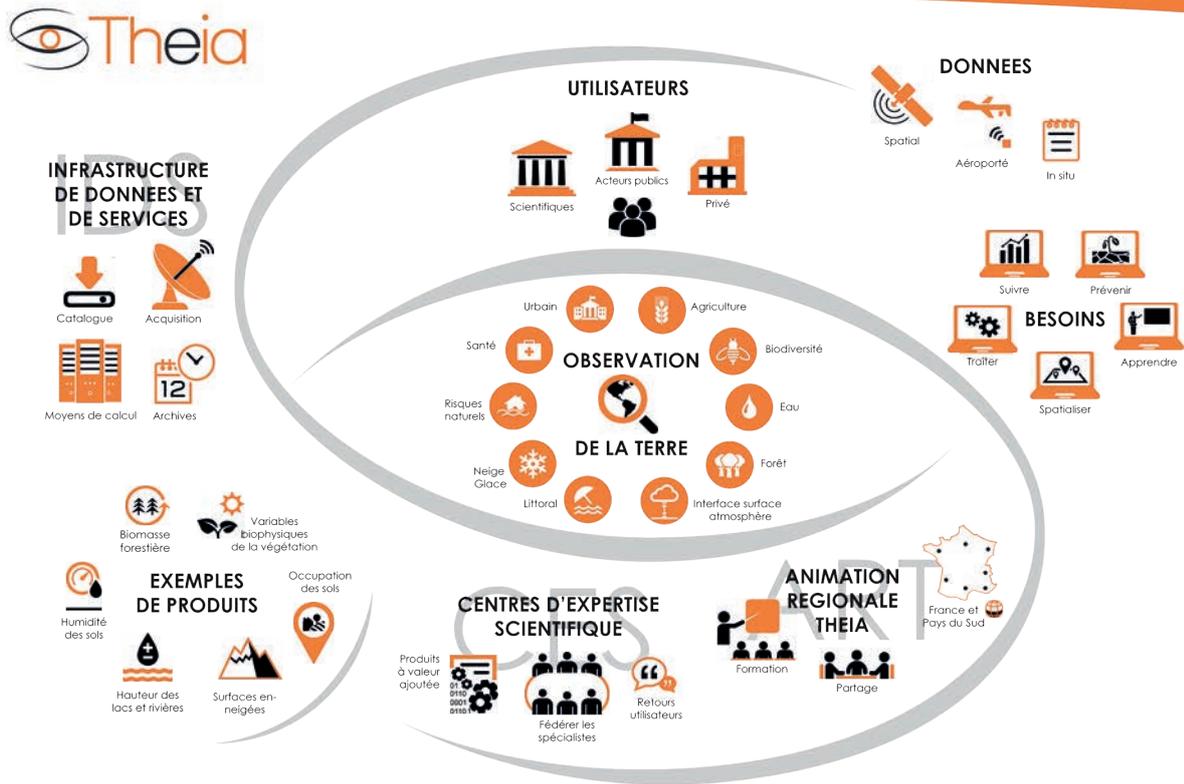
(5) EOSC : Open Science Cloud européen.

(6) GO FAIR est une initiative lancée en 2017 par les Pays-Bas, l'Allemagne et la France. Elle vise à ouvrir les données de la recherche et à préparer l'Internet des données et des services FAIR. Elle repose sur les principes suivants : faciles à trouver (Findable), accessibles (Accessible), interopérables (Interoperable) et réutilisables (Reusable) : <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid124728/science-ouverte-la-france-rejoint-go-fair-en-tant-que-co-fondatrice.html>

(7) TGIR : très grande IR.

(8) ESFRI : European Strategy Forum on Research Infrastructures ; www.esfri.eu

(9) www.theia-land.fr/



www.theia-land.fr

Figure 1 : Structuration du pôle Theia.

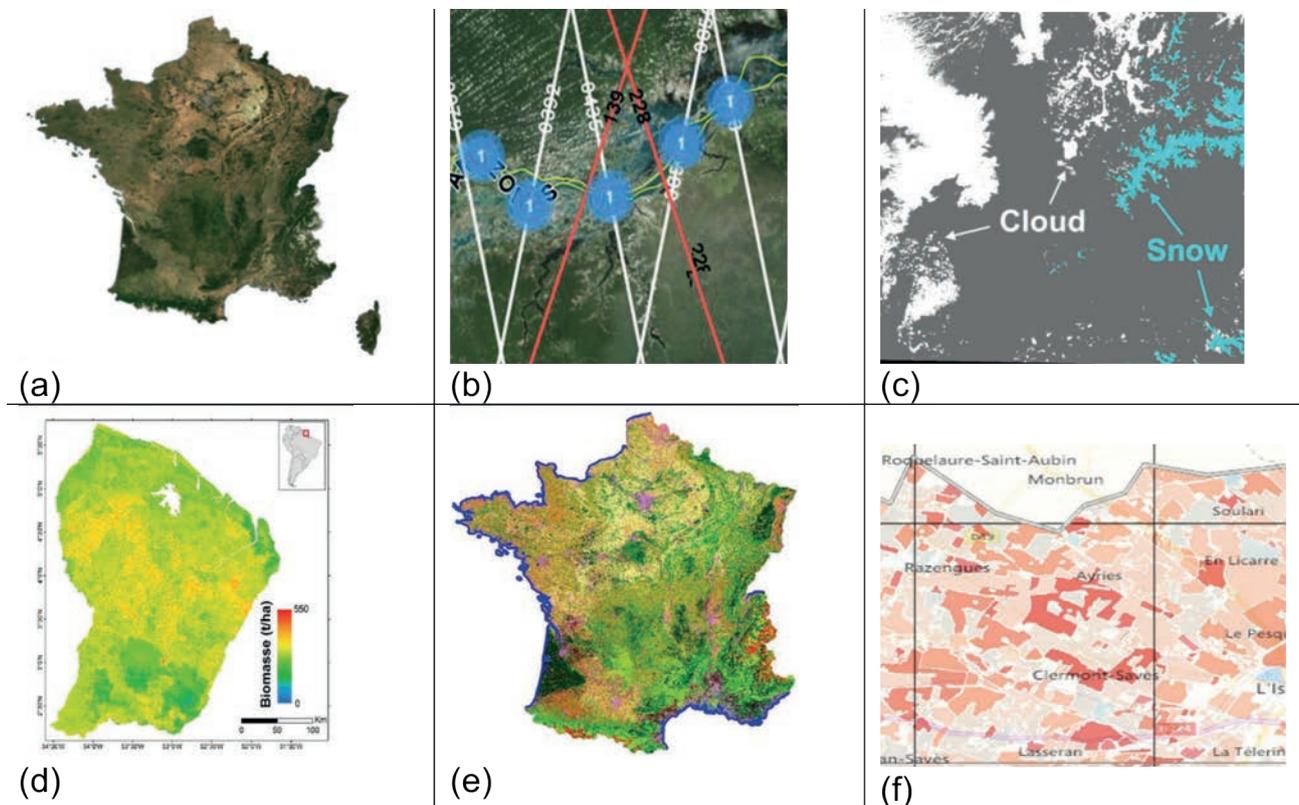


Figure 2 : Exemples de produits thématiques Theia : a) réflectance de surface Sentinel-2 ; b) hauteur des niveaux des lacs et des rivières ; c) surfaces enneigées ; d) biomasse forestière ; e) occupation des sols ; f) taux d'humidité des sols.

Classe	Produits	Zone	Période	Accès	Disponibilité
Produits à valeur ajoutée	Réflectance de surface Sentinelle 2	France et autres régions du monde	2016> présent	Tous utilisateurs	theia.cnes.fr
	Réflectance de surface Landsat	France et Rom-Com	2005>2011 2013>présent	Tous utilisateurs	theia-landsat.cnes.fr
	Réflectance de surface Venus	110 sites	2017>présent	Tous utilisateurs	theia.cnes.fr
	Occupation des sols (CES OSO)	France	2009> présent	Tous utilisateurs	osr-cesbio.ups-tlse.fr
	Neige	Pyrénées, Haut-Atlas, Alpes françaises	Juillet 2016> présent	Tous utilisateurs	theia.cnes.fr
	Hauteur des lacs et rivières	Globale	1992>présent	Tous utilisateurs	hydroweb.theia-land.fr
	Humidité des sols	Globale	2002>2010 présent	Tous utilisateurs	fto.ifremer.fr
		Régionale	Sept 2016>mai 2017 – Sept 17> mai 2018		ids.equipex-geosud.fr
	Biomasse, hauteur de la canopée	Guyane, Madagascar, Afrique, Congo		Tous utilisateurs	ids.equipex-geosud.fr
Carte des cultures irriguées	Sud-Ouest de la France Adour, Tarn	2015 2017	Tous utilisateurs	peps-vizo.cnes.fr	
Imagerie optique	Spot 6 / 7	France et autres sites	2013 > présent	Acteurs publics nationaux	ids.equipex-geosud.fr spatial.ign.fr
	Pléiades	Petites zones en France et ailleurs	2012 > 2014	Acteurs publics nationaux	spatial.ign.fr theia-landsat.cnes.fr
	Spot World Heritage	Plus de 100 000 images dans le monde	1986 > 2008	Tous utilisateurs (usage non-commercial)	theia.cnes.fr
	Spot 4 (Take 5)	45 sites dans le monde	Février > Juin 2013	Tous utilisateurs	spot-take5.org
	Spot 5 (Take 5)	100 sites dans le monde	Avril – Août 2015	Tous utilisateurs	spot-take5.org
	Rapid Eye, Spot 1-5	France	1995 > 2013	Acteurs publics nationaux	ids.equipex-geosud.fr
Autres données	Lidar	France, Afrique, Amérique du Sud	2003 > 2009	Tous utilisateurs	ids.equipex-geosud.fr
	Radar (CSM – TSX)	France, Afrique, Amérique du Sud, Asie	2013 > présent	Acteurs publics nationaux	ids.equipex-geosud.fr

Tableau 1 : Un extrait du portefeuille de l'infrastructure de données Theia.

notamment sur des produits à valeur ajoutée développés dans les CES du pôle. Ils œuvrent au rapprochement entre acteurs publics et scientifiques, au recueil des besoins des acteurs régionaux et facilitent l'interfaçage entre le secteur privé et les pôles de compétitivité régionaux. À ce jour, huit ART ont été formalisés par des équipes régionales : Sud, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Grand Est, Alpes, Île-de-France, Bretagne et Rom-Com/Pays du Sud.

Une infrastructure de données et de services (IDS), couvrant plusieurs sites, permet l'accès à une gamme diversifiée de produits et de services. Les infrastructures sont interopérables, disposent de métadonnées compatibles et mutualisent leurs composants : portail d'accès à l'information et aux produits, système d'authentification unique, métacatalogue. L'IDS propose des services d'archivage pérenne, d'acquisition, de traitement et de distribution des données, produits, outils et méthodes (voir la Figure 1 de la page précédente). Le pôle Theia, en interaction avec la sphère privée, contribue à l'émergence d'un écosystème d'innovation au service de la recherche, de l'action publique et du développement économique dans

les domaines de l'environnement, des agrosystèmes et de l'aménagement des territoires, aussi bien en France qu'en Europe et dans les pays du Sud.

Le pôle de données AERIS⁽¹⁰⁾ (Atmosphère)

Les recherches portant sur l'atmosphère concernent principalement les thématiques relatives aux études des dynamiques, aux études relevant de la physique et de la chimie atmosphérique. Elles incluent aussi des travaux orientés vers l'étude de l'évolution du climat. Pour effectuer ces recherches, la communauté scientifique utilise non seulement des modèles, mais aussi des données collectées au sol, obtenues au moyen de satellites ou de véhicules aéroportés. Pour qu'elles puissent être accessibles à une large communauté, que cela soit pour des activités de recherche ou des applications commerciales, ces données d'observations doivent être étalonnées, validées et homogénéisées. C'est dans ce contexte que se positionne le

(10) <http://www.aeris-data.fr>

pôle de données Aeris. Il est constitué autour de quatre centres de données (ESPRI, ICARE, SEDOO et SATMOS), qui disposent de moyens spécifiques et complémentaires pour permettre une gestion collective des données. Il s'appuie aussi sur des centres d'expertise et des réseaux de laboratoires, des éléments indispensables du pôle pour réaliser les développements algorithmiques et les prototypages nécessaires à la recherche. Aeris génère des produits à partir des observations faites, mais également de nombreux services d'aide à l'utilisation des données, d'aide à la réalisation de campagnes de collecte ou d'interfaces avec les modèles.

Le pôle de données ODATIS (Océan)

Le pôle de données Odatis, dédié à l'océan, a été créé en 2016. Il s'appuie sur neuf centres de données et de services (trois centres satellites et six centres *in situ*). Sa mission principale est de mettre à disposition des données, produits, logiciels, outils et services destinés principalement à la communauté scientifique française travaillant dans le domaine de la recherche océanographique. Odatis contribue à décrire, quantifier et comprendre l'océan dans sa globalité au travers des thématiques suivantes : dynamique et thermodynamique de l'océan, évolution de ses propriétés physico-chimiques, cycles biogéochimiques, fonctionnement des écosystèmes marins, évolution de l'océan et du lien océan-climat dans le passé (paléo-océanographie). Le pôle Odatis gère également les informations portant sur des thèmes spécifiques au littoral, incluant les estuaires, lagunes et lagons, et plus particulièrement les sujets suivants : les évolutions morpho-dynamiques du littoral, le trait de côte/niveau de la mer, les pollutions et eutrophisations, les évolutions des écosystèmes littoraux.

Les données et produits issus des activités du pôle contribuent également à la constitution du support scientifique sur lequel s'appuient les politiques publiques (en particulier, la directive cadre stratégique sur le milieu marin (DCSMM)), ainsi qu'au développement socio-économique. Odatis s'attache à mettre à disposition et à produire, sous la responsabilité d'experts, des séries de données qualifiées et décrites, de façon à permettre leur utilisation en accord avec les plus hauts standards en vigueur. Les métadonnées sont disponibles dans un format conforme à la norme européenne INSPIRE et sont accessibles *via* les géocatalogues et géoportails nationaux ; elles sont en outre conformes aux formats recommandés par les bases de données mondiales.

Le pôle de données ForM@Ter (Terre solide)

Le pôle Terre solide, ForM@Ter⁽¹¹⁾, a pour objectifs de faciliter l'accès aux données concernant la Terre interne et de contribuer à la création de nouveaux produits et services en apportant de la valeur ajoutée aux données spatiales et *in situ* disponibles. Il s'inscrit dans les paysages national et européen en articulation étroite avec les infrastructures en place et en construction.

Dans le cadre de ces objectifs, ForM@Ter a pour mission

de fédérer les centres existants au service de la communauté Terre solide. Il s'appuie sur un portail ouvert en 2018 qui donne accès aux données spatiales, *in situ* et d'expérimentation relatives au domaine considéré. Il ambitionne d'apporter de la plus-value, notamment pour les données et services dans des champs où aucun centre de données n'existe ou dans lesquels de tels centres ont vocation à être développés en articulation avec les dispositifs européens et internationaux. Le pôle, en synergie avec les autres structures du domaine et au sein de l'infrastructure de recherche « Pôle de données système Terre », va renforcer la communauté Terre solide en donnant à celle-ci un accès aux données et aux produits dont elle a besoin pour ses recherches. En parallèle, l'équipe de ForM@Ter a continué à travailler au montage du « WP Satellite data » de l'infrastructure européenne Epos, s'est impliquée dans le projet de définition de l'un des services de Copernicus dénommé European Ground Motion Service (EU-GMS), ainsi que dans la réalisation et la finalisation de trois projets autour de la mesure de la déformation des sols. Le premier est dédié à l'estimation des mouvements des sols à partir d'images satellitaires radar et optiques dans le cadre de l'IR européenne Epos. Le deuxième, soutenu par la mission Etalab dans le cadre du Programme des investissements d'avenir, consiste en la réalisation d'un démonstrateur pour le calcul à la demande d'interférogrammes pouvant exploiter des données stockées au sein de plusieurs centres de données. Le troisième, conduit en collaboration étroite avec le CNES, vise à produire de manière systématique, sur de larges zones, des séries d'interférogrammes.

DINAMIS, un dispositif national d'accès aux données spatiales

Différents dispositifs ont été mis en place en France pour développer l'utilisation de l'imagerie satellitaire depuis 2000 : le CNES à travers le programme ISIS pour les images SPOT 1-5, puis Pléiades en partenariat avec l'IGN ; en 2010, l'Equipex GEOSUD/Theia a travaillé sur un projet visant à mutualiser l'accès à l'imagerie à très haute résolution spatiale (RapidEye, SPOT 5, SPOT 6-7) ; et, plus récemment, le CNES sur les images Landsat et Sentinel. Ces efforts de mutualisation ont abouti à des avancées très significatives dans l'accès et les usages de ces données. En 2019, le dispositif GEOSUD/Theia comptait cinq cent trente structures adhérentes (laboratoires, services de l'État, collectivités territoriales, divers organismes associatifs et plateformes régionales). Ses archives regroupent aujourd'hui plus de 13 000 images à très haute résolution couvrant plus de 11 millions de km². Depuis 2010, les téléchargements sous forme d'images représentent l'équivalent de plus de 60 millions de km². Pour pérenniser et développer plus encore l'accès à l'imagerie satellitaire, il a été décidé de mettre en place un dispositif unifié transversal intitulé Dinamis (dispositif institutionnel national d'approvisionnement mutualisé en

(11) <https://www.poleterresolide.fr/>

imagerie satellitaire), lequel ne connaît pas actuellement d'équivalent. Centré sur les services d'accès à l'imagerie satellitaire, ce dispositif permettra d'accompagner les utilisateurs nationaux et, sous certaines conditions, des utilisateurs étrangers, dans le choix et l'accès à des images d'archives ou à des programmations et acquisitions. Il donnera un accès gratuit, ou à des tarifs préférentiels permis par la mutualisation, à un bouquet d'images aux résolutions complémentaires, combinant des images commerciales (SPOT 6-7, Pléiades, archives...) et « gratuites » (Sentinel 1 et 2, Landsat 8, SWH SPOT 1-5...). Enfin, Dinamis proposera à terme un accès à un métacatalogue des archives regroupant l'ensemble de ces images.

Perspectives

Le développement de l'IR système Terre ouvre des perspectives nouvelles en termes de partage des données, d'outils et de services d'information validés scientifiquement, pour observer, comprendre et prévoir de manière intégrée et transdisciplinaire le fonctionnement et l'évolution de l'environnement et du système Terre.

Bibliographie

BAGHDADI N., LEROY M., MAUREL P., CHERCHALI S., STOLL M., FAURE J.-F., DESCONNETS J.-C., HAGOLLE O., GASPERI J. & PACHOLCZYK P. H. (2015), *The Theia Land Data Centre*, Geospatial Week, RSDI Workshop 01/10/2015-01/10/2015, La Grande Motte.

EL HAJJ M., BAGHDADI N., ZRIBI M. & BAZZI H. (2017), "Synergic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 images for operational soil moisture mapping at high spatial resolution over agricultural areas", *Remote Sensing* 9, 1292 (doi:10.3390/rs9121292).

GASCOIN S., GRIZONNET M., BOUCHET M., SALGUES G. & HAGOLLE O. (2018), "Theia Snow collection: high

resolution operational snow cover maps from Sentinel-2 and Landsat-8 data", *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/essd-2018-144>, in review.

HAGOLLE O., HUC M., VILLA PASCUAL D. & DEDIEU G. (2015), "A Multi-Temporal and Multi-Spectral Method to Estimate Aerosol Optical Thickness over Land, for the Atmospheric Correction of FormoSat-2, LandSat, VEN μ S and Sentinel-2 Images", *Remote Sensing* 7 (3), pp. 2668-2691.

INGLADA J., VINCENT A., ARIAS M., TARDY B., MORIN D. & RODES I. (2017), "Operational High Resolution Land Cover Map Production at the Country Scale Using Satellite Image Time Series", *Remote Sens* 9(1), 95 (<https://doi.org/10.3390/rs9010095>).

IENCO D., GAETANO R., DUPAQUIER C. & MAUREL P. (2017), *Land Cover Classification via Multi-temporal Spatial Data by Recurrent Neural Networks*, arXiv – Computer Science – Computer Vision and Pattern Recognition.

JABBOUR C., REY-VALETTE H., MAUREL P. & SALLES J.-M. (2019), "Spatial Data Infrastructure Management: A two-sided market approach for strategic reflections", *International Journal of Information Management*, vol. 45, April, pp. 69-82.

MAUREL P., FAURE J.-F., CANTOU J.-P., DESCONNETS J.-C., TEISSEIRE M., MOUGENOT I., MARTIGNAC C. & BAPPEL E. (2015), "The GEOSUD remote sensing data infrastructure", RSDI seminar, Geospatial Week, 28 septembre - 2 octobre 2015, La Grande Motte.

TONNEAU J.-P. & MAUREL P. (2016), "Satellite imagery, a tool for territorial Development", In *Land surface remote sensing in urban and coastal areas*, BAGHDADI N. (ed.), ZRIBI M. (ed.), Londres: ISTE-Elsevier, pp. 101-140 (ISBN 978-1-78548-160-4).