

EQUIPEX GEOSUD

Rapport couvrant la totalité du projet de la date de début de projet (22/02/2011) à la date de fin de projet (30/09/2020)

Date de notification de la convention attributive d'aide : 06/04/2012

Titre complet du projet	GEOinformation for SUsustainable Development
Mots clés	Télédétection ; Infrastructure de données ; Images satellites ; Pôle Theia ; DINAMIS ; IR Data Terra
Établissement coordinateur	INRAE
Date de début du projet	22/02/2011
Date de fin de tranche 1	30/09/2020
Date de début de tranche 2	22/02/2011
Date de fin du projet	30/09/2020
Site web du projet	http://ids.equipex-geosud.fr/

Responsable scientifique et technique du projet, rédacteur du présent rapport	
Nom, Prénom	Maurel, Pierre
Téléphone	0467548717 ; 0640407060
Courriel	Pierre.maurel@teledetection.fr
Date de rédaction	16/12/2020

Recommandations :

L'objet de ce rapport limité en nombre de pages est de préciser les éléments importants du projet. Il comporte 3 volets :

Volet 1 - Compte-rendu de fin de projet, volet rempli par le responsable scientifique et technique ;

Volet 2 – Indicateurs et tableau des cofinancements, rempli par le responsable scientifique et technique ;

Volet 3 - Éléments financiers, rempli par l'Établissement coordinateur.

Le présent compte-rendu de fin de projet peut être rédigé en français ou en anglais.

Unités de recherche partenaires

Fournir la liste des unités de recherche ayant participé au projet (code RNSR, nom du laboratoire, sigle, code postal). Vous trouverez votre code RNSR à cette adresse :

<https://appliweb.dgri.education.fr/rnsr/ChoixCriteres.jsp?PUBLIC=OK>

Code RNSR	Nom du laboratoire	Sigle	Code postal
200718239Z	Territoire Environnement Télédétection Information Spatiale	UMR TETIS	34093
201119392K	ESPACE pour le DEveloppement	UMR ESPACE-DEV	34093
200919527R	Observatoire de recherche méditerranéen de l'environnement	OSU OREME	34000
199111950H	Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier	UMR LIRMM	34095

RESUME PUBLIC

Le projet GEOSUD vise à développer l'utilisation de l'imagerie satellitaire par les acteurs de la recherche, de l'action publique et de l'innovation dans les domaines de l'environnement, de l'agriculture et des territoires. Il a permis d'établir une infrastructure de données et de services (IDS) et d'accompagner les utilisateurs.

GEOSUD a amené trois innovations pour l'accès à l'imagerie commerciale à très haute résolution spatiale : une licence « tous acteurs publics » ; la mise en place d'une station de réception institutionnelle SPOT 6-7 ; la réalisation de couvertures annuelles homogènes du territoire national. Le projet a permis d'acquérir au total 10 couvertures nationales et plus de 16 000 images sur le monde entier. L'IDS développée par des prestataires comprend une V1 pour la gestion des images et une V2 pour des services de traitement en ligne. Du fait de retards liés aux marchés et au COVID, la V2 n'a pas pu être ouverte aux 1ers utilisateurs avant la fin du projet mais elle sert à préparer les services de traitement HPC de l'IR Data Terra en France et d'EOSC en Europe (projet Phidias). Des recherches méthodologiques ont aidé à établir les spécifications de l'équipement, à développer des chaînes de traitement thématiques et à mesurer les impacts socio-économiques du projet. Elles se sont poursuivies à partir de 2013 dans le cadre élargi du pôle national Theia. Des supports pédagogiques et des cours sur l'utilisation de l'imagerie ont été développés et actualisés, y compris pour la formation à distance.

Fin 2020, GEOSUD rassemble 588 structures adhérentes, dont 178 laboratoires, et 1200 comptes utilisateurs.

A partir de 2012, GEOSUD a contribué à la mise en place du pôle Theia. A partir de 2016, ces efforts se sont poursuivis à une échelle encore plus large pour créer l'IR Data Terra qui regroupe 4 pôles de données et le mécanisme DINAMIS d'accès aux images. Les équipements et archives de GEOSUD seront repris dans DINAMIS et le pôle Theia.

BILAN DU PROJET

Caractérisation de l'équipement (possibilité de choix multiples)

Type d'Equipex	Oui	Non
Prototype unique	X	
Prototype commercialisé		X
Plateforme	X	
Base de données	X	
Autres	X	

Mise en œuvre de l'équipement

Objectifs initiaux contractualisés, mis en œuvre, éventuelles modifications, travaux, aménagements

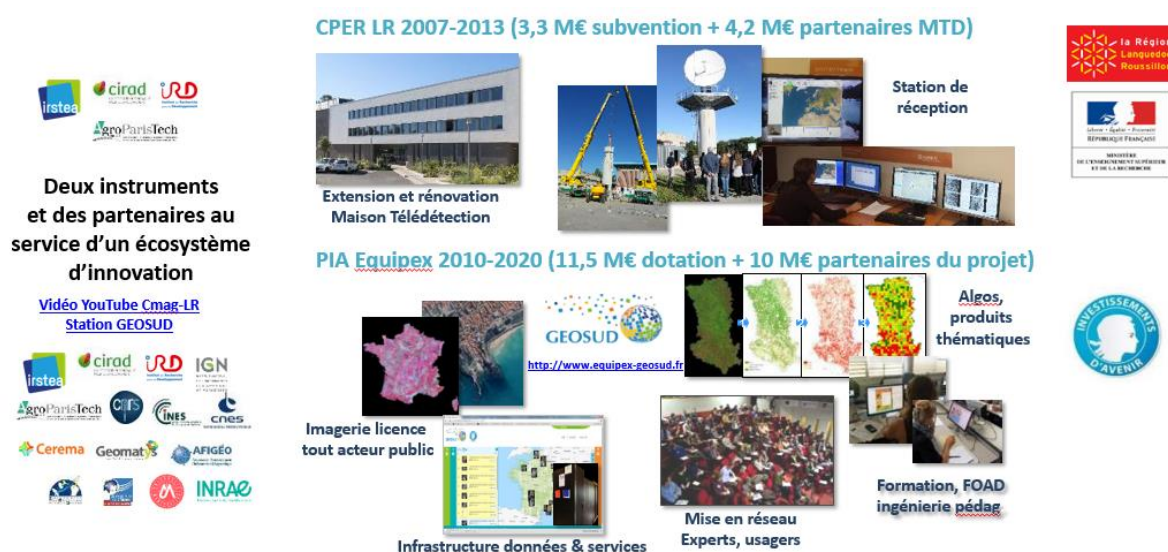
GEOSUD : une vision stratégique à long-terme

Le projet GEOSUD est né du constat au milieu des années 2000 par les partenaires de la Maison de la Télédétection à Montpellier (AgroParisTech, CIRAD, IRD, Irstea) de sous-utilisation en France de l'imagerie satellitaire, en particulier à très haute résolution spatiale, par la communauté scientifique et les acteurs des politiques publiques. Plusieurs freins récurrents ont été identifiés : coûts des images, méconnaissance des dispositifs d'accès, complexité de leurs traitements et haut niveau de compétence requis, manque d'adaptation des produits à des besoins opérationnels, absence de communautés professionnelles structurées.

L'objectif global du projet GEOSUD est de mettre en place une infrastructure nationale de données et de services en Observation de la Terre au profit de la communauté scientifique et des acteurs des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'agriculture, du développement territorial

Un premier financement sur CPER/FEDER LR 2007-2013 a permis d'initier le projet à la fin des années 2000 en finançant la rénovation et l'extension de la Maison de la Télédétection (achevée en 2016) et l'installation d'une antenne de réception satellitaire (réalisée entre 2013 et 2014).

Le succès de la réponse à l'appel à projets d'EQUIPEX du PIA en 2011 a permis de démultiplier et de prolonger l'ambition du projet en étendant le périmètre des partenaires et en le dotant de ressources supplémentaires.



L'EQUIPEX GEOSUD comprend différents composants : 1) l'accès mutualisé et ouvert à l'imagerie satellitaire à haute-résolution spatiale. 2) une Infrastructure de Données et de Services (IDS) pour l'acquisition, la gestion et la diffusion des images (IDS-V1) et pour des traitements en ligne pour faciliter l'extraction

d'information des images (IDS-V2). 3) l'appui aux recherches méthodologiques en traitement de l'information spatiale et aux recherches thématiques. 4) la formation et l'accompagnement des utilisateurs. 5) l'interaction et le partage d'expériences entre la communauté scientifique et les acteurs de l'action publique.

Dès le départ, cet EQUIPEX a présenté un certain nombre de spécificités. Il ne s'agissait pas d'un grand équipement technologique à acquérir clé en main auprès de fournisseurs mais d'un ensemble de composants hétérogènes (équipements technologiques et informatiques, solutions logicielles, imagerie satellitaire, algorithmes de traitement, supports de formation) à acquérir ou à développer puis à assembler dans un dispositif cohérent.

De plus, cet équipement n'avait pas vocation à être achevé à la fin de la tranche d'investissement mais à pouvoir continuer à acquérir, développer et mutualiser de nouvelles données et de nouveaux algorithmes de traitement tout au long de sa vie, au-delà de 2020.

Du fait de la longue durée du projet (2011-2020), il a été nécessaire de garder de la flexibilité pour adapter le contenu de l'équipement en fonction de l'évolution des contextes technologique, institutionnel, économique et partenarial. Les facteurs les plus impactant auront été : la création du pôle national Theia fin 2012 (<https://www.theia-land.fr/>); la création d'un consortium de 6 organismes à partir de 2014 pour doter la station de réception GEOSUD des équipements et ressources pour recevoir les images des satellites SPOT 6-7 ; les réflexions à partir de 2016 qui ont abouti à la création de l'Infrastructure de Recherche Data Terra (<https://www.data-terra.org/>) et de son composant transversal DINAMIS (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire - <https://dinamis.data-terra.org/>); les acquisitions de couvertures satellitaires européennes à très haute résolution spatiale ; l'arrivée à partir de 2015 des premiers satellites Sentinel dans le cadre du programme européen Copernicus ; la fusion entre l'INRA et Irstea, établissement coordonnateur de l'EQUIPEX, amorcée à partir de 2018 et effective au 1/1/2020 ; le chevauchement croissant entre les secteurs du spatial et du numérique ; la tendance de fond vers l'accès « gratuit » à la donnée.

Enfin, les utilisateurs visés ne se limitent pas à la communauté scientifique mais intègrent également les acteurs des politiques publiques et les entreprises privées sous certaines conditions.

La mise en place de l'EQUIPEX a commencé en 2011 en configuration basse le temps d'adapter le contenu du projet du fait de la réduction de dotation de 39% par rapport au projet déposé, puis de la signature de la convention (avril 2012) et des premiers versements (juin 2012). Un rythme pleinement opérationnel a été atteint à partir de 2013. Le projet initial prévoyait 7 couvertures nationales annuelles, ramenées à 5 après la réduction du montant de la dotation allouée. La mise en place du consortium SPOT 6-7 a finalement permis de pérenniser la production de ces couvertures annuelles au-delà de 2015 et d'étendre les capacités d'acquisition pour répondre à des besoins ad-hoc d'imagerie sur le monde entier. La tranche d'investissement initialement prévue jusqu'au début 2016 a été étendue une 1^{ère} fois en 2015 jusqu'au 31/12/2017 puis une 2^{ème} fois en 2017 jusqu'au 31/12/2019. Ceci s'est justifié par le retard pris dans le démarrage effectif du projet et par la complexité supplémentaire pour insérer l'EQUIPEX dans les plateformes plus englobantes du Pôle Theia puis de DINAMIS, deux composants de l'Infrastructure de Recherche Data Terra.

Actions mises en œuvre suite aux éventuelles recommandations du jury lors du point d'étape 2017

A l'issue de l'audition de l'EQUIPEX GEOSUD qui s'était tenue le 27 juillet 2017 à Paris, le jury avait souligné la bonne progression du projet au regard de son objectif initial de développer l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Il avait aussi formulé plusieurs recommandations :

1. Rendre compte à la fin du projet des usages de l'équipement, du nombre d'utilisateurs, des impacts des services rendus à la communauté scientifique (ex : citations, publications...) ;
2. Encouragement à développer des revenus à partir de nouveaux produits et services dérivés des images.

Concernant le 1er point, nous tracions déjà depuis le début du projet l'intégralité des procédures d'adhésion, des demandes d'images et de leurs demandeurs. Nous envoyions en plus depuis 2015 aux adhérents en début d'année une fiche type de retour d'utilisation des produits GEOSUD et des résultats obtenus pour l'année écoulée. Toutes ces données nous ont permis de produire des analyses et des statistiques annuelles multivariées utilisées notamment lors des comités de pilotage. L'application informatique de gestion des demandes d'images développée dans le cadre de DINAMIS nous a permis de gérer ces données et de générer des indicateurs de reporting beaucoup plus efficacement qu'avant.

Nous avons également constaté que la mention obligatoire de l'aide de l'Etat gérée par l'ANR était fréquemment omise dans les publications scientifiques. Pour y remédier, nous avons procédé à des mailing réguliers rappelant cette obligation et l'avons rappelée à chaque livraison de nouvelles images.

Concernant le 2^{ème} point qui soulevait indirectement la question de la pérennisation des équipements au-delà de 2019, nous avons travaillé sur ce point dès 2017. La traçabilité des usagers, des utilisations et des résultats mentionnée plus haut ainsi que des recherches dans le champ de l'économie du géo-numérique à partir de ces données nous ont permis d'accumuler des éléments tangibles des impacts de l'équipement et des modèles économiques envisageables (cf. rubriques « Pérennisation » et « Impacts socio/économiques »).

Modalités de gestion de l'équipement (formations spécifiques, moyens humains, etc.)

Au cours du projet, l'équipement a été mis en place puis géré par du personnel permanent complété par du personnel temporaire financé par l'EQUIPEX puis par les partenaires. La mise en place des équipements (IDS V1 et V2, antenne, terminal SPOT 6-7 et suite logicielle de la station de réception satellitaire) a toujours compris la formation de personnel GEOSUD par les industriels (Zodiac pour l'antenne, Airbus DS pour le terminal, Geomatys pour l'IDS-V1 et V2, prestataires pour le travail en hauteur et l'habilitation électrique pour l'antenne). Des contrats de maintenance corrective et évolutive ont été mis en place.

Des ingénieurs de l'IRD, d'INRAE et d'IGN assurent désormais les opérations et le maintien en conditions opérationnelles de la station de réception et de l'IDS dans le cadre du nouveau dispositif DINAMIS et du pôle Theia au sein de l'IR Data Terra.

Conditions d'accès à l'équipement pour la formation et/ou la recherche (tarifs, quotas de temps selon le type d'utilisateurs, etc.) et les modalités de collaboration développées avec le secteur privé.

Modalités d'accès aux images

Les licences « Tout acteur public » négociées par GEOSUD sont destinées à l'ensemble des acteurs nationaux hors activité commerciale : laboratoires de recherche, structures d'enseignement, services de l'Etat, collectivités territoriales, autres structures publiques et associations ayant une mission d'intérêt public. Il leur suffit pour cela d'adhérer à GEOSUD (et au pôle Theia à partir de 2013) en signant une charte d'adhésion et un acte d'engagement au respect des licences et en désignant une personne référente. L'adhésion à GEOSUD reste gratuite mais elle exclut les activités commerciales. Les agents d'une structure adhérente peuvent ensuite ouvrir un compte utilisateur pour accéder à l'ensemble des produits et services de l'EQUIPEX. Ces mécanismes d'adhésion sont en cours de portage en 2020 vers le nouveau dispositif DINAMIS.

Toute structure adhérente à GEOSUD peut ensuite mettre des produits GEOSUD à disposition d'un tiers public ou privé œuvrant pour lui, soit en qualité de prestataire dans le cadre d'actions publiques non commerciales, soit en qualité de partenaire d'un projet de recherche sans caractère commercial direct. L'adhérent devra, selon les cas, faire signer au prestataire / partenaire : un « acte d'engagement de prestataire de service » ou un « acte d'engagement de partenaire de recherche » au respect des licences attachées aux produits GEOSUD.

Les acteurs privés peuvent accéder aux produits et services GEOSUD soit comme prestataire d'adhérent GEOSUD (cf. ci-dessus), soit dans le cas des images SPOT 6-7 acquises à partir de 2014 pour des activités de R&D après accord préalable d'Airbus DS.

L'ensemble des images déjà acquises par GEOSUD (plus de 16 000 fin 2020) sont accessibles par les adhérents via le portail du projet avec des fonctionnalités qui ont évolué depuis le début. Depuis la mise en place de la station de réception directe GEOSUD et du marché de télémessure SPOT 6-7, puis du dispositif DINAMIS, les adhérents peuvent aussi demander via un formulaire en ligne l'acquisition de nouvelles images sur le monde entier, soit par programmation des satellites, soit à partir des archives d'ADS (<https://dinamis.teledetection.fr/>). Ces demandes ad-hoc font l'objet d'une instruction préalable puis d'une étude de faisabilité par Airbus DS avant d'être exécutées. Cette procédure a été étendue aux images Pléiades et est gérée conjointement par des équipes du CNES, d'IGN et de la Maison de la Télédétection dans le cadre de DINAMIS.

Modalités d'accès aux services de traitements en ligne (IDS-V2)

Lors des phases de spécification de l'IDS-V2, plusieurs choix ont été faits puis implémentés par les prestataires lors du développement en 2018 et 2019.

Comme pour les images, l'accès à l'IDS-V2 est réservé aux adhérents de l'EQUIPEX même si l'adhésion reste gratuite. Les administrateurs peuvent attribuer un quota de capacités de stockage et de coûts de calcul aux différents adhérents. Ces derniers disposent de leur côté d'un tableau de bord pour connaître l'état de leur

consommation et des traitements en cours et pour gérer de manière dynamique leur espace de stockage. L'IDS-V2 n'a toutefois pas été dimensionnée pour du passage à l'échelle sur de très grands territoires ou des traitements opérationnels récurrents, ces cas-là devant être gérés en basculant sur des plateformes adaptées (ex : DIAS - Data and information Access Service - du programme européen Copernicus, solutions Google Earth Engine ou AWS - Amazon Web Services -, solutions ad-hoc).

L'application dispose aussi des fonctionnalités pour ajouter au catalogue de nouveaux services de traitement (opérateurs élémentaires ou chaînes de traitement basées sur l'enchaînement de plusieurs fonctions) au fur et à mesure de leur développement par la communauté scientifique.

Après les phases de développement par des prestataires puis de tests au sein de l'EQUIPEX, l'accès à l'IDS-V2 (services de traitements en ligne) n'a finalement pas été ouvert en 2020 du fait de la crise sanitaire et des difficultés à mettre en place un service d'accompagnement aux premiers utilisateurs

Liens avec les autres objets du PIA (Labex, Cohortes, Instituts Convergence,...).

Il n'y a pas eu d'actions spécifiques menées auprès des Labex ou des Instituts de Convergence au-delà des actions de communication sur les produits et services GEOSUD adressées à la communauté scientifique en général. Les images GEOSUD ont très certainement été utilisées par des laboratoires dans le cadre de projets, de thèses ou de stages financés par ces autres instruments du PIA mais cela n'a pas été mesuré spécifiquement. A titre d'exemple, nous pouvons citer le cas de 2 thèses et d'un stage de Master portés par l'UMR TETIS et co-financés par l'Institut de Convergence #DigitAg sur l'agriculture numérique.

En 2020, l'équipe de GEOSUD a participé au montage du projet GAIA-Data co-porté par les IR Data Terra et CLIMERI et le PNBD en réponse à l'appel à projet PIA3 e-Infrastructures/Equipex+. L'objectif est de développer une grille nationale distribuée de données et de services dans un environnement de calcul haute performance. GAIA DATA fait partie de la liste des projets lauréats annoncés par le MESR le 18/12/2020. Les équipements et autres ressources de GEOSUD seront repris dans les composants Theia et DINAMIS de l'IR Data Terra.

Résultats obtenus au cours du projet

Via utilisation de l'équipement par membres du consortium ou par utilisateurs hors consortium

WP1 : imagerie satellitaire

Couvertures nationales

L'EQUIPEX a permis d'acquérir chaque année une nouvelle couverture nationale ainsi qu'une couverture d'archive (2003-2006), d'abord sur ses seuls budgets (jusqu'en 2013) puis avec des co-financements (2011 à 2020). Les territoires d'outre-mer ont été couverts pour une partie des millésimes. Les corrections géométriques et le mosaïquage de l'ensemble des images ont été assurées par IGN afin de garantir la qualité des images mises à disposition des utilisateurs (référentiel RGE). Les images unitaires sont accessibles sur le portail GEOSUD <http://ids.equipex-geosud.fr/web/guest/catalog>). Les mosaïques des couvertures nationales (couleurs naturelles 8 bits, découpage en dalles cartographiques) sont visualisables sur le Géoportail national d'IGN (<https://www.geoportail.gouv.fr/>).

Millésime	2003-2006	2010	2011	2012	2013	2014	2015-2019	2020-2022
Satellite	SPOT 5 (5m ; 10m)	Rapid Eye (5 m)	Rapid Eye (5 m)	SPOT5 (5m;10m)	SPOT5 (5m;10m) SPOT6 (1,5m ;6m)	SPOT 6-7 (1,5m ;6m)	SPOT 6-7 (1,5m ;6m)	SPOT 6-7 (1,5m ;6m)
Fournisseur	ADS	GEOSYS	GEOSYS	ADS	ADS	ADS	ADS + station GEOSUD	
Comment.		Budget CPER LR		Extension droits couverture ESA		Budgets GEOSUD + CNES + IGN	Budgets consortium SPOT 6-7 + GEOSUD	Budgets consortium DINAMIS + GEOSUD (2020)

Les couvertures de 2011 à 2014 ont été chacune acquises dans le cadre de marchés publics distincts, parfois via un marché d'extension de licence de jeux d'images acquis par ailleurs (cas par exemple de la couverture 2012 acquise sur l'Europe par l'ESA).

Station de réception GEOSUD et marché de télémétrie SPOT 6-7

Alors qu'initialement, le projet d'EQUIPEX ne prévoyait d'acquérir des couvertures que jusqu'en 2015 (2017 avant réduction de la dotation en début de projet), la mise en place en 2015 de la station de réception GEOSUD et d'un premier terminal de réception pour les images SPOT 6-7 a permis de prolonger les capacités d'acquisition jusqu'en 2019. Les travaux et les échanges sur les spécifications de l'antenne de réception et le choix des premiers satellites à recevoir ont démarré dès 2013 dans le cadre élargi du Pôle Theia. En complément de l'antenne de réception financé par le CPER LR, l'EQUIPEX a financé le terminal de réception SPOT 6-7 et l'emploi d'une partie du personnel qui opère la station et la maintient en conditions opérationnelles. Les marchés annuels d'achat d'images auprès de fournisseurs ont été remplacés par des marchés pluriannuels (2015-2019 puis 2020-2022) d'achat d'un volume de base de télémétrie SPOT 6-7 financé à parts égales par un consortium de 6 partenaires mené par Irstea/INRAE (CIRAD, CNES, CNRS, IGN, IRD, Irstea puis INRAE). Des tranches supplémentaires de télémétrie ont été financées par l'EQUIPEX GEOSUD et d'autres contributeurs (IGN, CNES, Région Nouvelle Aquitaine) pour des besoins spécifiques. Depuis 2015, la station GEOSUD a permis non seulement de continuer à produire la couverture nationale annuelle mais également de répondre à des demandes d'images ad-hoc sur le monde entier par la communauté scientifique nationale. Au total, fin 2020, l'archive GEOSUD contient plus de 16 000 images à très haute résolution spatiale. Des marchés ont été passés pour la maintenance de l'antenne et du terminal. Ils ont été renouvelés en 2020 sur les budgets propres de l'IRD et d'INRAE.

Autres images acquises par l'EQUIPEX

En complément des couvertures nationales et des autres images SPOT 6-7 acquises par la station de réception depuis 2015, l'EQUIPEX GEOSUD a également financé l'acquisition d'autres images. Des images des satellites Pléiades à très haute résolution spatiale (0,5 m et 2 m) ont été acquises de 2013 à 2015 sur des zones d'intérêt définies par IGN et le CNES en lien avec les utilisateurs (zones urbaines, littoral soumis au risque d'érosion marin, grands chantiers d'infrastructures ...). Trois marchés d'imagerie radar à très haute résolution spatiale (TerraSarX, CosmoSkyMed) ont également été passés pour répondre à des besoins spécifiques de la communauté scientifique. Le dernier passé en 2016 s'est achevé à la fin 2017.

WP2 : Infrastructure de Données et de Services (portail Web, IDS V1 et IDS V2)

Dès 2011, un portail Web de présentation du projet et une version provisoire de l'infrastructure d'accès à l'imagerie satellitaire ont été développés en mobilisant des compétences internes aux partenaires GEOSUD. La première couverture nationale de 2010 (acquise sur budget CPER LR) ainsi que plusieurs couvertures régionales et locales ont ainsi été rendues accessibles dès le début du projet. En 2012, de nouvelles fonctionnalités ont été ajoutées au portail (mécanisme d'adhésion à GEOSUD, système de recherche multicritères parmi les images disponibles, téléchargement par ftp) toujours par des moyens internes. Des améliorations des capacités informatiques et des fonctionnalités du Géoportail IGN ont été faites en prévision notamment de l'arrivée des images Pléiades.

En parallèle, GEOSUD a établi les spécifications techniques pour le développement d'une nouvelle version plus opérationnelle de l'Infrastructure de Données et de Services (IDS) GEOSUD par un prestataire dans le cadre d'un marché public. La nouvelle version du portail du projet a été livrée fin 2013. Celle de l'infrastructure de gestion et d'accès aux images (IDS-V1) a fait l'objet de spécifications détaillées courant 2013 puis d'un développement par le prestataire en 2014 et 2015 et d'une réception finale début 2016. Elle comprend un ensemble de fonctionnalités : un mécanisme d'authentification unique des utilisateurs à l'échelle du pôle Theia (commun aux sites ids.equipex-geosud.fr et spatial.ign.fr), l'administration de la base de ces utilisateurs, l'ingestion et le prétraitement des images reçues, le stockage et le catalogage normalisé des images brutes et prétraitées, la consultation multicritère et cartographique du catalogue, la visualisation en pleine résolution des images et leur téléchargement en ligne. La livraison de cette nouvelle version de l'IDS GEOSUD a permis de démarrer courant 2016 l'intégration progressive de l'ensemble des archives GEOSUD en commençant par les plus récentes. Cette tâche de fond s'est étalée jusqu'en 2018. En parallèle, une 1ère version de l'infrastructure d'accès aux images Pléiades et aux mosaïques des couvertures nationales GEOSUD a été mise en place par IGN à partir de la mi-2014 puis progressivement enrichie (visualisation, accès par flux, téléchargement réservé aux professionnels, application de photo-interprétation visuelle pour la détection collaborative de changements entre deux millésimes) (<https://spatial.ign.fr/>). En 2016, l'interopérabilité entre les infrastructures du Géoportail et de GEOSUD Montpellier a été mise en place au niveau du catalogage des métadonnées, des services de visualisation et de téléchargement.

Dès 2016, un service de demande en ligne de nouvelles images SPOT 6-7 et Pléiades a été développé puis déployé dans le cadre d'une collaboration entre la Maison de la Télédétection, IGN et le CNES. Une application provisoire a été développée sous Excel pour faciliter ensuite le traitement des demandes reçues. L'application finale a été développée en 2018 puis déployée en 2019 dans le cadre du nouveau dispositif DINAMIS (<http://application-dinamis.data-terra.org>). Pour compléter les outils DINAMIS, le CNES a financé en 2019 et 2020 dans le cadre d'un marché piloté par l'IRD le développement d'un métacatalogue d'images pour offrir une vision unifiée de plusieurs catalogues : GEOSUD, archives SPOT 1-5 et Pléiades du CNES (<https://catalogue-dinamis.data-terra.org/>).

Des premiers tests ont servi à préparer l'IDS V2 de GEOSUD dédiée aux services de traitements en ligne des images sur le cluster de calcul à haute performance d'HPC@LR ainsi que l'archivage pérenne des images au CINES. En 2014, un petit cluster a été installé à la Maison de la Télédétection pour explorer des méthodes et des procédures de calcul. En parallèle, des travaux d'intégration et d'exécution des bibliothèques de traitement d'image ITK et OTB ont été menés avec les ingénieurs du CINES. Ils ont permis de progresser sur plusieurs points : spécifications de l'architecture matérielle nécessaire à l'optimisation des chaînes de traitement ; évaluation des méthodes et des outils pertinents pour articuler au mieux les parties serveurs et clients des services de traitement ; réalisation de bancs d'essai pour évaluer le passage à l'échelle des traitements selon les architectures matérielles et logicielles choisies. En 2015, un nœud de calcul a été acquis pour prolonger les tests de développement et de performance avec le CINES. Des services de base en traitement d'images ainsi qu'une première chaîne de traitement thématique (application « coupes rases ») ont été mis en place sur une version de développement de l'IDS V2. L'ensemble des résultats de ces tests ont permis de rédiger les spécifications techniques et fonctionnelles pour le marché de développement de l'IDS V2 piloté par l'IRD. Deux entreprises ont été retenues à la fin 2016. Le chantier de développement s'est déroulé en 2017 et 2018. Un contentieux avec un des deux prestataires a entraîné des retards et a obligé à trouver des solutions d'attente. Prête en 2019, l'IDS-V2 a fait l'objet de tests internes par l'équipe GEOSUD. L'ouverture à des premiers utilisateurs prévue en 2020 n'a pas pu finalement être mise en place du fait de la crise sanitaire.

WP3 : méthodes et applications

Ce WP visait à développer des méthodes en traitement d'images et pour la production de produits thématiques à partir des données GEOSUD, parfois combinées à d'autres types de données. Ces travaux ont servi à illustrer les possibilités de traitements et d'analyse apportées par GEOSUD (IDS V1 et V2), à mener des recherches méthodologiques en adéquation avec les demandes des utilisateurs GEOSUD, à vérifier la qualité des produits fournis. Le WP a aussi porté sur des développements méthodologiques en SHS pour mesurer les usages et les impacts socio-économiques de GEOSUD.

Les développements ont été menés majoritairement entre 2012 et 2017 dans le cadre de 3 post-doctorats, de 3 thèses, de stages de Master et de travaux par du personnel en CDD. Ils ont abouti à différents produits : guides méthodologiques, plugins, chaînes de traitement, prototypes, supports pédagogiques (utilisés dans le WP4), articles scientifiques.

Recherches méthodologiques

Ces recherches ont visé à développer des outils et des méthodes génériques utiles à différentes étapes du processus de traitement des images et d'exploitation des résultats : acquisition et structuration des images, extraction d'informations, calcul des incertitudes, insertion des résultats dans des modèles.

Plusieurs travaux ont aidé à préparer les spécifications fonctionnelles des services de traitement en ligne de l'IDS V2. Dès 2012 ont été explorés des langages et des modélisations des chaînes de traitement. En 2016, un framework de développement de chaînes de traitement sur cluster de calcul a été mis au point. En 2015 et 2016, un prototype fonctionnel de démonstration de l'IDS V2 été développé. Il incluait des développements au niveau du cluster de calcul haute performance (conception optimisation, déploiement de chaînes de traitements) et de l'interface web, avec la mise en place de services standardisés OGC pour l'interaction des données avec les traitements.

Enfin, une série de travaux a été menée pour mesurer les impacts de GEOSUD. Un premier protocole générique d'évaluation de l'IDS GEOSUD a été élaboré dès 2012. Il a été repris et amélioré en 2016 en partenariat avec des économistes (UMR CEE-M) pour mesurer les impacts socio-économiques de produits et services fournis par GEOSUD. Ce protocole d'évaluation a été appliqué aux cas particulier de la cartographie des coupes rases forestières en France et de cartes d'occupation du sol. Une thèse en économie (2016-2019) menée avec le CEE-M, non financée par l'Equipex, a permis d'élaborer des méthodologies d'évaluation et de réaliser auprès des

utilisateurs GEOSUD des études économétriques sur les consentements à payer et des scénarios de modèles économiques.

Recherches thématiques

Ces recherches ont visé à développer des méthodes pour élaborer des produits thématiques à partir des images GEOSUD combinées à d'autres images ou d'autres types de données, dans des domaines d'expertise des partenaires du consortium GEOSUD (environnement, agriculture, forêt).

Plusieurs d'entre elles ont porté sur la conception d'ontologies thématiques : récifs coralliens, oasis sahariennes, ripisylves. D'autres travaux ont consisté à développer des chaînes de traitement pour caractériser certains types d'occupation ou d'usage du sol à partir d'images optiques et parfois radar : coupes rases forestières, coupes de canne à sucre, occupation du sol fine le long des cours d'eau, cultures intermédiaires pièges à nitrates, habitats naturels, paramètres de surface des sols.

La communauté des utilisateurs GEOSUD a largement utilisé les ressources de l'EQUIPEX pour des travaux académiques (cf. liste des publications), des projets d'appui aux politiques publiques, des R&D privés ainsi que des activités d'enseignement.

WP4 – WP5 : Formation, mise en réseau, accompagnement des utilisateurs

Formation

Pour aider les utilisateurs à se familiariser avec l'imagerie satellitaire et à prendre en main des outils et des méthodes de traitement d'images, des activités en ingénierie pédagogique ont été menées pour développer des ressources pédagogiques et concevoir et réaliser des formations, y compris à distance.

La conception et le test d'un référentiel pédagogique « Prise en main de l'imagerie GEOSUD » a démarré dès 2012. Il a ensuite été utilisé, mis à jour, amélioré à l'occasion d'un module de formation courte (2 à 3 jours) organisé chaque année par AgroParisTech à la Maison de la Télédétection. Deux modules thématiques ont aussi été développés : la détection des coupes rases (2 j) délivré une fois par an depuis 2013, la détection des couverts hivernaux (CIPAN) en agriculture (3 j).

La formation « Prise en main de l'imagerie GEOSUD » a été reprise et enrichie à partir de 2014 pour l'adapter à la formation à distance. Elle comprend 7 chapitres eux-mêmes composés de séquences de cours, d'illustrations, de quiz et de travaux pratiques à l'aide du logiciel libre QGIS. Une formation hybride a été organisée pour la 1^{ère} fois en 2015 et reproduite les années suivantes avec une partie à distance (0,5j), une partie en présentiel (1,5j), suivie d'une formation thématique « coupes rases » (2j).

Les ressources pédagogiques de GEOSUD ont été publiées sous licence ouverte à partir de 2017 (<http://ids.equipex-geosud.fr/web/guest/produits-pedagogiques>). Le parcours « Découverte » d'initiation à la télédétection a été versé en accès libre sur la plateforme de formation à distance d'Agreenium (<https://lms.agreenium.fr/course/view.php?id=36>).

Mise en réseaux, accompagnement

En matière de mise en réseaux, deux réunions avec l'ANR fin 2012 et début 2013 ont permis de préciser les critères d'éligibilité des actions menées pour une prise en charge sur la dotation Equipex. Il en est ressorti que seules étaient éligibles les actions qui aidaient à la mise en place de l'équipement, à partir de retours d'expérience des utilisateurs ou d'infrastructures similaires.

Les utilisateurs ont bénéficié durant le projet d'accompagnements pour faciliter les procédures d'adhésion à GEOSUD (puis Theia et DINAMIS) et pour aider au choix des images et à leur utilisation.

Les porteurs de GEOSUD ont aussi fortement contribué avec le CNES et le CNRS à créer fin 2012 le pôle national Theia centré sur l'utilisation de la télédétection pour l'observation des surfaces continentales. Theia rassemble en 2020 11 organismes (dont 6 des 13 partenaires GEOSUD). Il a permis de structurer la communauté nationale en télédétection et de la doter d'une infrastructure de données et de services basée en partie sur GEOSUD et en partie sur des moyens apportés par le CNES et IGN. C'est dans ce cadre élargi de Theia que GEOSUD a surtout contribué à la mise en réseau des utilisateurs nationaux. GEOSUD a aussi été partie prenante de la mise en place à partir de 2016 de l'Infrastructure de Recherche Data Terra puis à partir de 2017, du dispositif national DINAMIS comme composant transversal de Data Terra.

Usages de l'Equipex GEOSUD

Une partie des résultats scientifiques obtenus par les membres du consortium ont été menés dans le cadre du développement de l'équipement. Ils ont été présentés dans l'état d'avancement du projet (WP3 - recherches méthodologiques). Les partenaires scientifiques du consortium spécialisés en télédétection (UMR Espace Dev, UMR TETIS, dans une moindre mesure OSU Oreme) ont également utilisé les services d'accès aux images GEOSUD dans leurs projets de recherche.

Les 588 structures utilisatrices, hors consortium, sont des scientifiques, des acteurs publics, des associations et, hors adhésion formelle, des acteurs privés pour de la R&D. Pour les scientifiques, l'apport principal de l'EQUIPEX dans son état actuel de développement a été de pouvoir accéder gratuitement à des images en archive GEOSUD ou, depuis la mise en service de la station de réception en 2015, à de nouvelles images SPOT 6-7 acquises à leur demande. Au total, 27 millions de km² d'images GEOSUD ont été utilisés par des laboratoires français depuis le début du projet (61 millions de km² par l'ensemble des utilisateurs GEOSUD). A titre d'exemple, GEOSUD a permis à trois laboratoires en archéologie de tester à partir de 2015 pour la première fois l'intérêt d'images satellites dans leurs recherches.

Même si ce n'est pas à destination de la communauté scientifique, l'application pilote sur les coupes rases a démontré la pertinence d'un package complet de produits et services pour une appropriation réussie par les utilisateurs, ici les services déconcentrés du Ministère de l'Agriculture. Ce package comprend l'accès aux images pertinentes, un guide méthodologique « coupes rases », un algorithme de traitement (plugin pour QGIS et service de traitement en ligne), des supports pédagogiques, une offre de formation, la labellisation de la méthode par une autorité (ici le ministère de l'agriculture).

Les domaines d'applications couverts par les laboratoires utilisateurs sont très diversifiés. Le graphique ci-dessous montre à titre d'exemple les applications visées par les demandeurs de nouvelles images SPOT 6-7 durant la campagne 2015.

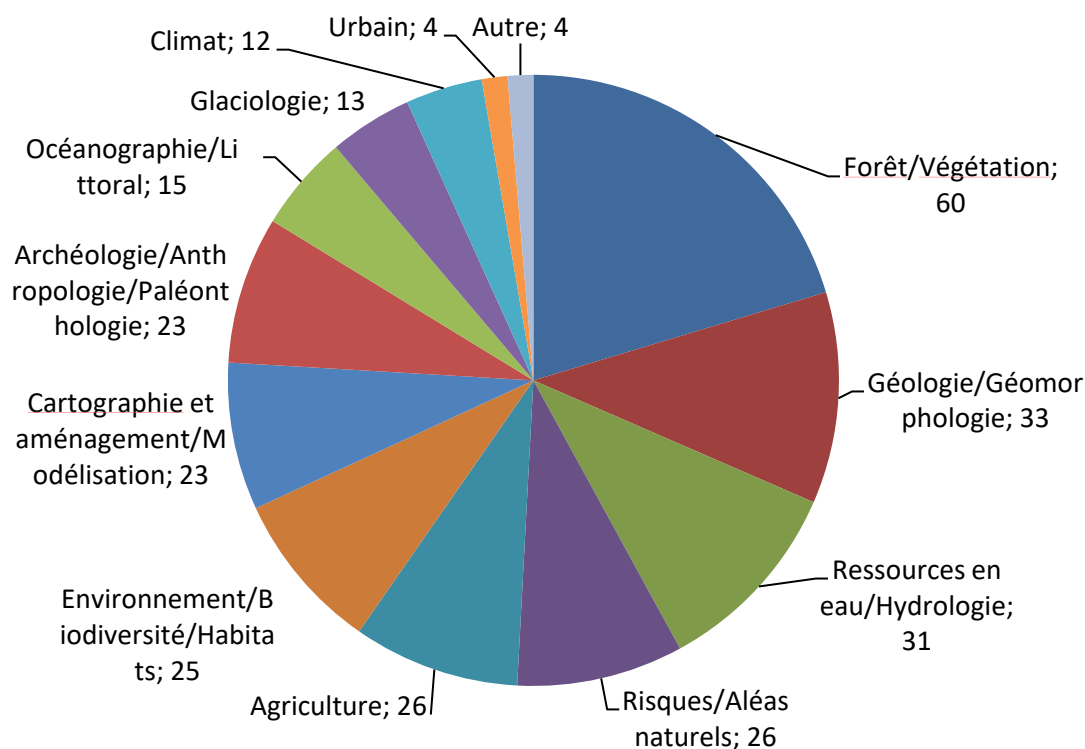


Fig. : Domaines d'application visés par les demandeurs de nouvelles images SPOT 6-7 en 2015

L'autre exemple ci-dessous tiré de l'année 2020 donne un autre aperçu de la diversité des usagers et des usages des produits et services de GEOSUD.

	Demandeur	Projet	Nb images téléchargées
Recherche + Acteurs publics	Conservatoire Littoral, BRGM, MNHN ...	Adapto - Gestion du trait de côte	181
	UMR TETIS, IGN, Cerema, MTES	Artisols- Artificialisation	73
Recherche	CBN Midi-Pyrénées	Cartographie des buxais	57
	UMR LEGOS	Evolution du champs de glace Nord de Patagonie par comparaison de MNTs SPOT 6 7	32
Acteurs publics	UMR GEOAZUR	Deep Learning for Littoral	30
	CEREMA	Etude friches urbaines	24
	ONERA	Utilisation SPOT Pléiades Sentinel pour classification végétation	22
Enseignement	Agence Catalane Urbanisme	PLH : Visualisation de l'achèvement de lotissements	20
Challenge étudiant	IUT Toulouse 3	Ilots de chaleur urbains : module formation SIG risques naturels	19
	Ecole Telecom Bretagne	Océan Hackathon	18

Fig. : Exemples d'usages de l'imagerie GEOSUD parmi les plus gros téléchargements de l'année 2020

Préciser l'apport de l'Equipex dans l'obtention des résultats (aurait-on pu obtenir ces résultats sans cet équipement ?)

Des innovations propres à GEOSUD

Le projet GEOSUD a profondément modifié le paysage national pour l'accès à l'imagerie satellitaire en apportant trois innovations majeures : la logique de mutualisation via une licence « tout acteur public » ; le produit « couverture nationale » ; la mise en place d'une station de réception institutionnelle.

Jusqu'alors, les licences proposées par les fournisseurs d'images dépendaient de catégories d'utilisateurs (enseignement/recherche, acteurs publics, acteurs privés) avec une tarification croissante selon le nombre d'utilisateurs. GEOSUD a cherché à mettre en place un dispositif de mutualisation en finançant en amont l'achat d'images pour une mise à disposition gratuite en aval auprès des utilisateurs autorisés. La faisabilité juridique, financière et commerciale d'une licence « tout acteur public » avait été testée avec succès en 2009 avec des fournisseurs d'images pour des couvertures de la région Languedoc-Roussillon financées sur le budget GEOSUD CPER 2007-2013. Avec ce type de licence, la bancarisation et le catalogage des images a permis à l'ensemble des adhérents de pouvoir y accéder tout au long du projet via l'IDS-V1.

Jusqu'alors, aucune couverture homogène du territoire national français en images à très haute-résolution spatiale n'avait été produite malgré l'intérêt que cela présentait, notamment pour compléter les couvertures aériennes réalisées tous les 3 à 4 ans par l'IGN. La logique de mutualisation et les ressources financières apportées par GEOSUD ainsi que la présence d'IGN au sein du consortium ont permis de tester avec succès dès 2010 sur le budget CPER la faisabilité technique et juridique d'une couverture complète du territoire national à 5 m de résolution en licence tout acteur public dans le cadre d'un marché public remporté par le distributeur des images des satellites RapidEye. Ceci a permis de lancer l'acquisition des couvertures nationales annuelles décrite ci-dessus pour constituer progressivement une archive patrimoniale standardisée d'observation du territoire national. Les récents progrès en IA / Machine Learning et en calcul haute performance permettent maintenant d'exploiter cette série de couvertures.

La mise en place de la station de réception institutionnelle GEOSUD a permis de remonter d'un cran dans le processus d'acquisition des images en produisant nous même les images à partir du signal mesuré par les satellites et transmis vers l'antenne GEOSUD. Ceci a permis d'abaisser les coûts unitaires de production des images et de pouvoir répondre plus finement aux besoins des utilisateurs. Elle a aussi apporté une qualité de service aux scientifiques que les fournisseurs d'images n'auraient pas pu fournir. Il a été possible par exemple en 2015 de programmer finement les satellites SPOT 6-7 pour synchroniser à la demi-journée près l'acquisition d'images avec une sortie terrain d'une équipe d'hydro-géomorphologues sur un site de la Durance.

Des conséquences pour les utilisateurs et les usages

La plupart des projets de recherche, d'appui aux politiques publiques ou de R&D privés portés par les adhérents GEOSUD qui ont utilisé ces images n'auraient pas pu être menés à bien sans l'existence de l'EQUIPEX, faute de budget et d'accompagnement suffisants. C'est notamment le cas de tous ceux qui ont utilisé les couvertures nationales comme par exemple le projet Artisol (2019-2020) qui permet de produire une cartographie annuelle de l'artificialisation grâce à des algorithmes en IA / Machine Learning entraînés sur l'ensemble des images SPOT 6-7 des 5 couvertures nationales de 2015 à 2019.

Une enquête économétrique sur les consentements à payer menée en 2018 auprès des adhérents GEOSUD (351 réponses exploitables) a aussi montré que 41% d'entre eux renonceraient à l'imagerie si son accès devenait payant.

Difficultés rencontrées

Précisez également comment ces difficultés ont été surmontées, notamment en cas d'évolution de la pertinence du projet.

La principale difficulté sur un projet d'une telle durée a été de s'adapter à un contexte technologique et institutionnel très dynamique, situation à laquelle GEOSUD a lui-même contribué du fait de son existence et de son impact sur le paysage national.

La création du pôle Theia fin 2012 a amené à déplacer progressivement les recherches méthodologiques et thématiques (WP3) et les activités d'animation et de mise en réseau (WP4 et WP5) à l'échelle de cette communauté élargie d'experts et d'utilisateurs. L'existence de Theia a aussi permis de choisir les satellites SPOT 6-7 comme premiers capteurs reçus par la station GEOSUD alors que cela aurait été hors de portée dans le strict périmètre budgétaire et partenarial de GEOSUD. Ceci a toutefois complexifié et accru les activités initialement prévues, d'un point de vue technique, administratif, budgétaire, partenarial et décisionnaire.

La fusion Irstea/INRA amorcée en 2018 a soulevé le risque d'absence de stratégie partagée en matière de télédétection et donc de difficulté à pérenniser l'équipement à la fin du projet. Une mission commune en 2019 commanditée par les deux directions a permis d'aboutir à une stratégie INRAE organisée autour du pôle Theia, de DINAMIS et de l'IR Data Terra.

En 2016, l'entrée en phase opérationnelle du programme européen Copernicus avec la diffusion massive et gratuite des images Sentinel (10m de résolution, répétitivité hebdomadaire) a focalisé l'attention et les efforts de la puissance publique, des industriels, des experts et des utilisateurs pour ce nouveau type de données. Ce n'est qu'à partir de 2019, 2020 que des approches multi-résolutions, multi-capteurs ont commencé à émerger et permis de prendre conscience de la plus-value apportée par l'imagerie GEOSUD/DINAMIS à très haute-résolution spatiale en complémentarité de l'imagerie Sentinel.

La lourdeur des procédures de marchés publics a constitué une autre difficulté. De 2011 à 2014, les couvertures annuelles ont été acquises par des marchés annuels avec des délais légaux incompressibles qui retardaient la diffusion des images auprès des usagers. Cette difficulté a pu être surmontée par la mise en place d'un marché pluriannuel pour l'achat de la télémessure SPOT 6-7 (2015-2019) et d'un accord de consortium entre 6 organismes. Les premiers travaux de R&D en 2013 et 2014 pour spécifier les fonctionnalités de l'IDS-V2 (services de traitement en ligne) avaient débouché sur des idées très novatrices par rapport aux solutions existantes de l'époque. Mais son développement a ensuite été fortement contraint par le manque de souplesse et la longueur des procédures de marchés publics pour arriver à collaborer de manière efficace avec des prestataires privés suivant des méthodes informatiques dites agiles. Un contentieux juridique avec un des prestataires a de plus entraîné un retard très important dans la livraison de l'IDS-V2. Rétrospectivement, il aurait été peut-être plus judicieux d'internaliser ces développements en recrutant du personnel spécialisé, avec toutefois les contraintes de grilles salariales du secteur public très peu attractives pour des profils pointus d'informaticiens et de la maintenance des applications sur le long terme une fois les développeurs partis.

Mi-2019, les partenaires de l'EQUIPEX avaient demandé le report de clôture de l'Equipex de la fin 2019 à la fin 2020 motivé par plusieurs raisons : assurer une continuité de service dans l'acquisition des images SPOT 6-7 en basculant vers le nouveau dispositif DINAMIS, ouvrir les services de l'IDS-V2 à des premiers groupes d'utilisateurs et organiser un challenge numérique et un événement de clôture courant 2020. L'imminence de la fusion Irstea INRA fin 2019 suivie de l'apparition de la crise sanitaire début 2020 ont remis en question ces objectifs. La priorité accordée à la continuité de service a permis toutefois d'arriver à mettre en place un nouvel accord de partenariat et un nouveau marché (2020-2022). Les autres objectifs n'ont malheureusement pas pu être tenus faute de ressources humaines suffisantes et des confinements successifs liés à la COVID. L'IDS-V2 a toutefois pu être utilisée comme prototype avancé pour nourrir les travaux de R&D du projet européen PHIDIAS coordonné par le CINES et visant à développer des environnements de calcul à haute performance. Ce projet sert de préfigurateur pour la future grille nationale distribuée de données et de calcul de l'IR Data Terra (projet PIA 3 Equipex+ GAIA DATA accepté fin 2020) et du projet EOSC européen. Le challenge numérique et le séminaire final de clôture de l'EQUIPEX devraient être organisés en 2021 en mobilisant d'autres ressources humaines et budgétaires.

MOYENS MIS EN PLACE SUR FINANCEMENTS IA (A COMPLETER UNIQUEMENT POUR LES PROJETS DONT LA TRANCHE INVESTISSEMENT (T1) CLOTURE EN 2019)

Moyens mis en place (sur financement IA): Indiquer les moyens humains (personnels techniques, doctorants, post-doctorants), organisationnels (gouvernance) et matériels mis en place pour la réalisation de la tranche 1. Maximum 2 pages.

Moyens humains

56 agents ont au total été employés entre 2011 et 2018 sur les crédits de l'Equipex au titre de la tranche 1 pour la mise en place de l'équipement pour un total de 789 homme/mois.

Catégorie personnel temporaire	Nombre d'agents	Total Homme Mois
Personnels techniques (technicien, IE, IR)	35	675
Doctorants	2	16
Post-doctorants	2	16
Stagiaires	17	82
Total	56	789

Moyens matériels

Les moyens matériels de l'EQUIPEX se répartissent entre :

- Développements logiciels : site Web du projet, Infrastructure de Données et de Services V1 et V2.
- Equipements spécifiques à la station de réception satellitaire : terminal de réception SPOT 6-7. NB : l'antenne de réception et sa partie immobilière ont été financées sur le CPER LR 2007-2013.
- Equipements informatiques pour le stockage des images et le calcul installés en partie à la Maison de la Télédétection et en partie au CINES (cf. détails ci-dessous).

Maison de la Télédétection

- **Serveurs de virtualisation :**
 - Nombre : 5
 - Nb CPU : 140
 - RAM : 1.904 Go
 - Nb VM : 87
- **Service de stockage massif (NAS) :**
 - Frontal NAS :
 - Nombre : 2
 - Nb CPU : 32
 - RAM : 64 Go
 - Baie de stockage (SAN SCv2080) :
 - Vol. Brut : 300 To



Liaison fibre
10 Gb

CINES

- **Serveurs de virtualisation :**
 - Nombre : 4
 - Nb CPU : 132
 - RAM : 1.152 Go
 - Nb VM : 57
- **Service de stockage massif (NAS) :**
 - Frontal NAS :
 - Nombre : 2
 - Nb CPU : 36
 - RAM : 64 Go
 - Baie de stockage (SAN SCv2080 + SCv3000+ext 360) :
 - Vol. Brut : 1 Po
- **Service de calcul :**
 - Meso@LR



Gouvernance

La gouvernance du projet s'est progressivement mise en place et a été formalisée dans l'accord de consortium signé par les partenaires fin 2013.

Le dispositif de gouvernance composé des instances suivantes a fonctionné sans difficultés particulières depuis sa mise en place (sauf en 2020 du fait de la crise sanitaire) :

- **Equipe de coordination** : la coordination a été assurée par Irstea/INRAE avec une équipe de 3 personnes (coordinateur, gestionnaire administrative et financière, jusqu'à la fin 2018 CDD assistant à la coordination technique). NB : Le coordinateur de l'Equipex faisait partie des bureaux exécutifs du Pôle national THEIA et de DINAMIS pour faciliter l'articulation avec ces deux dispositifs.

- **Comité de pilotage** : Instance de décision et de pilotage global de l'Equipex, il a rassemblé des représentants des organismes signataires de la convention et, à titre consultatif, des représentants des ministères de l'agriculture et de l'environnement, du CNES, de la Région Languedoc-Roussillon (Occitanie depuis 2016) ainsi que le représentant français du programme Copernicus. Il s'est réuni 18 fois durant le projet.
- **Bureau** : il réunit les directeurs des 11 entités partenaires et les responsables des WP. Le Bureau a permis de faire un suivi rapproché des actions réalisées et à venir. Il s'est réuni 29 fois durant le projet.
- **Consortium** : composé de l'ensemble des personnels engagés dans le projet, il a servi à faire des points collectifs réguliers sur les avancées et les suites à venir. Il s'est tenu 8 fois durant le projet.
- **Comité Scientifique** ; international et pluridisciplinaire, constitué en 2014, il s'est réuni 5 fois durant le projet. Il a permis d'apporter un regard scientifique et externe sur le projet. Son représentant intervient dans le comité de pilotage pour présenter et discuter des recommandations du Comité Scientifique.
- **Interface avec les usagers** : plusieurs personnes ont contribué à temps partiel à cette activité d'interface, en particulier pour gérer les adhésions à GEOSUD, instruire les demandes d'images ad-hoc et suivre les utilisations de l'équipement.
- **Séminaire annuel des utilisateurs**. Cet événement a été organisé dans une logique de co-conception itérative et incrémentale durant toute la phase d'investissement entre développeurs et usagers bêta testeurs, porteurs de besoins et de premiers retours d'expérience. Il a servi notamment à définir, affiner ou rectifier les spécifications des produits et services. Les deux premiers séminaires annuels (2013 à 2014) ont été organisés à l'échelle stricte de GEOSUD. Les séminaires suivants se sont inscrits dans le cadre plus large du Pôle Theia puis à partir de 2019, d'une communauté encore plus étendue (séminaires annuels ActInSpace).

PERENNISATION

Il s'agit de décrire précisément comment sera assurée la pérennisation, à savoir quel est le modèle économique prévu, ainsi que les moyens mis en place. Précisez si des liens avec des actions du PIA 3 sont envisagées et dans quels objectifs (PPR, ESR...).

La question de la pérennisation des équipements à la fin du projet a commencé à être instruite dès 2016. La traçabilité des usagers, des utilisations et des résultats ainsi que les travaux sur les impacts socio-économiques et les consentements à payer ont permis d'accumuler des éléments tangibles sur les impacts de l'équipement et des modèles économiques envisageables (cf. rubrique « Impacts socio/économiques »).

Les résultats obtenus nous confortent dans l'idée que, dans le contexte actuel d'Open Data et d'accès libres aux images Landsat US et Sentinel du programme européen Copernicus, les utilisateurs seront de moins en moins enclins à contribuer individuellement à l'achat d'imagerie THRS. Partant de cette hypothèse, la solution qui nous est parue la plus prometteuse pour l'acquisition des images consiste à rechercher un nombre réduit de financements significatifs auprès d'institutions publiques sensibles à la nécessité de maîtriser au mieux la dépense publique tout en dynamisant l'innovation ouverte permettant d'améliorer l'efficacité de l'action publique, le soutien à la recherche et le développement de l'activité économique. Nous avons co-dirigé avec le CNES depuis 2016 un groupe de travail qui a abouti début 2018 à la proposition de création du dispositif DINAMIS puis à sa mise en place opérationnelle en 2019 et 2020. Ce dispositif constitue un des composants de l'IR Système Terre avec les 4 pôles de données et de services (dont le pôle Theia). Les investissements GEOSUD relatifs aux images (station de réception, IDS V1, archives GEOSUD, supports pédagogiques) sont repris dans DINAMIS, les autres (IDS V2, chaînes de traitements, supports pédagogiques) dans le pôle Theia.

Nous pensons par contre qu'il est préférable de mettre en place dans le cadre du pôle Theia et plus largement de l'IR Data Terra des modèles économiques générant des recettes à partir de produits et services thématiques répondant aux besoins métiers des utilisateurs ou pouvant rentrer dans des chaînes de valeur ajoutée mobilisant des acteurs intermédiaires publics ou privés. Une partie de ces recettes pourrait contribuer à couvrir les coûts de fonctionnement et de renouvellement des équipements. Nous testons depuis 2018 à travers des premiers cas concrets d'applications des solutions juridiques et des modèles économiques pour formaliser des partenariats recherche / acteurs publics / acteurs privés. Ces orientations ont été reprises dans le projet GAIA-DATA soumis par l'IR DataTerra à l'appel à projet PIA3 e-Infrastructures et le projet GDO/GEOSUD soumis par le CNES et la Maison de la Télédétection au CPER Occitanie 2021-2027. Ces deux projets ayant été acceptés fin 2020, ils vont permettre à partir de 2021 de continuer à tester puis à mettre en place des modèles économiques adaptés.

IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE

Décrire l'impact socio-économique du projet.

Utilisateurs (hors périmètre Equipex)

Décrire quels sont les utilisateurs privés et publics ayant eu accès à la plateforme et les modalités d'utilisation (partenariat scientifique, prestation de services, autres modalités).

L'Equipex GEOSUD totalise à la fin 2020 plus de 1200 comptes utilisateurs appartenant à 588 structures adhérentes dont :

- 178 laboratoires de recherche et d'enseignement supérieur,
- 150 services de l'Etat,
- 134 collectivités territoriales,
- 126 organismes publics divers et associations.

Une fois l'adhésion confirmée, l'accès aux données d'archive et aux services est gratuit. Le nouveau marché de télémessure SPOT 6-7 2020-2022 se déroulera très largement après la fin de l'Equipex GEOSUD (30/09/2020). Il continue d'être porté par le même consortium des 6 partenaires (INRAE, CNES, CNRS, IRD, IGN, CIRAD) et il inclue des mécanismes de co-financement par les plus gros utilisateurs au-delà d'un certain volume gratuit de nouvelles images.

Du fait des licences des images réservées à des usages non commerciaux, les entreprises ne peuvent pas adhérer à l'EQUIPEX. Par contre, elles peuvent bénéficier des produits et services de l'EQUIPEX dans le strict cadre de prestations pour le compte d'adhérents publics de GEOSUD (cas par exemple d'une cartographie d'occupation du sol pour une collectivité territoriale). Après accord préalable par les fournisseurs d'images, des structures privées peuvent aussi utiliser des produits et services GEOSUD pour des activités de R&D privée, hors utilisation commerciale. Des formulaires types d'actes d'engagement au respect de ces conditions sont disponibles. Ces mécanismes ont été très souvent utilisés durant le projet mais ils n'ont pas fait l'objet d'un recensement systématique.

Impacts socio-éco avec le secteur privé

Les acteurs privés retenus dans le cadre de marchés publics ont mené en 2019 les prestations suivantes : fourniture de données, développements informatiques (IDS V2, application gestion des demandes d'images, portail Web générique d'un ART, Géoportail), maintenance logicielle (IDS V1 et V2), maintenance d'équipements (antenne et terminal de réception), métacatalogue DINAMIS).

Comme en 2018, plusieurs adhérents GEOSUD ont indiqué avoir confié des prestations de service à des entreprises privées dans le cadre de marchés publics. Dans le nouveau marché SPOT 6-7 2020-2023, il a été ajouté la possibilité pour une région d'acheter une extension de license pour rendre accessibles les images de couvertures régionales à tous les acteurs de la région, y compris privés.

Impacts socio-éco et scientifique liés à la stratégie de mutualisation GEOSUD

Les recherches menées depuis 2015 avec le labo d'économie de Montpellier ont montré que les impacts de GEOSUD étaient multiples, certains quantifiables et d'autres plus qualitatifs (mise en réseau, montée en compétence...).

De 2011 à 2019, le coût cumulé du dispositif de mutualisation a été estimé à 12,8 M€ (images, télémessure, achat et opérations de l'antenne, du terminal de réception et de l'IDS V1, traitements géo IGN) alors que les achats séparés d'images auprès des fournisseurs aux tarifs commerciaux seraient revenus à 108,6 millions d'euros, soit un facteur d'économie globale lié à la mutualisation de 8,5. Il s'agit d'une estimation basse, hors économies liées à l'accès à la programmation des satellites et aux téléchargements à partir des sites IGN.

Nous avons publié en 2019 les résultats d'une recherche auprès des adhérents GEOSUD/Theia sur les consentements à payer (doi: 10.1109/MGRS.2019.2941751) :

- Le prix moyen qu'un utilisateur consentirait à payer pour une image SPOT 6-7 est de 1700 € alors que le tarif commercial varie de 8000 € (tarif recherche) à 16000 €.
- 60% des utilisateurs renonceraient à utiliser ce type d'images si une tarification était appliquée dès la première image demandée.

Liens avec l'environnement de recherche et d'innovation

Liens au niveau régional, national, européen et mondial (pôles de compétitivité, SATT, incubateurs, IRT, ITE, RTRA, fondations, GIS, GIE, réseaux divers, infrastructures, etc.). Préciser la nature de ces liens (échanges, brevets, contrats, partenariats, inclusion, etc.).

A l'échelle nationale

La finalité de l'EQUIPEX est de servir les communautés scientifiques et des acteurs de l'action publique à l'échelon national. Les porteurs de l'EQUIPEX ont fortement contribué en 2012 à la création du pôle national Theia (<https://www.theia-land.fr/>), puis depuis, à sa structuration et à son fonctionnement. Le pôle Theia s'appuie sur une Infrastructure de Données et de Services à cheval sur 3 sites (Toulouse avec le CNES, Paris avec le Géoportail d'IGN et son extension GEOSUD, et Montpellier avec l'IDS GEOSUD). Il s'appuie aussi sur une structuration de la communauté nationale en un réseau de Centres d'Expertise Scientifique (CES) et d'Animation Régionale Theia (ART).

Les CES sont des laboratoires ou regroupements de laboratoires, distribués sur une ou plusieurs régions, menant des travaux de recherche et développant des méthodes innovantes de mobilisation des données satellitaires. Ils se concentrent sur le développement de produits à valeur ajoutée, répondant à des besoins utilisateurs, avec éventuellement des services associés. Il existe 24 CES à la fin 2020, dont 6 en production, 8 en prototypage et 10 en incubation plus avancés sont en mesure de proposer des produits et services opérationnels. Plusieurs de ces CES mobilisent des images GEOSUD.

Les ART servent à animer en région les échanges entre la communauté scientifique et les acteurs des politiques publiques pour identifier des besoins opérationnels à destination des CES afin de développer des produits et services adaptés, puis pour faire des retours d'expérience. Les ART s'appuient notamment sur les plateformes régionales en information géographique dont le rôle a été conforté par la récente loi Notre. Fin 2020, 7 ART ont déjà été mis en place en métropole ainsi que l'ART GeoDEV pour les Rom-Com et les pays du Sud et l'ART GeoDEV Nouvelle-Calédonie (<http://www.theia-land.art-geodev.fr/>).

GEOSUD s'est également inscrit dans des initiatives nationales récentes en faveur de l'innovation :

En 2016, le CNES et le COSPACE (association des industriels du spatial) ont lancé un appel à labellisation de boosters, sorte d'écosystèmes d'innovation portés par des pôles de compétitivité, pour encourager la valorisation économique des technologies du spatial (observation de la Terre, géolocalisation, télécommunication) par des collaborations entre acteurs du spatial, du numérique et de domaines applicatifs. Les partenaires GEOSUD de la Maison de la Télédétection ont contribué à la structuration du booster Nova porté par le pôle de compétitivité Aero Space Valley et réparti sur 3 sites (Bordeaux, Toulouse, Montpellier).

Depuis 2018, le CNES a mis en place avec les plateformes régionales en information géographique et le pôle Theia un séminaire annuel de 2 jours, AppSpace, dédié aux applications opérationnelles de la télédétection à destination des utilisateurs finaux et du secteur privé parmi la communauté de la géomatique. Celui de 2019 s'est tenu à Marseille (<https://appspace-sud2019-crige.fr/>) et celui de 2020 à Montpellier (<https://www.openig.org/evenements/appspace-2020>). Ces événements ont permis notamment de présenter les suites de l'EQUIPEX et d'organiser des ateliers pratiques sur l'accès à l'imagerie GEOSUD / DINAMIS.

Comme indiqué dans la partie « pérennisation », les équipements et autres ressources de GEOSUD sont en train d'être repris dans deux composants de l'Infrastructure de Recherche Data Terra, DINAMIS pour l'accès à l'imagerie satellitaire et Theia pour les produits et services à valeur ajoutée. Le nouveau projet GAIA-DATA retenu fin 2020 au titre de l'AAP PIA3 «Infrastructure-Equipex+» apportera des ressources supplémentaires pour poursuivre et démultiplier le développement de produits et services issus de l'imagerie satellitaire.

A l'échelle régionale

L'ancienne région Languedoc-Roussillon LR a fortement soutenu depuis le début le projet GEOSUD en accordant avec l'Etat et l'Europe un premier financement dans le cadre du CPER/FEDER 2007-2013. Ceci a permis de financer la première couverture nationale en licence tout acteur public ainsi que l'antenne de réception et le nouveau bâtiment qui accueille une partie des équipements de l'EQUIPEX. La région a participé également activement au comité de pilotage de l'EQUIPEX comme membre invité. Lors de l'élaboration de la stratégie de spécialisation intelligente des régions à la demande de l'Europe, la valorisation de GEOSUD dans le développement régional a été retenue parmi les actions du domaine numérique de la stratégie 3S LR.

En 2016, la fusion des régions Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon en 2016 dans la nouvelle région Occitanie a finalement contribué à dynamiser les échanges entre les équipes de Toulouse (CNES, IGN) et de Montpellier dans le cadre du pôle Theia et la mise en place du nouveau dispositif DINAMIS. La nouvelle région a continué à soutenir le projet GEOSUD en validant à la fin 2020 le projet GDO-GEOSUD proposé par le CNES et la Maison de la Télédétection au CPER Occitanie Recherche 2021-2027. Ce projet aidera à financer l'opérationnalisation de la production et de la diffusion de produits et services applicatifs exploitant notamment les ressources GEOSUD (imagerie, station de réception, équipements de stockage et de calcul).

A l'échelle du site

La dynamique partenariale impulsée par l'appel à projet Booster (cf. ci-dessus) puis la création du booster Nova a accéléré en 2016 sur Montpellier les rapprochements déjà engagés entre GEOSUD et les acteurs de l'innovation et de l'entrepreneuriat : BIC ESA, Transfert Occitanie (ex Transfert LR), SATT AxLR, pôles de compétitivité Qualimed et Mer, chaire AgroTIC de Montpellier SupAgro, équipe Partenariats du pôle universitaire montpelliérain I-Site MUSE.

Le nouveau bâtiment de la Maison de la Télédétection inauguré fin 2016 comprend un espace réservé à l'accueil d'entreprises géré administrativement par l'incubateur Minea du centre INRAE de Montpellier. Le BIC ESA de la Métropole de Montpellier, la structure Transfert Occitanie et l'équipe Partenariats de MUSE apportent leur expertise et leur soutien pour l'incubation de start up et l'installation de personnel d'entreprises existantes. Ceci a permis notamment la création en 2018 d'une entreprise sous statut SCOP, La TeleScop, par deux anciens CDD de GEOSUD.

GEOSUD a aussi contribué depuis 2016 à des challenges d'innovation en proposant des défis, en mettant à disposition de jeux de données et en participant au coaching d'équipes. Parmi ces événements : hackathons ActInSpace organisés chaque année par l'ESA et le CNES sur plusieurs villes européennes dont Montpellier ; challenge étudiants Innov'Agro 2016 organisé par trois écoles de Montpellier (SupAgro, Polytech et Business School) ; Ocean Hackathon 2020 organisé par le Campus Mondial de la Mer.

Il est également prévu avec l'équipe Partenariats du I-Site MUSE et le service de valorisation d'AgroParisTech de relancer en 2021 sur Montpellier un projet de développement de l'entrepreneuriat étudiant. Ce projet s'appuiera sur les compétences (étudiants, chercheurs, entreprises) et les ressources technologiques de la Maison de la Télédétection et du Centre Spatial Universitaire ainsi que des équipements, images et produits thématiques de GEOSUD, de DINAMIS et de Theia. Ce projet bénéficiera des efforts de structuration déjà entrepris par AgroParisTech en 2017 et 2018 avec la soumission du projet GeoInn'Lab à l'appel à projet PIA DisruptCampus mais sans succès.

LISTE DES PUBLICATIONS MAJEURES DU PROJET

Renseigner la liste des publications majeures mentionnant l'Equipe et publiées dans les revues référencées dans le web of science au cours du projet. Seules les publications effectives doivent être listées.

Au total, 134 publications liées à l'EQUIPEX GEOSUD ont été recensées sur la période 2012 à 2020, dont 78 référencées dans le Web of Sciences (cf. liste ci-dessous) avec une mention explicite à l'EQUIPEX (ANR-10-EQPX-20 ou GEOSUD).

Publications liées à la conception, la construction ou/et l'amélioration de l'équipement

Bisquert, M., Bordogna, G., Boschetti, M., Poncelet, P., & Teisseire, M. (2014). Soft Fusion of Heterogeneous Image Time Series. In A. Laurent, O. Strauss, B. BouchonMeunier, & R.R. Yager (Eds.), Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Pt I (pp. 67-76)

Cresson, R., & St-Geours, N. (2015). Natural Color Satellite Image Mosaicking Using Quadratic Programming in Decorrelated Color Space. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8, 4151-4162

Cresson, R., & Hautreux, G. (2016). A Generic Framework for the Development of Geospatial Processing Pipelines on Clusters. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 13, 1706-1710

Guttler, F.N., Ienco, D., Poncelet, P., & Teisseire, M. (2016). Combining transductive and active learning to improve object-based classification of remote sensing images. Remote Sensing Letters, 7, 358-367

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*, 45, 69-82

Publications liées à l'utilisation de l'équipement

- Alvarez-Vanhard, E., Houet, T., Mony, C., Lecoq, L., & Corpetti, T. (2020). Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping? *Remote Sensing of Environment*, 243
- Andres, S., Arvor, D., Mougenot, I., Libourel, T., & Durieux, L. (2017). Ontology-based classification of remote sensing images using spectral rules. *Computers & Geosciences*, 102, 158-166
- Baghdadi, N., El Hajj, M., Dubois-Fernandez, P., Zribi, M., Belaud, G., & Chevion, B. (2015). Signal Level Comparison Between TerraSAR-X and COSMO-SkyMed SAR Sensors. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12, 448-452
- Ben Amor, I.B., Chehata, N., Bailly, J.S., Farah, I.R., & Lagacherie, P. (2018). Parcel-Based Active Learning for Large Extent Cultivated Area Mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11, 79-88
- Benedetti, P., Ienco, D., Gaetano, R., Ose, K., Pensa, R.G., & Dupuy, S. (2018). M(3)Fusion: A Deep Learning Architecture for Multiscale Multimodal Multitemporal Satellite Data Fusion. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11, 4939-4949
- Bernard, J., Musy, M., Calmet, I., Bocher, E., & Keravec, P. (2017). Urban heat island temporal and spatial variations: Empirical modeling from geographical and meteorological data. *Building and Environment*, 125, 423-438
- Berthier, E., & Brun, F. (2019). Karakoram geodetic glacier mass balances between 2008 and 2016: persistence of the anomaly and influence of a large rock avalanche on Siachen Glacier. *Journal of Glaciology*, 65, 494-507
- Bertrand, C., Burel, F., & Baudry, J. (2016). Spatial and temporal heterogeneity of the crop mosaic influences carabid beetles in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 31, 451-466
- Bisquert, M., Bordogna, G., Begue, A., Candiani, G., Teisseire, M., & Poncelet, P. (2015). A Simple Fusion Method for Image Time Series Based on the Estimation of Image Temporal Validity. *Remote Sensing*, 7, 704-724
- Blatrix, R., Roux, B., Bearez, P., Prestes-Carneiro, G., Amaya, M., Aramayo, J.L., Rodrigues, L., Lombardo, U., Iriarte, J., de Souza, J.G., Robinson, M., Bernard, C., Pouilly, M., Durecu, M., Huchzermeyer, C.F., Kalebe, M., Ovando, A., & McKey, D. (2018). The unique functioning of a pre-Columbian Amazonian floodplain fishery. *Scientific Reports*, 8
- Chen, Y., Remy, D., Froger, J.L., Peltier, A., Villeneuve, N., Darrozes, J., Perfettini, H., & Bonvalot, S. (2017). Long-term ground displacement observations using InSAR and GNSS at Piton de la Fournaise volcano between 2009 and 2014. *Remote Sensing of Environment*, 194, 230-247
- Chen, Y., Zhang, K.F., Tan, K., Feng, X.J., & Li, H.Z. (2018). Long-Term Subsidence in Lava Fields at Piton de la Fournaise Volcano Measured by InSAR: New Insights for Interpretation of the Eastern Flank Motion. *Remote Sensing*, 10
- Cordonnier, M., Bellec, A., Dumet, A., Escarguel, G., & Kaufmann, B. (2019a). Range limits in sympatric cryptic species: a case study in *Tetramorium* pavement ants (Hymenoptera: Formicidae) across a biogeographical boundary. *Insect Conservation and Diversity*, 12, 109-120
- Cordonnier, M., Bellec, A., Escarguel, G., & Kaufmann, B. (2020). Effects of urbanization-climate interactions on range expansion in the invasive European pavement ant. *Basic and Applied Ecology*, 44, 46-54
- Cordonnier, M., Gibert, C., Bellec, A., Kaufmann, B., & Escarguel, G. (2019b). Multi-scale impacts of urbanization on species distribution within the genus *Tetramorium*. *Landscape Ecology*, 34, 1937-1948
- Coumans, F. (2019). Setting up a User-friendly Remote Sensing Data Infrastructure in France. *Gim International-the Worldwide Magazine for Geomatics*, 33, 30-33
- Cresson, R. (2019). A Framework for Remote Sensing Images Processing Using Deep Learning Techniques. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16, 25-29
- Davaze, L., Rabatel, A., Arnaud, Y., Sirguey, P., Six, D., Letreguilly, A., & Dumont, M. (2018). Monitoring glacier albedo as a proxy to derive summer and annual surface mass balances from optical remote-sensing data. *Cryosphere*, 12, 271-286

- Delannoy, G., Marceau, S., Gle, P., Gourlay, E., Gueguen-Minerbe, M., Diafi, D., Nour, I., Amziane, S., & Farcas, F. (2018). Aging of hemp shiv used for concrete. *Materials & Design*, 160, 752-762
- Delannoy, G., Marceau, S., Gle, P., Gourlay, E., Gueguen-Minerbe, M., Diafi, D., Nour, I., Amziane, S., & Farcas, F. (2019). Influence of binder on the multiscale properties of hemp concretes. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 23, 609-625
- Deline, P., Ravanel, L., Delannoy, J.J., Le Roy, M., Molodin, V.I., Cheremisim, D.V., Zotkina, L.V., Cretin, C., Geneste, J.M., & Plisson, H. (2020). Geomorphology of the upper Kalguty Basin, Ukok Plateau, Russian Altai mountains. *Journal of Maps*, 16, 595-604
- Drouard, A., Gattacceca, J., Hutzler, A., Rochette, P., Braucher, R., Bourles, D., Gounelle, M., Morbidelli, A., Debaille, V., Van Ginneken, M., Valenzuela, M., Quesnel, Y., Martinez, R., Aumaitre, G., Keddadouche, K., & Aster, T. (2019). The meteorite flux of the past 2 m.y. recorded in the Atacama Desert. *Geology*, 47, 673-676
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Belaud, G., Zribi, M., Cheviron, B., Courault, D., Hagolle, O., & Charron, F. (2014). Irrigated Grassland Monitoring Using a Time Series of TerraSAR-X and COSMO-SkyMed X-Band SAR Data. *Remote Sensing*, 6, 10002-10032
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Zribi, M., Belaud, G., Cheviron, B., Courault, D., & Charron, F. (2016). Soil moisture retrieval over irrigated grassland using X-band SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 176, 202-218
- Gadal, S., & Ouerghemmi, W. (2019a). *Knowledge Models and Image Processing Analysis in Remote Sensing: Examples of Yakutsk (Russia) and Kaunas (Lithuania)*.
- Gadal, S., & Ouerghemmi, W. (2019b). Multi-Level Morphometric Characterization of Built-up Areas and Change Detection in Siberian Sub-Arctic Urban Area: Yakutsk. *Isprs International Journal of Geo-Information*, 8
- Gadal, S., Ouerghemmi, W., Barlatier, R., & Mozgeris, G. (2019). *Critical Analysis of Urban Vegetation Mapping by Satellite Multispectral and Airborne Hyperspectral Imagery*.
- Gaetano, R., Ienco, D., Ose, K., & Cresson, R. (2018). A Two-Branch CNN Architecture for Land Cover Classification of PAN and MS Imagery. *Remote Sensing*, 10
- Gastineau, R., Conway, S.J., Johnsson, A., Eichel, J., Mangold, N., Grindrod, P.M., & Izquierdo, T. (2020). Small-scale lobate hillslope features on Mars: A comparative 3D morphological study with terrestrial solifluction lobes and zebra stripe lobes. *Icarus*, 342
- Gil-Tena, A., Nabucet, J., Mony, C., Abadie, J., Saura, S., Butet, A., Burel, F., & Ernoult, A. (2014). Woodland bird response to landscape connectivity in an agriculture-dominated landscape: a functional community approach. *Community Ecology*, 15, 256-268
- Gorab, A., Zribi, M., Baghdadi, N., Mougenot, B., & Chabaane, Z.L. (2015). Potential of X-Band TerraSAR-X and COSMO-SkyMed SAR Data for the Assessment of Physical Soil Parameters. *Remote Sensing*, 7, 747-766
- Guttler, F., Ienco, D., Teisseire, M., Nin, J., & Poncelet, P. (2014). Towards the Use of Sequential Patterns for Detection and Characterization of Natural and Agricultural Areas. In A. Laurent, O. Strauss, B. BouchonMeunier, & R.R. Yager (Eds.), *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Pt I* (pp. 97-106)
- Guttler, F., Ienco, D., Nin, J., Teisseire, M., & Poncelet, P. (2017). A graph-based approach to detect spatiotemporal dynamics in satellite image time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 92-107
- Ienco, D., Gaetano, R., Dupaquier, C., & Maurel, P. (2017). Land Cover Classification via Multitemporal Spatial Data by Deep Recurrent Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14, 1685-1689
- Ienco, D., Gaetano, R., Ose, R.I.K., Minh, D.H.T., & Ieee (2019a). COMBINING SENTINEL-1 AND SENTINEL-2 TIME SERIES VIA RNN FOR OBJECT-BASED LAND COVER CLASSIFICATION. *2019 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 4881-4884)
- Ienco, D., Interdonato, R., Gaetano, R., & Minh, D.H.T. (2019b). Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Image Time Series for land cover mapping via a multi-source deep learning architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158, 11-22

- Interdonato, R., Ienco, D., Gaetano, R., & Ose, K. (2019). DuPLO: A DUal view Point deep Learning architecture for time series classificatiOn. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 149, 91-104
- Jourdain, F., Roiz, D., de Valk, H., Noel, H., L'Ambert, G., Franke, F., Paty, M.C., Guinard, A., Desenclos, J.C., & Roche, B. (2020). From importation to autochthonous transmission: Drivers of chikungunya and dengue emergence in a temperate area. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 14
- Kaczmarek, A., Cacon, S., & Weigel, J. (2016). RECENT RELATIVE VERTICAL MOVEMENTS IN THE TECTONIC ZONE OF THE SUDETY MTS. *ACTA GEODYNAMICA ET GEOMATERIALIA*, 13, 177-184
- Kaplon, J., Kontny, B., Grzempowski, P., Schenk, V., Schenkova, Z., Balek, J., & Holesovsky, J. (2014). GEOSUD/SUDETEN NETWORK GPS DATA REPROCESSING AND HORIZONTAL SITE VELOCITY ESTIMATION. *ACTA GEODYNAMICA ET GEOMATERIALIA*, 11, 65-75
- Kergosien, E., Alatrasta-Salas, H., Gaio, M., Guttler, F.N., Roche, M., & Teisseire, M. (2015). *When Textual Information Becomes Spatial Information Compatible with Satellite Images*.
- Khiali, L., Ienco, D., & Teisseire, M. (2018). Object-oriented satellite image time series analysis using a graph-based representation. *Ecological Informatics*, 43, 52-64
- Lang, M., Alleaume, S., Luque, S., Baghdadi, N., & Feret, J.B. (2019). Complementarity between Textural and Radiometric Indices From Airborne and Spaceborne Multi VHRS Data: Disentangling the Complexity of Heterogeneous Landscape Matrix. *Remote Sensing*, 11
- Le Bris, A., Chehata, N., & Ieee (2019). Urban morpho-types classification from SPOT-6/7 imagery and Sentinel-2 time series. *2019 Joint Urban Remote Sensing Event*
- Li, Z.C., Catry, T., Dessay, N., Gurgel, H.D., de Almeida, C.A., Barcellos, C., & Roux, E. (2017). Regionalization of a Landscape-Based Hazard Index of Malaria Transmission: An Example of the State of Amapa, Brazil. *Data*, 2
- Lucas, A., Narteau, C., Rodriguez, S., Rozier, O., Callot, Y., Garcia, A., & du Pont, S.C. (2015). Sediment flux from the morphodynamics of elongating linear dunes. *Geology*, 43, 1027-1030
- Maleki, S., Baghdadi, N., Soffianian, A., El Hajj, M., & Rahdari, V. (2020). Analysis of multi-frequency and multi-polarization SAR data for wetland mapping in Hamoun-e-Hirmand wetland. *International Journal of Remote Sensing*, 41, 2277-2302
- Martin, F.M., Mullerova, J., Borgniet, L., Dommange, F., Breton, V., & Evette, A. (2018). Using Single- and Multi-Date UAV and Satellite Imagery to Accurately Monitor Invasive Knotweed Species. *Remote Sensing*, 10
- Meleder, V., Savelli, R., Barnett, A., Polsenaere, P., Gernez, P., Cugier, P., Lerouxel, A., Bris, A.L., Dupuy, C., Fouest, V.L., & Lavaud, J. (2020). Mapping the Intertidal Microphytobenthos Gross Primary Production Part I: Coupling Multispectral Remote Sensing and Physical Modeling. *Frontiers in Marine Science*, 7
- Minh, D.H.T., Ienco, D., Gaetano, R., Lalande, N., Ndikumana, E., Osman, F., & Maurel, P. (2018). Deep Recurrent Neural Networks for Winter Vegetation Quality Mapping via Multitemporal SAR Sentinel-1. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15, 464-468
- Ndikumana, E., Minh, D.H.T., Baghdadi, N., Courault, D., & Hossard, L. (2018a). Applying deep learning for agricultural classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France. In L. Bruzzone, & F. Bovolo (Eds.), *Image and Signal Processing for Remote Sensing Xxiv*
- Ndikumana, E., Minh, D.H.T., Baghdadi, N., Courault, D., & Hossard, L. (2018b). Deep Recurrent Neural Network for Agricultural Classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France. *Remote Sensing*, 10
- Oliveira, J.D., Feret, J.B., Ponzoni, F.J., Nouvellon, Y., Gastellu-Etchegorry, J.P., Campoe, O.C., Stape, J.L., Rodriguez, L.C.E., & le Maire, G. (2017). Simulating the Canopy Reflectance of Different Eucalypt Genotypes With the DART 3-D Model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10, 4844-4852
- Peltier, A., Froger, J.L., Villeneuve, N., & Catry, T. (2017). Assessing the reliability and consistency of IriSAR and GNSS data for retrieving 3D-displacement rapid changes, the example of the 2015 Piton de la Fournaise eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 344, 106-120
- Peltzer, G., Brown, N.D., Meriaux, A.S., van der Woerd, J., Rhodes, E.J., Finkel, R.C., Ryerson, F.J., & Hollingsworth, J. (2020). Stable Rate of Slip Along the Karakax Section of the Altyn Tagh Fault from

- Observation of Interglacial and Postglacial Offset Morphology and Surface Dating. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 125
- Pepey, A., Souris, M., Vantaux, A., Morand, S., Lek, D., Mueller, I., Witkowski, B., & Herbreteau, V. (2020). Studying Land Cover Changes in a Malaria-Endemic Cambodian District: Considerations and Constraints. *Remote Sensing*, 12
- Perouse, E., Benedetti, L., Fleury, J., Rizza, M., Puliti, I., Billant, J., Van der Woerd, J., Feuillet, N., Jacques, E., & Pace, B. (2018). Coseismic Slip Vectors of 24 August and 30 October 2016 Earthquakes in Central Italy: Oblique Slip and Regional Kinematic Implications. *Tectonics*, 37, 3760-3781
- Phan, H., Toan, T.L., Bouvet, A., Nguyen, L.D., Duy, T.P., & Zribi, M. (2018). Mapping of Rice Varieties and Sowing Date Using X-Band SAR Data. *Sensors*, 18
- Postadjian, T., Le Bris, A., Sahbi, H., Mallet, C., & Ieee (2018a). DOMAIN ADAPTATION FOR LARGE SCALE CLASSIFICATION OF VERY HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES WITH DEEP. *Igarss 2018 - 2018 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 3623-3626)
- Postadjian, T., Le Bris, A., Sahbi, H., Mallet, C., & Ieee (2018b). SUPERPIXEL PARTITIONING OF VERY HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES FOR LARGE-SCALE CLASSIFICATION PERSPECTIVES WITH DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS. *Igarss 2018 - 2018 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1328-1331)
- Proenca, B., Frappart, F., Lubac, B., Marieu, V., Ygorra, B., Bombrun, L., Michalet, R., & Sottolichio, A. (2019). Potential of High-Resolution Pleiades Imagery to Monitor Salt Marsh Evolution After *Spartina* Invasion. *Remote Sensing*, 11
- Puliti, I., Pizzi, A., Benedetti, L., Di Domenica, A., & Fleury, J. (2020). Comparing Slip Distribution of an Active Fault System at Various Timescales: Insights for the Evolution of the Mt. Vettore-Mt. Bove Fault System in Central Apennines. *Tectonics*, 39
- Rabatel, A., Sirguey, P., Drolon, V., Maisongrande, P., Arnaud, Y., Berthier, E., Davaze, L., Dedieu, J.P., & Dumont, M. (2017). Annual and Seasonal Glacier-Wide Surface Mass Balance Quantified from Changes in Glacier Surface State: A Review on Existing Methods Using Optical Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 9
- Rapinel, S., Rossignol, N., Gore, O., Jambon, O., Bouger, G., Mansons, J., & Bonis, A. (2018). Daily Monitoring of Shallow and Fine-Grained Water Patterns in Wet Grasslands Combining Aerial LiDAR Data and In Situ Piezometric Measurements. *Sustainability*, 10
- Rizza, M., Abdrakhmatov, K., Walker, R., Braucher, R., Guillou, V., Carr, A.S., Campbell, G., McKenzie, D., Jackson, J., Aumaitre, G., Bourles, D.L., & Keddadouche, K. (2019). Rate of Slip From Multiple Quaternary Dating Methods and Paleoseismic Investigations Along the Talas-Fergana Fault: Tectonic Implications for the Tien Shan Range. *Tectonics*, 38, 2477-2505
- Santos, C., Lamparelli, R.A.C., Figueiredo, G., Dupuy, S., Boury, J., Luciano, A.C.D., Torres, R.D., & Maire, G. (2019). Classification of Crops, Pastures, and Tree Plantations along the Season with Multi-Sensor Image Time Series in a Subtropical Agricultural Region. *Remote Sensing*, 11
- Savelli, R., Meleder, V., Cugier, P., Polsenaere, P., Dupuy, C., Lavaud, J., Barnett, A., & Le Fouest, V. (2020). Mapping the Intertidal Microphytobenthos Gross Primary Production, Part II: Merging Remote Sensing and Physical-Biological Coupled Modeling. *Frontiers in Marine Science*, 7
- Schuster, M., & Nutz, A. (2018). Lacustrine wave-dominated clastic shorelines: modern to ancient littoral landforms and deposits from the Lake Turkana Basin (East African Rift System, Kenya). *Journal of Paleolimnology*, 59, 221-243
- Trichon, V., Hiernaux, P., Walcker, R., & Mougin, E. (2018). The persistent decline of patterned woody vegetation: The tiger bush in the context of the regional Sahel greening trend. *Global change biology*, 24, 2633-2648
- Van Exem, A., Debret, M., Copard, Y., Verpoorter, C., De Wet, G., Lecoq, N., Sorrel, P., Werner, A., Roof, S., Laignel, B., & Retelle, M. (2019). New source-to-sink approach in an arctic catchment based on hyperspectral core-logging (Lake Linne, Svalbard). *Quaternary Science Reviews*, 203, 128-140
- Vincent, C., Wagnon, P., Shea, J.M., Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P., Shrestha, D., Soruco, A., Arnaud, Y., Brun, F., Berthier, E., & Sherpa, S.F. (2016). Reduced melt on debris-covered glaciers: investigations from Changri Nup Glacier, Nepal. *Cryosphere*, 10, 1845-1858
- Walcker, R., Laplanche, C., Herteman, M., Lambs, L., & Fromard, F. (2019). Damages caused by hurricane Irma in the human-degraded mangroves of Saint Martin (Caribbean). *Scientific Reports*, 9

Wendl, C., Le Bris, A., Chehata, N., Puissant, A., Postadjian, T., & Ieee (2018). DECISION FUSION OF SPOT6 AND MULTITEMPORAL SENTINEL2 IMAGES FOR URBAN AREA DETECTION. *Igarss 2018 - 2018 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1734-1737)

COMMENTAIRES LIBRES

Ces commentaires libres peuvent porter sur le projet lui-même et sa trajectoire, sur les indicateurs fournis, sur les aspects financiers....

Tel qu'il est défini dans le formulaire standard ANR, l'indicateur « Taux d'utilisation » ne se prête pas au cas de l'Equipex GEOSUD qui prend la forme d'une plateforme Web accessible en permanence (sous réserve de remplir les conditions d'adhésion).