



HAL
open science

Mission Télédétection INRAE-Irstea 2018-2019 - Rapport - Version finale - Novembre 2019

Pierre Maurel, Wigneron J.-P.

► To cite this version:

Pierre Maurel, Wigneron J.-P.. Mission Télédétection INRAE-Irstea 2018-2019 - Rapport - Version finale - Novembre 2019. UMR TETIS, 500 rue Jean-François Breton, 34000 Montpellier; UMR 1391 ISPA - Interactions Sol Plante Atmosphere. 2019, pp.61. hal-04841971

HAL Id: hal-04841971

<https://hal.inrae.fr/hal-04841971v1>

Submitted on 17 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Mission Télédétection INRA-Irstea 2018-2019

Rapport – Version finale

Novembre 2019

Mission commanditée par :

- **Thierry Caquet**, DS Environnement INRA
- **Patrick Flammarion**, DGDR Irstea

à :

- **Pierre Maurel**, UMR TETIS Montpellier, Irstea (Département Territoires)
- **Jean-Pierre Wigneron**, UMR ISPA Bordeaux, INRA (Département EA-EFPA)

Résumé exécutif

Au plan international, la télédétection est devenue un outil majeur pour les recherches dans un contexte « d'urgence environnementale ». Elle est présente depuis plus de 30 ans au sein de l'INRA et d'Irstea et elle a fait l'objet récemment d'investissements importants pour renforcer son développement (rapprochement INRA-CESBIO, projet GEOSUD, pôle Theia).

La télédétection a un rôle central pour un certain nombre de fronts de science qui ne pourront ni être attaqués, ni dépassés sans l'apport des produits satellitaires.

Compte tenu de ces éléments et du fait de la fusion des deux établissements, la présente mission visait à :

1. Partager les informations sur les activités et stratégies passées et actuelles de l'INRA et d'Irstea en matière de télédétection ;
2. Analyser les points de convergence et de divergence ;
3. Définir une stratégie partagée dans le cadre du futur établissement INRAE ;
4. Proposer un dispositif d'animation en télédétection à l'échelle du futur établissement.

Une enquête en ligne a été menée mi-2019, relayée par les Chefs de Département et les Directeurs d'Unité auprès des agents INRAE ou d'autres organismes dans des laboratoires ayant une tutelle INRAE. Sans prétendre être exhaustive, elle a toutefois montré que plus de **240 agents (dont 70 non INRAE) répartis dans 12 Départements du futur établissement INRAE se déclaraient concernés par la télédétection**, environ 30% comme experts du domaine et 70% comme utilisateurs avérés ou potentiels de produits et services issus de la donnée spatiale dans des domaines d'application variés.

En matière de stratégie, la mission montre une **forte convergence INRA et Irstea sur le rôle structurant et central du pôle national de données et de services Theia** dont les 2 établissements sont membres depuis sa création fin 2012. Leurs contributions aux différentes composantes de ce pôle sont solides et feront d'INRAE un acteur majeur du pôle :

- Gouvernance : Comité Directeur (2 représentants), Directeur Scientifique (1 agent), Bureau Exécutif (2 agents dont le DS) ;
- Centres d'Expertise Scientifiques – CES, pour le développement de nouveaux produits et services issus de l'imagerie spatiale : implication d'INRAE dans 14 CES sur 24, dont 9 comme coordinateur ou co-coordinateur ;
- Animations Régionales Theia – ART, pour la mise en réseau des experts de la télédétection, des utilisateurs (scientifiques, organismes publics, entreprises) et des acteurs intermédiaires de valeur ajoutée : Implication d'INRAE dans l'animation de 5 ART sur 8 ;
- Infrastructures de Données et de Services – IDS, pour la production, la gestion et l'accès aux images, produits et services, dont des services de traitement en ligne : les apports de l'Equipex GEOSUD coordonné par Irstea (2010-2020) ont été déterminants en complément de ceux du CNES et sont maintenant repris dans le dispositif DINAMIS et l'infrastructure de Theia dans le cadre élargi de l'Infrastructure de Recherche (IR) Data Terra.

Nos principales conclusions et recommandations sur ces sujets sont les suivantes :

Notre première recommandation porte sur le maintien au sein d'INRAE d'une expertise solide en télédétection et de moyens de production de produits et services issus de la donnée spatiale. Les départements INRAE concernés doivent rester très vigilants sur les risques de pertes de compétences dans des domaines où l'expertise de l'établissement est centrale, car la pérennisation et la consolidation du

dispositif en place via les CES Theia restent très fragiles. Il s'agit aussi de conforter, en termes de ressources humaines et en moyens informatiques, les capacités de production et de diffusion de produits maîtrisés par INRAE pour les besoins internes de ses équipes et pour répondre à des besoins de politiques publiques.

INRAE a engagé de gros moyens sur le développement de produits et services. Il s'agit maintenant de les valoriser. Notre deuxième recommandation est donc d'accorder la priorité au renforcement des ressources humaines pour le développement d'applications « avals » s'appuyant sur les produits et services issus de la télédétection :

(1) Comme évoqué précédemment, la télédétection a un rôle central à jouer dans de nombreux domaines d'application où des fronts de science ne peuvent être attaqués et dépassés sans l'apport des produits satellitaires. Il s'agit souvent d'applications en lien avec des enjeux de recherche majeurs pour INRAE mais où la télédétection INRAE nous semble encore peu présente dans un contexte international : services écosystémiques rendus par les sols ; gestion de l'eau pour l'agriculture à l'échelle des territoires ; hydrologie et hydraulique continentales ; dynamique et gestion durable des écosystèmes forestiers à l'échelle régionale ; dynamique des agroécosystèmes dans un contexte de changements globaux et d'agroécologie ; biodiversité, habitats, paysages, trames vertes et bleues ; agriculture numérique (cf. l'analyse conduite pour la signature de la convention 2019 INRA-CNES, résumée dans l'Annexe 6).

(2) Les recrutements doivent cibler des chercheurs « passeurs » de haut niveau avec une double compétence thématique/mathématiques (statistique/physique) dans des laboratoires bien adaptés à la valorisation des données dans les domaines d'application cités ci-dessus. Les dispositifs de recrutements « blancs » (CR, bourse ERC) nous semblent pertinents pour l'attractivité d'INRAE sur ces recrutements.

(3) Considérant le rôle important joué par l'informatique, les mathématiques et les statistiques dans la valorisation des données, il conviendra de favoriser (i) la reconnaissance et la structuration de la communauté en informatique appliquée aux données de télédétection (recherches émergentes en IA orientées données) ; et (ii) les collaborations avec des instituts tels que l'INRIA et des pôles de recherche en Mathématiques et Informatique, qui ont une expertise unique dans les domaines du *Big Data* et du *Machine Learning*.

En termes de dispositif d'animation, nous recommandons : (i) **d'articuler l'animation scientifique INRAE avec celle conduite au sein du pôle Theia** ; (ii) **d'appuyer en termes de ressources humaines les moyens de communication du pôle Theia**, car c'est un élément indispensable pour l'animation des recherches en télédétection au sein d'INRAE ; (iii) **de constituer un « comité de conseil » en télédétection pour les départements et la direction d'INRAE**, en nommant un correspondant par département ; et (iv) **de créer une liste de diffusion « Télédétection » INRAE** en s'appuyant sur une première liste issue de l'enquête.

En matière d'innovation ouverte, de valorisation/transfert, d'appui aux politiques publiques pour les produits et services issus de la télédétection, **nous recommandons que les services de valorisation d'INRAE et des autres co-tutelles des UMRs développent une réflexion stratégique collective. Nous recommandons qu'INRAE élargisse ensuite cette réflexion au sein du pôle Theia et de l'IR Data Terra** en proposant ce sujet à l'occasion des prochains Comités Directeurs et en lançant un groupe de travail multi-organismes.

LISTE DES ABREVIATIONS

Airbus DS : <i>Airbus Defence and Space</i>	GUTLAR : Groupement des Utilisateurs de la Télédétection en Languedoc-Roussillon
ART : Animation Régionale Theia	IA : Intelligence Artificielle
ASCAT : <i>Advanced SCATterometer</i>	ICOS : <i>Integrated Carbon Observation System</i>
BE : Bureau Exécutif	IDS : Infrastructure de Données Spatiales
CATDS : Centre Aval de Traitements de Données SMOS	IGN : Institut national de l'information géographique et forestière
CATI : Centre Automatisé du Traitement de l'Information	IMOTEP : Information, Modèles et Traitement des données en Epidémiologie et dynamique de Populations
CE : Comité Directeur	IR : Infrastructure de Recherche
CES : Centre d'Expertise Scientifique	IUMAN : Informatisation et Utilisation des Modèles pour les Agroécosystèmes Numériques
CESBIO : Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère	JPL : <i>Jet Propulsion Laboratory</i>
CINES : Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur	LAI : <i>Leaf Area Index</i>
CNES : Centre National d'Etudes Spatiales	MAA : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
COSPACE : Comité de concertation État-Industrie dans le domaine spatial	MCTRCT : Ministère de la Cohésion des Territoires et des relations avec les collectivités territoriales
CoSpaR : <i>Committee on Space Research</i>	MIA : Mathématiques et Informatique Appliquées
CPER : Contrat de Plan Etat-Région	MNS : Modèle Numérique de Surface
CR : Chargé de Recherche	MNT : Modèle Numérique de Terrain
CRIGE : Centre régional de l'information géographique	MODIS : <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
CSU : Comité Scientifique et des Utilisateurs	MTD : Maison de la Télédétection
DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer	MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
DIAS : <i>Data and Information Access Services</i>	Muscate : MUlti Satellite, multi-CApteurs, pour des données multi-Temporelles
DINAMIS : <i>Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire</i>	NDVI : <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt	OASU : Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers
EA : Environnement Agronomie	OFB : Office Français de la Biodiversité
EFPA : Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques	OSO : Occupation du SOI
EOSC : <i>European Open Science Cloud</i>	OZCAR : Observatoires de la Zone Critique
ERC : <i>European Research Council</i>	PAS : Plan d'Application Satellitaire
ESA : Agence spatiale européenne	PEPS : Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel
ESFRI : <i>European Strategy Forum on Research Infrastructures</i>	PNTS : Programme National en Télédétection Spatiale
EUMETSAT : <i>European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites</i>	PROSODie : Compilations Reproductibilité et Qualité pour l'Informatique Scientifique
FAPAR : <i>Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation</i>	REGLIS : Représentation et Gestion de l'Information Spatialisée
FCover : <i>Fraction of Vegetation Cover</i>	RPG : Registre Parcellaire Graphique
FEDER : Fonds européen de développement régional	RST : Réseau Scientifique et Technique
GAFA : Google, Apple, Facebook et Amazon	SAD : Sciences pour l'Action et le Développement
GEDEOP : GEstion des Données d'Expérimentations, d'Observations et de Pratiques sur les agro-socio-éco-systèmes	SERTIT : Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection
GEE : <i>Google Earth Engine</i>	SMAP : Soil Moisture Active Passive
GENCI : Grand Equipement National de Calcul Intensif	SMOS : <i>Soil Moisture and Ocean Salinity</i>
GEOGLAM : <i>Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring</i>	SPOT : Satellite pour l'observation de la Terre
GEOSS : <i>Global Earth Observation System of Systems</i>	TGIR : Très Grande Infrastructure de Recherche
GEOSUD : <i>GEOinformation for Sustainable Development</i>	TIC : Technologies de l'Information et de la Communication
GIMMS : Global Inventory Modeling and Mapping Studies	TOSCA : Terre Solide, Océan, Surfaces Continentales et Atmosphère
GIS BreTel : Groupement d'Intérêt Scientifique Bretagne Télédétection	UMS : Unité Mixte de Service
GMES : <i>Global Monitoring for Environment and Security</i>	USGS : <i>United States Geological Survey</i>
GO FAIR	VOD : <i>Vegetation Optical Depth</i>
GPEC : Gestion Prévisionnelle de l'Emploi et des Compétences	



Table des matières

I.	ELEMENTS PRINCIPAUX DE LA LETTRE DE MISSION	9
II.	DEMARCHE SUIVIE	10
III.	LA TELEDETECTION : QUELS ENJEUX POUR INRAE ?	11
IV.	LE CONTEXTE NATIONAL ET INTERNATIONAL EN TELEDETECTION	12
	A. LES INITIATIVES EUROPEENNES COPERNICUS & ESA SENTINEL	12
	B. LES GAFA.....	13
	C. LES MISSIONS COMMERCIALES A TRES HAUTE RESOLUTION ET L'AVENEMENT DU <i>NEW SPACE</i>	14
	D. LE POLE THEIA.....	15
	E. L'INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE DATA TERRA	15
	F. DES INITIATIVES REGIONALES.....	16
V.	LE POLE THEIA	17
	LE DISPOSITIF DINAMIS	18
VI.	L'INRA: CONTEXTE, PROSPECTIVE 2012, FORCES ACTUELLES	20
	A. CONTEXTE	20
	B. PROSPECTIVE TELEDETECTION 2012.....	20
	C. SUITE DE LA PROSPECTIVE 2012	21
	D. RESEAU D'ANIMATION TELEDETECTION.....	22
VII.	IRSTEA: CONTEXTE TELEDETECTION, STRATEGIE GEOSUD ET THEIA	22
	A. HISTORIQUE	22
	B. LE PROJET GEOSUD	23
VIII.	UNE CONVERGENCE DE STRATEGIE INRA/IRSTEA DANS THEIA ET L'IR DATA TERRA	24
IX.	ENQUETE TELEDETECTION AUPRES DES AGENTS INRA ET IRSTEA	25
	A. ANALYSE DES RESULTATS PAR DEPARTEMENTS.....	26
	B. ANALYSE DES RESULTATS PAR UNITES	26
	C. REPARTITION ENTRE EXPERTS ET UTILISATEURS DE LA TELEDETECTION	29
	D. REPARTITION PAR TUTELLES D'UMRS ET NIVEAU D'UTILISATION DE LA TELEDETECTION.....	30
	E. PROPOSITIONS DE NOUVEAUX CES	30
	F. CONTRIBUTIONS AUX RESEAUX D'ANIMATION REGIONALE (ART)	32
	G. ANIMATION INTERNE : LISTE DE « TELEDETECTION INRAE ».....	33
X.	PROPOSITIONS DE LA MISSION	35
	A. VOLET INFRASTRUCTURES TECHNIQUES	36
	1. Accès à l'imagerie satellitaire.....	36
	2. Accès à des données d'apprentissage et de validation	38
	3. Capacités de production et de diffusion de produits et services des CES Theia.....	38

B.	VOLET RECHERCHE POUR DEVELOPPER ET UTILISER DES PRODUITS ET SERVICES EN INTERNE A INRAE.....	40
1.	<i>Stratégie vis à vis des CES Theia pour les services et produits opérationnels</i>	40
2.	<i>Cas des recherches émergentes en IA orientées données</i>	41
3.	<i>Stratégie d'organisation interne pour le développement d'applications de la télédétection dans les thématiques de recherche d'INRAE</i>	41
C.	VOLETS ANIMATION « TELEDETECTION » DANS LE FUTUR ETABLISSEMENT ET CONTRIBUTIONS A DES RESEAUX	45
1.	<i>Animation scientifique</i>	45
2.	<i>Réseau de correspondants</i>	45
3.	<i>Liste de diffusion « Télédétection » INRAE</i>	45
4.	<i>Implication dans les réseaux scientifiques</i>	46
5.	<i>Implication dans des réseaux d'appui aux politiques publiques</i>	46
6.	<i>Implication dans les CATIs</i>	47
D.	VOLET INNOVATION OUVERTE « RECHERCHE, ACTION PUBLIQUE ET ENTREPRISES »	48
	Annexes	51
	Annexe 1 – Lettre de mission.....	52
	Annexe 2 – Réunions organisées	54
	Annexe 3 – Contact avec les préfigurateurs de métaprogrammes	55
	Annexe 4 – Liste des CES et ART du pôle Theia	57
	Annexe 5 – Implication d'INRAE dans les CES Theia	58
	Annexe 6 – Extrait de la Convention CNES INRA.....	60

I. Éléments principaux de la lettre de mission

Les détails de la lettre de mission figurent dans l'Annexe 1.

Objectifs

Partager les informations sur activités / stratégies actuelles INRA et Irstea en matière de télédétection :

- Travaux de recherche en télédétection (et numérique), y compris par les équipes SHS
- Thématiques prioritaires d'application
- Formation par la recherche et formation continue
- International, dont Sud
- Appui aux politiques publiques
- Positionnement vis-à-vis de Theia, de Dinamis, de l'Infrastructure de Recherche Data Terra
- Valorisation et transfert

Analyser les points de convergence et de divergence actuels, définir une stratégie partagée dans le cadre du futur établissement INRA / Irstea.

Proposer un dispositif d'animation en télédétection à l'échelle du futur établissement

Commanditaires

Thierry Caquet, DS Environnement INRA

Patrick Flammarion, DGDRI Irstea

Responsables

Pierre Maurel, Irstea, UMR TETIS, coordinateur Equipex GEOSUD, membre du BE Theia, co-responsable avec le CNES du Groupe de Travail ayant abouti à la création du dispositif Dinamis.

Jean-Pierre Wigner, INRA, animateur équipe MOST (UMR ISPA), co-animateur réseau Télédétection INRA (2006-2016), membre du CS Theia, animateur ART Aquitaine

II. Démarche suivie

- Analyse de l'historique de la télédétection dans les 2 organismes et stratégies respectives
- Aperçu du contexte national, européen et international en télédétection
- Analyse de la stratégie nationale autour des infrastructures de recherche : DINAMIS / Theia / IR Data Terra
- Préparation d'une présentation synthétique (ppt) pour les chefs de Département: EA, EFPA, SAD, MIA pour INRA, Territoires, Ecotechnologie et Eau pour Irstea
- Premières rencontres (11/01 et 18/01) avec les chefs de département (EA, EFPA, MIA, SAD, Territoires, Ecotechnologies, Eau)
Objectif : compréhension partagée de l'existant, échanges sur le positionnement des départements par rapport à la stratégie nationale; l'animation interne
- Premiers échanges par mail en février avec les préfigureurs des métaprogrammes susceptibles d'être concernés par la télédétection (cf. Annexe 3)

III. La télédétection : quels enjeux pour INRAE ?

L'environnement et les questions autour de l'écologie, de l'alimentation durable, font partie des préoccupations majeures des citoyens et des politiques. En effet, les changements liés aux activités humaines affectent le fonctionnement de la planète à tous les niveaux (sol, végétation, atmosphère, océans) et avec une telle intensité et rapidité que nous sommes rentrés dans une phase « d'urgence environnementale ». Sur les surfaces terrestres, ces activités concernent en particulier les pratiques agricoles et la gestion des forêts et des écosystèmes peu anthropisés. INRAE est un acteur clef sur ces questions. L'un des 4 chantiers prioritaires 2016-2020 de l'INRA porte sur « *L'atténuation de l'effet de serre et l'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique (qui) nécessitent d'étudier les cascades d'interactions impliquées dans le fonctionnement des écosystèmes continentaux, d'élargir les échelles spatiales et temporelles étudiées et d'approfondir les options d'adaptation pour l'agriculture et la forêt.* »

En effet, le dénominateur clef de ces questions est qu'elles ont une dimension globale et une profondeur temporelle importante. Elles nécessitent donc (i) d'avoir une approche et une vision « large », souvent au moins régionale ou continentale et non plus seulement « parcelle-centrée », et (ii) d'analyser des processus sur le long terme (sur plusieurs dizaines d'années parfois). Ainsi par exemple, les tendances dans le climat local et régional, et les événements climatiques exceptionnels qui impactent les rendements des cultures, la biodiversité des écosystèmes, l'état sanitaire et le fonctionnement hydrique et carboné des forêts, sont la conséquence de processus et interactions complexes à l'échelle planétaire. De même, les attaques biotiques qui affectent les écosystèmes résultent aussi de processus qui se développent sur de larges échelles spatiales et temporelles.

Dans ce contexte, la télédétection est un outil clef pour de nombreux fronts de science.

En effet, la télédétection apporte des informations à des échelles globales à régionales à des résolutions variant de 10 m à 25 km, avec une fréquence de l'ordre de la semaine en général (pour les séries Sentinel, MODIS, SMOS en particulier), et à des échelles régionales à locales à des résolutions allant de quelques cm à quelques m et des fréquences pouvant aller pour le moment de quelques mois à plusieurs années (pour les séries Landsat, Spot, Pléiades, etc.). Par ailleurs, les séries temporelles de télédétection, qui ont parfois une profondeur historique importante (jusque dans les années 70-80), sont homogènes sur l'ensemble de la série via le *re-processing* : l'algorithme mis à jour retraite l'ensemble des données. Ces caractéristiques : continuité temporelle, homogénéité, couverture spatiale font de la télédétection un outil central pour les recherches d'INRAE.

Nous considérons ainsi qu'actuellement de nombreux fronts de science ne peuvent pas être attaqués et dépassés sans l'apport de la télédétection. En particulier, une analyse fine et assez

exhaustive des domaines d'application de la télédétection a été conduite en appui à la convention CNES – INRA signée en juillet 2019 par P. Mauguin pour l'INRA et J.-Y. Le Gall pour le CNES et à la préparation de laquelle des agents Irstea ont contribué (cf. résumé en Annexe 6).

La télédétection s'inscrit aussi dans un contexte de numérisation massive de nos sociétés, avec un accroissement exponentiel du volume des données hétérogènes (les 3 V du *Big Data* : Volume, Vitesse et Variété) et des capacités à les exploiter grâce aux progrès en Intelligence Artificielle/*Machine Learning* et en moyens informatiques (cloud, data center, calcul haute performance). Les transformations numériques qui en découlent, et auxquelles la télédétection contribue significativement, ne sont pas neutres en termes de coûts, d'impacts socio-économiques et environnementaux, de rapports de pouvoir et même de souveraineté vis-à-vis des géants du numérique et de l'agro-industrie. Elles soulèvent aussi des questions scientifiques et d'éthique auxquelles les chercheurs en SHS et des collectifs pluridisciplinaires d'INRAE peuvent apporter des réponses originales.

La France est la 3ème puissance spatiale du monde et dispose d'une expertise unique via le CNES et ses instituts de recherche pour avancer sur des fronts de science au cœur d'enjeux stratégiques où l'apport de la télédétection nous paraît être décisif. Dans ce rapport, nous décrivons les dispositifs de recherche en télédétection au sein d'INRAE et au niveau national et proposons une approche visant à mieux valoriser le potentiel unique de la télédétection sur des enjeux majeurs de recherche pour notre futur institut.

IV. Le contexte national et international en télédétection

A. Les initiatives européennes Copernicus & ESA Sentinel

Ces dernières années ont été marquées par une forte accélération dans la mise en œuvre des initiatives européennes Copernicus & ESA/Sentinel. L'ambition du programme Copernicus (ex *Global Monitoring for Environment and Security – GMES*), lancé en 2001 par l'UE, est de doter l'Europe d'une capacité autonome d'observation et de surveillance de la Terre. Il s'agit du volet européen du GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*), un programme mondial d'observation de la Terre initié par l'Union Européenne, les États-Unis, le Japon et l'Afrique du Sud.

L'Union Européenne et l'Agence spatiale européenne (ESA) ont lancé l'initiative européenne Copernicus dans le but de promouvoir le développement de services opérationnels d'accès aux informations environnementales.

Parmi les thèmes jugés prioritaires dans Copernicus, de nombreux thèmes sur la gestion des problématiques environnementales sont au cœur des enjeux de recherche d'INRAE : suivre l'évolution de l'occupation des sols ; caractériser les variables bio-géophysiques sur les terres émergées ; apporter une aide à la gestion de crise sur des zones affectées par des catastrophes naturelles ou industrielles ; suivre la composition chimique et la qualité de l'air ; ré-analyser des variables climatiques essentielles ; et développer des outils pour la mise en place de services en lien avec le changement climatique.

Pour mener à bien ces missions, le programme Copernicus s'appuie sur les moyens satellitaires et au sol des pays membres du programme ainsi que sur l'Agence spatiale européenne (ESA). L'ESA est ainsi chargée de fournir le cœur de l'infrastructure pour les observations spatiales et développe **les missions spatiales « Sentinel »** spécifiquement pour les besoins opérationnels du programme.

Ces besoins opérationnels imposent des contraintes en termes de qualité des données, de continuité, de résolution spatiale et temporelle, etc. En particulier, les missions Sentinel sont généralement basées sur une constellation de deux satellites pour fournir une couverture spatiale complète du globe avec une revisite temporelle de 5 jours.

Les 6 premiers satellites Sentinel spécifiquement développés pour Copernicus ont été lancés récemment : Sentinel-1A et 1B (imagerie radar haute résolution ; lancés respectivement en 2014 et 2016), Sentinel-2A et 2B (imagerie optique haute résolution ; lancés respectivement en 2015 et 2017), Sentinel-3A et 3B (imagerie optique, radar, altimétrie à haute précision ; lancés respectivement en 2016 et 2018). Les missions Sentinel-4, 5 et 6 sont déjà planifiées.

Les données et informations fournies par les infrastructures *Copernicus Space* et *Copernicus Services* sont disponibles partout dans le monde « *on a free, full and open access basis* » via les plateformes DIAS (*Data and Information Access Services*) portées par des consortiums d'industriels et les « *Conventional Data Hubs* ».

En résumé, il faut retenir que les programmes Copernicus et Sentinel, positionnent l'Europe comme leader avec les USA sur le développement de services basés sur le spatial, au travers de programmes très lourds et ambitieux (plusieurs milliards d'euros investis) et de satellites uniques dans le monde, en particulier les Sentinel-1 et 2. Via ces satellites, la recherche mondiale dispose actuellement d'une imagerie satellitaire très performante et pleinement opérationnelle, largement valorisée au plan international mais qui est encore peu exploitée à INRAE.

B. Les GAFA

Les GAFA se positionnent fortement dans l'exploitation et le développement de services basés sur la télédétection, et en particulier la télédétection satellitaire. *Google Map*, *Google Earth* et les services associés sont des exemples bien connus. Les plateformes d'Amazon offrent aussi des accès très performants à l'imagerie Sentinel.

Google Earth Engine (GEE) est une plate-forme d'analyse géo-spatiale basée sur le *cloud*, qui permet aux utilisateurs de développer des services de traitement pour visualiser et analyser les images satellites sur le globe. C'est un outil très performant et gratuit, de plus en plus utilisé par les experts et utilisateurs de la télédétection. A l'heure actuelle, le traitement intensif de données (du type Sentinel 1 par exemple) reste souvent plus facile avec l'outil GEE, qui est non spécifique, qu'avec les plateformes de traitement des données financées par l'ESA (Copernicus DIAS) et portées par des consortiums industriels européens du spatial et du numérique. De plus, la mise en concurrence des DIAS et la question de leurs modèles économiques une fois le financement de l'ESA terminé rendent très incertain l'avenir de ces plateformes.

Les modèles de développement des plateformes numériques d'intermédiation, entre d'une part des développeurs de produits et services et d'autre part des utilisateurs, ont été largement étudiés en économie de l'innovation. La réussite d'une plateforme passe par sa capacité à fédérer des deux côtés le plus d'acteurs possibles pour conforter la richesse de son

offre, son attractivité, sa visibilité et éliminer progressivement les solutions concurrentes. Dans le cas de la télédétection, si des développements nombreux et lourds se concentrent à l'avenir sur GEE (ou sur toute autre plateforme commerciale), ils seront très difficilement transférables sur d'autres infrastructures pour des questions de coût, ou parce qu'il n'existera plus d'alternatives. Il y a donc ici un fort risque de dépendance à une plateforme pour le moment gratuite, mais qui, dans une logique privée, à vocation à devenir incontournable voire payante une fois la concurrence éliminée. Plus cette dépendance sera forte, plus Google (ou tout autre acteur en situation de monopole) pourra se permettre d'imposer des limitations dans les conditions d'accès. Nous pensons donc que la communauté scientifique française doit privilégier des alternatives à ces plateformes commerciales, tout en gardant la possibilité de les utiliser dans certaines situations, voire de nouer avec elles des accords pour rendre visibles et valoriser à l'international les produits et services du pôle Theia. Parmi les alternatives en devenir figurent les infrastructures de recherche pilotées par la sphère scientifique en phase avec les directives du Plan National pour la Science Ouverte et l'initiative EOSC (*European Open Science Cloud*) de cloud européen. Dans le domaine de l'Observation de la Terre, la solution à soutenir est l'IR Data Terra qui fédère les 4 pôles de données (Theia, AERIS, Form@Ter, ODATIS), des composants transversaux (DINAMIS, OZCAR ...) et s'appuiera sur des centres nationaux (e.g., CINES/GENCI) et des mésocentres régionaux (e.g., Meso@LR, centre du CNES). Parmi les alternatives, il existera aussi des infrastructures contrôlées par la puissance publique au niveau national ou régional (e.g., initiative Occitanie Data), à privilégier notamment pour valoriser des produits et services dérivés de l'imagerie satellitaire et repris dans des applications avals répondant à des enjeux de politiques publiques.

C. Les missions commerciales à très haute résolution et l'avènement du *New Space*

L'accès à l'imagerie satellitaire à haute et très haute résolution spatiale (de quelques dizaines de cm jusqu'à quelques m), complémentaire des données « gratuites » Copernicus ou Landsat, reste encore contrôlé par des entreprises commerciales avec une très forte concentration du secteur ces dernières années liée à l'arrivée massive d'acteurs du *New Space* (hybridation des secteurs du spatial x secteurs du numérique et des TIC). Le marché mondial est actuellement dominé par deux acteurs majeurs, Airbus Defence and Space (Airbus DS) et PlanetLab. D'un point de vue technique, au côté des missions spatiales classiques composées d'un nombre réduit de gros satellites (cas par exemple de Pléiades 1A et 1B ou de SPOT 6 et 7) se développent maintenant des constellations de plusieurs dizaines de nano- ou micro-satellites (cubes de 10 à 30 cm de côté) construits à partir de technologies à bas coûts mais offrant des capacités de surfaces couvertes et de revisites inégalées. C'est le cas de Planet qui dispose d'une constellation de 150 nanosatellites entre 3 et 5 m de résolution capables de couvrir quotidiennement la surface terrestre. Les modèles commerciaux d'accès aux images connaissent aussi une évolution majeure en passant de la vente classique d'images à des abonnements à des flux d'images tarifés au km² utile consommé.

Parmi les nouvelles missions, il est important de mentionner la constellation Pléiades Néo développée par Airbus DS. Elle est composée de 4 satellites optiques à 30 cm de résolution dont le lancement est prévu en 2021. Ces satellites offriront une réelle alternative à la prise de vue aérienne, comme par exemple la couverture du territoire national renouvelée actuellement tous les 3 ans par l'IGN (BD Ortho).

D. Le pôle Theia

Le pôle national Theia¹ correspond au Pôle Thématique Surfaces Continentale issu d'une large concertation qui a conduit fin 2012 à la signature d'une convention par 9 établissements publics (CEA, CIRAD, CNES, CNRS, IGN, INRA, IRD, Irstea, METEO-FRANCE), rejoints ensuite par l'ONERA, le Cerema et AgroParisTech.

La structuration et le fonctionnement de Theia sont détaillés plus loin.

E. L'Infrastructure de Recherche Data Terra

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. C'est la vision énoncée par la DGRI du MESRI en introduction de la feuille de route nationale des infrastructures de recherche (IR)².

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 la construction de l'EOSC³ ; 2) à l'initiative GO FAIR⁴, lancée en 2017, dont la France est l'un des membres fondateurs ; et 3) à la mise en place d'un écosystème de science ouverte.

Les IR et TGIR (Très Grande IR), pensées à l'échelle européenne (ESFRI⁵) ou internationale, sont bâties à partir de dispositifs labellisés par les établissements de recherche et 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.

Dirigée par Frédéric Huynh (IRD), l'Infrastructure de Recherche (IR) système Terre⁶, rebaptisée récemment Data Terra, a été initiée en 2016. Elle vise à rassembler les pôles « atmosphère » AERIS (dirigé par N. Papineau, IPSL), « Terre Solide » – Form@Ter (dirigé par M. Diamant, INSU), « Océan » – ODATIS (dirigé par G. Maudire, Ifremer) et « Theia » (dirigé par N. Baghdadi, Irstea), ainsi que des composants transversaux comme DINAMIS pour l'accès mutualisé à l'imagerie satellitaire et OZCAR pour les données *in situ*.

La feuille de route de l'IR Système Terre qui est en cours de développement est bien résumée par l'évaluation donnée par le Haut conseil des très grandes infrastructures de recherche (HC-TGIR) (Extrait de l'avis de mars 2018):

¹ [pôle Theia](#)

² <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid70554/la-feuille-de-route-nationale-des-infrastructures-de-recherche.html>

³ EOSC : Open Science Cloud européen.

⁴ 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>

⁵ ESFRI : European Strategy Forum on Research Infrastructures ; www.esfri.eu

⁶ <https://data-terra.org/>

« La construction d'une infrastructure de données transversale aux différents sous-domaines du Système Terre et Environnement, l'IR Système Terre, traduit un effort important de la communauté pour intégrer des connaissances et des données sur ces sous domaines.

Ce projet vise à rassembler dans une même infrastructure les quatre pôles de données d'observation sur le système Terre : AERIS pour l'atmosphère, ODATIS pour l'océan, Theia pour les continents et le Pôle Terre Solide. C'est un projet important et ambitieux qui vise à rendre interopérable et à faciliter l'accès à l'ensemble de ces données. »

F. Des initiatives régionales

La dynamique des recherches en télédétection, à la fois au plan technologique et applicatif, est soutenue par les Instituts de recherche et elle bénéficie d'une dynamique régionale forte avec des pôles régionaux multi-organismes, avec notamment :

- **Le CESBIO (Toulouse)**⁷ : c'est un centre de télédétection (CNES, CNRS, IRD, Université Paul Sabatier + INRA sous la forme d'une USC) avec un spectre très large d'activité. Ce pôle bénéficie en particulier de la proximité avec le CNES qui se traduit notamment par la présence de chercheurs CNES (Y. Kerr, G. Dedieu, O. Hagolle, pour ne donner que quelques noms). LE CESBIO est ainsi impliqué dans le développement de nombreuses missions spatiales (SMOS, Biomass, etc.).

La prospective 2012-2013 commandée par J.-F. Soussana, Directeur Scientifique environnement INRA, sur le développement de services et produits issus de la télédétection avait proposé comme premier scénario, l'intégration de ressources d'ingénierie INRA chargées du développement des produits et services, au sein du CESBIO. L'INRA ferait ainsi partie à terme des tutelles du CESBIO avec l'UPS (Université Paul Sabatier de Toulouse), l'INSU, le CNES et l'IRD. Cette intégration a commencé par la reconnaissance du CESBIO comme USC INRA et par l'intégration de personnels. Elle est discutée plus loin dans ce rapport.

- **La Maison de la Télédétection (MTD)**⁸ à Montpellier et le projet **GEOSUD**⁹ : ce pôle a été créé en 1994 par plusieurs organismes de recherche du campus Agropolis (AgroParisTech, CIRAD, IRD et Irstea, dans leur dénomination actuelle) pour fédérer leurs ressources en télédétection et géomatique appliquées aux domaines d'expertise de leurs tutelles. Un nouveau bâtiment a été créé en 2016, l'ensemble immobilier étant géré par Irstea. La MTD héberge actuellement environ 150 permanents répartis entre l'UMR TETIS ¹⁰ (AgroParisTech, CIRAD, CNRS et Irstea), l'UMR EspaceDev¹¹ (IRD, Universités Montpellier, La Réunion, Antilles et Guyane), la plateforme régionale en géomatique OpenIG, le Cospar (*Committee on Space Research*) ainsi que plusieurs entreprises.

⁷ Site Web du CESBIO : <http://www.cesbio.ups-tlse.fr/>

⁸ Site Web de la Maison de la Télédétection : <https://www.teledetection.fr>

⁹ Site Web du projet GEOSUD : <http://ids.equipex-geosud.fr/>

¹⁰ Site Web de l'UMR TETIS : <https://tetis.teledetection.fr/>

¹¹ Site Web de l'UMR Espace-Dev : <http://www.espace-dev.fr/>

La MTD est à l'origine du projet GEOSUD à la fin des années 2000 (cf. détails du projet plus loin), avec notamment l'installation d'une station de réception satellitaire destinée aux communautés scientifique et institutionnelle nationales.

La MTD a fortement contribué en 2011 avec le CNES et l'INSU à la création du pôle Theia.

- **Des pôles régionaux de télédétection** s'étaient déjà structurés (en particulier le GIS BreTel en Bretagne, le pôle Aquitain via l'action transverse de l'OASU), mais sous la coordination de Theia, d'autres pôles ont vu le jour en Occitanie, dans le Grand Est, en PACA, etc. Ces initiatives régionales, qui s'ajoutent aux actions du CESBIO et de la MTD, jouent un rôle moteur dans le développement des applications de la télédétection en lien avec les plateformes régionales en information géographique (tels le CRIGE PACA, OpenIG en Occitanie, GeoGrandEst dans la nouvelle région Grand-Est ...).

V. Le pôle Theia

Créé fin 2012 à l'issue d'une large concertation, le pôle rassemble actuellement 12 institutions publiques françaises et repose sur des conventions de collaboration, la 2^{ème} étant en cours (2017-2021).

L'objectif du pôle Theia est d'accroître l'utilisation par la communauté scientifique et les acteurs publics de la donnée spatiale en complémentarité de données *in situ* & aéroportées.

Il vise à la mise à disposition de données et produits à valeur ajoutée issus de la télédétection spatiale complémentaires à l'offre Européenne Copernicus (Tableau 1).

Il a un rôle de structuration de la communauté de télédétection au plan national, de mutualisation des outils/données, de visibilité et de diffusion des résultats/recherches et d'animation.

Le pôle Theia est structuré autour de plusieurs composants :

- **Les Centres d'Expertise Scientifique (CES)** qui regroupent des équipes pour développer des méthodes et produits innovants à partir de l'imagerie satellitaire.

24 CES ont été créés à ce jour (cf. Annexe 4). La maturité des produits développés par les CES est à des stades très variables selon les CES. Il peut s'agir de produits pleinement opérationnels comme les produits SMOS (diffusés par le CATDS – Centre Aval de Traitements de Données SMOS – depuis presque 10 ans) et le produit occupation des surface OSO (diffusé depuis quelques années) ou de produits encore en phase de test sur quelques sites bien spécifiques (cf. détails des CES sur le site de Theia).

- **Les Réseaux d'Animation Régionale (ART)** fédèrent et animent les acteurs (scientifiques et acteurs publics et/ou privés) à l'échelle d'une région. Huit ART ont été créés à ce stade (cf. Annexe 4) : Alpes, Alsace, Aquitaine, Bretagne, GeoDEV pour les pays du Sud, Ile de France, Occitanie, PACA (cf. détails des ART sur le site de Theia).

- **Une Infrastructure de Données et de Services (IDS)** centrée sur les données satellitaires et créée spécifiquement pour les besoins de Theia en s'appuyant sur des infrastructures existantes distribuées (CNES, IGN et GEOSUD). Sa mission consiste à acquérir, traiter et distribuer les données spatiales ; à créer les produits génériques et les outils nécessaires à l'ensemble de la communauté utilisatrice; à assurer l'archivage à long terme de ces données ;

à contribuer à la capitalisation des méthodes thématiques développées par les CES ; à assurer la diffusion des données, produits, outils et méthodes par le portail de Theia ; à fournir un support technique aux CES et plus largement à la communauté scientifique.

- **Une gouvernance composée d'un Comité Scientifique et des Utilisateurs (CSU)** et de son directeur Scientifique (N. Baghdadi), **d'un Bureau Exécutif (BE)**, en charge de la gestion et de la supervision de Theia et comprenant des membres CNES, Irstea, IRD, IGN, INSU), et **d'un Comité Directeur (CD)**, avec un représentant par organisme membre).

Theia joue un rôle majeur dans l'animation de la communauté scientifique de la télédétection au plan national.

Le pôle organise notamment chaque année à Montpellier un séminaire « utilisateurs » sur 2 jours avec des sessions plénières, des tables rondes, des ateliers. Cet événement rassemble pas loin de 200 participants (chercheurs, acteurs publics et privés, associations, ...) afin de favoriser leur rencontre et de présenter les avancées de Theia et les actions à venir.



Theia publie un bulletin semestriel ainsi qu'une newsletter (tous les 2 mois environ) qui fait un point sur les avancées au plan technique (IDS) et scientifique (CES) et les animations (ART, ateliers, écoles chercheurs, etc.). Le pôle organise aussi de nombreux ateliers et réunions autour des outils et produits de télédétection.

Il faut noter que ce très important travail d'animation du pôle Theia repose sur une structure très légère et assez précaire : activité à temps plein d'une chargée de communication contractuelle, I. Biagiotti (financement INRA-Météo-France d'un contrat d'une durée maximale de 4-5 ans), activité à temps partiel du directeur scientifique (N. Baghdadi, Irstea) et technique (A. Sellé, CNES). A noter que l'enquête faite dans le cadre de cette mission a pu largement s'appuyer sur l'aide apportée par cette structure et en particulier par I. Biagiotti (Communication Theia).

Le dispositif DINAMIS

A partir des années 2000, des dispositifs ont été mis en place en France pour développer l'utilisation de l'imagerie satellitaire : le CNES tout d'abord avec le programme ISIS et une Délégation de Service Public pour les images SPOT 1-5 puis Pléiades ; en 2010 l'Equipex GEOSUD (cf. plus bas) ; en 2012 le pôle Theia (cf. plus haut) pour mutualiser l'accès à l'imagerie

à très haute résolution spatiale (RapidEye, SPOT 5, SPOT 6-7), et encore plus récemment le CNES pour les images Landsat et Sentinel à travers sa plate-forme PEPS¹².

Ces efforts de mutualisation ont abouti à des avancées très significatives dans l'accès à l'imagerie. A titre d'exemple, début 2019, le dispositif GEOSUD et le pôle Theia comptaient 530 structures adhérentes (laboratoires de recherche, services déconcentrés de l'Etat, collectivités territoriales, autres organismes publics et associatifs dont plusieurs plateformes régionales en information géographique). Une station de réception satellitaire institutionnelle a été mise en place à Montpellier pour abaisser les coûts d'acquisition d'images sur le monde entier et répondre encore mieux aux besoins des laboratoires. Les archives GEOSUD comptent désormais 13 000 images à très haute résolution couvrant plus de 11 millions de km². **Plus de 60 millions de km² d'images ont été téléchargés depuis 2010, représentant une valeur marchande de 110 millions d'euros pour un investissement public de 12 millions d'euros, soit un facteur d'économie de 9 grâce à cette stratégie de mutualisation.**

Pour pérenniser et simplifier encore plus l'accès à l'imagerie satellitaire, les principaux partenaires porteurs de ces initiatives (CNES, CNRS, IGN, IRD, CIRAD, Irstea puis Irstea/INRA) ont décidé à l'issue d'un groupe de travail démarré en 2016 de mettre en place au sein de l'IR Data Terra un dispositif unifié intitulé DINAMIS (*Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire*) sans équivalent dans d'autres pays. Centré uniquement sur les services d'accès à l'imagerie satellitaire, ce dispositif permet d'accompagner les utilisateurs nationaux, en particulier les équipes des 4 pôles thématiques de l'IR, et sous certaines conditions des utilisateurs étrangers, dans le choix et l'accès à des images d'archives ou à de nouvelles acquisitions en fonction de leurs besoins. 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 des images « gratuites » (Sentinel-1 et 2, Landsat 8, SWH SPOT 1-5...). DINAMIS donnera l'accès à un méta-catalogue des archives de l'ensemble de ces images. L'équipe de DINAMIS assurera aussi la gestion technique des images Pléiades et SPOT 6-7 en lien avec Airbus SD (acquisition, catalogage, stockage, archivage), les autres images continuant à être gérées par ailleurs (exemple de la plate-forme PEPS pour Sentinel).

DINAMIS reprendra les équipements, les archives d'images ainsi que les compétences des dispositifs précédents et sera progressivement doté de nouvelles ressources. Les utilisateurs y accéderont via un site Web doté de 2 applications :

- Une application Web carto/base de données, déjà opérationnelle, pour la gestion et le suivi des demandes de nouvelles images SPOT 6-7 et Pléiades (<https://dinamis.teledetection.fr/>)
- Un méta-catalogue prévu d'ici la fin 2019 permettant de moissonner l'ensemble des catalogues des images mentionnées ci-dessus, d'en présenter une vue unifiée et d'accéder aux images correspondant aux besoins des utilisateurs (NB : cette application sera également utilisée par le pôle Theia pour cataloguer ses produits).

Le financement de DINAMIS reposera sur plusieurs contributions : co-financement des partenaires porteurs du projet (CNES, CNRS, IGN, IRD, CIRAD, INRAE, ...), autres contributeurs (tour de table en cours : MTES, MAA, régions, opérateurs publics de l'Etat), réponse à des AAP

¹² <https://peps.cnes.fr/rocket/>

(projet déposé au CPER 2021-2026 Occitanie, PIA4 à venir sur les « équipements structurant pour la recherche » ...), co-financement des utilisateurs finaux au-delà d'un certain quota.

VI. INRA: Contexte, prospective 2012, forces actuelles

A. Contexte

L'INRA a été dans les années 80-90 un acteur national important de la télédétection avec, en particulier, des leaders comme B. Seguin dans le domaine infrarouge thermique et G. Guyot dans le domaine optique. Ce rayonnement portait à la fois sur le plan scientifique et sur le plan de l'animation avec la coordination des « fameux » colloques internationaux « Mesures Physiques et Signatures en Télédétection » par G. Guyot. Cette dynamique née au sein du Département Bioclimatologie a conduit au développement d'un pôle fort et reconnu en télédétection à Avignon. Depuis ces années et l'absorption du département Bioclimatologie par le Département Environnement et Agronomie (regroupant Agronomie, Science du sol et Agronomie), le nombre d'expert en télédétection a baissé régulièrement avec de nombreux départs à la retraite et peu de renouvellement.

Les forces sont aussi dispersées, avec une expertise plutôt sur l'agriculture à l'UMR EMMAH (Avignon), sur la cartographie des propriétés des sols à l'UMR LISAH (Montpellier), sur la dynamique et l'écologie des paysages agriforestiers à l'UMR Dynafor (Toulouse), et sur la forêt à l'UMR IPSA (Bordeaux), etc. La baisse des effectifs INRA a pu parfois être compensée par la présence de collègues d'autres organismes qui complètent notre dispositif, mais globalement, la présence et l'impact de INRA sur les recherches en télédétection satellitaire a fortement baissé.

B. Prospective télédétection 2012

Dans ce contexte, et avec l'arrivée attendue des satellites de la série « Sentinel », J.-F. Soussana, alors Directeur Scientifique environnement INRA, avait commandé en 2012 une prospective sur le développement de services et produits opérationnels issus de la télédétection apportés à l'agriculture et à la forêt, ainsi qu'à l'aménagement des territoires ruraux avec en sortie :

- des perspectives à 5-10 ans du développement de nouveaux services, en lien en particulier avec l'arrivée des nouvelles missions spatiales (Sentinel-2) ;
- le positionnement de l'INRA dans le dispositif national (Theia, GEOSUD, GEOGLAM, etc.) et la stratégie de montée en puissance sur les services opérationnels ;
- des propositions d'organisation et de scénarios.

Les sorties de la prospective conduite par N. Bréda (EFPA, Nancy) et J.-P. Wigneron (EA, Bordeaux) incluaient des produits et services opérationnels à développer avec plusieurs niveaux de priorité et des scénarios d'organisation du dispositif d'organisation de la télédétection à l'INRA. En termes de produits opérationnels, les priorités étaient mises sur :

- l'occupation du sol ;
- les variables biophysiques (LAI, Fcover, FAPAR) ;
- les indicateurs de réponses des couverts agricoles et forestiers au stress (climatique ou biotique) ;
- la production ou le potentiel de production des couverts et la réserve utile des sols.

En termes d'organisation, le scénario privilégié recommandait :

1) l'intégration de ressources d'ingénierie INRA chargées du développement des produits et services au sein du CESBIO, avec la perspective que l'INRA devienne une des tutelles de cette UMR. Les raisons privilégiant ce scénario étaient liées (i) au fait que les activités de collaboration entre INRA et CESBIO sont fortes et historiques ; (ii) à l'environnement scientifique du CESBIO très riche dans une dynamique régionale forte ; et (iii) aux fortes compétences du CESBIO sur les services sélectionnés en priorité 1 à l'issue de la prospective.

2) le renforcement des compétences scientifiques sur les pôles d'expertise de l'INRA : proxi-détection/agriculture (Avignon), forêt (Bordeaux & Nancy), sol (Montpellier), agro-écologie (Toulouse).

Le renforcement de ces compétences est indispensable (i) pour piloter les développements des services co-construits dans le cadre de la collaboration INRA-CESBIO ; et (ii) valoriser les produits dans l'assimilation (modèles de spatialisation, prédiction) et les applications.

C. Suite de la prospective 2012

Soutenu par la direction du CESBIO (direction de Y. Kerr) et par l'INRA, en relation directe avec la prospective, le recrutement de V. Thierion (IR EFPA) a été conduit au CESBIO en 2016 sur le développement de la cartographie haute résolution OSO, basée sur Sentinel-2 et coordonnée par J. Inglada (CNES, CESBIO).

Courant 2018, le CESBIO, sous la direction de L. Polidori, est devenu Unité Sous Contrat (USC) de l'INRA. Cette USC a le potentiel de devenir le pôle INRAE dédié aux services opérationnels ; un pôle qui sera en relation étroite avec les équipes scientifiques des autres centres d'INRAE, sur des questions en aval de la production des services (méthodes, algorithmes, validation) et surtout en amont sur les applications et la valorisation des produits. Courant 2018, deux autres recrutements ont été conduits par le département EFPA : E. Ceschia (DR) et M. Fauvel (CR). La mobilité depuis EMMAH de S. Garrigues (CR EA) est en cours d'instruction.

Le point 1) sur les services et les produits en lien avec le CESBIO a donc bien avancé avec 3 recrutements et une possible mobilité. Le point 2) qui vise au co-pilotage des produits et à leur valorisation dans les recherches INRA est resté plutôt figé à notre connaissance. Un recrutement de CR a été conduit à EMMAH, plutôt en proxi-détection, et pas directement en lien, semble-t-il, avec la dynamique en cours de développement avec le CESBIO et la MTD sur les applications satellitaires.

Suite à la fusion INRA-IRSTEA, le point 2 évoluera, car des compétences présentes dans les unités IRSTEA actuelles pourront répondre à des besoins en compétence identifiés en 2012, mais en partie seulement compte-tenu des effectifs limités à l'échelle du nouvel établissement, et ceci dans un nombre restreint de domaines applicatifs (gestion durable des forêts aux échelles locales ; risque d'incendie ; habitats naturels et biodiversité ; environnement/santé/biosurveillance ; gestion de l'eau ; aménagement territorial ; agriculture/sécurité alimentaire pays du Sud ; IA/*Machine Learning* ...). De nombreuses unités INRAE auront besoin de renforts en ressources humaines, en interne ou via des mécanismes efficaces de partenariat avec des équipes expertes en télédétection, pour avancer sur l'intégration des produits de télédétection dans des domaines clefs d'applications où la télédétection est un outil indispensable (gestion durable des forêts, agroécologie,

biodiversité, épidémiologie, sécurité alimentaire, bioéconomie, gestion de l'eau pour les territoires, adaptation au changement climatique, etc.).

D. Réseau d'animation télédétection

La discipline télédétection rattachée au département Bioclimatologie a été rattachée *de facto* au département EA lors de sa création en 1998. Suite à la prospective télédétection 2006 (coord. J.-P. Lagouarde, F. Baret), le réseau EA d'animation de la télédétection a été créé fin 2006 (animation C. King et J.-P. Wigneron). Il a conduit la deuxième prospective 2007-2008 et organisé une importante rencontre à Bordeaux en 2008 et il est devenu bi-départemental (EA-EFPA) courant 2010 (co-animation N. Bréda et J.-P. Wigneron).

Le rôle du réseau était de favoriser une meilleure connaissance inter-équipes, de susciter des échanges, et d'aider au développement de projets communs et de collaborations. Il avait aussi un rôle de représentation et d'information des départements et de la DG. Il est intervenu lors de l'implication INRA dans Theia. Le réseau conduisait des rencontres tous les deux ans et gérait la liste de diffusion. Il a coordonné la troisième prospective 2012-2013 et une importante rencontre en 2013 à Bordeaux. Suite à de nombreux départs et à un faible renouvellement des effectifs, la dynamique d'animation de ce petit réseau s'est fortement essouffée, au point d'être quasi inexistante dès 2015. Par ailleurs, le relais en termes d'animation a été rapidement pris par GEOSUD dès 2014 puis par Theia. Ainsi, le pôle Thématique Surfaces Continentales Theia et l'Equipex GEOSUD ont organisé leur premier séminaire conjoint sur le thème « Les données spatiales au service de la communauté scientifique et des acteurs publics » les 1^{er} et 2 juin 2015 à Montpellier. Les séminaires Theia sont mis en place tous les 12-18 mois et s'articulent de plus en plus avec les animations des plateformes régionales en géomatique. Virtuellement, le réseau « télédétection » INRA n'existe plus en 2015, mais la liste de diffusion reste opérationnelle.

VII. Irstea: Contexte télédétection, stratégie GEOSUD et Theia

A. Historique

La télédétection à Irstea remonte au début des années 80 avec la création d'une première équipe qui est partie à Toulouse en 1987 fonder la société GEOSYS, spécialisée en télédétection appliquée à l'agriculture. Une nouvelle équipe a alors été constituée. La dynamique s'est diffusée au niveau régional, avec la création en 1990 du Groupement des Utilisateurs de la Télédétection en Languedoc-Roussillon (GUTLAR) qui fédérait les experts et utilisateurs du domaine. L'équipe a ensuite créé avec AgroParisTech (ex-ENGREF) le Laboratoire Commun de Télédétection puis l'UMR 3S Structures et Systèmes Spatiaux.

Au début des années 1990, plusieurs organismes d'Agropolis (Cemagref, ENGREF, CIRAD et Orstom) ont décidé de réunir dans un même lieu leurs équipes en géomatique et en télédétection, ce qui a amené à la construction de la Maison de la Télédétection (MTD) en 1994.

En 2004, une analyse stratégique menée en interne au CIRAD dans le champ de la géomatique a conclu à l'intérêt d'un rapprochement avec l'UMR 3S qui s'est traduit par la création de l'UMR TETIS. Depuis, les projets scientifiques successifs de cette UMR se sont structurés

autour de recherches finalisées, méthodologiques et thématiques, dans le champ de l'information spatiale, de formations initiales et continues, d'appui aux politiques publiques en France et d'accompagnement de partenaires des pays du Sud. Il est à noter ces dernières années une forte orientation des profils de recrutement dans le domaine de l'informatique (fouille de données, IA et *machine learning*, Traitement Automatique du Langage, calcul haute performance).

A la fin des années 90, à la demande de la direction scientifique du Cemagref, l'UMR a créé un réseau d'animation en géomatique et télédétection à l'échelle de l'ensemble de l'établissement, le réseau REGLIS. Ce réseau fonctionne encore même s'il se limite désormais à des échanges techniques en matière de SIG et de données. Il comprend une liste de diffusion de 70 membres répartis sur les différents sites d'Irstea.

Ces animations, couplées à des actions de formation continue menées par l'UMR TETIS, ont contribué à la montée en compétence de géomaticiens et de télédéTECTEURS dans d'autres centres d'Irstea. La télédétection est désormais présente à Irstea dans différents domaines et différents centres : les capteurs en agriculture de précision (UMR ITAP, Montpellier), l'assimilation de données dans des modèles hydrauliques (UMR G-Eau, Montpellier), les feux de forêt et l'hydrobiologie (UR RECOVER, Aix-en-Provence), les forêts de montagne, la biodiversité et l'hydromorphologie (UR LESSEM, Grenoble), la modélisation de la pollution à l'échelle du bassin versant (UR EABX, Bordeaux), l'hydrologie et l'hydrobiologie (UR RIVERLY, Lyon), les forêts (UR EFNO, Nogent-sur-Vernisson).

B. Le projet GEOSUD

A la fin des années 2000, face au constat récurrent de sous-utilisation de l'imagerie satellitaire, les partenaires de la MTD ont initié le projet GEOSUD¹³ (*GEOinformation for SUsustainable Development*), tout d'abord via un financement CPER/FEDER Languedoc-Roussillon 2007-2013, puis un financement d'Equipex 2011-2019 dans le cadre du Programme Investissement d'Avenir. Irstea assure la coordination du projet GEOSUD (coordinateur Pierre Maurel, UMR TETIS).

Le projet GEOSUD repose depuis le début sur une stratégie de mutualisation et une infrastructure technologique et numérique pour l'accès à l'imagerie satellitaire à haute et très haute résolution spatiale et son traitement. Il comprend des licences tout acteur public ; l'acquisition de couvertures nationales annuelles et d'images ad-hoc sur le monde entier à l'aide d'une station de réception installée en 2014 ; une infrastructure de stockage, d'archivage, de catalogage, de diffusion des images et de services de traitement en ligne ; la conception de supports pédagogiques et de sessions de formation, dont une partie en ligne.

Les partenaires de la MTD ont également fortement œuvré aux côtés du CNES et de l'INSU à la création du pôle Theia en 2012, avec la volonté d'y apporter les ressources de GEOSUD. La direction scientifique du pôle est assurée par Nicolas Baghdadi (Irstea, UMR TETIS).

Début 2019, le réseau GEOSUD/Theia comprend 530 structures adhérentes (dont 140 services de l'Etat, 110 collectivités territoriales, 160 laboratoires de recherche parmi lesquels 17 avec une tutelle INRA et 10 avec une tutelle Irstea) et environ 1 000 comptes utilisateurs.

A partir de 2016, Irstea/TETIS a copiloté avec le CNES et IGN un groupe de travail pour la pérennisation de l'accès à l'imagerie satellitaire, une fois l'Equipex GEOSUD terminé. Ce travail

¹³ <http://www.equipex-geosud.fr/>

a amené à proposer la création du dispositif DINAMIS (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire) comme composant transversal de l'Infrastructure de Recherche Data Terra (cf. ci-après).

VIII. Une convergence de stratégie INRA/Irstea dans Theia et l'IR Data Terra

Nous avons mené des échanges en janvier 2019 avec les chefs des départements INRA et Irstea, ou leurs représentants, qui disposaient a priori d'agents experts en télédétection au sein de leurs unités :

- Catherine Bastien et Laurent Augusto (INRA EFPA),
- Marc Deconchat (INRA SAD),
- Philippe Hinsinger (INRA EA),
- Hervé Monod (INRA MIA),
- Sophie Thoyer (Irstea Territoires),
- Véronique Bellon-Maurel (Irstea Ecotechnologies),
- Pierre-Olivier Malaterre (Irstea, Eaux)

Nous avons eu aussi un premier échange début mars 2019 avec Gilles Aumont, délégué responsable des infrastructures INRA, et Odile Hologne, déléguée à l'Information Scientifique et Technique INRA. Les échanges avec Gilles Aumont se sont ensuite poursuivis au sujet des infrastructures Theia et DINAMIS.

Ces échanges ont clairement montré une **convergence des stratégies en télédétection des deux organismes autour du pôle Theia dans le cadre élargi de l'IR Data Terra**. INRA et Irstea contribuent en effet déjà fortement aux Centre d'Expertise Scientifique (CES) et aux réseaux d'Animation Régionale Theia (ART) : ils sont ainsi impliqués dans 14 CES sur 24 et dans 5 ART sur 8.

INRAE coordonne ou co-coordonne 9 CES :

- Cartographie numérique des sols (UMR LISAH)
- Cartographie physiologique de la végétation naturelle (UMR TETIS)
- Evapotranspiration (UMR EMMAH)
- Humidité du sol à très haute résolution spatiale (UMR TETIS)
- Incendie (UR RECOVER)
- Paysage (UMR TETIS)
- Variables biophysiques végétation (UMR EMMAH)
- Volumes d'eau (UMR ISPA)
- Données In situ OZCAR (UR LESSEM)
- Urbanisation et artificialisation (UMR TETIS)

INRAE est fortement impliqué dans 5 autres CES:

- Albédo (UMR EMMAH)
- Biomasse forestière (UMR ISPA)
- Humidité des surfaces, large échelle (UMR ISPA)
- Occupation des sols (USC CESBIO)
- Température de surface et émissivité (UMR EMMAH)

Au sein de l'UMR TETIS, les chercheurs du CIRAD assurent la co-coordination du CES « Risques maladies infectieuses » et sont fortement impliqués dans le CES Occupation des sols pour les pays du Sud.

Si l'on prend en compte le CESBIO qui a vocation à être une UMR INRAE dans le futur, nous pouvons rajouter 5 autres CES, ce qui fait que INRAE coordonne ou est fortement impliqué dans 19 CES sur 24 (soit 80 % du total des CES). Les seuls CES sur lesquels INRAE n'est pas fortement impliqué concernent généralement des domaines d'activité un peu en marge du champ des applications de l'institut : couleur des eaux continentales, surfaces enneigées, etc.

Concernant les réseaux d'Animation Régionale Theia (ART), INRAE coordonne 2 ART :

- Occitanie (UMR TETIS)
- Nouvelle Aquitaine (UMR ISPA)

INRAE est aussi impliqué dans l'animation de 2 autres ART :

- Alpes (UR LESSEM)
- PACA (UR RECOVER)

De plus, la composante CIRAD de TETIS co-coordonne avec l'IRD et le CNES l'ART GEODEV¹⁴ à destination des pays du Sud.

La composante AgroParisTech de TETIS est quant-à-elle active au sein du pôle Theia pour les activités de formation. Elle a été labellisée Copernicus Academy en 2018.

L'implication d'INRAE dans la gouvernance de Theia est très significative. Trois chercheurs INRAE sont membres du Conseil Scientifique, présidé par un DR Irstea (N. Baghdadi). Deux chercheurs Irstea (N. Baghdadi et P. Maurel) sur un total de 7 membres sont présents au BE. INRA et Irstea disposent aussi chacun d'un représentant au Comité Directeur de Theia.

Enfin, INRAE est aussi fortement investi dans l'IR Data Terra, à la fois via le pôle Theia (cf. ci-dessus) et par le copilotage depuis 2016 par un chercheur Irstea (P. Maurel) avec le CNES et IGN du groupe de travail qui a abouti à la proposition du dispositif DINAMIS comme composant transversal de l'IR. P. Maurel fait partie du Bureau Exécutif de DINAMIS et INRAE est aussi représenté à son Comité Directeur (Sophie Thoyer et Gilles Aumont).

Irstea a recruté en 2018 un ingénieur d'étude (Loïc Lozac'h) affecté à l'UMR TETIS et amené à rejoindre l'UMS de l'IR Data Terra si INRAE décide de contribuer à cette UMS. Basé à Montpellier, il contribue aux opérations de la station de réception GEOSUD et à la production Theia.

IX. Enquête télédétection auprès des agents INRA et Irstea

Une enquête en ligne a été menée à partir du mois de mai pour établir une cartographie des agents INRA et Irstea concernés par la télédétection, soit comme experts, soit comme utilisateurs avérés ou potentiels de produits issus de l'imagerie. Le questionnaire a été conçu en s'appuyant sur la structuration Theia en CES et en ART.

¹⁴ <http://www.theia-land.art-geodev.fr/>

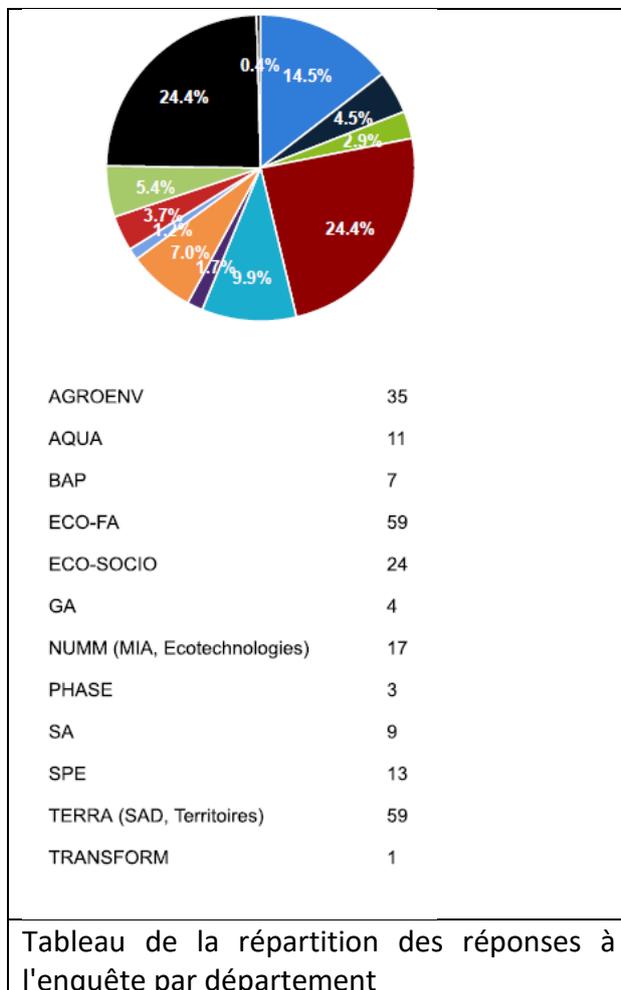
Le questionnaire reste encore ouvert à l'adresse suivante :

<https://framaforms.org/enquete-teledetection-inra-irstea-1556194381>

L'information sur l'enquête a été efficacement relayée vers les URs et UMRs par les chefs de 12 départements du futur établissement ; 242 chercheurs/ingénieurs de 12 départements INRAE ont répondu à l'enquête.

A. Analyse des résultats par Départements

Une majorité des réponses (118 sur les 242, soit ~ 50% des réponses) viennent des 2 départements ECO-FA et TERRA. Les autres départements sont AGROENV, ECO-SOCIO, NUMM (≥ 20 réponses), SPE, AQUA, SA (~ 10 réponses) puis 4 autres départements avec moins de 10 réponses: BAP, GA, PHASE TRANSFORM, et deux départements sans réponse: ALIMH et MICA.



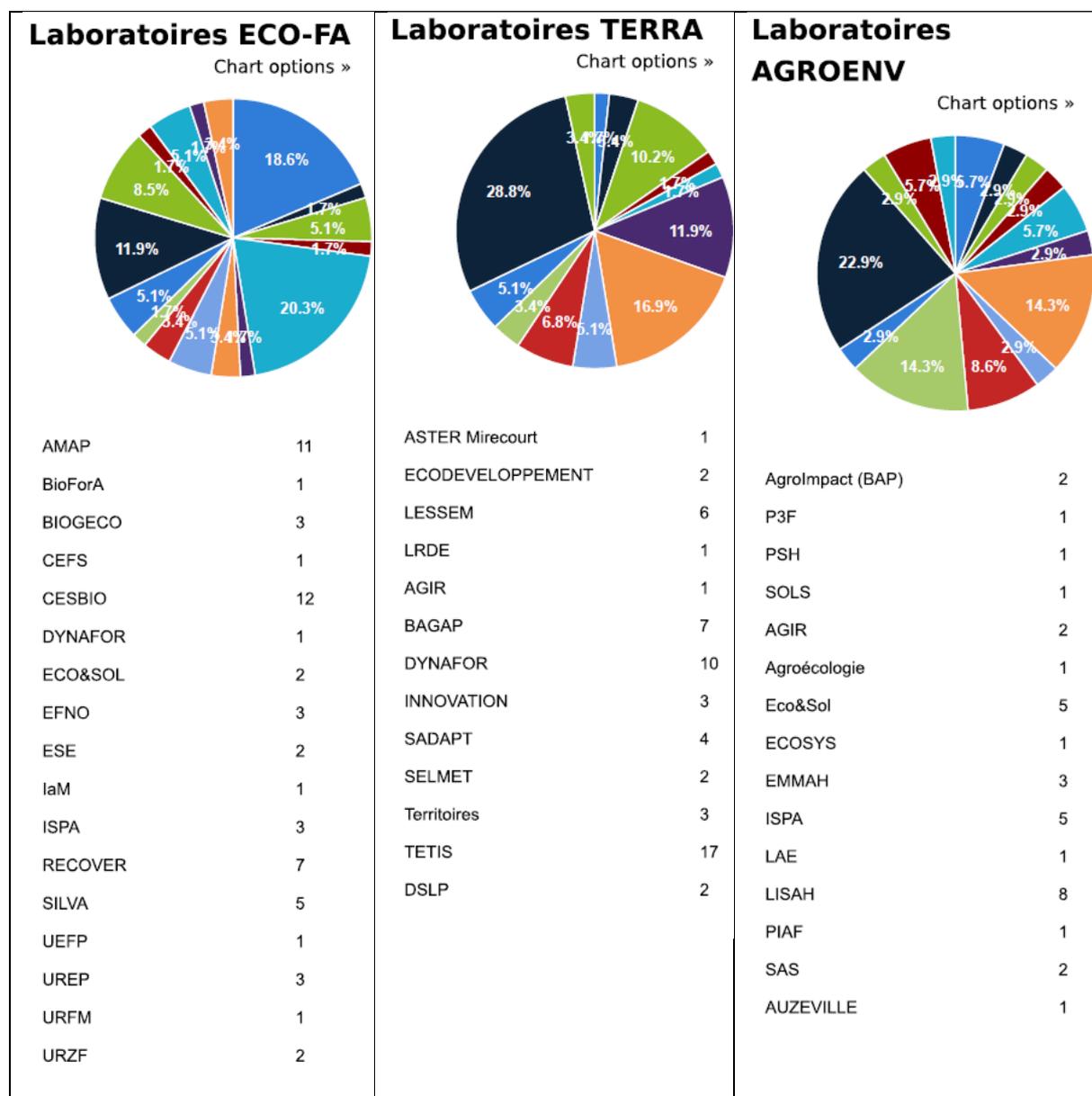
B. Analyse des résultats par Unités

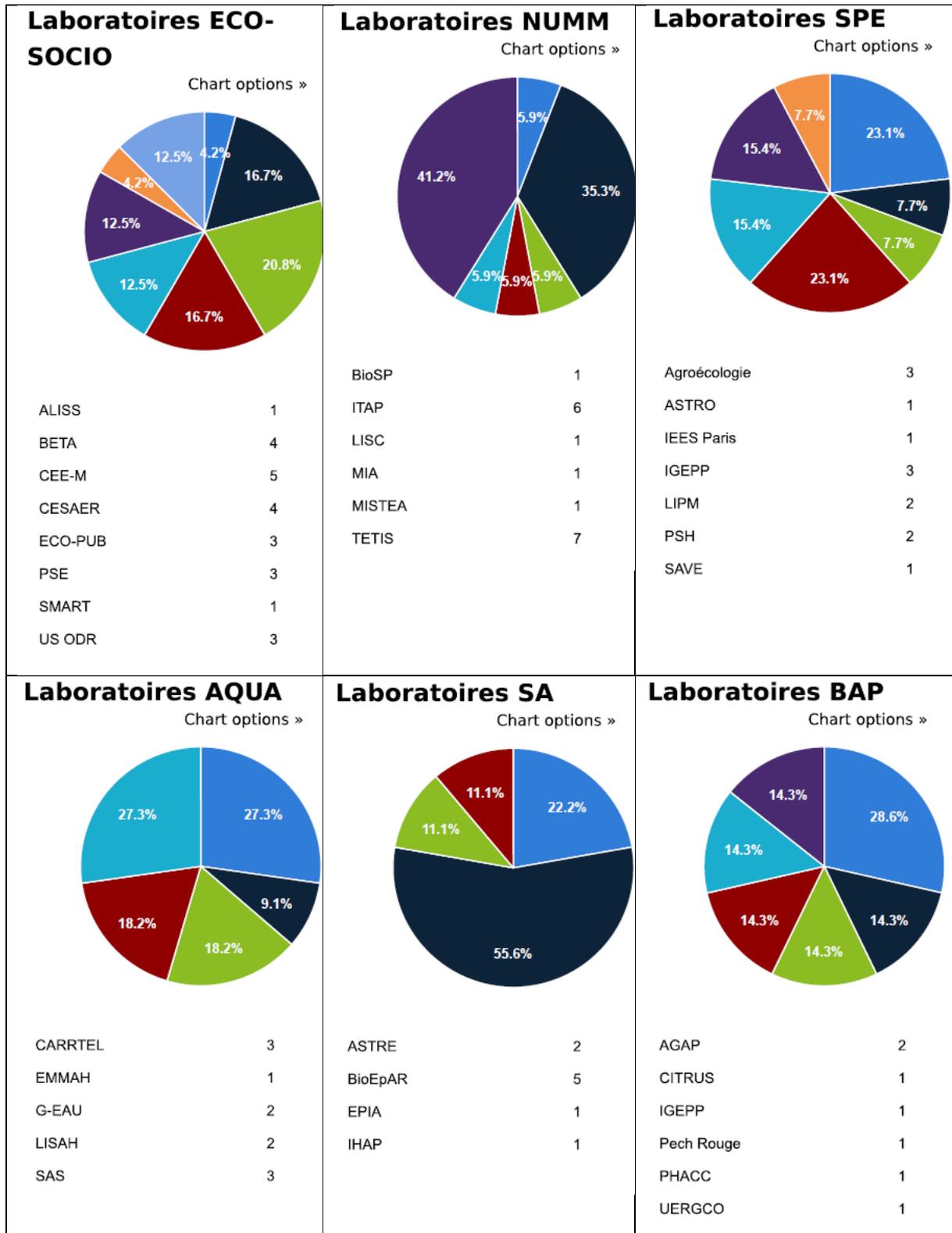
Si l'on considère les scores par unité, il faut faire attention dans l'analyse, car ces scores sont partitionnés/répartis sur plusieurs Départements. C'est en particulier le cas des UMR TETIS (TERRA et NUMM), ISPA (ECO-FA et AGROENV), LISAH (AGROENV et AQUA), Eco & Sols, EMMAH, Agroécologie, DYNAFOR, etc.

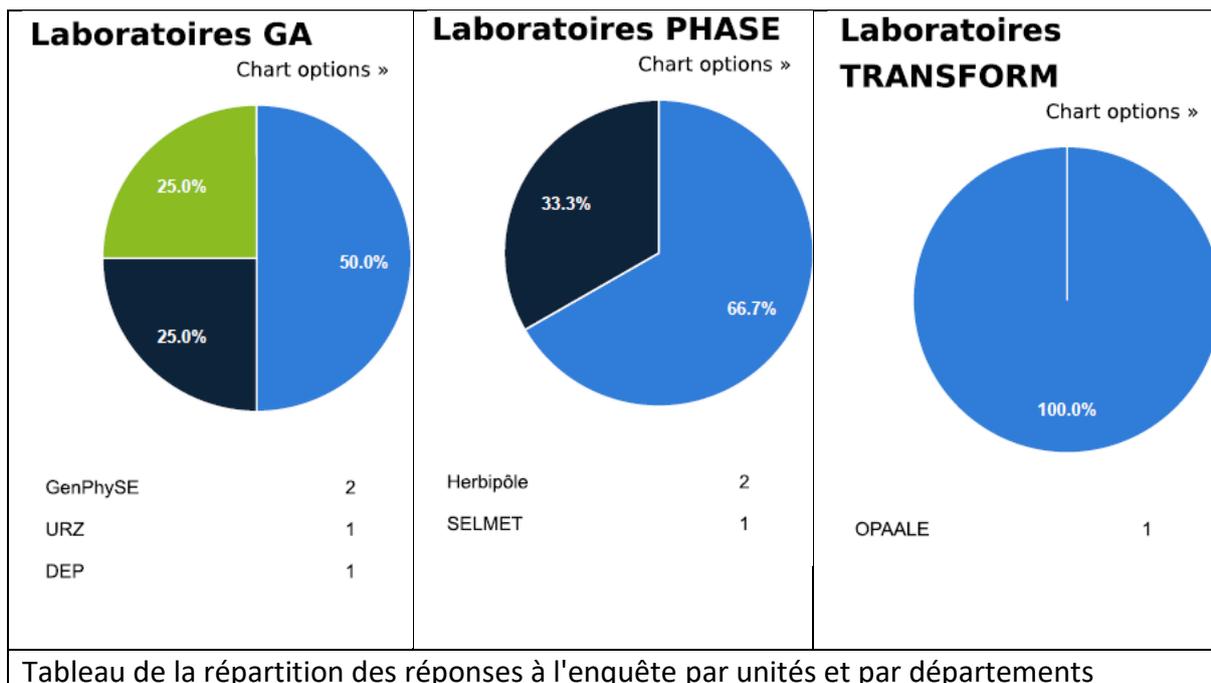
En termes de scores de réponses, l'UMR TETIS (y compris les agents CIRAD, CNRS et AgroParisTech) est largement en tête avec 24 réponses. Ensuite, les unités fournissant le plus de réponses sont : AMAP (11), CESBIO (12), DYNAFOR (11), LISAH (10), ISPA (8), Eco & Sols, RECOVER, BAGAP (7) ; de nombreuses unités ont produit de 3 à 5 réponses.

Il apparaît donc que la répartition par unité est très étalée, avec en « tête de proue » TETIS et CESBIO (où le nombre de réponses est assez faible dans cette unité qui est depuis peu seulement sous contrat avec l'INRA).

A noter que les 2 unités « historiques » de la télédétection à l'INRA (ex-Bioclimatologie) n'ont produit que 8 (pour ISPA) et 4 (pour EMMAH) réponses. Le paysage de la télédétection est donc fortement renouvelé dans le nouvel établissement pour la composante « ex-INRA ».







C. Répartition entre Experts et Utilisateurs de la télédétection

Sur les 242 réponses, 78 scientifiques se sont affichés comme « expert » sur au moins un CES (la plupart des experts se sont affichés sur plusieurs CES), ce qui représente un ratio d'expertise d'environ 30% contre environ 70% de réponses correspondant à de « purs utilisateurs » (i.e., qui n'ont pas d'expertise sur au moins un CES).

En termes d'expertise par CES, il y a une assez grande hétérogénéité des réponses, le nombre d'experts par CES variant entre 1 et 35. On découvre le plus grand nombre d'experts (35) pour le CES « Occupation des sols », suivi par cinq CES avec environ 20 réponses : « Paysage » (24), « Variables biophysiques végétation » (19), « Biomasse forestière et changement de couverture » (18), « Cartographie physiologique de la végétation naturelle » et « Réflectance » (16) ; puis sept CES avec 10 réponses environ : « Incendie » (13), « Cartographie numérique des sols » (12), « Evapotranspiration » (10), « Humidité de surface », « Irrigation » et « Albédo » (7), « Température de surface et émissivité » (6) ; et enfin 11 CES avec moins de 5 experts.

En termes d'utilisateurs, il y a moins d'hétérogénéité, avec des scores variant entre ~50 et 150. Les scores donnés en termes d'expertise ne reflètent (en termes de corrélation) que partiellement ceux donnés pour l'utilisation. Ainsi, des CES avec assez peu d'experts ont plus de 100 utilisateurs (actuels ou potentiels) : « Température de surface et émissivité », « Albédo », « Humidité des surfaces » et « Humidité du sol à très haute résolution spatiale », « Irrigation », etc.

Les chiffres révèlent globalement un très fort intérêt (actuel ou potentiel) pour les produits CES. Le record pour les utilisateurs (172) est encore atteint pour le CES « Occupation des sols », suivi par « Variables biophysiques végétation » avec 155 réponses. A noter que ces 2 CES avaient été en mis en avant en priorité n°1 lors de la précédente Prospective télédétection de 2012. Outre ces 2 CES, plus de 13 CES ont ≥ 100 utilisateurs (actuels ou potentiels) : « Réflectance de surface », « Température de surface et émissivité », « Albédo »,

« Evapotranspiration », « Humidité de surfaces », « Paysage », « Cartographie physiologique de la végétation naturelle », « Biomasse forestière et changement de couverture », « Humidité du sol à très haute résolution spatiale », « Irrigation », « Urbanisation et artificialisation ».

Sur ces CES, le ratio Utilisateur Actuel/Potentiel est très variable et varie entre ~1,2 pour « Occupation des surfaces » et « Réflectance des surfaces », à ~0,3 pour « Humidité des surfaces ».

D. Répartition par tutelles d'UMRs et niveau d'utilisation de la télédétection

L'enquête a été adressée à l'ensemble des agents travaillant dans des URs INRA et Irstea et dans des UMRs ayant au moins une de ces 2 tutelles.

Le tableau ci-dessous montre la répartition des effectifs non INRA et non Irstea en fonction de la tutelle de l'agent et de son niveau d'utilisation de la télédétection. Au sein de ces UMRs, 71 agents sur les 242 ayant répondu à l'enquête ont un employeur autre que INRA ou Irstea, soit 30% des effectifs.

	Co-tutelle d'UMR INRA ou Irstea	UMRs	Experts	Utilisateurs	Utilisateurs potentiels	Total
1	CIRAD	TETIS, AMAP, Eco&Sol, ASTRE	9	5	2	16
2	IRD	AMAP, LISAH, Eco&Sol, CESBIO, IEES Paris	9	5	2	16
3	CNES	CESBIO	6	0	0	6
4	AgroParisTech	TETIS, LISAH, SADAPT, ECOSYS, MIA Paris	2	2	3	7
5	Montpellier SupAgro	Eco&Sol, ITAP, Innovation	0	3	4	7
6	Esa Purpan	DYNAFOR	4	0	0	4
7	AgroCampusOuest	IGEPP, SAS	1	1	1	3
8	CNRS	TETIS	1	1	0	2
9	ENSAT	DYNAFOR	1	1	0	2
10	ONIRIS	BioEpAR	1	1	0	2
11	Univ Toulouse	CESBIO	1	1	0	2
12	Agro Bordeaux	ISPA	0	0	1	1
13	ENVT	IHAP	0	1	0	1
14	Esa Angers Loire	BAGAP	0	1	0	1
15	Univ Savoie	CARTEL	0	1	0	1
	Total		35	23	13	71

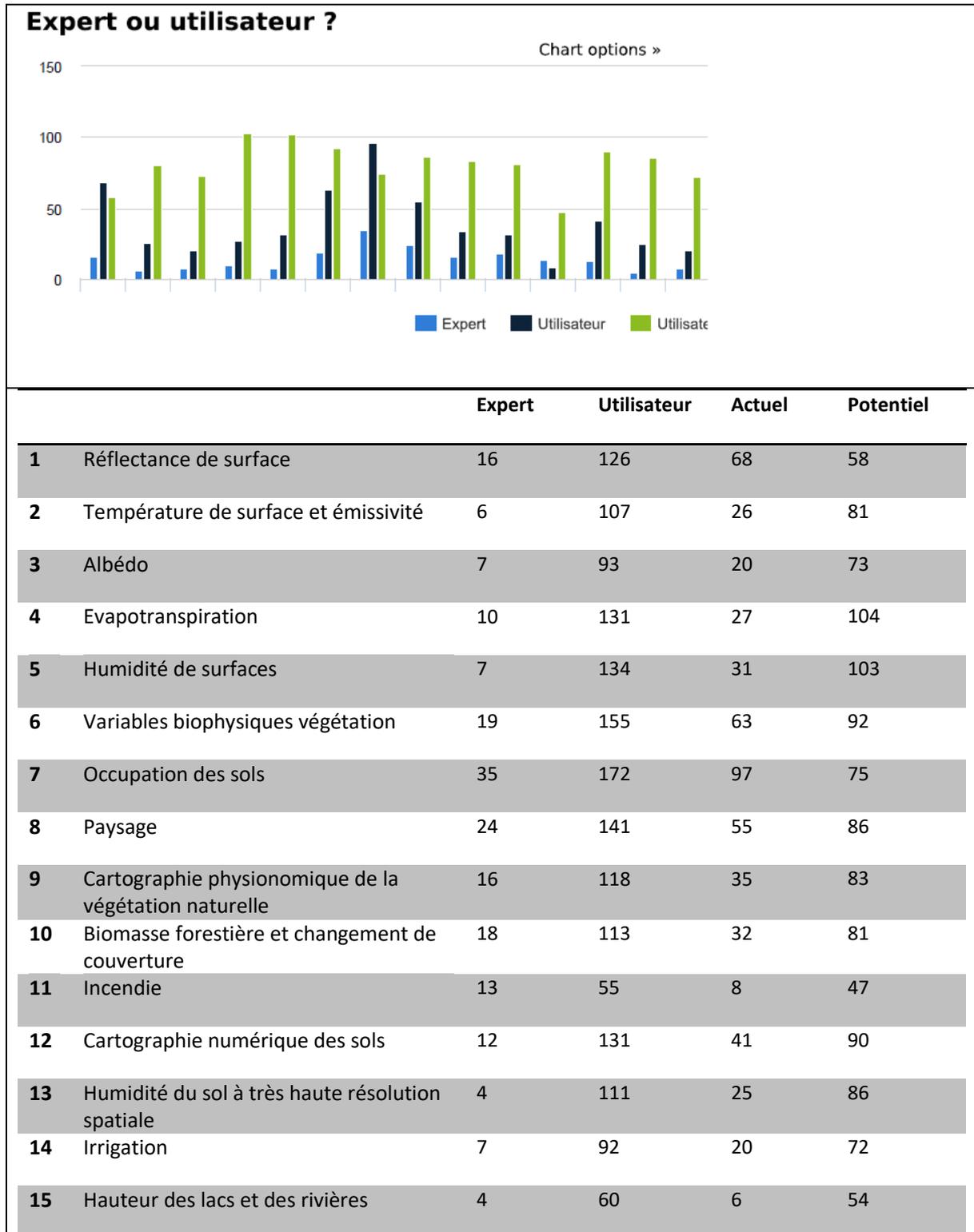
Tableau de répartition des agents non INRAE d'UMRs ayant une co-tutelle INRAE
NB : Un agent a été classé comme expert dès qu'il se déclarait expert d'au moins un domaine d'application. Les autres agents ont été classés comme utilisateurs dès qu'ils se déclaraient utilisateurs de produits et services dans au moins un domaine d'utilisation, sinon comme utilisateurs potentiels.

E. Propositions de nouveaux CES

Nous avons eu 13 réponses à la question de proposer un nouveau CES (Centre d'Expertise Scientifique) Theia. Elles concernent :

- Les surfaces agricoles : suivi du gel (1 réponse), pratiques agricoles (1), bilans carbone (1)

- La biodiversité
- Les forêts continentales sur les questions de pratiques sylvicoles et de santé des forêts (3 réponses)
- Les drones/ lidar
- L'indice végétation VOD (*Vegetation Optical Depth*) à partir de données micro-ondes
- La 3D : production et analyse de données 3D (MNT/MNS, nuages de points) issues de données satellitaires comme aériennes ; la 3D pour la gestion des territoires.



16	Couleurs des eaux continentales	2	47	6	41
17	Volumes d'eau	1	55	10	47
18	Cartographie et suivi des surfaces en eau	4	71	22	49
19	Risques maladies infectieuses	6	59	10	49
20	Urbanisation et artificialisation	13	93	34	59
21	Surface enneigée	2	51	11	40
22	Altitude de ligne d'équilibre glaciaire	0	36	6	30
23	Détection des changements génériques	13	68	19	49
24	Approches socio-éco des infrastructures de données spatiales	3	72	18	54

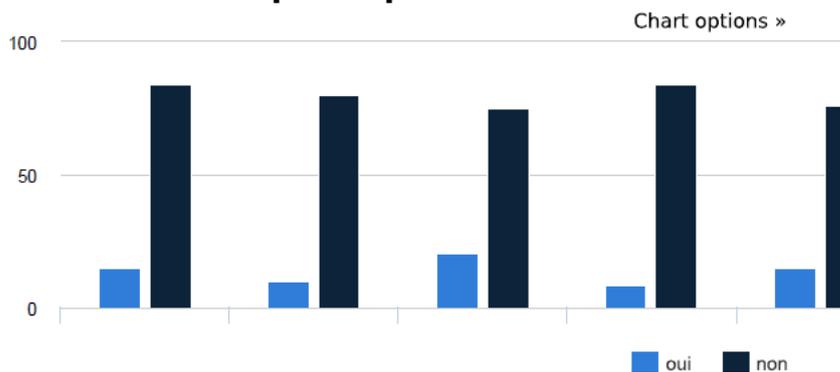
Tableau de la répartition par type de CES, des réponses « Expert » (la télédétection constitue le cœur de métier), « Utilisateur actuel », « Utilisateur potentiel », de produits issus de la télédétection (variables biophysiques, cartes d'occupation du sol, ...)

F. Contributions aux Réseaux d'animation régionale (ART)

170 scientifiques ont affiché leur intention de participer à un ART, avec un score record pour l'ART « Occitanie » (58, soit plus de 1/3 des réponses), qui comprend les unités sur les villes de Montpellier (UMR TETIS, LISAH et Eco&Sols) et Toulouse (UMR DYNAFOR, USC CESBIO). Pour les autres ART, l'ordre de grandeur des effectifs est de 15 à 20 scientifiques pour « GeoDEV », « Bretagne », « PACA », « Ile de France », « Nouvelle Aquitaine » et de 10 scientifiques pour « Alpes » et « Grand-Est ».

6 réponses souhaitent la mise en place d'une ART, sans être toutefois en mesure de la porter, dont 2 réponses pour la région Auvergne Rhône-Alpes / centre de la France et pour la région des Hauts de France (Lille).

Souhaitez-vous participer à un ART Theia ?



	oui	non
Île-de-France	15	84
Alpes	10	80
Bretagne	20	75
Grand-Est	8	84
Nouvelle-Aquitaine	15	76
Occitanie	58	70
Sud (PACA)	19	80
GeoDEV (Pays du Sud et territoires d'outremer)	23	75

Tableau des participations aux ART Théia

G. Animation interne : Liste de « Télédétection INRAE »

196 agents sur 242 ont répondu favorablement à la demande d'être abonné à une possible future liste « Télédétection INRAE ».

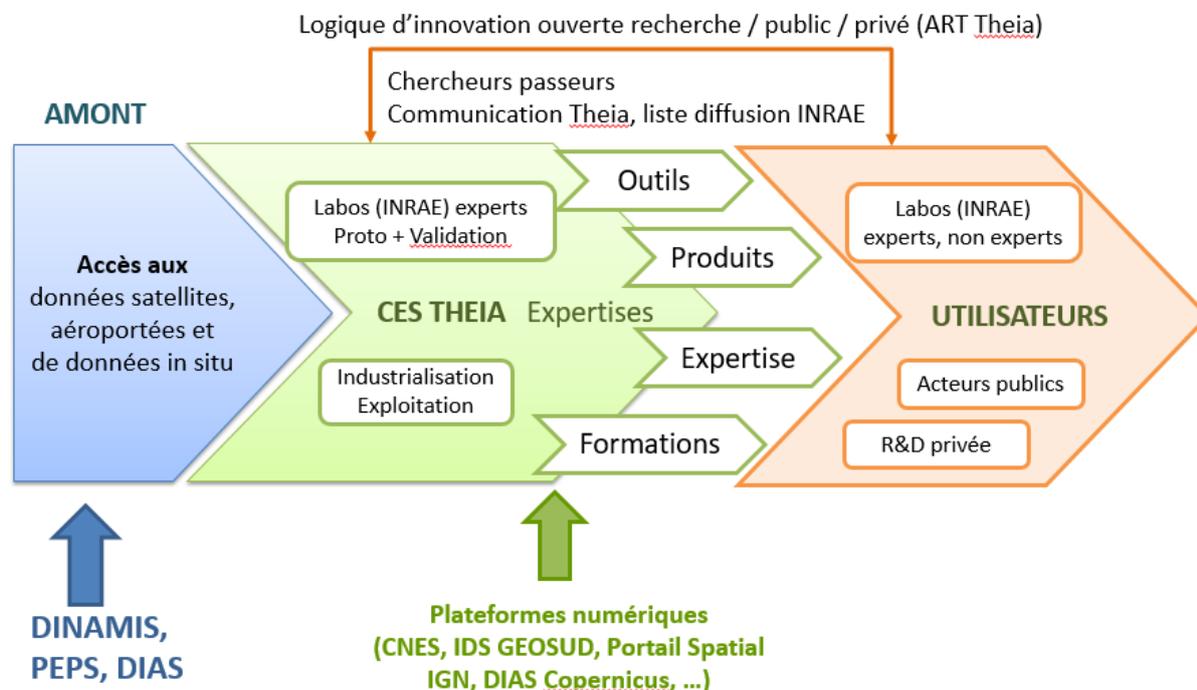
De nombreux commentaires (85) ont été faits sur l'intérêt d'une diffusion d'informations par la liste sur les sujets suivants (par ordre d'intérêt) :

- L'actualité générale en télédétection : nouveaux capteurs, produits et outils en télédétection développés par l'établissement, articles récents, veille bibliographique.
- Les animations télédétection internes à l'établissement, les événements et colloques externes.
- Les appels d'offres - Financements - Thèse – Conférences.
- L'utilisation d'un produit en particulier (retour d'expérience, partage d'expériences, capitalisation des méthodes, etc.) et ceci plusieurs fois en rapport avec l'occupation des surfaces.
- Les offres de formation sur l'utilisation et sur la disponibilité des produits.
- Les offres de postes et d'emplois.

Des remarques portent sur la nécessité d'éviter de faire doublon avec la newsletter de Theia et de n'utiliser des supports de communication supplémentaires que pour les sujets non couverts par Theia ou relevant d'enjeux strictement internes à INRAE.

X. Propositions de la mission

A l'issue des échanges avec les chefs de Département et en tenant compte des résultats de l'enquête auprès des agents, nous avons choisi de structurer nos propositions en adaptant à la marge le schéma de positionnement de Theia dans la chaîne de valeur ajoutée (cf. figure ci-dessous).



L'**amont** porte sur les dispositifs d'accès à un bouquet d'imageries satellitaires aux résolutions complémentaires (spatiales, spectrales, fréquence de revisite, surfaces couvertes), en particulier via DINAMIS, et à des données in-situ, en particulier via l'IR OZCAR amenée à s'articuler avec l'IR Data Terra.

La **partie centrale** concerne les experts de la télédétection pour le développement de produits qualifiés et de services pour leur production et leur appropriation dans la **partie droite** par les utilisateurs (outils de traitement à la demande, formation, expertise d'accompagnement). Les utilisateurs peuvent être des scientifiques, experts ou pas de la télédétection, et également des acteurs publics (services de l'Etat, collectivités, opérateurs publics) ou, sous certaines conditions, des sociétés privées pour de la R&D.

De manière globale, la proposition vise à mobiliser préférentiellement les dispositifs de Theia pour organiser les interactions entre les experts eux-mêmes de la télédétection (via les CES) et aussi entre ces experts et les non spécialistes (via les ART). Nous soulignons aussi l'importance au sein des équipes INRAE de **chercheurs passeurs** à l'interface entre l'expertise télédétection et l'expertise applicative, capables de développer eux-mêmes des recherches hybrides télédétection/application ou capables de réunir des chercheurs de ces deux communautés autour de projets de recherche à l'interface. Ces chercheurs passeurs peuvent être basés soit dans un laboratoire spécialisé en télédétection, à condition de collaborer activement avec des unités utilisatrices, soit dans une de ces unités utilisatrices à condition dans ce cas de maintenir des liens forts avec les autres experts en télédétection. Des séjours

ponctuels ou réguliers de ces chercheurs dans un laboratoire de télédétection ou une unité utilisatrice pourraient aussi constituer une formule efficace. Plus de détails sur ces chercheurs passeurs sont donnés dans le § B.3 sur les stratégies d'organisation interne.

A. Volet infrastructures techniques

1. Accès à l'imagerie satellitaire

DINAMIS

Le nouveau dispositif DINAMIS a été présenté précédemment.

La mise en place pérenne de ce dispositif est en cours à l'initiative des 6 organismes déjà porteurs du dispositif de mutualisation SPOT 6-7 pour la période 2015-2019 (CNES, IGN, CNRS, IRD, CIRAD, Irstea et maintenant INRAE). Les efforts portent actuellement sur une période biseau 2020-2021 pour assurer une continuité de services dans l'approvisionnement en imagerie à très haute résolution spatiale Pléiades et SPOT 6-7 non gratuites et complémentaires des images Sentinel et Landsat.

Le budget de DINAMIS est évalué en coûts complets à 3,5 M€/an (1,7 M€ d'imagerie Pléiades et télémessure SPOT 6-7 ; 1,2 M€ de RH ; 0,6 M€ d'infrastructures). Une stratégie en plusieurs étapes a été établie pour rechercher les financements : 1^{er} tour de table entre les 6 organismes porteurs, 2^{ème} tour de table auprès des grands utilisateurs, réponse commune à des appels à projets, si nécessaire mise à contribution des utilisateurs finaux (paiement d'adhésion annuelle et/ou au-delà d'un certain volume d'images demandé).

Les représentants des tutelles de DINAMIS (Sophie Thoyer et Gilles Aumont pour Irstea et INRA, respectivement) se sont réunis le 10 mai 2019 pour finaliser le 1^{er} tour de table. Ces 6 organismes ont décidé de maintenir leur engagement financier de la période 2015-2019, en l'augmentant de 50% pour le CNES et le CNRS (150 K€/an/organisme au lieu de 100 K€/an). Irstea et INRA se sont engagés à un apport global annuel de 100 K€. Cela ne compensera pas toutefois le montant des co-financements apportés par l'Equipex GEOSUD dont la fin initialement prévue le 31/12/2019 a été reportée à la fin septembre 2020. A l'issue de ce tour de table, 450K€/an restent encore à trouver. Le 2^{ème} tour de table auprès de grands utilisateurs publics ainsi que des actions pour des réponses communes à des AAP (CPER/FEDER Occitanie, AAP Infrastructures de Recherche, prochain AAP FTAP) ont démarré depuis l'été. Un projet a été déposé courant octobre au CPER Enseignement Supérieur et Recherche de la région Occitanie. Des contacts sont en cours avec plusieurs régions. L'IR Data Terra va également répondre de manière globale à l'AAP du PIA4 avec un volet DINAMIS.

Les financements réunis par les partenaires du 1^{er} tour de table permettent toutefois de lancer le renouvellement de l'accord de consortium SPOT 6-7 et la négociation d'un nouveau marché d'achat de télémessure SPOT 6-7 auprès d'*Airbus Defence and Space*, propriétaire exclusif de ces satellites. Une réunion le 4 juillet 2019 avec la Direction des Services d'Appui du Centre de Montpellier a permis de vérifier la faisabilité que, dans la continuité d'Irstea pour la période 2015-2019, INRAE serait en mesure de porter le consortium et le nouveau marché. Les négociations avec Airbus ont démarré courant octobre, l'objectif étant de finaliser l'accord de consortium entre les 6 partenaires et le marché avec Airbus DS au plus tard à la mi-mars 2020.

Autres sites d'accès à des images

La plupart des images à très haute résolution (< 1m environ), et certaines images de capteurs satellites à haute résolution (1-30m) (par ex. Spot 6-7) sont payantes ou en accès très limité. D'où l'importance du dispositif DINAMIS pour ce type de données.

Par contre, la plupart des images de capteurs satellites à haute résolution (1-10m) (par ex. Landsat, Sentinel) et la quasi-totalité des images à moyenne résolution (> 10m) sont gratuites (par ex. MODIS, SMOS). Mais la disponibilité des données brutes et la gratuité ne sont qu'une partie du problème qui attend l'expert ou l'utilisateur.

En termes de données haute résolution (1-30m), les données Landsat sont en téléchargement libre et disponibles sur divers sites (en particulier celui de l'USGS) ; les données Sentinel-1 & 2 également sur les sites Copernicus. Mais il s'agit de données dont le traitement en termes de corrections géométriques et/ou atmosphériques est partiel ou inexistant.

L'expert ou l'utilisateur doit donc rechercher si des données corrigées sont disponibles sur sa zone d'étude, sinon il devra prendre lui-même en charge les traitements. Ces traitements ne sont pas forcément homogènes d'une équipe de recherche à l'autre ; par exemple, ils varient en fonction du choix des données atmosphériques utilisées pour les corrections.

Les données à haute résolution posent un problème assez épineux. Elles ont une résolution permettant de suivre l'ensemble de la planète avec une assez bonne résolution temporelle (de l'ordre de la semaine), ce qui en fait des outils de suivi très précis et globaux. Mais avec une telle résolution spatiale et temporelle, le stock des images à traiter devient rapidement colossal, même pour des gros serveurs informatiques. L'atelier Muscate au sein l'IDS CNES de Theia a été conçu pour traiter les produits de la filière Sentinel. A ce stade, Muscate est à même de traiter les données Sentinel-2, Landsat et Venùs, mais l'infrastructure est proche de la saturation... Le CNES a soumis un projet au CPER Occitanie pour refondre le stockage des données de ses missions satellitaires et en faciliter l'accès et l'exploitation.

Si l'on considère les données à moyenne résolution (> 100m), le problème est souvent plus simple (données moins lourdes) et la plupart des données corrigées sont disponibles à l'échelle globale. Dans le domaine optique, les données les plus utilisées sont des données de variables biophysiques (LAI, NDVI, couverture du sol, etc.) et différents produits variant en fonction de l'algorithme de traitement sont disponibles. Ces traitements sont parfois complexes en lien avec la correction des effets atmosphériques/ d'illumination solaire surtout dans les zones tropicales et boréales, l'inter-étalonnage entre les capteurs de différents satellites dans le cas de séries longues, etc.

De nombreux produits NASA/MODIS (résolution ~ 500m – 1km), qui a la particularité de fournir une série temporelle continue depuis les années 2000 sont téléchargeables sur des sites US comme par exemple :

- le produit NASA GIMMS (<https://gimms.gsfc.nasa.gov/>),
- les produits USGS (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13c2v006/>).

Des produits optiques sont également issus d'autres séries de satellites dont le capteur européen SPOT/Végétation, produits disponibles sur le site Copernicus (par ex. le produit GEOV2 data est distribué par le *Copernicus Global Land Service* (<http://land.copernicus.eu/global/>). Chaque produit présente des avantages et inconvénients selon les zones et périodes d'études et les objectifs (analyse de tendances, cartographie, détection de changement, etc.)

Dans le domaine micro-ondes, les données à moyenne résolution corrigées sont également en téléchargement libre; par ex :

- site NASA/JPL pour SMAP, (smap.jpl.nasa.gov/data)
- site ESA et CNES (CATDS) pour SMOS,
- site EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) pour ASCAT (<https://www.eumetsat.int/website/home/Data/Products/Land/>).

Comme dans le domaine optique, différentes versions de produits existent. Il est donc souvent nécessaire de disposer d'une bonne expertise pour sélectionner le produit (s'il est disponible) ou le traitement de correction le mieux adapté aux questions scientifiques et aux applications. Ainsi, les études en télédétection sont le plus souvent des études conduites au sein d'un réseau international assez large, d'où le rôle central que peut et doit jouer l'animation dans ce domaine.

2. Accès à des données d'apprentissage et de validation

L'accès à des données de référence qualifiées et en quantité suffisante devient un enjeu majeur, surtout dans les nouvelles approches en intelligence artificielle qui requièrent des bases d'apprentissage considérables. Elles peuvent être de différentes natures : grandes bases de données publiques existantes (par exemple, bases de données IGN ou des systèmes d'information nationaux sur l'eau, la forêt, la biodiversité ; enquêtes statistiques du MAA et de l'INSEE ; données du RPG, données cadastrales ; données fédérées par l'IR OZCAR ; données Météo France, ICOS...), données plus spécialisées (cas par exemple de la plateforme d'épidémiologie en phase d'installation à l'INRA d'Avignon), données issues de capteurs sur des agroéquipements, données d'activités collaboratives (*crowdsourcing*).

Certaines nécessiteront de négocier des droits d'utilisation avec les organismes détenteurs. L'Open Data constitue a priori un contexte favorable pour faciliter l'accès aux données publiques.

3. Capacités de production et de diffusion de produits et services des CES Theia

Les capacités de production englobent des composantes techniques (plateformes de stockage des données, traitements des images et diffusion des produits) ainsi que des ressources humaines.

Selon la nature des produits ainsi que des besoins et des moyens des utilisateurs, les produits peuvent être fabriqués en amont de manière systématique ou à la carte, y compris par les utilisateurs eux-mêmes s'ils ont été formés pour cela et s'ils disposent des moyens de production en interne ou via des services en ligne.

Actuellement, les principales capacités de production sont apportées par le CNES (par exemple pour les variables biophysiques et l'OSO) et dans une moindre mesure par la Maison de la Télédétection associée au CINES (par exemple pour l'humidité des sols à très haute résolution avec l'IE Irstea qui devrait être affecté à terme à l'UMS Data Terra et un CDD financé par le CNES) et par l'Université de Strasbourg associée au SERTIT.

Des productions sont également réalisées par des laboratoires de manière « artisanale » avec des ressources sur projets en mobilisant des doctorants ou des CDDs et des moyens informatiques limités.

Les plateformes DIAS du programme Copernicus portées par des consortiums industriels ainsi que *GoogleEarth Engine* constituent des solutions alternatives, avec toutefois des incertitudes à court et moyen terme sur leur pérennité, leurs modèles économiques ainsi que des enjeux de souveraineté.

Pour répondre aux besoins spécifiques des politiques publiques, il n'existe à l'heure actuelle pas de capacités de production opérationnelle au sein du MTES, du MAA, du Cerema, voire même de l'IGN qui reste encore très attaché à ses filières de production basées sur la prise de vue aérienne.

Compte-tenu de cette situation, il nous paraît important qu'INRAE dispose de ses propres capacités de production et de diffusion de produits pour pouvoir déjà répondre aux besoins internes de ses équipes utilisatrices, expertes ou pas en télédétection. Le fait de disposer de ces capacités lui permettrait aussi de pouvoir répondre plus facilement, en l'absence d'autres alternatives, aux demandes des ministères à condition de disposer des financements correspondants pour adapter ses capacités de production (en RH et en ressources informatiques).

Dans son dimensionnement actuel et une fois achevée, l'infrastructure IDS-V2 installée à la MTD et au CINES et développée dans le cadre de GEOSUD pourra servir à la mise au point de produits et services, à leur mise en œuvre sur des sites de taille limitée ou également à des activités d'enseignement (à distance). Les 1^{ers} retours d'expérience qui devraient pouvoir démarrer début 2020 permettront de mieux cerner les capacités de cette infrastructure et d'éventuels besoins pour la consolider voire l'étendre selon l'ampleur des besoins utilisateurs. Elle sera complémentaire des capacités de production du CNES.

Le dimensionnement de ces besoins en capacités de production a commencé à être étudié avec Gilles Aumont dans le cadre de la stratégie de l'établissement en matière d'Infrastructures de Recherche.

L'objectif n'est pas de créer une unité de production massive et récurrente de produits et services opérationnels pour les politiques publiques, mais bien de disposer d'une certaine autonomie pour pouvoir répondre en priorité aux besoins d'INRAE et de la communauté scientifique.

Les besoins sont avant tout en RH pour disposer au minimum de 2 ETP titulaires et d'un appui en informatique support par site de production (CNES/CESBIO à Toulouse, MTD à Montpellier), complétés par du personnel temporaire ou des prestations externes afin de s'adapter à la charge de production et des budgets des structures demandeuses. Les financements pour la maintenance/jouissance d'équipements actuels ou l'acquisition de nouveaux équipements (stockage, calcul, bande passante) seront recherchés en priorité via des réponses à des AAP (CPER, PIA4 ...). En matière de gestion et de traitement des données, la stratégie sera de s'appuyer sur les méso-centres régionaux (ex : meso@LR en Occitanie Est) et les centres nationaux du GENCI (par exemple CINES) dans la logique Infranum du MESR et EOSC au niveau européen. Des compléments seront recherchés sur budget INRAE (et les autres co-tutelles d'UMR communes) ce qui supposera de soumettre ces projets d'équipements à la procédure de labellisation interne à INRAE.

Propositions d'action :

- Appuyer en termes de ressources humaines le dispositif d'animation et de communication de Theia qui joue un rôle central en appui à l'animation des recherches en télédétection pour INRAE
- Conforter, en termes de ressources humaines et en moyens informatiques, les capacités de production et diffusion de produits maîtrisés par INRAE pour les besoins internes de ses équipes et pour répondre ponctuellement à des besoins de politiques publiques.

B. Volet recherche pour développer et utiliser des produits et services en interne à INRAE

1. Stratégie vis à vis des CES Theia pour les services et produits opérationnels

Nous avons vu que, via l'activité des différentes unités sur Montpellier (TETIS, LISAH), Avignon (EMMAH) et Bordeaux (ISPA), et via la présence d'INRAE parmi les tutelles du CESBIO, INRAE coordonne ou est fortement impliqué au sein de Theia dans 19 CES sur 24 (soit 80 % du total des CES actuels).

INRAE est donc maintenant un acteur majeur dans le dispositif de développement de produits et services avec une vocation opérationnelle.

Il conviendra à l'avenir d'activer le mécanisme de CES pour en proposer de nouveaux chaque fois qu'INRAE souhaitera affirmer des positionnements stratégiques et des formes de leadership sur de nouveaux produits et services. Le dispositif des CES est très intéressant car il donne de la visibilité aux produits développés au travers du portail Theia. Cela correspond aussi à une marque de validation par la communauté scientifique qui peut être utile en appui à des demandes de financements (financement CNES TOSCA en particulier).

Ce dispositif ne nécessite pas de régulation lourde au-delà du travail du comité scientifique Theia qui étudie les propositions de poursuite, de réorganisation ou d'interruption de CES existant ou de création de nouveaux CES. A ce jour, aucun CES n'a encore été interrompu. Ces décisions sont également débattues au sein du Comité Directeur Theia.

Compétences

Nous pensons qu'INRAE doit cependant rester très vigilant pour éviter des pertes de compétences sur ces produits et services, car le dispositif en place reste très fragile. En effet, l'expertise sur un produit est souvent portée par un seul chercheur sénior, dont le départ à la retraite peut fragiliser fortement le CES.

Notre proposition principale ici est donc que le comité des « correspondants télédétection » (un « comité de conseil » télédétection dont nous parlerons plus loin) assure une veille sur cette question et puisse émettre des alertes et des recommandations auprès de la direction scientifique d'INRAE et de l'ensemble des départements concernés pour qu'ils puissent mettre en œuvre une GPEC dédiée.

2. Cas des recherches émergentes en IA orientées données

Jusqu'à ces dernières années, les recherches par les experts en télédétection ont été dominées par des travaux basés sur la compréhension et la modélisation des processus biophysiques. Avec l'accroissement des volumes de données et des capacités informatiques pour les traiter (Big Data), les recherches en intelligence artificielle au sein de communautés d'informaticiens ont fait récemment des progrès spectaculaires, notamment dans le domaine du *Machine Learning*.

Ces approches en IA restent encore peu développées et structurées au sein des 2 établissements ainsi qu'au sein du pôle Theia (pas de reconnaissance vis à vis des CES dédiés). De plus, l'hybridation entre les approches orientées « processus biophysiques » et celles orientées « données » constitue une voie prometteuse pour, d'un côté, s'affranchir d'une trop grande complexité des mécanismes biophysiques tout en évitant, de l'autre côté, une utilisation trop « boîte noire » de l'IA. INRAE dispose d'atouts en termes de compétences pluridisciplinaires pour pouvoir développer de telles recherches au sein du département NUMM en articulation avec les départements applicatifs.

Un enjeu pour le nouvel établissement sera de favoriser la reconnaissance et la structuration de cette communauté en informatique appliquée aux données de télédétection en interne et au sein du pôle Theia, ainsi que de fournir un appui en matière d'infrastructure de calcul et de jeux de données de référence.

A ce sujet nous recommandons aussi d'envisager des moyens pour INRAE de développer des partenariats et des collaborations avec des Instituts tels que l'INRIA ou des pôles régionaux de recherche en Mathématiques. En effet ces instituts et pôles disposent d'une forte compétence dans les domaines de recherche du *Big Data* et du *Machine Learning* et sont parfois très demandeurs de projets concrets d'application des développements théoriques qu'ils conduisent. Ces dernières approches deviennent centrales dans l'analyse statistique de jeux de données de télédétection de plus en plus volumineux, la résolution spatiale et la profondeur temporelle des séries de données s'accroissant régulièrement. Le CNES estimait ainsi que 7 péta-octets de données avaient été produits par les satellites Sentinel entre 2015 et 2017, sans compter les différentes versions de jeux de données traités et corrigés...

3. Stratégie d'organisation interne pour le développement d'applications de la télédétection dans les thématiques de recherche d'INRAE

Cette partie porte sur les articulations à mettre en place entre les experts développeurs de produits et services issus de la télédétection et les utilisateurs thématiques porteurs de besoins, certains pouvant avoir eux-mêmes une solide expertise en télédétection.

Le préalable au développement des applications de la télédétection consiste au développement d'un dispositif d'organisation INRAE solide sur les services et produits opérationnels au sein du pôle Theia. Comme décrit ci-dessus, cet objectif nous semble quasiment atteint d'un point de vue organisationnel grâce aux dispositifs génériques des CES et des ART de Theia. Il reste toutefois à consolider les capacités de production qui doivent être dimensionnées selon l'évolution des besoins internes et pour les politiques publiques.

Il nous semble que l'autre enjeu principal pour INRAE dans les années à venir est de s'appuyer sur les produits CES pour développer les applications télédétection dans ses thématiques de

recherche. En effet, nous estimons que si l'on analyse les articles INRA avec le mot clef télédétection, une très large majorité des articles concerne le développement ou l'évaluation des technologies ou des produits télédétection mais encore peu des applications proches de l'opérationnel, avec des produits ou des résultats récurrents et directement utilisables par des services publics ou des acteurs privés ou d'intérêt général.

En effet, les CES sont par définition fortement centrés sur les services et produits opérationnels, mais le caractère applicatif des produits est encore très peu discuté/analysé en leur sein. Par ailleurs, les ART comme lieux d'échange entre les utilisateurs et les experts producteurs de produits et services sont encore très jeunes et sans moyens de fonctionnement. C'est certainement une faiblesse du dispositif actuel, car les applications doivent intervenir fortement dans la définition du cahier des charges des produits, pour que ces derniers soient réellement profitables aux utilisateurs. Il y a donc une interaction entre « production » et « application », qui est déjà présente mais qui doit être largement développée dans les années à venir au sein d'INRAE, et à laquelle la dynamique Theia pourra certainement contribuer via les ART.

Il nous semble donc que la priorité est maintenant au renforcement du dispositif INRAE, en termes de ressources humaines, sur les applications télédétection dans ses différentes thématiques de recherche.

Nos propositions sont les suivantes :

(i) Ce renforcement devra viser des laboratoires (« laboratoires d'applications ») pour la qualité des expertises qu'ils hébergent et qui soient à même de favoriser des applications utilisant les produits télédétection et disposant de compétences en termes de modélisation fonctionnelle, de collaborations nationales/internationales sur les applications, des réseaux de dispositifs in situ, etc.

Ainsi, ce renforcement ne devra pas donc forcément viser des laboratoires ayant des compétences dans le développement des produits et services en télédétection ; et contrairement au dispositif d'organisation sur les services et produits opérationnels, le dispositif d'organisation à développer sur les applications ne requiert pas forcément d'organisation en pôle.

(ii) Le profil visé est celui de chercheurs en télédétection au sein des « laboratoires d'applications » qui auront le rôle de « passeurs » en faisant le pont entre (1) les expertises/produits développés par les CES et (2) les utilisateurs qui travaillent sur les applications. Cette interaction CES / applications est essentielle pour la réalisation de produits réellement bien adaptés aux applications. Le profil cherché est celui de chercheurs disposant d'une solide double compétence avec une expertise à la fois sur des thématiques de recherche INRAE (écologie et agro-écologie, gestion forestière, biodiversité, hydrologie, science du sol, agronomie, etc.), et dans les domaines des statistiques, des mathématiques et de l'informatique « science des données ». En effet, comme décrit dans la section ci-avant, cette dernière expertise est essentielle pour analyser et valoriser les applications des données de télédétection toujours plus volumineuses et hétérogènes.

(iii) Ce genre de profil de chercheurs avec une double compétence est assez rare. Il pourra donc être opportun d'activer des processus visant à développer l'attractivité INRA pour des chercheurs de haut niveau avec un « profil d'excellence », par des recrutements « blancs » du

type des anciens CR1 blancs (qui nous semble avoir conduit à des résultats remarquables en termes de recrutements sur des thématiques que nous connaissons) ou de bourses en appui à la préparation de candidature ERC.

Il est difficile de tracer des limites précises, car il y a beaucoup d'interactions entre les différents thèmes d'études, mais il nous semble que le dispositif à développer autour des applications pourrait se faire en terme d'objets (la liste des URs et UMRS est donnée ici sans exhaustivité):

- Agriculture, concernant principalement les laboratoires CESBIO, EMMAH, TETIS, ...
- Forêts : ISPA, TETIS, Dynafor, CESBIO, RECOVER ...
- Propriétés des sols : LISAH, Infosol, AgroParisTech Paris / Grignon, TETIS, ...
- Ecologie des paysages, agro-écologie et biodiversité: TETIS, Dynafor, CESBIO, LESSEM ...
- Développement territorial, bioéconomie : TETIS, CE-EM, Territoires, LESSEM, ...
- Ressources en eau : CESBIO, LISAH, G-Eau, TETIS, ...
- Innovation et numérique : Innovation, AGIR, CE-EM, TETIS, ...

Comme noté en introduction, nous considérons ainsi qu'actuellement de nombreux fronts de science ne peuvent pas être attaqués et dépassés sans l'apport de la télédétection. Une analyse précise de ces fronts a été conduite en appui à la convention CNES – INRA signée au cours de l'été 2019 par P. Mauguin pour l'INRA et Y. Le Gall pour le CNES. Nous renvoyons le lecteur au résumé donné en Annexe 6 et précisons seulement ici les grands domaines d'applications potentiels et qui correspondent donc à des domaines de coopération prioritaires identifiés dans le contexte de la convention cadre associant le CNES et l'INRA:

- Cartographie et suivi des services écosystémiques rendus par les sols
- Gestion de l'eau pour l'agriculture à l'échelle des territoires
- Utilisation des informations satellitaires pour l'hydrologie et l'hydraulique continentales
- Dynamique et gestion durable des écosystèmes forestiers à l'échelle régionale
- Dynamique et gestion durable des écosystèmes forestiers à l'échelle continentale
- Dynamique des agroécosystèmes dans un contexte de changements globaux
- Biodiversité, habitats, paysage, trames vertes et bleues
- Agriculture numérique
- Infrastructures de Données et Services pour l'agriculture, l'environnement et les territoires

La question des risques se retrouve dans ces différents champs applicatifs : risques épidémiologiques pour les cultures et les forêts, inondations, incendies et dégâts de tempête en forêt, sécurité alimentaire, impacts multi-domaines du changement climatique... Elle en constitue chaque fois une déclinaison spécifique, mais elle nécessite toujours une forte expertise hybride télédétection/champ applicatif ainsi qu'une analyse très fine des besoins des utilisateurs compte-tenu des enjeux inhérents aux risques (prévention, gestion de crise, gestion post-crise) et des exigences de solutions en quasi temps-réel pour la gestion de crise. Dans ce dernier cas, il existe déjà des mécanismes internationaux de mobilisation des agences spatiales et de prestataires pour réaliser des cartographies opérationnelles d'urgence mobilisant entre autres l'imagerie satellitaire. Le rôle d'INRAE se situe surtout dans des recherches amont pour améliorer les méthodes en place ou en développer de nouvelles.

Compte-tenu de son expertise unique dans certains champs d'applications de la télédétection (agriculture, forêt, environnement) il nous semble qu'INRAE devrait aussi pouvoir être en mesure de répondre ponctuellement à l'analyse de certains événements exceptionnels (du type dégâts liés à événements climatiques ou biotiques exceptionnels: tempêtes, sécheresses, attaques parasitaires, etc.) dans ses domaines d'expertise, mais seulement en l'absence d'autres alternatives et en dehors des contraintes de gestion de crise en temps réel. Actuellement, en l'absence de ressources humaines dédiées, INRAE n'est pas en mesure de répondre à ces demandes.

L'étape visant au développement des applications s'appuyant sur la télédétection constituerait également une étape de valorisation essentielle des importants efforts engagés par INRAE sur le développement des produits et services. Actuellement, peu de recherches INRAE atteignent le stade d'applications opérationnelles dans ces grands champs d'études, où dominant à l'international les universités (USA, UK, Europe du Nord, Chine).

Propositions d'action :

- Le dispositif INRAE nous semble bien en place sur la question des produits et services ; notre recommandation est que les départements doivent rester très vigilants sur les pertes de compétences dans des domaines où l'expertise d'INRAE est centrale, car le dispositif en place des CES du pôle Theia reste très fragile.
- Valoriser les importants efforts engagés par INRAE sur le développement des produits et services, via le développement des applications s'appuyant sur la télédétection.
- Dépasser des fronts de science : la télédétection a un rôle central à jouer sur de nombreux domaines d'applications où nous considérons que des fronts de science ne peuvent pas être attaqués et dépassés sans l'apport des produits satellitaires. Il s'agit souvent d'applications en lien avec des enjeux de recherche majeurs pour INRAE et où la télédétection INRAE nous semble très peu présente dans un contexte international ; notre proposition est donc maintenant de faire porter la priorité sur le renforcement, en termes de ressources humaines, du dispositif INRAE sur les applications.
- Pour les recrutements, cibler des chercheurs de haut niveau (profil d'excellence) avec une double compétence thématiques & mathématiques (statistique, physique, IA). Les dispositifs de recrutements « blancs » (CR, bourse ERC) nous semblent pertinents pour une forte attractivité INRAE.
- Favoriser la reconnaissance et la structuration de la communauté en informatique appliquée aux données de télédétection (recherches émergentes en IA orientées données).
- En corollaire, favoriser les collaborations avec des instituts tels que l'INRIA et des pôles de recherche en Mathématiques et Informatiques, qui ont une expertise unique dans les domaines du *Big data* et du *Machine Learning*. Ces dernières approches devenant centrales dans l'analyse statistique de volumes de données télédétection de plus en plus considérables (la résolution spatiale et la profondeur temporelle des séries de données s'accroissant régulièrement ainsi que des approches multi-sources de données).

C. Volets animation « télédétection » dans le futur établissement et contributions à des réseaux

1. Animation scientifique

Suite aux échanges menés lors de cette mission et dans la continuité de ce qui fonctionne très bien depuis quelques années maintenant, nous proposons d'appuyer en priorité l'animation scientifique en télédétection d'INRAE sur les mécanismes déjà en place au sein du pôle Theia dans une logique de mutualisation et afin d'éviter les doublons et la dispersion de nos forces. Il s'agira de mieux intégrer les aspects production / application de la Télédétection dans le programme des séminaires Theia (rencontres des CES, des ART, séminaires annuels), et éventuellement d'y associer une demi-journée de discussion spécifique à INRAE.

Les départements qui le souhaitent pourront bien entendu compléter cette animation par des dispositifs internes d'animation supplémentaires. C'est par exemple le cas du département TERRA qui va mettre en place un Groupe Disciplinaire en « sciences de l'information spatiale » pour traiter de questions propres au département.

Pour amorcer la réflexion scientifique sur la place de la télédétection dans les nouveaux Schémas Stratégiques des Départements et les métaprogrammes, nous proposons d'organiser courant 2020 un évènement dédié afin de présenter le contenu du présent rapport et d'organiser des ateliers préparatoires.

2. Réseau de correspondants

S'il n'y a plus de réseau télédétection INRA proprement dit et donc plus d'animateur de ce réseau, nous avons bien noté au cours des discussions avec les départements, l'importance de disposer de correspondants bien identifiés pour chaque département. Nous avons aussi relevé lors des échanges avec les départements, Gilles Aumont et Odile Hologne, le souhait de disposer d'un ou deux correspondants « transversaux » aux départements sur les questions relatives à Theia, à DINAMIS et plus largement à l'IR Data Terra ainsi qu'en matière de science ouverte.

L'ensemble des correspondants pourrait être structuré sous la forme d'un **réseau INRAE des correspondants** et constituer ainsi une sorte de comité de conseil ou de groupe miroir sur la télédétection. Ce réseau pourrait être facilement consulté et sollicité par les départements et la direction scientifique d'INRAE, en particulier pour étudier la place de la télédétection dans la programmation scientifique des départements et des métaprogrammes, ainsi que dans la programmation des investissements pour les plateformes et infrastructures. Il pourrait se réunir annuellement ou tous les 18 mois.

3. Liste de diffusion « Télédétection » INRAE

Nous proposons de maintenir le principe des listes de diffusion « Télédétection » INRA et Irstea en les faisant évoluer pour passer à l'échelle unifiée d'INRAE. L'enquête que nous avons conduite nous permet déjà de constituer une liste de près de 240 chercheurs/ingénieurs (dont 70 agents d'autres tutelles dans les UMRs ayant une tutelle INRAE).

Cette liste nous paraît complémentaire de la liste de diffusion Theia car elle permettra de diffuser en interne des informations sur des sujets qui concernent plus spécifiquement INRAE

(annonce de colloques, écoles chercheurs, appels d'offre de projet, propositions de CDD, etc.) et vers un ensemble de scientifiques/ingénieurs qui ne seront pas forcément tous abonnés à la liste de diffusion de Theia.

Cette liste pourrait devenir un outil de communication des départements d'INRAE, même si les deux listes existantes au sein de l'INRA et d'Irstea n'ont jamais été utilisées dans ce sens.

4. Implication dans les réseaux scientifiques

Comme indiqué plus haut, nous recommandons en priorité une implication forte d'INRAE dans les dispositifs existants qui relèvent du pôle Theia dans le cadre élargi de l'IR Data Terra :

- IR Data Terra : Comité de Pilotage, Comité Directeur, Comité Scientifique et d'Orientation Stratégique, Bureau Exécutif, Groupe Technique inter-pôles, Groupe Technique Europe et International, UMS.
- Pôle Theia : Comité Directeur, Bureau Exécutif, Comité Scientifique, Centre d'Expertise Scientifique (CES), Animation Régionale Theia.
- DINAMIS : Comité Directeur, Bureau Exécutif, équipe technique.
- OZCAR : gouvernance de l'IR, groupe de travail sur le portail de données/métadonnées OZCAR/Theia.

Les financements de la recherche en télédétection en France reposent beaucoup sur le programme TOSCA (Terre Solide, Océan, Surfaces Continentales et Atmosphère) du CNES et sur le PNTS (Programme National en Télédétection Spatiale) financé par le CNES, l'IGN, le CNRS-INSU, l'IRD et Météo-France. Il sera donc important qu'INRAE continue d'être actif dans les comités scientifiques de ces deux programmes.

5. Implication dans des réseaux d'appui aux politiques publiques

Du fait de la création au sein d'INRAE d'une direction générale déléguée à l'expertise et à l'appui aux politiques publiques, il nous semble important d'intégrer la dimension télédétection dans la participation de l'établissement aux différents réseaux liés à l'action publique. C'est le cas notamment pour le MTES du Réseau Scientifique et Technique (RST) et de son Plan d'Application Satellitaire (PAS) qui dépend du CGDD/DRI. Il n'existe pas de dispositif équivalent au PAS pour le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, ce qui conduit à une dispersion des sollicitations du ministère vers la recherche en matière de télédétection, que ce soit par des services en administration centrale ou par des services déconcentrés (DDTM, DRAAF). Les deux ministères s'appuient actuellement beaucoup sur l'IGN qui dispose de nombreux conseillers dans les directions centrales, et pour le MTES, également sur le Cerema qui constitue la cheville opérationnelle du PAS ainsi que sur la Direction de l'Innovation et des Applications du CNES.

Compte-tenu du poids que pourra prendre INRAE dans le paysage national de la télédétection, il nous semble important que le nouvel établissement développe une stratégie forte vers ces deux ministères en matière de R&D. Il s'agit pour INRAE : 1) de faire valoir ses champs d'expertise applicatifs ; et 2) de mettre en avant le potentiel de structuration et d'innovation ouverte recherche/action publique/entreprise apporté par l'IR DataTerra et en particulier ses composants Theia et DINAMIS.

A l'heure actuelle, le pôle Theia propose des interactions entre les experts scientifiques et les utilisateurs, dont les agents de l'Etat et des collectivités, à l'échelle régionale au moyen des Animations Régionales Theia (ART). Mais il n'existe pas de mécanisme équivalent d'interaction

aux niveaux ministériel, interministériel (MTES, MAA, MCTRCT, Santé, Intérieur, secrétariat d'Etat au Numérique) et des grandes agences publiques (ex de l'OFB). Une solution pourrait consister à faire évoluer la gouvernance de l'IR DataTerra et du pôle Theia pour associer ces acteurs.

INRAE pourrait profiter du Comité Directeur du pôle Theia pour être force de proposition en matière d'appui aux politiques publiques et en faire un lieu de réflexion stratégique et de coordination avec l'IGN, le Cerema et le CNES.

Enfin, comme indiqué précédemment, il est également important pour INRAE de disposer d'une capacité de production restreinte pour pouvoir répondre à des besoins ponctuels de ces ministères (sur des événements exceptionnels du type dégâts liés à événements climatiques ou biotiques exceptionnels: tempêtes, sécheresses, attaques parasitaires, etc.) en l'absence d'alternative et sous réserve d'un financement des moyens de production de leur part. Par son expertise unique, INRAE est très bien placé pour répondre à ces demandes sous réserve qu'il dispose un appui d'ingénierie, relativement limité mais dédié.

6. Implication dans les CATIs

La télédétection connaît des évolutions majeures du fait de l'explosion des volumes de données à traiter, de l'hybridation croissante avec l'informatique (*Big Data*, calcul haute performance, *Deep Learning*, *Machine Learning*), des besoins croissants en jeux de données massifs pour l'apprentissage des algorithmes en IA. Optimiser et mutualiser l'ingénierie d'appui aux recherches en télédétection devient un enjeu majeur sous peine de gaspiller beaucoup de ressources pour accéder aux données images et aux données in situ, pour leur stockage, leurs prétraitements ainsi que dans les développements algorithmiques et les capacités de production. Aussi, nous proposons que les ingénieurs experts en télédétection d'INRAE contribuent activement à certains CATIs (Centres Automatisés de Traitement de l'Information) pour permettre de mutualiser des ressources et de partager des retours d'expérience.

Un premier balayage des CATIs de 3^{ème} génération nous a permis d'en identifier 4 qui couvrent a priori des sujets à enjeu pour la télédétection, sachant que celle liste pourra bien entendu être revue :

- GEDEOP : GEstion des Données d'Expérimentations, d'Observations et de Pratiques sur les agro-socio-éco-systèmes
- IMOTEP : Information, Modèles et Traitement des données en Epidémiologie et dynamique de Populations (notamment pour le lien avec la nouvelle plateforme d'épidémiosurveillance en construction à Avignon)
- IUMAN : Informatisation et Utilisation des Modèles pour les Agroécosystèmes Numériques
- PROSODie : Compilations Reproductibilité et Qualité pour l'Informatique Scientifique

Les agents impliqués en télédétection, en particulier ceux d'Irstea, mais éventuellement ceux de l'INRA, devront dans un premier temps se rapprocher de ces CATIs pour identifier la place qu'occupe déjà la télédétection ou qu'elle pourrait prendre. Il conviendra d'étudier aussi la pertinence de créer à terme un CATI propre à la télédétection si la taille de la communauté et les spécificités en termes de traitement des données le justifient par rapport aux CATIs déjà en place.

Propositions d'action :

- Organiser l'animation scientifique INRAE en s'appuyant en priorité sur celle conduite au sein du pôle Theia.
- Nommer un correspondant par département; ce qui conduirait à la constitution d'un « comité de conseil » télédétection pour les départements et la direction scientifique INRAE.
- Créer une liste de diffusion « Télédétection » INRAE en s'appuyant sur une première liste issue de l'enquête.
- Organiser un évènement interne INRAE courant 2020 pour présenter les résultats de la mission et réfléchir à l'insertion de la télédétection dans les nouveaux Schémas Stratégiques des Départements et les métaprogrammes.
- Contribuer activement aux CATIs pertinents pour la télédétection.
- Développer une stratégie de confortement de la place d'INRAE dans les réseaux scientifiques et d'appui aux politiques publiques, en particulier auprès du MTES et du MAA
- Etre force de proposition au sein de Theia et de l'IR DataTerra pour construire et mettre en œuvre une stratégie inter-organismes d'appui aux politiques publiques à un niveau interministériel.

D. Volet innovation ouverte « recherche, action publique et entreprises »

Les paysages national et européen ont fortement évolué ces dernières années pour renforcer les interactions entre les sphères de la recherche, de l'action publique et des entreprises, même si dans les faits, c'est plus souvent entre deux sphères qu'entre les trois simultanément.

Le Plan d'Application Satellitaire du MTES se concentre sur les besoins du ministère avec un appui assuré essentiellement par le Cerema, l'IGN et le CNES, même si l'ouverture à la communauté Theia a commencé à se développer récemment. Les résultats opérationnels tardent toutefois à arriver.

Le MAA reste majoritairement dans une position de commande de produits opérationnels avec quelques financements de projets de R&D. Les initiatives viennent très souvent de services déconcentrés (DDTM, DRAAF). Les choix stratégiques du ministère en matière de capacité de production opérationnelle restent en suspens et oscillent selon les applications entre la volonté d'internaliser la production au sein des services, une délégation de production à IGN, la passation de marchés auprès d'entreprises ou un glissement de commandes R&D vers de la quasi production.

Le CNES et le COSPACE (Comité de concertation État-Industrie dans le domaine spatial) ont initié à partir de 2015 la création de dispositifs Booster¹⁵ portés par des pôles de compétitivité et destinés à dynamiser les activités économiques basées sur le développement d'applications à partir des technologies du spatial et du numérique.

¹⁵ <http://boosters-cospace.fr/decouvrir-le-programme-boosters/>

Le CNES avec des partenaires privés a créé l'Institut InSpace pour faire le lien entre les besoins des collectivités territoriales et d'acteurs publics locaux avec l'offre de produits et de services d'entreprises innovantes (imagerie, télécommunications, géolocalisation) et référencés sur la plateforme d'achat UGAP¹⁶.

La Direction de l'Innovation et des Applications du CNES, créée en 2016, a mis en place fin 2017 l'initiative Connect-by-CNES pour sensibiliser les entreprises aux solutions du spatial en affectant du personnel CNES dans des structures d'innovation (Station F à Paris, French Tech ...) et en rendant visibles les différentes solutions d'accompagnement apportées par le CNES¹⁷.

L'Union Européenne et l'Agence Spatiale Européenne ont financé dans le cadre de Copernicus la création de plateformes DIAS¹⁸ portées par des consortiums industriels du spatial, du *Big Data* et du *Cloud*. Ces plates-formes organisées en trois couches (images Sentinel et missions tierces, boîtes à outils de développement, *market place*) visent à relier des entreprises développeuses de produits et de services et des communautés d'utilisateurs. Elles sont censées constituer des alternatives aux GAFAs. Elles peuvent constituer pour la recherche française, notamment le pôle Theia, des plateformes de valorisation à l'international des produits et services développés par la communauté. La viabilité de ces DIAS et leurs modèles économiques restent toutefois très incertains.

L'IR Data Terra¹⁹ portée par le MESR et le CNRS et qui englobe les 4 pôles thématiques et le dispositif DINAMIS fédère majoritairement la communauté scientifique en observation de la Terre. Elle se déclare toutefois largement ouverte aux acteurs de l'innovation et de l'action publique, même si leur place dans la gouvernance de l'IR reste encore à clarifier.

DINAMIS et le pôle Theia comptent parmi leurs membres à la fois des acteurs de la recherche et des organismes des politiques publiques et ils associent également de manière plus indirecte des acteurs privés. Dans le cadre de DINAMIS, les licences négociées auprès des fournisseurs d'images gérées commercialement (Pléiades, SPOT 6-7) concèdent sous condition des droits aux acteurs privés pour des prestations pour le compte d'acteurs publics ainsi que pour leurs activités de R&D. Au sein de Theia, le dispositif des ART vise à faire se rencontrer les experts développeurs de produits et services, les acteurs intermédiaires publics ou privés de valeur ajoutée et les utilisateurs porteurs de besoins. Ces points constituent autant d'éléments favorables à l'innovation.

Les partenaires du pôle Theia n'ont toutefois pas encore travaillé formellement à l'élaboration d'une stratégie partagée en matière d'innovation ouverte, de valorisation des produits services amont et de modèles économiques sous-jacents qui ne soient pas uniquement fondés sur le développement économique mais aussi sur la qualité de l'action publique et de la recherche. Les organismes gardent pour le moment chacun leur propre logique interne. Avec la multiplication des produits Theia qui arrivent à maturité, la montée en puissance de l'Open Data et de la Science Ouverte, l'arrivée de plateformes à visée commerciale, cette situation paraît difficilement tenable, y compris à court-terme.

¹⁶ <http://inspace-institute.com/>

¹⁷ <https://entreprises.cnes.fr/fr/connect-cnes>

¹⁸ <https://www.copernicus.eu/en/access-data/dias>

¹⁹ <https://data-terra.org/>

Compte-tenu du poids que va prendre INRAE dans DINAMIS et surtout dans Theia, il paraît important que l'établissement définisse les contours d'une stratégie interne et impulse une réflexion collective avec les partenaires de Theia en lien avec leurs structures de valorisation/transfert et d'appui aux politiques publiques. Des échanges similaires devraient avoir lieu à l'échelle de l'IR Data Terra.

Propositions d'action :

- Avec l'appui des services de valorisation d'INRAE et des autres co-tutelles des UMRs, développer une stratégie INRAE en matière d'innovation ouverte, de valorisation/transfert, d'appui aux politiques publiques (notamment auprès du MTES et du MAA) pour les produits et services issus de la télédétection.
- Impulser une réflexion stratégique collective de valorisation/transfert au sein du pôle Theia et de l'IR Data Terra en proposant ce sujet dans les prochains Comités Directeurs et en lançant un groupe de travail multi-organismes.

Annexes

Annexe 1 – Lettre de mission

Mission sur la place de la télédétection à l'INRA et Irstea Situation actuelle et perspectives

Mission commandée par le DS Environnement INRA (T. Caquet) et le DGDR Irstea (P. Flammarion), version 2 juillet 2018

Objectifs: Partager les informations sur les activités et stratégies actuelles de l'INRA et d'Irstea en matière de télédétection:

- Travaux de recherche en télédétection (et numérique), y compris par les équipes SHS
- Thématiques prioritaires d'application
- Formation par la recherche et formation continue
- International dont Sud
- Appui aux politiques publiques
- Positionnement vis-à-vis de Theia, de Dinamis, de l'Infrastructure de Recherche Système Terre
- Valorisation et transfert

Analyser les points de convergence et de divergence actuels, définir une stratégie partagée dans le cadre du futur établissement INRA / Irstea.

Proposer un dispositif d'animation en télédétection à l'échelle du futur établissement

Responsables :

INRA : Jean-Pierre Wigneron, animateur équipe MOST (INRA ISPA Bordeaux), co-animateur réseau Télédétection INRA (2006-2016), membre CS Theia

Irstea : Pierre Maurel, UMR TETIS, coordinateur Equipex GEOSUD, membre du BE Theia, co-responsable avec le CNES du Groupe de Travail ayant abouti à la création du dispositif Dinamis

Méthode de travail

- Echanges réguliers entre les 2 responsables
- Echanges réguliers avec les directions scientifiques et les chefs des départements concernés (actuels et à venir : au minimum EA, EFPA, MIA V2, Terra = SAD+Territoires) : partage d'une vision actualisée du paysage « télédétection » à différents niveaux (interne INRA et Irstea, Theia, IR Système Terre, Europe, pays du Sud, international), élaboration d'une stratégie commune
- Désignation par chaque département concerné d'un animateur télédétection, mise en réseau de ces animateurs avec les 2 responsables de la mission
- Echanges avec les responsables du Pôle Theia et de l'IR Système Terre
- Partage d'études bibliométriques INRA/Irstea, compléments si nécessaire (aide à la cartographie de l'existant en télédétection dans et entre les 2 organismes)
- Echanges (modalités à définir) avec les agents des départements et équipes concernés par la télédétection (spécialistes directs ou de disciplines complémentaires – ex : data sciences, SHS - , utilisateurs actuels ou potentiels) : cartographie de l'existant (RH, compétences, questions scientifiques, terrains, ressources matérielles / logicielles / données, réseaux existants ...), attentes en matière d'animation scientifique et d'appui, partage d'informations et échanges sur le paysage « télédétection » et la stratégie du futur établissement

- Entretiens avec les services valo/transfert et les correspondants « Infrastructures de recherche » des deux établissements

Livrables

Rapport mission :

- Cartographie actuelle dans les 2 organismes des équipes, activités (recherche, formation, appui, valo...), produits/services dans le domaine de la télédétection
- Synthèse sur la stratégie « télédétection » du futur établissement
- Proposition d'un dispositif d'animation « télédétection » dans le futur établissement

Calendrier : De mi-2018 à fin 1er trimestre 2019

Annexe 2 – Réunions organisées

Réunions Départements

11/01 10h00-12h00, Montpellier + visio ; Marc Deconchat INRA SAD, Pierre-Olivier Mataterre Irstea/eaux, Sophie Thoyer Irstea/ Territoires; Hervé Monod, INRA/MIA

18/01 10h00-12h00, Montpellier + visio ; Catherine Bastien INRA/EFPA; Philippe Hinsinger INRA/EA; Veronique Bellon Maurel Irstea/ Ecotechnologies; Laurent Augusto, INRA/EFPA

Réunion Infrastructures de Recherche (DINAMIS, Theia)

5/03/2019 en visio : Gilles Aumont, Odile Hologne

Annexe 3 – Contact avec les préfigurateurs de métaprogrammes

- MP Digitalisation des systèmes agri-alimentaires (DigiGrAL) : Véronique Bellon-Maurel et Evelyne Lutton
- MP Système alimentaire et santé : Louis-Georges Soler et Jean Dallongeville
- MP Biodiversité et services écosystémiques : Marc Deconchat et Christine Argilliers
- MP Neutralité Carbone et adaptation au CC : Sylvain Pellerin, Eric Sauquet
- MP Bioéconomie, ressources, territoires : Michael Odonohue et Sophie Thoyer
- MP Gestion durable de la santé des cultures : Christian Lannou, Christian Huyghe
- MP Risques naturels, sanitaires, environnementaux : Thierry Caquet et Mohammed Naaim
- MP Transition pour la sécurité alimentaire globale (gloFood, commun avec le CIRAD) : Alban Thomas et Etienne Hainzelin

11/02/2019 Mail Responsables de métaprogrammes susceptibles d'être concernés par la télédétection.

De : Pierre Maurel [mailto:pierre.maurel@teledetection.fr]

Envoyé : lundi 11 février 2019 12:53

À : Thierry Caquet <thierry.caquet@inra.fr>; Veronique Bellon <Veronique.Bellon@Irstea.Fr>; Evelyne Lutton <evelyne.lutton@inra.fr>; jean-dallongeville@inra.fr; Louis-Georges Soler <louis-georges.soler@inra.fr>; Marc Deconchat <marc.deconchat@inra.fr>; christine.argillier@irstea.fr; Sylvain Pellerin <sylvain.pellerin@inra.fr>; Sauquet Eric <eric.sauquet@irstea.fr>; Michael O'donohue <Michael.Odonohue@inra.fr>; Thoyer Sophie <sophie.thoyer@irstea.fr>; Christian Lannou <christian.lannou@inra.fr>; Naaim Mohamed <mohamed.naaim@irstea.fr>; Alban Thomas <alban.thomas@inra.fr>

Cc : Christine Cherbut <christine.cherbut@inra.fr>; Flammarion Patrick <patrick.flammarion@irstea.fr>; Catherine Bastien <catherine.bastien@inra.fr>; Philippe Hinsinger <philippe.hinsinger@inra.fr>; Benoit Dedieu <benoit.dedieu@inra.fr>; Herve Monod <herve.monod@inra.fr>; Malaterre Pierre-Olivier <pierre-olivier.malaterre@irstea.fr>; Laurent Augusto <laurent.augusto@inra.fr>

Objet : Place de la télédétection dans le futur établissement INRA/Irstea et ses métaprogrammes

Chers collègues préfigurateurs des MétaProgrammes,

A la demande des directions de l'INRA et d'Irstea, nous (Pierre Maurel, Irstea Montpellier; Jean-Pierre Wigner, INRA Bordeaux) menons une mission sur la place de la télédétection dans le futur établissement. Il s'agit notamment de croiser les stratégies passées et actuelles des 2 organismes, d'en dégager une commune pour l'avenir, de recenser nos compétences (experts et utilisateurs de la télédétection) et nos plateformes, de définir des modalités d'animation. Nous avons pour cela préparé une présentation récapitulative et déjà rencontré les chefs des départements actuels concernés par la télédétection (EA, EFPA, MIA, SAD, Territoires, Ecotechnologies, Eaux). Nous devons encore rencontrer les responsables "infrastructures de données" et faire une cartographie actualisée des compétences en télédétection (experts et

utilisateurs). Les résultats de la mission seront ensuite présentés aux directions des 2 établissements pour validation.

Plusieurs points ressortent de ces premiers échanges :

- Les nouveaux capteurs en télédétection couplés aux technologies numériques (cloud, IA, machine learning) offrent des capacités d'observation & monitoring de l'ensemble de la surface terrestre à des fréquences et des résolutions jusque-là inégalées. Cela constitue une source de données originale pour contribuer à la compréhension des agro-éco-socio-systèmes, des forêts, de la biodiversité, des territoires et de leurs dynamiques. Compte-tenu de son potentiel, encore peu exploité, le développement des applications de la télédétection dans le contexte des recherches menées dans le futur établissement doit être réévalué rapidement.

- La télédétection sera présente dans plusieurs départements du nouvel établissement (à minima EA, EFPA, NUM, TERRA, EAU) et concerne à la fois les experts de ce domaine mais aussi des équipes utilisatrices de produits/services issus de la télédétection sans pour autant en être des spécialistes.

- Il apparaît pertinent d'aligner notre stratégie autour du pôle national de données Theia (<http://www.theia-land.fr/>) créé en 2012 et qui vise à structurer la communauté nationale en télédétection. Irstea et l'INRA en sont membres fondateurs et ont fortement contribué à sa montée en puissance. Leur rapprochement fera du nouvel établissement un acteur majeur du pôle Theia pour les applications dans les domaines de l'agriculture, des forêts, de l'environnement et du développement territorial.

Le pôle Theia est organisé en :

- 1) Centres d'Expertises Scientifiques (22 CES aujourd'hui, dont 14 avec contributions INRA et/ou Irstea) destinés à développer des produits et services qualifiés pour des utilisations aval (plus de détails : <http://www.theia-land.fr/fr/presentation/themes>), certains étant déjà au stade de production opérationnelle

- 2) Animations Régionales Theia (8 ART aujourd'hui, dont 5 avec contributions INRA et/ou Irstea) pour mettre en réseau dans les régions (et les pays du Sud) les experts, les utilisateurs et des bureaux d'étude dans une logique d'innovation ouverte.

De par leur utilité transversale, il nous semble que les produits et services issus du pôle Theia, en particulier des équipes INRA/Irstea expertes en télédétection, peuvent contribuer utilement à des enjeux et des défis scientifiques de plusieurs métaprogrammes. En accord avec les chefs de département que nous avons rencontrés, nous vous proposons d'échanger avec vous pour vous présenter les avancées et perspectives en télédétection dans le cadre du pôle Theia et voir comment il nous serait possible de contribuer à la rédaction des nouvelles versions de vos métaprogrammes.

Si votre réponse est positive nous vous soumettrons rapidement un doodle pour organiser cette discussion ou trouver d'autres modalités d'interaction à votre convenance.

Dans l'attente de vous lire

Bien cordialement

Pierre Maurel et Jean-Pierre Wigneron

Annexe 4 – Liste des CES et ART du pôle Theia

Tableau 1 : Liste des CES (Centre d'Expertise Scientifique)

1	<u>CES Albédo</u>
2	<u>CES Altitude de ligne d'équilibre glaciaire</u>
3	<u>CES Biomasse forestière et changement de couverture forestière</u>
4	<u>CES Cartographie et suivi des surfaces en eau</u>
5	<u>CES Cartographie numérique des sols</u>
6	<u>CES Couleurs des eaux continentales</u>
7	<u>CES Détection des changements génériques</u>
8	<u>CES Évapotranspiration</u>
9	<u>CES Hauteur des lacs et des rivières</u>
10	<u>CES Humidité de surfaces</u>
11	<u>CES Humidité du sol à THRS</u>
12	<u>CES Incendie</u>
13	<u>CES Irrigation</u>
14	<u>CES Occupation des sols</u>
15	<u>CES Paysage</u>
16	<u>CES Réflectance de surface</u>
17	<u>CES Risques maladies infectieuses</u>
18	<u>CES Surface enneigée</u>
19	<u>CES Température de surface et émissivité</u>
20	<u>CES Urbain</u>
21	<u>CES Variables biophysiques végétation</u>
22	<u>CES Variables pour la biodiversité</u>
23	<u>CES Volumes d'eau</u>

Tableau 2 : Liste des ART (Animation Scientifique Theia)

1	(i) <u>ART</u> <u>GeoDEV</u>
2	<u>ART GeoDEV Nouvelle-Calédonie</u>
3	<u>ART Île-de-France</u>
4	<u>ART Kalideos Alpes</u>
5	<u>ART Kalideos Bretagne</u>
6	<u>ART Kalideos Grand Est</u>
7	<u>ART Nouvelle Aquitaine</u>
8	<u>ART Occitanie</u>
9	<u>ART Sud</u>

Annexe 5 – Implication d’INRAE dans les CES Theia

CES	Contact	Phase	Implication INRAE
CES Albédo	J.-L. Roujean (CESBIO)	Expl.	Co-Coordination CESBIO & INRA EMMAH (A. Olioso)
CES Altitude de ligne d’équilibre glaciaire	A. Rabatel (CNAP-IGE)	Expl.	
CES Biomasse forestière et changement de couverture forestière	T. Le Toan (CESBIO)	Expl.	Implication de l'INRA ISPA (J-P Wigneron) avec le produit SMOS- IC L-VOD et d'Irstea TETIS (N. Baghdadi, D. Ho Tong Minh)
CES Cartographie et suivi des surfaces en eau	H. Yesou (Sertit, Strasbourg)	Expl.	
CES Cartographie numérique des sols	P. Lagacherie (INRA LISAH)	Expl.	Coordination INRA LISAH
CES Cartographie physiologique végét. nat. => CES « Variables pour la biodiversité »	S. Alleaume (Irstea, TETIS)	Expl.	Coordination Irstea TETIS
CES Couleur des eaux continentales	J.-M. Martinez (GET/IRD)	Proto.	
CES Détection des changements génériques	P. Gançarski (ICube, Strasbourg)	Expl.	Forte implication d'Irstea TETIS
CES Evapotranspiration	A. Olioso & V. Simonneaux (INRA EMMAH, CESBIO)	Expl.	Co-Coordination INRA EMMAH, CESBIO
CES Hauteur des lacs et rivières	Jean-François Cretaux (LEGOS Toulouse)	Prod.	
CES Humidité de surfaces	Yann Kerr (CESBIO)	Prod.	Forte implication de l'INRA ISPA (J-P Wigneron) avec le produit SMOS-IC
CES Humidité du sol à très haute résolution spatiale	N. Baghdadi (Irstea, TETIS)	Prod.	Coordination Irstea TETIS (N Baghdadi)
CES Incendie	Marielle Jappiot (Irstea, RECOVER)	Expl.	Coordination Irstea RECOVER (M. Jappiot)
CES Occupation des sols	Jordi Inglada (CESBIO)	Prod.	Forte implication INRA (CESBIO) avec V. Thierion et M. Fauvel et CIRAD TETIS (R. Gaetano)
CES Paysage	Sandra Luque (Irstea, TETIS) & Anne- Elisabeth Laque (IRD, EspaceDev)	Expl.	Co-coordination Irstea TETIS (S. Luque)
CES Réflectance de surface	Olivier Hagolle (CESBIO, CNES)	Prod.	
CES Risques maladies infectieuses	Annelise Tran, Cécile Vignolles, Nadège	Expl.	Co-coordination CIRAD TETIS (A.L. Tran)

	Martiny & Emmanuel Roux		
CES Surface enneigée	Simon Gascoin (CESBIO)	Prod.	
CES Irrigation	Valérie Demarez (CESBIO)	Expl.	
CES Température de surface et émissivité	Laure Roupioz (ONERA)	Expl.	Implication INRA EMMAF avec A. Oliosio
CES Urbanisation et artificialisation	Anne Puissant (Univ. Strasbourg)	Expl.	Participation Irstea TETIS (E. Barbe, R. Cresson, K. Osé)
CES Variables biophysiques végétation	Frédéric Baret & Marie Weiss (INRA EMMAH)	Proto.	Coordination INRA EMMAH
CES Volumes d'eau	Frédéric Frappart (CNRS, INRA ISPA)	Expl.	Co-Coordination CNRS INRA ISPA
Données In situ OZCAR	Isabelle Braud (Irstea LESSEM) & Sylvie Galle (IRD IGE)	Expl.	Co-cordination Irstea LESSEM (I. Braud)

Expl. = Exploratoire

Proto. = Prototypage

Prod. = Mise en Production

Annexe 6 – Extrait de la Convention CNES INRA

(Signée le 22 juillet 2019)

Préambule de l'annexe scientifique (Annexe 1)

Le CNES et l'INRA collaborent depuis de nombreuses années dans différents domaines de recherche impliquant l'usage des satellites. C'est notamment le cas dans le cadre de missions spatiales en lien avec l'observation de la terre selon différentes modalités : micro-ondes avec SMOS, optique avec SPOT/VEGETATION puis Venùs, ou plus récemment hyperspectral avec Hypxim et infrarouge thermique avec TRISHNA, mission proposée et portée par un chercheur INRA. Les travaux scientifiques associés à ces missions ont toujours bénéficié de l'appui des deux institutions dans le cadre de projets soutenus notamment par des stages, des thèses et des post-doctorats encadrés par des chercheurs implantés dans plusieurs unités INRA. Outre une abondante production scientifique sous forme de publications sur la biosphère continentale et son comportement sous l'effet du changement climatique et démographique, les méthodologies issues de ces recherches ont permis la synthèse d'informations biogéophysiques spatialisées, en relation avec la végétation, et en particulier avec l'agriculture.

Pour valoriser ces données, le CNES et l'INRA sont également impliqués en tant que co-partenaires de l'IR DATA TERRA dans le dispositif DINAMIS et dans le pôle de données et de services surfaces continentales Theia, qui regroupe 12 partenaires. Grâce à ses infrastructures (DINAMIS, IDS Theia) et aux Centres d'Expertises Scientifiques Theia, aux politiques publiques de suivi et de gestion des ressources environnementales, ce pôle met à disposition de la communauté scientifique nationale et internationale une vaste panoplie d'images à différentes échelles spatiales, des produits cartographiques et biophysiques, des données de calibration/validation de ces produits, ainsi que des méthodes et formations liées à l'observation des surfaces continentales, en particulier depuis l'espace. Par ailleurs, les réseaux d'Animation Régionale du pôle Theia (ART) constitue un espace de conversion de ces produits en applications innovantes, objectif visé tant par l'INRA que par le CNES. A ce titre, les deux organismes poursuivent le même objectif de transfert vers des opérateurs privés et institutionnels de nouveaux services intégrant le spatial.

A Toulouse, l'INRA a récemment renforcé sa présence au sein du CESBIO, dont le CNES est tutelle et qui est actuellement une USC INRA, par des recrutements de personnels permanents afin de permettre notamment le co-développement de chaînes de production de services opérationnels, stratégiques pour les enjeux de recherche de l'INRA (1) à court terme dans le domaine de l'agriculture, de la gestion des ressources au sein des territoires, de l'adaptation/atténuation des changements climatiques et de l'agroécologie (occupation des sols, variables biophysiques, réponse des couverts, par exemple vis-à-vis des stress climatiques ou biotiques) ; et (2) à moyen terme dans le domaine du suivi de la production et des services écosystémiques.

La fusion INRA/Irstea renforce également les compétences de l'INRA en télédétection au sein du pôle Theia, en particulier à Montpellier avec l'UMR TETIS au sein de la Maison de la Télédétection (et sa composante CIRAD sur les pays du Sud), mais aussi à Aix en Provence et Grenoble. Cette fusion conforte l'accès à l'imagerie satellitaire mobilisée dans les différentes fiches via DINAMIS, cogéré par le CNES, la MTD et IGN, et l'IDS-V2 GEOSUD au sein de l'IDS Theia pour des services de traitement d'image en ligne et la fabrication de produits thématiques.

Enfin, le CNES et l'INRA sont tous les deux membres du GIS IRISTA qui rassemble les organismes de recherche et d'enseignement supérieur présents en Guyane, ainsi que d'autres institutions intéressées par les activités de recherche.

Dans le contexte de la convention cadre liant le CNES et l'INRA, et sans préjuger de nouveaux développements possibles, les domaines de coopération prioritaires suivants ont été identifiés :

- Cartographie et suivi des services écosystémiques rendus par les sols
- Gestion de l'eau pour l'agriculture à l'échelle des territoires
- Utilisation des informations satellitaires pour l'hydrologie et l'hydraulique continentales
- Dynamique et gestion durable des écosystèmes forestiers à l'échelle régionale
- Dynamique et gestion durable des écosystèmes forestiers à l'échelle continentale
- Dynamique des agroécosystèmes dans un contexte de changements globaux
- Biodiversité, habitats, paysage, trames vertes et bleues
- Agriculture numérique
- Infrastructures de Données et Services pour l'agriculture, l'environnement et les territoires

Chacun de ces domaines fait l'objet d'une fiche dans laquelle sont détaillés le contexte, les enjeux et les actions à entreprendre.