

1. Introduction

Conscients de l'importance grandissante prise par les données spatiales et par la difficulté de maîtriser les outils modernes de leur traitement, nous avons mené une réflexion destinée à :

- faire émerger et soutenir des projets proposés en collaboration visant à fédérer les outils et les méthodes existantes pour traiter ces données,
- les faire progresser par un partage croisé d'expertise entre spécialistes des techniques concernées et thématiciens des applications,
- assurer le transfert de savoir-faire et d'expertise au bénéfice d'équipes SPU non spécialistes de la technique concernée,
- aider à l'identification des liens avec les agences et les industriels en vue de la valorisation des travaux.

Nous avons identifié un acteur clef sur le plateau, le Paris-Saclay Center for Data Science (CDS). Le CDS est un projet phare de l'IDEX Paris-Saclay, dont les objectifs sont très proches des nôtres. Nous nous sommes donc rapprochés de ce Lidex et des liens forts se sont tissés (réunions avec le porteur du projet, B. Kegl, inclusion des membres du GT dans les listes de diffusion du CDS, participation à la journée « Open Scientific Data », ...).

2. Enjeux principaux identifiés

Des enjeux communs aux sciences de la terre et de l'environnement et de l'astrophysique sont identifiés ci-dessous.

2.1 Reconnaissance de formes, indexation

Tous les systèmes d'observation, que ce soit en géoscience ou en astrophysique sont confrontés à des problèmes délicats de mesure, de caractérisation et de représentation des structures observées qu'elles soient morphologiques ou texturales : détermination de la structure de galaxies (IAS, CEA/AIM), caractérisation des structures de l'atmosphère solaire (IAS), détection de configurations stellaires spécifiques, suivi des formations nuageuses (LATMOS, LMD), classification et identification de formation géologiques ou pédologiques (LTCL, ONERA), caractérisation des surfaces planétaires (GEOPS), état de la mer et rugosité de surface (LATMOS), etc. Travaillant sur des données extrêmement diverses tant par le type d'imagerie formée (imagerie visible, Radar, TeraHertz, Infra-Rouge et spectro infra-rouge) que par la résolution et la complexité des données (multispectrales, vectorielles, multi-résolution, en échantillonnage régulier ou spécifique), ces problématiques ont recours à la fois à des techniques de traitement d'images pour la détection et la mise en évidence des configurations spécifiques de pixels (morphologie mathématique, filtrages, décompositions multi-échelles, décompositions dans des dictionnaires morphologiques, codage compressé, etc.), et à des méthodes statistiques avancées (méthodes a contrario, estimation paramétriques, ...), pour analyser les champs observés, en extraire les invariants et détecter les singularités. Ces études aboutissent naturellement à des techniques d'apprentissage automatique, supervisées ou non supervisées, pour identifier les catégories présentes, puis à l'indexation des masses de données pour en permettre l'usage futur. Si les méthodes stochastiques d'apprentissage automatique de type SVN s'imposent dans un

grand nombre de domaines, les méthodes à base de réseaux de neurones formels ou les méthodes plus structurales (approches linguistiques pour les chaînes de description, mise en correspondance de graphes, automates finis), prouvent encore leur puissance dans des cas spécifiques.

Collaborations : Collaboration intra-AIM pour l'analyse en composantes morphologiques pour Herschel.

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
- Expertise méthodologique dans SPU (AIM, LTCD), appliquée avec succès - Outils génériques disponibles dans SPU (AIM)	- Peu de collaborations pré-existantes dans SPU - Thématiques cloisonnées	- Intersection d'activités et d'applications nombreuses dans SPU	- Spécificités thématiques limitant l'intérêt d'outils génériques

2.2 Interopérabilité des données

Contexte : Données multisources (observatoires in-situ, télédétection sol, satellite), multicateurs, multi-paramètres. Dépôts de données géographiquement distribués. Volumétrie croissante des données.

- Besoin d'interopérabilité entre les dépôts de données

Pour répondre à la demande croissante de l'Open Data (projets européens, acteurs non-institutionnels : industriels, startup services climatiques, laboratoires d'autres disciplines travaillant sur les impacts, la gestion des ressources, etc.) les données doivent pouvoir être facilement découvertes, « moissonables » et accessibles.

- Besoin de standardisation des formats de données et des métadonnées, définition de thesaurus ou d'ontologies pour décrire les données,
- Besoin de développer ou d'implémenter des outils s'appuyant sur ces standards pour permettre la découverte, la moisson et l'accès aux données,
- Besoin de développer ou d'implémenter des outils permettant le *server-side processing* pour prétraiter ou réduire les masses de données rapatriées depuis les dépôts de données.

En géosciences, des outils ont été mis en place notamment pour la distribution des simulations climatiques du GIEC (Earth System Grid Federation). Des infrastructures de données (dépôts + outils de distribution) sont également développées pour servir dans le cadre de la gestion des données d'observatoires. Néanmoins, les services mis en œuvre sont principalement destinés à répondre aux besoins de la communauté thématique.

En astrophysique, l'existence d'un observatoire virtuel répond à ces besoins. L'observatoire virtuel astronomique est un projet international démarré au tournant de l'an 2000. Il s'agit d'un ensemble d'outils reposant sur des standards définis au niveau international (notamment pour l'échange d'images photométriques et de spectres simples), ainsi que sur des protocoles de partage d'information et constituant une couche d'accès à des données astronomiques et à des services disponibles en ligne (SAS, *software as a service*). Il a pour but de favoriser la recherche en astronomie sur les énormes quantités de données maintenant à disposition. D'autres standards sont en cours d'élaboration ou de validation et font l'objet de nombreuses réflexions au cours de réunions VO internationales. Sur le campus Paris-Saclay, l'IAS utilise l'outil CNES Sitools2 pour mettre à disposition ses données astrophysiques (solaires, cosmologiques) à travers des portails web tout en tirant parti des web services VO inclus dans cet outil pour interfacer les données avec le VO. Cette expérience peut être partagée au

sein de la communauté SPU. Une collaboration avec le CDS (Centre de Données de Strasbourg), référence en termes de VO, est aussi souhaitable pour tout acteur ayant la volonté d'interfacer ses données avec le VO.

Le Center for Data Science de Paris Saclay développe une plateforme (io.datascience-paris-saclay.fr) de Data-as-a-Service, basée sur les technologies du Linked Open Data. La plateforme peut être exploitée à plusieurs niveaux, du simple référencement à la création de Bases de données à la demande.

Ces problématiques sont donc communes aux sciences de la planète et aux sciences de l'univers. Elles interviendront également dans la mission de physique fondamentale MICROSCOPE, dirigée par l'ONERA et le CNES, qui doit contraindre le Principe d'Equivalence : l'ONERA est responsable du développement du Centre de Mission Scientifique de la mission, et donc de la diffusion la plus efficace possible de ses données.

SPU comme le CDS offrent une opportunité d'échange entre les communautés des sciences de la Planète et de l'Univers et les spécialistes des sciences de la donnée.

Ces problématiques sont reconnues au niveau international, citons par exemple :

- en géosciences : sessions Earth and Space Science Informatics de l'American Geophysical Union Fall Meeting et de l'European Geosciences Union General Assembly, workshop Earth System Science Portals (GO-ESSP),

- en astrophysique: International Virtual Observatory Alliance (IVOA) (<http://www.ivoa.net/>), euroVO (<http://www.euro-vo.org/>), NASA VO (<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/archive/vo/>).

Collaborations : Les laboratoires de l'IPSL (GEOPS, LATMOS, LMD, LSCE) disposent d'un serveur de données (ClimServ, <http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/>), lié également au pôle national ICARE.

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
- Laboratoires SPU déjà impliqués (portail WEB, observatoires virtuels: IAS, IPSL, ...), - Plateforme Center for Data Science (CDS) Paris Saclay.	- Moyens déjà dispersés, - Données propriétaires/Identification données en libre accès à partager.	- Problématiques communes sciences de la planète /sciences de l'univers, - Contexte "Open-Data" soutenu nationalement (défi MASTODONS) et internationalement (directive INSPIRE, IVOA...).	- Choix de standardisation à suivre - Concurrence infrastructures nationales/internationales ?

Autres liens utiles

Centre de données de Strasbourg : <http://cdsweb.u-strasbg.fr>

Research Data Alliance : <https://rd-alliance.org/>

Linked Open Data : <http://linkeddata.org/>

Standards de l'OGC : <http://www.opengeospatial.org/standards>

Journée open data du Centre for Data Science : <http://indico.lal.in2p3.fr/e/OpenScientificData>

2.3 Analyse de données multivariées

La complexité grandissante des capteurs dans le domaine spatial, que ce soit en Astrophysique (par exemple dans les missions Planck, Euclid), en Planétologie (Mars Express, Mars Reconnaissance Orbiter, Rosetta,...), en physique solaire (imagerie spectrographique et polarimétrique sur SOHO,

Hinode, SDO) ou en Géosciences (télétection aéroportée et spatiale) conduit à développer de nouvelles approches pour traiter des données de plus en plus complexes et hétérogènes : ainsi dans le cas de l'imagerie multispectrale ou hyperspectrale, à chaque pixel de l'image sont associées plusieurs valeurs, voire un spectre, constituant ainsi un « cube de données » à analyser. Ces données sont souvent hétérogènes, tant du point de vue des niveaux du signal, du bruit que de la résolution. Il peut également s'agir de traiter des données issues de multiples instruments (fusion de données), possédant également des résolutions spatio-temporelles et des conditions d'acquisition différentes (notamment l'échantillonnage). L'un des enjeux méthodologiques consiste à traiter de façon conjointe ces données hétérogènes (avec souvent des rapports "signal sur bruit" faibles) mais structurées. Plusieurs outils sont en développement, comme la séparation de sources, la visualisation en grande dimension, l'inversion massive de données.

Au delà des images multispectrales désormais classiques, certaines données sont multispectrales vectorielles (par exemple : images de polarisation observées par Planck à plusieurs longueurs d'onde), hyperspectrales multiangulaires (par exemple : images à différentes géométries d'acquisition de la même scène à plusieurs canaux spectraux observées par CRISM/Mars Reconnaissance Orbiter, images du Soleil dans plusieurs canaux spectraux et prises de différents points de vue avec STEREO et SDO). Ces données complexes nécessitent le développement d'algorithmes d'analyse particuliers.

Les applications et les problématiques méthodologiques associées sont donc nombreuses et spécifiques et ne peuvent se voir comme une simple extension du cas monovalué : 1) comment modéliser/représenter efficacement des données multivaluées 2) comment traiter conjointement des données hétérogènes 3) comment résoudre des problèmes inverses intrinsèquement multivalués posés par les applications. Cela recouvre également des problématiques de traitement de données scientifiques de grande taille, les « cubes de données » pouvant être constitués de plusieurs centaines de millions de valeurs pour les cartes Planck par exemple , ou de plusieurs dizaines de milliers d'images hyperspectrales, ayant chacune des millions de spectres pour les données CRISM sur Mars.

Ces enjeux, en particulier l'imagerie hyperspectrale, sont reconnus internationalement avec des workshops ou des sessions spécifiques sur ces sujets dans les grandes conférences internationales de traitement de données (par exemple IEEE WHISPERS, ICIP 2014, SIAM IS14, SIPW), font partie des thématiques clefs et font l'objet de présentations lors des conférences ou workshop en astrophysique (Cosmostat13, IAUS306 14, BASP13), en planétologie (LPSC, AGU, EGU) ou en géosciences (IGARSS).

Dans le SPU, des équipes contribuent internationalement aussi bien aux développements méthodologiques qu'à leur application sur des données réelles dans des problématiques scientifiques spécifiques, en astrophysique comme en géosciences.

En particulier, le laboratoire AIM/LCS du CEA a développé une expertise sur la représentation de données multivaluées (développement d'ondelettes polarisées sur la sphère, ondelettes sphériques 3D), sur les méthodes de restauration et séparation de sources basées sur la parcimonie (GMCA), qui ont été appliquées à des données astrophysiques (Planck, LOFAR, FERMI). Tous ces outils méthodologiques sont mis en ligne.

Le laboratoire GEOPS a développé des outils de traitements des images hyperspectrales de télétection pour la détection automatique de minéraux et glace en surface. D'autre part, l'équipe utilise les images hyperspectrales multi-angulaires pour contraindre la spectro-photométrie des surfaces planétaires afin de caractériser les matériaux constitutifs de Mars. Ces outils seront dans le futur

améliorés et appliqués à d'autres corps du système solaire. Aussi les analyses de spectres de l'instrument PFS par déconvolution aveugle est un axe majeur de développement méthodologique.

Le LSCE s'intéresse à des problématiques similaires de descente d'échelle, que ce soit pour la régionalisation de prévisions climatiques ou pour désagréger des données spatiales. Les approches développées reposent sur des techniques d'inversion statistique (Kallel et al., 2013) ou d'assimilation de données dans des modélisations physiques des signaux capables de représenter les signaux de plus fine échelle. Ces techniques ont été appliquées avec succès à des données thermiques kilométriques d'instruments géostationnaires comme Météosat et validées à des échelles hectométriques (Mechri et al., 2013). Les outils d'assimilation de type filtrage particulière sont disponibles pour la communauté.

Le LTCI a apporté des solutions originales en séparation de sources, en modélisation stochastique, en restauration, en fusion de capteurs multi-sources et multi-échelles.

Collaborations

- Collaboration AIM-LCS et LPSC-IN2P3 pour la séparation de source Planck
- Collaboration AIM-LCS et UCL (UK) pour la séparation de source en radio-interférométrie
- Collaboration GEOPS-IAS pour l'analyse des données hyperspectrales OMEGA
- Au sein de l'IPSL existe le groupe SAMA (Statistiques pour l'Analyse, la Modélisation et l'Assimilation, <http://sama.ipsl.jussieu.fr/>) composé d'experts en statistique des différents laboratoires de la fédération. Ce groupe organise des séminaires et a récemment recensé toutes les compétences de ce domaine représentées à l'IPSL dans le but également de favoriser des collaborations (http://sama.ipsl.jussieu.fr/Fr/events/surveys/DisplayResults/sama_survey_report.html).

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Expertise méthodologique au niveau international (AIM, IAS, LTCI) - Variétés de techniques abordées (séparation de sources, déconvolution aveugle, visualisation en grande dimension, fusion de capteurs) et variété d'approches méthodologiques - Outils génériques disponibles (AIM) 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu de collaborations préexistantes dans SPU - Développements cloisonnés par thématique 	<ul style="list-style-type: none"> - Variété d'applications dans SPU (AIM, GEOPS, LSCE, LTCI) - Champ actif reconnu nationalement (Defi CNRS Imag'in) et internationalement (conférences IEEE WHISPERS, IGARSS...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Spécificités thématiques limitant l'intérêt d'outils génériques

2.4 Haute résolution

Les hautes résolutions angulaires des capteurs offrent de nouvelles possibilités d'applications pour l'observation de la Terre (PLEIADES), des surfaces planétaires (HiRISE sur Mars) et du Soleil (SDO). La résolution au sol de ces instruments pose des problèmes de registration géographique absolue, de co-registration, afin de comparer avec d'autres jeux de données. Par ailleurs, une application potentiellement intéressante est la création de Modèles Numérique de Terrain (MNT) à haute résolution (de l'ordre du mètre) en utilisant la technique de stéréoscopie. Plusieurs logiciels existent mais

aujourd'hui aucun ne donne entière satisfaction. Enfin, la visualisation de tels jeux de données pose un véritable défi technologique à cause de la très grande taille des données.

Dans le Département SPU, des équipes contribuent internationalement aussi bien aux développements méthodologiques. Un projet développé à GEOPS consiste à développer un outil de visualisation et traitement en ligne de ces données de grande dimension. L'IAS souhaite contribuer à ce projet pour les données d'images hyperspectrales OMEGA de Mars. Par ailleurs, l'IAS contribue à la reconstruction stéréoscopique du Soleil. Le LTCI a une longue expérience des données à très haute résolution aussi bien dans le domaine visible qu'en Radar (en particulier pour caractériser la résolution ultime des capteurs) et a fourni les premières cartes d'incertitude sur la topographie à très faible base stéréo.

Collaborations : Collaboration GEOPS-IAS pour la mise en place d'un outil de visualisation des données hautes résolutions en ligne et système d'information géographique pour Mars.

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
- Contribution de laboratoires SPU au niveau international (GEOPS, IAS, LTCI)	- Peu de collaborations pré-existantes dans SPU - Développements cloisonnés par thématique	- Besoins dans toutes les disciplines d'outils de visualisation de gros volume de données	- Spécificités thématiques limitant l'intérêt d'outils génériques (par exemple Système d'Information Géographique)

2.5 Analyse de séries spatiales/temporelles

Les instruments géophysiques au sol ou spatiaux permettent d'accéder à des séries temporelles et spatiales de variables ou propriétés du système Terre/Atmosphère couvrant de longues périodes de temps (plusieurs dizaines d'années pour les données spatiales). Ces séries présentent souvent des intermittences, liées à des dysfonctionnements des capteurs ou à des phénomènes perturbateurs (exemple des nuages sur des données de température de surface) qu'il convient de filtrer et quelquefois d'interpoler de façon à produire des séries continues ou d'extraire des informations clés (exemple de l'estimation de la phénologie des couverts végétaux sur des séries discontinues et bruitées de réflectances de surface). Le LSCE a développé des techniques de filtrage et d'assimilation de données pour résoudre ce type de problèmes. Le LTCI s'est intéressé au contenu informationnel des séries temporelles et a proposé des techniques de reconnaissances de structures spatio-temporelles. Le LCS, s'appuyant sur des représentations parcimonieuses des données, a développé des outils d'inpainting pour restituer des données manquantes, notamment appliqués à l'étude du fond diffus cosmologique, pour l'hélio/astérosismologie et pour l'étude de l'effet de lentille gravitationnelle faible. L'ONERA (DMPH), dans le cadre de la préparation de l'analyse des données de la mission MICROSCOPE, développe des techniques permettant de s'affranchir du problème des données manquantes dans des séries temporelles dominées par un bruit fortement coloré : une technique, basée sur les outils inpainting du LCS, remplace les données manquantes ; une autre, basée sur une méthode autorégressive, adapte la méthode des moindres carrés au cas de données incomplètes.

Par ailleurs, la théorie du compressed sensing en analyse harmonique montre qu'il est parfois possible de restituer des signaux complexes, notamment leur plus hautes fréquences, lorsque les données sont insuffisamment échantillonnées. Des outils basés sur cette méthodologie ont été développés par le LCS et appliqués en radio-interférométrie, ainsi que pour la compression de données spatiales.

Collaborations :

- intra-SPU : ONERA/AIM pour la mission MICROSCOPE
- Collaboration intra-AIM pour l'inpainting appliqué en astérosismologie (CoRoT)

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Expertise méthodologique dans SPU dans une grande variété de thématiques (filtrage, assimilation de données, reconnaissance de structures, inpainting, compressed sensing) - Collaboration intra-SPU déjà existante (MICROSCOPE: ONERA/AIM) - Outils génériques dans SPU disponibles (AIM) 	<ul style="list-style-type: none"> - Développements cloisonnés par thématique 	<ul style="list-style-type: none"> - Problématiques communes SPU 	<ul style="list-style-type: none"> - Spécificité des applications limitant l'intérêt d'approches génériques ou provenant d'autres thématiques

2.6 Modélisation statistique. Modélisation d'instruments.

L'analyse et l'interprétation fiables de données acquises par un instrument passent tout d'abord par une bonne connaissance de cet instrument. En particulier, on doit être capable de le modéliser de plus en plus précisément. Ceci permet entre autres de pouvoir caractériser l'instrument, tant au moment de sa conception (caractérisation des performances spectrales et radiométriques nécessaires pour répondre à un cahier des charges), qu'après sa mise en opérationnelle pour définir les algorithmes d'inversion et/ou les caractéristiques réelles de l'instrument (bruit, ...) qui peuvent être très différentes de celles avant le vol (exemple instrument GOSAT de la JAXA).

Par exemple, l'ONERA, en tant que maître d'œuvre de l'instrument de la mission MICROSCOPE, et fournisseur des gradiomètres de la mission de géosciences GOCE, développe des outils de simulation des instruments.

De son côté, le LMD participe régulièrement (en collaboration avec le CNES) à la définition de futurs instruments (IASI, MICROCARB, lidar MERLIN, IASI-NG, ...). Pour qu'un instrument comme IASI-NG puisse tenter de répondre aux grandes questions climatiques, on doit pouvoir atteindre des précisions de plus en plus grandes (spectrales comme radiométriques) et couvrir des domaines de longueur d'ondes de plus en plus grands ce qui permet de faire de l'inversion multi-paramètres à partir du même capteur.

Dans le domaine de l'imagerie hyperfréquence, le LTCI a proposé un modèle unificateur des statistiques du signal Radar, permettant de décrire aussi bien les milieux naturels que les zones fortement anthropisées.

En règle générale, quel que soit le domaine étudié, plus la résolution spectrale est grande, et plus les phénomènes physiques à prendre en compte pour sa modélisation sont fins et compliqués. Dans ce cas, il faut introduire les équations physiques et les temps de calcul correspondants augmentent très souvent proportionnellement à la complexité incorporée dans le modèle.

Pour des applications satellitaires, en particulier dans le cadre de l'inversion, le temps de calcul est trop souvent rédhibitoire. On doit alors souvent recourir à l'élaboration de modèles rapides, voire hyper-rapides, mais pour lesquels les précisions de la modélisation ne doivent pas trop être dégradées. Dans ce cas, on utilise préférentiellement des méthodes statistiques.

Au final, le bon comportement en vol de l'instrument doit être vérifié lors des périodes de calibration/validation (dites CAL/VAL). Le LMD a une expertise dans ce domaine depuis de nombreuses années en ayant développé une chaîne quasi automatique complémentaire de celle développée par le CNES.

Collaborations : Groupe de travail international d'inter-calibration des instruments spatiaux GSICS (Global Space-based Inter-Calibration System) dont une des missions est de fournir à la communauté internationale la meilleure caractérisation des instruments possibles. Implication importante du LMD via la collaboration avec le CNES

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
- Expertise en conception/modélisation/simulation dans de nombreux laboratoires de SPU	- Pas de collaboration préexistante dans SPU	- Intersection de plusieurs groupements transverses dans SPU (Instrumentation, Traitement, Spatial)	- Développements algorithmiques très dépendants des thématiques abordées rendant difficile l'élaboration d'outils génériques

2.7 Data mining et Machine learning

Cet enjeu correspond à un champ d'investigation novateur et prometteur, que ce soit en astrophysique ou en géoscience. Certains laboratoires ont commencé à défricher le terrain et à utiliser ces nouveaux outils pour leur recherche (exemple d'une validation d'amas galactiques Planck avec une méthode de réseaux neuronaux à l'IAS). Le contexte du SPU GT serait l'occasion de faire un état de l'art dans ce domaine et de partager les compétences informatiques liées à la mise en place de ces outils (base de données NoSQL par exemple, bibliothèques dédiées Python comme Scikit-Learn développée par INRIA,...).

Dans le cadre de la validation d'amas de galaxies détectés par Planck, l'équipe MIC de l'IAS a effectué le développement de techniques utilisant des réseaux de neurones artificiels. Cette méthode de classification s'est révélée d'une grande efficacité. Au delà de la classification, les réseaux neuronaux peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes de régressions et ainsi adaptés dans un large spectre de type d'analyse de données.

Dans le cadre d'une collaboration avec le DLR et le CNES, le LTCI a développé un modèle complet de base de données d'images de télédétection à haute résolution (SPOT et Pleiades) s'appuyant, au niveau bas, sur une indexation par texture mais fédérant de façon hiérarchique le référencement jusqu'au niveau sémantique.

SWOT

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
- Laboratoires déjà impliqués dans le développement méthodologique (IAS, LTCI)	- Pas de collaboration préexistante dans SPU, collaborations à identifier - Pas d'outil générique en commun	- Champ récent et prometteur - Compétences dans d'autres départements de Paris-Saclay mobilisables (voir CDS)	

3. Positionnement des laboratoires par rapport enjeux identifiés

Type d'outil	Exemples d'applications scientifiques	Sujets de synergie	Labo(s) expert(s)	Labos potentiellement intéressés
<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaissance de formes - Indexation 	<ul style="list-style-type: none"> - Formes des galaxies - Filaments astrophysiques (soleil, galaxies..) - Nuages - Motifs géo-morphologiques terrestres et planétaires - Structures à fine échelle de la biosphère continentale 	<ul style="list-style-type: none"> Reconnaissance de formes, systèmes de classification, apprentissage Fusion de capteurs 	<ul style="list-style-type: none"> LTCI AIM 	<ul style="list-style-type: none"> LATMOS GEOPS LSCE IAS LAL LMD
<ul style="list-style-type: none"> - Analyse Multivariée 	<ul style="list-style-type: none"> Imagerie hyperspectrale Analyse de champs sur la sphère (Planck) Cartographie et modélisation des surfaces planétaires (Mars, Petits corps, Satellites glacés, Mercure) 	<ul style="list-style-type: none"> - Séparation de sources -Fusion de données -Fusions de modalités -Déconvolution spectrale (transfert radiatif) -GIS 	<ul style="list-style-type: none"> LTCI AIM GEOPS IAS 	<ul style="list-style-type: none"> ONERA LATMOS LMD
<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation statistique - Modélisation multi-échelle 	<ul style="list-style-type: none"> -Transfert radiatif -Etude des longues séries temporelles 	<ul style="list-style-type: none"> Simulation de mission Simulation de capteurs 	<ul style="list-style-type: none"> ONERA 	<ul style="list-style-type: none"> LTCI LMD
<ul style="list-style-type: none"> - Imagerie haute résolution - MNT - Tomographie 	<ul style="list-style-type: none"> - Milieux froids terrestres - Surfaces terrestre et planétaires - Reconstruction 3D du soleil 	<ul style="list-style-type: none"> Stéréo-reconstruction (+ altimétrie radar ou laser) Détection de signaux faibles 	<ul style="list-style-type: none"> LTCI IAS GEOPS 	<ul style="list-style-type: none"> LSCE
<ul style="list-style-type: none"> - Analyse de séries spatiales/ temporelles 	<ul style="list-style-type: none"> - Accélérations Microscope - Cartes du ciel Planck - Mesures atmosphériques perturbées par les nuages - Phénologie 	<ul style="list-style-type: none"> Données manquantes (inpainting, compressed sensing) Assimilation de données 	<ul style="list-style-type: none"> AIM ONERA LTCI LSCE 	<ul style="list-style-type: none"> LMD LATMOS IAS
<ul style="list-style-type: none"> - Interopérabilité, - Distribution et traitements en ligne 		<ul style="list-style-type: none"> Bases de données (SQL/NoSQL, outils génération automatique, indexation) - Observatoire virtuel - SITools2, plateforme web CNES de recherche/accès au données, MIZAR - Research Data Alliance 	<ul style="list-style-type: none"> IAS PRISM LRI 	
<ul style="list-style-type: none"> - Machine learning - Data mining 	<ul style="list-style-type: none"> - Validation des amas de galaxie via des réseaux de neurones artificiels 	<ul style="list-style-type: none"> Extraction de sources. 		<ul style="list-style-type: none"> IAS LAL LRI

4. Positionnement aux niveaux national et international

On évalue ici les forces en présence en termes de taille (unités, personnel) et d'activité dans le traitement des données spatiales en astrophysique et géosciences.

4.1 Niveau national

4.1.1 Observatoire Midi-Pyrénées

<http://www.obs-mip.fr/services-observation>

L'OMP est un Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) et regroupe des laboratoires de recherche en sciences de l'univers, de la planète et de l'environnement. Il regroupe 8 unités et environ 1000 personnes.

Il est responsable de centres et de services de traitement et d'archivage de données. Il a mis en place une action scientifique transverse « Analyse et traitement de données ».

4.1.2 Observatoire de Paris

<http://www.obspm.fr/>

L'Observatoire de Paris regroupe des laboratoires de recherche en astronomie, comprenant environ 600 personnes. Il gère de nombreuses bases de données et un Observatoire Virtuel (VO-Paris Data Center).

4.1.3 Observatoire de la Côte d'Azur

<https://www.oca.eu/>

L'OCA est un OSU et regroupe 4 unités de recherche en sciences de la terre et de l'univers et environ 450 personnes. Il abrite deux Observatoires Virtuels (OV), un en astronomie et un en géophysique.

4.1.4 Centre des Données astronomiques de Strasbourg

<http://cdsweb.u-strasbg.fr/index-fr.gml>

Le Centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS) est dédié au recollement et à la distribution dans le monde des données astronomiques et des informations associées. Pour cela il gère 3 bases de données interopérées :

- SIMBAD est la base de donnée mondiale des objets astronomiques et permet leur identification (7,7 millions d'objets, 19 millions d'identifieurs, 11 millions de références dans des journaux), Simbad a reçu en moyenne 506 000 demandes par jour en 2014.
- VizieR est le catalogue des catalogues et tables astronomiques publiés dans les revues scientifiques (il donne accès à 13 000 catalogues et 13 000 tables). VizieR a reçu, en moyenne 530 000 visites par jour en 2014.
- Aladin est un logiciel interactif d'analyse des images, des catalogues et des bases de données qui permet d'accéder aux données, les visualiser, en extraire de l'information et recouper des données issues de diverses sources. le logiciel Aladin a été activé en moyenne 3200 fois par jour en 2014

Le CDS est interfacé avec l'Observatoire Virtuel international VO. Il s'appuie sur les services de l'Observatoire de Strasbourg dont les points forts sont l'astronomie de position, l'observation des objets rares et la photométrie de nébuleuses.

4.1.5 RTRA Sciences et Technologie pour l'Aéronautique et l'Espace (Midi-Pyrénées)

<http://www.fondation-stae.net/>

Le RTRA Aéronautique et Espace de la Fondation STAE rassemble environ 800 chercheurs et enseignants-chercheurs et 25 laboratoires associés, incluant sciences pour l'ingénieur, sciences de la planète et de l'univers, physiciens, chimistes et mathématiciens. Il fonctionne sur deux modes : des chantiers (sur 2 ans) qui invitent à la constitution de communautés transdisciplinaires en vue de montage de projets (internes au RTRA ou vers l'ANR ou l'Europe), et des projets inter laboratoires (sur 3 ou 4 ans) en vue de la réalisation focalisées. Les domaines les plus couverts ces dernières années concernent : l'électronique et l'instrumentation de bord, la télédétection des ressources en eau, l'assimilation de données et les grandes masses de calculs, les drones et les nouvelles technologies de l'avionique. Le RTRA ne finance ni thèses ni matériel mais permet d'inviter des autorités scientifiques pour des séjours longs et de fixer des post-docs qui restent (à 75 %) dans la recherche locale. Bien interfacé avec le milieu industriel, le RTRA AE est entré en discussions avec l'IRT Saint Exupéry pour envisager un scénario de pérennisation de son futur. Le résultat le plus apprécié du RTRA AE est probablement son effet pour décroiser les grands acteurs du monde scientifique toulousain (OST, IMT, IRIT, ONERA, CIRIMAT, ISAE, LAPLACE, LAAS, IRAP, CERFACS, etc.).

Le RTRA s'inscrit dans un contexte toulousain très riche dans le domaine aéronautique et espace : Pôle de compétitivité Aerospace Valley, IRT SE, SATT, association TOMPASSE d'industriels, association TESA sur les communications spatiales, etc.

4.1.6 CNRS : mission interdisciplinaire défi MASTODONS

<http://www.cnrs.fr/mi/spip.php?article53>

Le CNRS soutient des actions de recherche interdisciplinaires traitant le problème des grandes masses de données scientifiques (stockage, extraction de connaissances, sécurité, ...).

Exemples de projets soutenus :

- Production, distribution et analyse des résultats de simulations climatiques
- Gestion et exploration des grandes masses de données scientifiques issues d'observations astronomiques grand champ

4.1.7 CNRS : défi Imag'In

<http://www.cnrs.fr/mi/spip.php?article645&lang=fr>

Le CNRS lance en 2015 un appel à projets centré sur l'imagerie (2D, 2D+t, 3D, multi/hyperspectrale ...) portant sur :

- la co-conception des systèmes d'imagerie (intégrant différents acteurs de l'exploitation d'un système d'imagerie, d'analyse dès la conception)
- l'imagerie multi-modale et la fusion de données
- la modélisation et le traitement d'images

4.1.8 CNES : Pôles thématiques

<http://smc.cnes.fr/Fr/terres.htm>

Le CNES et ses partenaires institutionnels mutualisent les efforts de mise à disposition la plus large possible des données d'observation de la Terre, en créant et développant des Pôles de Données. Ces Pôles sont associés à des thématiques : [ICARE](#) et [ETHER](#) pour l'atmosphère, [THEIA](#) pour les surfaces continentales. D'autres pôles sont en cours de création pour l'océan et la Terre solide.

4.2 Niveau international

L'objectif est ici de recenser quelques initiatives pour décrire le contexte international dans lequel s'inscrit le GT Traitement de données spatiales.

4.2.1 Center for Data Science and Technology / Science Data Understanding (JPL/Caltech - USA)

<http://datascience.jpl.nasa.gov>, <http://dus.jpl.nasa.gov/index.shtml>

Ce centre coordonne des activités de recherche et développement autour du traitement de données, menés ou non par la NASA, sur des thématiques telles que :

- des développement méthodologiques statistiques, des algorithmes de machine learning
- la visualisation de données
- des outils/technologies open source pour l'exploitation de données massives
- la préservation de données ...

Collaborant étroitement avec ce centre de données, le groupe *Science Data Understanding* de JPL travaille principalement en astrophysique comme en sciences de la planète sur :

- la modélisation physique et l'inversion
- la reconnaissance de forme, la fusion de données et l'analyse de données massives
- des observatoires virtuels, des systèmes d'information géographiques

4.2.2 Imperial Space Lab /Data Science Institute (Imperial College - UK)

<http://www3.imperial.ac.uk/data-science/research>, <http://www3.imperial.ac.uk/spacelab/research>

Le Data Science Institute est une organisation de l'Imperial College visant à coordonner des activités de recherche centrées sur le traitement de données (analyse statistique, modélisation, simulation, visualisation, big data...) pour des applications telles que l'astrophysique et les géosciences, via en particulier l'Imperial Space Lab qui regroupe des activités de recherche notamment en astrostatistiques et en analyse de données, visualisation pour l'astrophysique et les sciences de la Planète.

4.2.3 Mullard Space Science Laboratory (UCL - UK)

<http://www.ucl.ac.uk/mssl>

Ce laboratoire fait partie du département "Space and Climate Physics" de l'University College London et regroupe les thématiques astrophysique et géosciences. En particulier, les recherches couvrent les domaines de l'astrostatistique/l'astrophysique ainsi que l'imagerie pour les sciences de la Planète.

4.2.4 Berkeley Institute for Data Science (University of California, Berkeley - USA)

<http://bids.berkeley.edu/research>

Créé en 2013, cet institut vise à faciliter et entretenir des collaborations inter-disciplinaires pour résoudre des problèmes d'analyse de données avec des projets développés en particulier en astrophysique et en sciences de la Planète.

4.2.5 eScience Institute (University of Washington - USA)

<http://escience.washington.edu/who-we-are/2014-working-group-leadership>

L'astronomie et les sciences de la planète apparaissent dans de nombreux projets (à l'intérieur du working group) menés par cet institut regroupant notamment des experts en physique, astronomie, analyse de données, informatique. Parmi ceux-ci, le développement d'outils d'analyse de données massives en astronomie, en océanographie, et sur les problématiques de dépôts de données massives en ligne (<http://escience.washington.edu/what-we-do/projects>)

4.2.6 Group on Earth Observations

Le GEO (<https://www.earthobservations.org/index.php>) regroupe une centaine de pays autour de la mise à disposition de données d'observations de la Terre. Ce travail implique la création d'une infrastructure et l'adoption de standards techniques communs.

5. Analyse SWOT globale

Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Expertise très poussée et très variée de nombreuses équipes de SPU en traitement de données spatiales dans des champs spécifiques d'application, au meilleur niveau international - Présence sur le site d'acteurs du domaine des STIC et des maths appliquées, spécialistes du traitement de l'information spatiale - Présence dans les laboratoires de logiciels de traitement de données « génériques » pouvant bénéficier à l'ensemble du département SPU et servir de base à des développements conjoints - Existence de structures régionales et nationales dédiées au traitement et à la mutualisation de données (pôle de données avec service ClimServ et pôle spatial de l'IPSL, pôles thématiques du CNES et les centres d'expertise associés, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Enracinement thématique fort conduisant à une spécialisation très intense peu propice à une dissémination des outils développés - Peu de collaborations préexistantes entre sciences de la planète et de l'univers - Communautés internationalement assez cloisonnées contraintes à utiliser des outils et des formats spécifiques freinant l'interopérabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Proximité de problèmes méthodologiques rencontrés dans les différents laboratoires (traitement de données spatiales multivaluées, gestion de données manquantes, visualisation données de grande taille, ...) - Démarrage d'un LIDEX (le Center for Data Science) à vocation méthodologique mais très ouvert sur les applications et créateur de synergie - Prise de conscience de l'ensemble de la communauté de l'importance de fédérer les travaux (formats de données, logiciels, moyens de calcul) et démarrage d'initiatives pour amorcer le processus 	<ul style="list-style-type: none"> - La mise en place « d'usines à gaz » logicielles (la boîte à outils universelle) ou matérielle (Cloud + Big Data) - Au contraire, le repli sur soi des diverses équipes trouvant plus économique/efficace de développer chaque application sur place - Dispersion des forces sur des problématiques où l'intérêt scientifique du transfert d'expertise a été mal évalué

Principales publications de SPU

Reconnaissance de formes, Indexation

- E. Buchlin, C. Mercier, et J.C. Vial (2012). Automated detection of filaments from SDO data. *Understanding Solar Activity : Advances and Challenges*, EAS Publications Series 55, 175.
- M. Campedel et I. O. Kyrghyzov, (2012), Consensual Clustering for Land Cover Mapping, "IGARSS 2012", Munich.
- C.A. Deledalle, J. M. Nicolas, F. Tupin, L. Denis, R. Fallourd et E. Trouvé, (2010), Glacier monitoring: correlation versus texture tracking, "IGARSS2010", Honolulu, USA
- F. Dellinger, J. Delon, Y. Gousseau, J. Michel et F. Tupin, (2014), "SARSIFT: a SIFTlike algorithm for SAR images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*
- I. O. Kyrghyzov, H. Maître et M. Campedel, (2007), A method of clustering combination applied to satellite image analysis, "IEEE International Conference on Image Analysis and Processing ICIAP 2007", Modena, Italy, pp. 8186.
- H. Maître, (2007), L'indexation des très grandes bases de données satellitaires, "Traitement et Analyse de l'Information: Méthodes et Applications TAIMA'07", Hammamet (Tunisie).
- P. Palmeirim, Ph. André et al (2013), "Herschel view of the Taurus B211/3 filament and striations: evidence of filamentary growth?", *A&A*, 550 A38
- H. Sahbi, (2013), Interactive Image Change Detection "In the International Geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)".
- J.-L. Starck, M. Elad, and D.L. Donoho (2005), "Image Decomposition Via the Combination of Sparse Representation and a Variational Approach", *IEEE Transaction on Image Processing* , 14, 10, pp 1570--1582, 2005
- D.P. Vo et H. Sahbi, (2013), Semantic Subspace Learning for Mental Search in Satellite Images, "In the International Geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)".
- D.P. Vo et H. Sahbi, (2013), Spacious: An Interactive Mental Search Interface, "SIGIR".
- G.S. Xia, J. Delon et Y. Gousseau, (2010), "Shapebased Invariant Texture Indexing", *International Journal of Computer Vision*, vol. 88, n° 3, pp. 382403

Analyse de données multivariées

- Bobin, J. , Sureau,F., Starck, J.L. A. Rassat and P. Paykari, Joint *Planck* and WMAP CMB map reconstruction (2014), *Astronomy & Astrophysics*, 563 A105
- Bobin, J. Y. Moudden, J. Fadili, & J.L. Starck (2009). Morphological diversity and sparsity for multichannel data restoration. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 33(2), 149-168.
- Bobin, J. Starck, J. L., Moudden, Y., & Fadili, M. J. (2008). Blind source separation: the sparsity revolution. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 152, 221-302.
- Kallel., A., C. Ottlé, S. LeHégarat, D. Courault, F. Maignan, 2013, Surface temperature downscaling from multi-resolution instruments based on MAP criterion and Markov models, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sen.*, vol.51, no.3, pp.1588-1612, March 2013, doi: 10.1109/TGRS.2012.2207461.
- R. Mechri , C. Ottlé, O. Pannekoucke and A. Kallel, Genetic Particle Filter application to Land Surface Temperature downscaling, *Journal of Geophysical Research - Atmosphere*, DOI: 10.1002/2013JD020354.
- F. Schmidt, Legendre, M. & Le Mouëlic, S. (2014), « Minerals detection for hyperspectral images using adapted linear unmixing: LinMin», *Icarus*, , 237, 61-74
- F. Schmidt, Shatalina, I., Kowalski, M., Gac, N., Saggin, B. & Giuranna, M. (2014), « Toward a numerical deshaker for PFS», *Planetary and Space Science*, , 91, 45-51

- Schmidt, F., Schmidt, A., Treguier, E., Guiheneuf, M., Moussaoui, S. & Dobigeon, N. (2010), « Implementation Strategies for Hyperspectral Unmixing Using Bayesian Source Separation », *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, , 48, 4003-4013
- Schmitt, J., Starck, J. L., Casandjian, J. M., Fadili, J., & Grenier, I. (2012). Multichannel Poisson denoising and deconvolution on the sphere: application to the Fermi Gamma-ray Space Telescope. *Astronomy & Astrophysics*, 546, A114.
- Starck, J. L., Fadili, J. M., Digel, S., Zhang, B., & Chiang, J. (2009). Source detection using a 3D sparse representation: application to the Fermi gamma-ray space telescope. *Astronomy and Astrophysics*, 504, 641-652.
- E. Trouvé, J. M. Nicolas, L. FerroFAMIL, M. Gay, V. Pinel, M. P. Doin, N. Méger, C. Lasserre, G. Mauris, F. Vernier, R. Fallourd, Y. Yan, O. Harant et R. Jolivet, (2012), "EFIDIR : extraction et fusion d'informations pour la mesure de déplacements par imagerie radar", *Traitement du signal*, vol. 28, n° 3/4, pp. 375416.
- Y. Wang, C.Z. Han et F. Tupin, (2010), "PolSAR Data Segmentation by Combining Tensor space cluster analysis and Markovian framework", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 7, n° 1, pp. 210 214 .

Haute résolution

- Bertin, Emmanuel; Pillay, Ruven; Marmo, Chiara (2015), "Web-Based Visualization of Very Large Scientific Astronomy Imagery", *Astronomy & Computing*, [Volume 10](#) April 2015, Pages 43–53
- J. Carter, D. Loizeau, N. Mangold, F. Poulet, J.-P. Bibring (2015) "Widespread surface weathering on early Mars: A case for a warmer and wetter climate", *Icarus*, 248, 373–382
- M. Delbraccio, A. Almansa, P. Musé et J.M. Morel, (2012), "Subpixel Point Spread Function Estimation from Two Photographs at Different Distances", *SIAM Journal on Imaging Science*, vol. 5, n° 4, pp. 12341260.
- Jouannic, G., Gargani, J., Costard, F., Ori, G. G., Marmo, C., Schmidt, F. & Lucas, A. (2012), « Morphological and mechanical characterization of gullies in a periglacial environment: The case of the Russell crater dune (Mars) », *Planetary and Space Science*, 71, 38-54
- Marmo, Chiara - Development of a planetary Web GIS at the "Photothèque Planétaire" in Orsay - in ADASS XXI, edited by P. Ballester, & D. Egret (San Francisco: ASP), Vol. 461 p.411, 2012
- N. Sabater, A. Almansa et J.M. Morel, (2012), "Meaningful Matches in Stereovision", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, n° 5, pp. 930942.
- Y. Traonmilin, S. Ladjal et A. Almansa, (2012), "On the amount of regularization for superresolution reconstruction", *IEEE Transactions on Image processing*, pp. 9.
- J. Preciozzi, P. Musé, A. Almansa, S. Durand, B. Rougé, F. Cabot, Y. Kerr et A. Khazaal, (2012), Sparsitybased restoration of SMOS images in the presence of outliers, "Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International", Munich, Germany, pp. 35013504.

Analyse de séries spatiales/temporelles

- Q. Baghi, J. Bergé et al, "Regression analysis with missing data and unknown colored noise : application to the MICROSCOPE space mission", in prep
- N. Barbey, M.Sauvage, J.-L. Starck, and R. Ottensamer, "Feasibility and performances of compressed-sensing and sparse map-making with Herschel/PACS data", *Astronomy and Astrophysics*, 527, 102 , 2011.

- Benavides Pinjosovsky, H.S., C. Ottlé, S. Thiria, J. Brajard, F. Bradran and P. Maugis, Land Surface Temperature Variational Assimilation within the ORCHIDEE Continental Surface model, *submitted to Geoscience Model Development Discussion*.
- J. Bergé, S. Pires et al, "Correcting for missing data in colored noise: an inpainting application to the MICROSCOPE space mission", in prep.
- D. Cerra, A. Mallet, L. Gueguen et M. Datcu, (2010), "Algorithmic Information TheoryBased Analysis of Earth Observation Images: An Assessment", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 7, n° 1, pp. 1318
- F. Dellinger, J. Delon, Y. Gousseau, J. Michel et F. Tupin, (2014), Change detection for high resolution satellite images, based on SIFT algorithm and a contrario approach, "IGARSS", Qubec, Canada.
- R. Fallourd, O. Harant, E. Trouvé, J. M. Nicolas, M. Gay, A. Walpersdorf, L. Bombrun, G. Vasile, N. Cotte, F. Vernier, F. Tupin, L. Moreau et Ph. Bolon, (2011), "Monitoring Temperate Glacier Displacement by MultiTemporal TerraSARX Images and Continuous GPS Measurements", *IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*, vol. 4, n° 2, pp. 372386.
- Garsden H., Girard J. N., Starck J. L et al, "LOFAR Sparse Image Reconstruction", *Astron. Astrophys.* (submitted), 2014
- L. Gueguen et . Datcu, (2008), "A similarity metric for retrieval of compressed objects : application for mining satellite image time series", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering ISSN10414347*, vol. 20, n° 4, pp. 562575
- C. Le Men, A. Julea, N. Méger, M. Datcu, P. Bolon et H. Maître, (2008), Radiometric Evolution Classification in a High Resolution Satellite Image Time Series (STIS), "ESAEUSC on Image Information Mining: pursuing automation of geospatial intelligence for environment and security", Frascati, Italy.
- P. Lopez Quiroz, M. P. Doin, F. Tupin, P. Briole et J. M. Nicolas, (2009), "Time series analysis of Mexico city subsidence constrained by radar interferometry", *Journal of Applied Geophysics*.
- Maignan, F., Bréon, F.-M., Bacour, C., Demarty, J., and Poirson, A.: Interannual vegetation phenology estimates from global AVHRR measurements: comparison with in situ data and applications, *Remote Sens. Environ.*, 112, 496–505, 2008.
- S. Pires, J.-L. Starck et al, "FASTLens (FASt STatistics for weak Lensing) : Fast method for Weak Lensing Statistics and map making", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)* , 395, 3, pp. 1265-1279, 2009
- J.-L. Starck, A. Rassat, and M.J. Fadili, "Low-l CMB Analysis and Inpainting", *Astronomy and Astrophysics* , 550, A15, 2013.
- Xin Su, C.A. Deledalle, F. Tupin et H. Sun, (2014), Change Classification of MultiTemporal SAR Series by Generalized Likelihood Ratio Test, "IGARSS", Quebec, Canada.

Modélisation statistique. Modélisation d'instruments

- Crevoisier C., et al Towards IASI-New Generation (IASI-NG): impact of improved spectral resolution and radiometric noise on the retrieval of thermodynamic, chemistry and climate variables. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* 6, 11215-11277 [doi:10.5194/amtd-6-11215-2013](https://doi.org/10.5194/amtd-6-11215-2013) (2013)
- J. M. Nicolas, G. Quin et B. PinelPuységur, (2013), Application des lois de Meijer à l'imagerie RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) : Calcul d'images "multivues géométriques", "GRETSI 2013", Brest, France.
- G. Quin, B. PinelPuységur et J. M. Nicolas, (2013), Etude des moyennes temporelles en imagerie radar, "GRETSI 2013".

Data mining et Machine learning

- Aghanim, N.; Hurier, G. et al. (2014), "The Good, the Bad and the Ugly: Statistical quality assessment of SZ detections", Accepted by A&A, arxiv: 1409.6543
- J.B. Bordes et H. Maître, (2007), Semantic annotation of satellite images, "5th International Conference on Machine Learning and Data Mining MLDM 2007, (Perner Ed, LNAI, 4571)", Leipzig (Germany), vol. 2, pp. 120133
- M. Lienou, M. Datcu et H. Maître, (2010), "Semantic Annotation of Satellite Images using Latent Dirichlet Allocation", *IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters*, vol. 7, n° 1, pp. 2832.