

INVESTISSEMENTS D'AVENIR

Discipline :
Sciences de la Terre, Univers, Espace

SYNTHESE THEMATIQUE

1. LES PROJETS EN STUE

La thématique « Système Terre, Univers, Espace » (STUE) compte 12 Equipex et 17 Labex, soit environ 10% de chacune de ces actions. Il s'y est rajouté ces dernières années 22 projets des programmes prioritaires de recherche MOPGA (52% de l'action) et 3 projets EUR (10% de l'action).

Seulement 2 responsables scientifique et technique sur 17 Labex, 1 sur 12 Equipex, 1 sur 3 EUR, sont des femmes, ainsi que 4 sur 22 bénéficiaires de projets MOPGA. On peut utilement comparer cette proportion à celle des 14 directrices sur 104 d'unités de recherche ou de service du CNRS-INSU, dont le périmètre scientifique correspond au domaine STUE.

1.1. Les Equipex

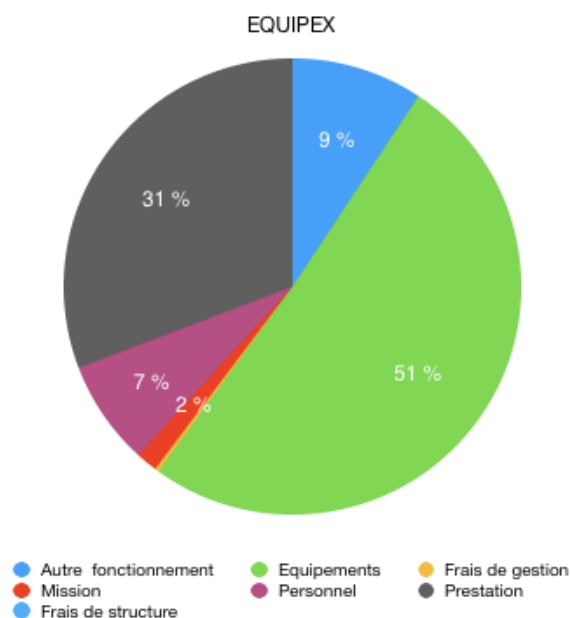
La communauté scientifique STUE est par nature structurée autour de grands instruments, qu'ils soient au sol, embarqués ou spatiaux, dont la plupart s'inscrivent dans des collaborations à l'échelle européenne ou mondiale. Dans ce contexte le programme Equipex du PIA a donc très majoritairement permis, de financer la création, le renouvellement ou l'expansion de grands instruments ou de plateformes instrumentales engagés dans de larges programmes internationaux, souvent inscrits, ou ayant vocation à l'être, sur la feuille de route des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR) du MESRI et s'étendant via l'ESFRI à l'échelle européenne, voire à des grands programmes internationaux. De plus les Equipex concernés par le Système Terre intègrent la gestion de leurs données dans l'Infrastructure de Recherche DATA TERRA, qui regroupe les quatre pôles d'observation du système Terre pour les océans (ODATIS), les surfaces continentales (THEIA), l'atmosphère (AERIS) et Terre solide (FORMATER).

On trouvera en annexe la liste des projets Equipex du domaine STUE indiquant leur objectif, l'établissement porteur et le montant de l'aide allouée. Leurs thématiques principales sont réparties entre l'étude du climat (ASTER-CEREGE, CLIMCOR, Microcarb), de la Terre profonde (PLANEX, RESIF-CORE), des surfaces continentales et de l'environnement (CRITEX, GEOSUD), de l'océan et l'atmosphère (IAOOS, NAOS, THALASSA) et de l'Univers (NOEMA). De leur côté ASTER-CEREGE, Eco-X, et PLANEX se situent plus en amont en tant que plateformes fournissant des données physico-chimiques importantes pour l'exploitation scientifique de ces infrastructures.

Enfin deux Equipex, tout en ayant des objectifs scientifiques propres, présentent un enjeu important d'information des autorités publiques dans le contexte d'accords intergouvernementaux : Thalassa, concernant la définition des quotas de pêche de l'Union Européenne, et Microcarb, concernant le suivi des engagements sur les émissions de gaz à effet de serre ; bien qu'il s'agisse seulement d'un démonstrateur pour une future mission dans le cadre du programme Copernicus de l'Union Européenne, Microcarb pourrait être le seul système assurant une couverture mondiale dans la période 2022-2024 (on peut noter que le projet SCARBO du Labex FOCUS a indépendamment développé des détecteurs miniaturisés, moins performants mais très complémentaires puisqu'ils pourraient être embarqués sur une flotte de nanosatellites permettant une permanence de l'observation). Il faut enfin signaler que plusieurs projets devraient aider à une meilleure estimation/prévision de certains risques naturels, l'exemple le plus immédiat étant celui du risque sismique avec RESIF-CORE.

Soutenus pour des durées moyennes de 8 à 9 ans, les projets comportent de 3 à 42 partenaires (moyenne 7,6). Ils associent principalement quatre Universités (AMIDEX, Sorbonne Université, UGA, Orléans), dont 3 IDEX, au CNRS (3), à l'IFREMER (2), l'IRSTEA (1), l'IRAM (1) et au CNES (1). Ils ont rencontré des difficultés diverses, allant des délais administratifs pour conventionner 42

établissements sur un même projet, à des aléas dans l'installation ou à des retards chez les fournisseurs et sous-traitants. Ils ont donc tous demandé, et obtenu du Comité de Pilotage, des prolongations de tranche 1 (investissement) de 12 à 57 mois ; cinq projets ont obtenu des reports de la fin de tranche 2 (début d'exploitation scientifique) de 12 à 36 mois. Les projets bénéficient d'une dotation globale de 179 M€ (dont 87.2 pour le seul projet Microcarb), dont 164 M€ pour la tranche d'investissement. 147,7 M€ ont été décaissés par l'ANR et 91,4 M€ ont été dépensés. La figure ci-dessous montre la répartition entre les différentes rubriques de dépenses.



Les postes de dépenses des Equipex

1.2. Les Labex

Les 17 Labex du domaine STUE sont présentés en Annexe, avec leur objectif scientifique et le montant de l'aide allouée. Dix ont fait l'objet d'une évaluation par le jury international en 2018, menant à une décision ou non de prolonger sur une période de 5 ans leur financement par les intérêts des dotations non consommables.

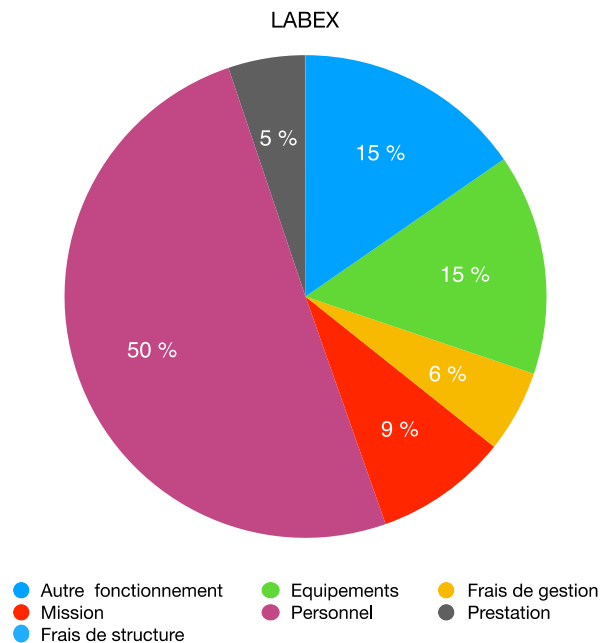
Cinq autres Labex n'étaient pas concernés car intégrés dans des EUR (Labex MER dans ISBlue, L-IPSL dans IPSL-CGS) ou des IDEX dévolues (G-EAU-TERMIE PROFONDE dans Université de Strasbourg, ILP dans Sorbonne Université, OCEVU et OTMED dans Aix-Marseille Université). Enfin, deux labex (P2IO et LIO), associant tous deux des équipes de recherche en astrophysique et en physique corpusculaire, ont demandé en 2018 à être évalués en physique dans le domaine SMI, plutôt qu'en STUE (il semble que cela soit dû en partie à une confusion avec le changement de répartition des sous-jurys de l'appel à projets générique de l'ANR).

Sur ces dix Labex, un n'a pas été renouvelé ; les neuf autres l'ont été pour la période 2020-2024, mais trois ont fait l'objet de recommandations fortes du jury, qui leur a demandé un plan d'action faisant l'objet d'un suivi particulier.

On peut noter que de manière générale ces Labex, comme les Equipex de la discipline, se situent dans le contexte d'exploitation scientifique ou de préparation de grands programmes internationaux

menés par des organismes comme le GIEC, les agences spatiales (ESA, NASA, JAXA), les observatoires au sol (ESO, IRAM, CFHT, ALMA, HESS/CTA).

Les Labex du domaine STUE ont bénéficié d'une dotation globale de 144,5 M€ ; 110,4 M€ ont été décaissés par l'ANR et 107,11 M€ ont été dépensés. La figure ci-après montre la répartition entre les différentes rubriques de dépenses.



Les postes de dépense des Labex

Les projets comportent de 3 à 12 partenaires (moyenne 7). Tous les Labex sont portés par des universités dont 11 « in Idex » (dont 6 dévolus), 3 « in ISite », et 3 inclus dans des EUR (dont L-IPSL, initialement porté par le CNRS et repris par Sorbonne Université dans le cadre de l'EUR IPSL-CGS).

Des relations industrielles ont été établies avec des TPE/PME. C'est par exemple le cas de CLERVOLC pour son expertise géologique des terrains volcaniques en France et à l'étranger, de G-EAUTHERMIE PROFONDE avec les compagnies d'électricité strasbourgeoises en relation avec la géothermie haute température, de L-IPSL pour la mise en place de services climatiques disponibles à l'ensemble de la communauté académique et opérationnelle, et d'OTMED pour la gestion environnementale des pays méditerranéens. Des interactions sont aussi établies avec des groupes à dimension internationale comme EDF, ERAMET, SAFRAN, SOLVAY, SUEZ Environnement, TOTAL, VEOLIA.

1.3. Les EUR

Trois Ecoles Universitaires de Recherche relèvent du domaine STUE ; les trois projets sont présentés en Annexe avec leur thématique et le montant de l'aide allouée. Ils représentent une aide cumulée de 38,4 M€, dont 6,1 M€ ont été décaissés et 0,54 M€ dépensés.

Comme dans les domaines SHS et Agro-Eco, la stratégie des EUR lauréates en STUE a été d'intégrer les Labex de leur périmètre (ceux intégrés dans H2O'Lyon sont extérieurs au domaine STUE). Les projets retenus par le jury ont le point commun de concentrer des approches multidisciplinaires en

recherche comme en formation sur un objet identifiable : les eaux continentales pour H2O'Lyon, le climat pour IPSL-CGS, la mer pour ISBlue.

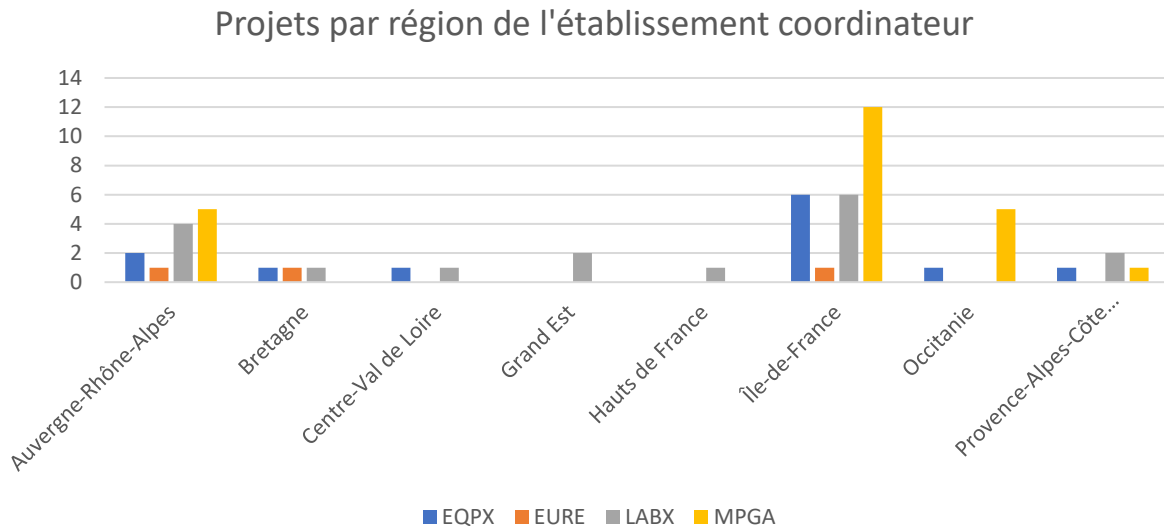
L'école de Lyon intègre l'ingénierie hydraulique (Ecole centrale, INSA, IRSTEA), les sciences sociales et l'aménagement du territoire en passant par les sciences naturalistes (géographie, géologie, hydrologie, écologie). De la même manière ISBlue intègre SHS, politiques environnementales, littoraux, océan profond, exploration, etc. IPSL-CGS est en grande partie focalisé sur la modélisation, les impacts sociétaux du changement climatique, mais aussi sur les archives géologiques du climat.

1.4. Les MOPGA

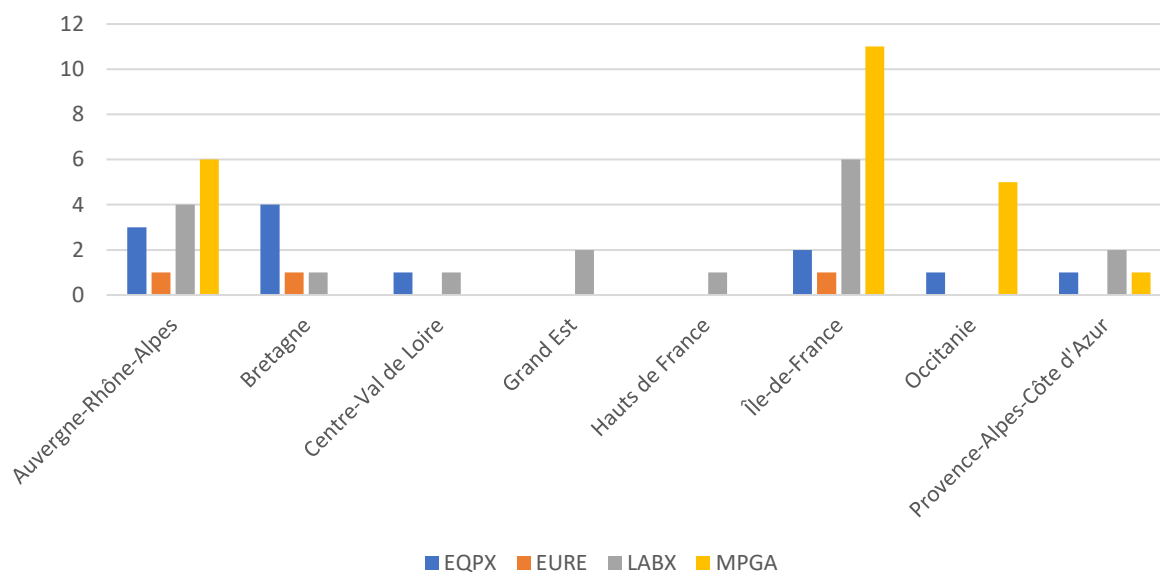
Dans le domaine STUE, 22 chaires MOPGA ont été financées pour un apport total du SGPI de 13,3 M€ et un budget total de 32 992 831€ en raison de la règle du 1€ apporté par le PIA nécessitant un apport d'au moins 1€ par l'établissement porteurs et ses partenaires. 3,9 M€ ont été décaissés par l'ANR et 0,4 dépensés. La figure 3 montre la répartition de ces dépenses.

12 lauréats sont des chercheurs juniors et 10 des chercheurs seniors. Onze projets sont localisés en région parisienne, 5 en Auvergne Rhône-Alpes, 5 en Occitanie et 1 en PACA. 12 sont portés par le CNRS, 3 par le CEA, 2 par l'IPGP et 2 par Sorbonne Université, 1 par l'IRD, 1 respectivement par l'UPEC et l'Université Paris Sud.

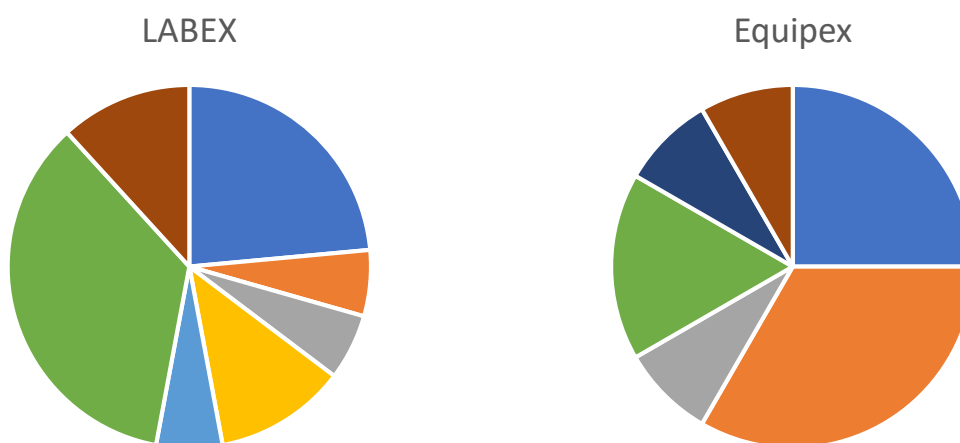
2. REPARTITION GEOGRAPHIQUE

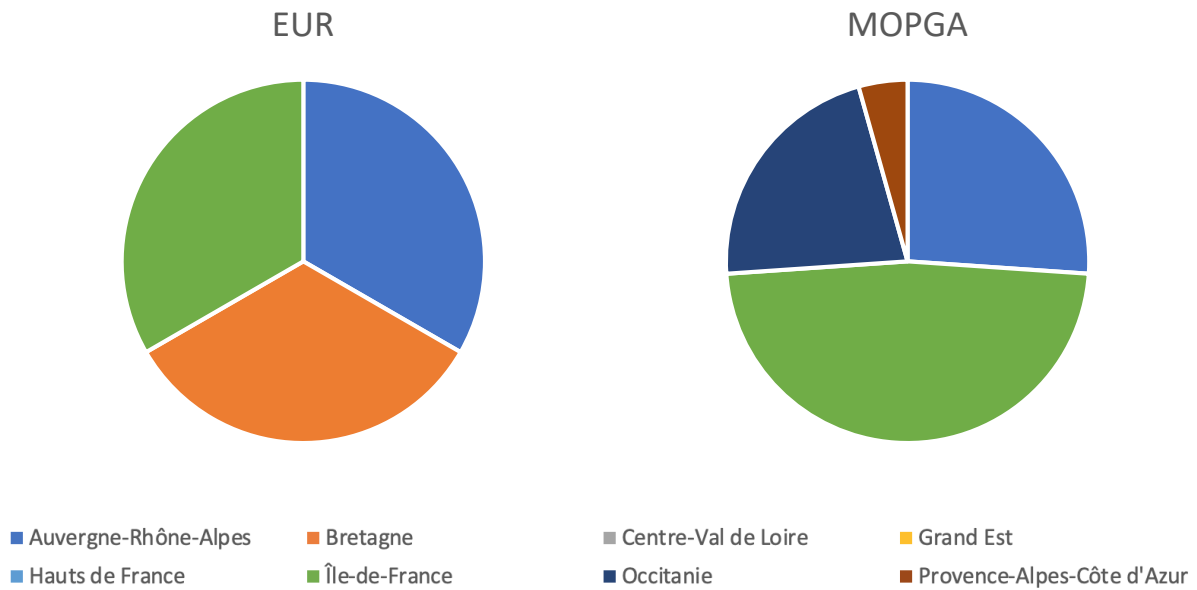


Projets par région du RST

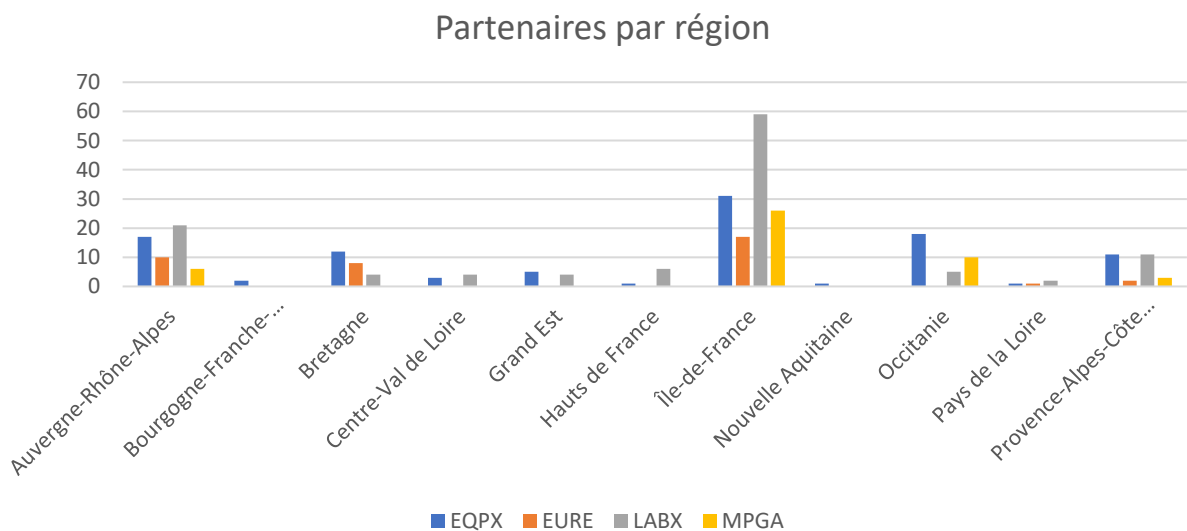


Les projets sont répartis dans 8 régions. Les 2 régions Ile-de-France et Auvergne-Rhône-Alpes représentent respectivement (par porteur du projet) 25 et 17% des Equipex, 23 et 35% des Labex, 26 et 48% des EUR. On peut estimer que les six autres régions tiennent une place correspondant à leur poids dans la discipline, sauf l'Occitanie qui ne porte qu'un Equipex et aucun Labex ; son attractivité scientifique lui permet cependant de retrouver son rang (environ 20%) pour les MOPGA.





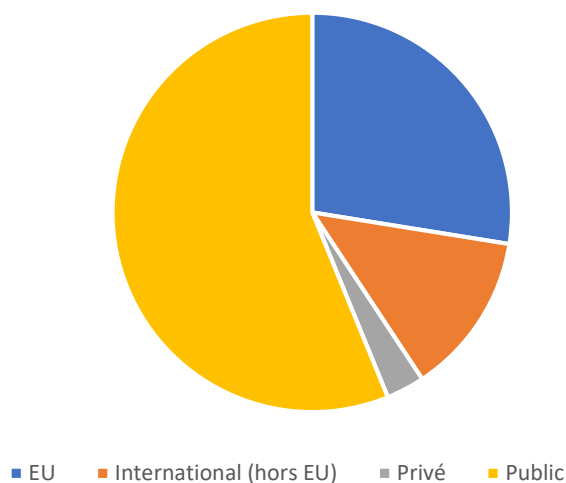
Les partenaires des projets sont présents dans 11 régions. Les équilibres sont sensiblement les mêmes, et permettent également à l'Occitanie de représenter environ 20% du total.



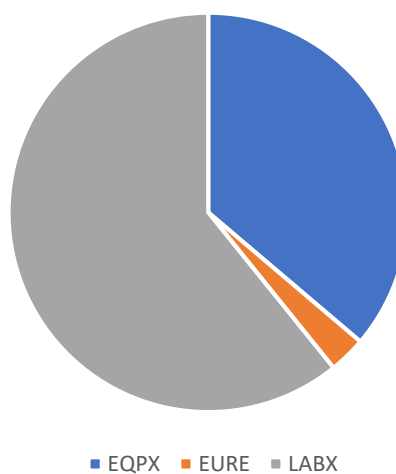
3. COFINANCEMENTS

Les projets (Labex, Equipex et EUR) ont obtenu des cofinancements pour 176 M€, à comparer à leur dotation conventionnée de 375,2 M€. Les figures ci-dessous montrent leur répartition par origine et par action.

Cofinancements par origine



Cofinancements par action



4. INTERDISCIPLINARITE

L'interdisciplinarité des projets s'articule à différents niveaux : il peut s'agir de recherches traversant les frontières traditionnelles à l'intérieur du domaine STUE (par exemple l'interaction entre le changement climatique et les écosystèmes, ou les domaines émergents comme la géologie ou l'atmosphère des exoplanètes, ou depuis plus longtemps les astroparticules) ; de travaux associant des champs thématiques différents (par exemple STUE avec les SHS sur les risques environnementaux ou l'économie des ressources ; ou Plas@par avec différents domaines de physique des plasmas) ; de fertilisation mutuelle, important dans un domaine des outils et méthodes développés dans un autre (par exemple l'utilisation de détecteurs de particules élémentaires pour sonder au plus profond la structure interne de la Terre) ; ou de développements instrumentaux à la frontière des technologies (FOCUS).

L'interdisciplinarité des Equipex est faible puisqu'il s'agit d'instruments ou de plateformes destinés à une exploitation scientifique précise ; une exception notable est l'Equipex Planex, qui unit les compétences instrumentales des géologues et des physiciens des matériaux pour développer des enceintes instrumentées à haute pression et haute température, pour des expérimentations concernant aussi bien l'étude des magmas que celle de matériaux innovants.

L'interdisciplinarité interne à STUE est naturelle pour les Labex tels qu'OSUG@2020, Clervolc, Voltaire, L-IPSL, appuyés sur les Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU), structures d'enseignement et de recherche associant le CNRS-INSU et les universités et comprenant des laboratoires centrés sur les différents domaines scientifiques de STUE. Elle l'est aussi pour les Labex associant des laboratoires de physique corpusculaire et d'astrophysique (P2IO, LIO, UnivEarthS).

De manière générale les Labex définissent, pour les soutenir préférentiellement voire exclusivement, les projets interdisciplinaires comme ceux qui associent des équipes de laboratoires différents. Cela recouvre souvent des collaborations pré-existantes entre laboratoires aux thématiques proches ; mais on observe aussi, lorsque l'animation scientifique et le processus de sélection en donnent l'occasion, une créativité réelle permise par le rapprochement des cultures et par la possibilité de soutenir des projets innovants de manière plus agile que les appels à projets nationaux ou européens.

5. LES APPORTS DU PIA A LA DISCIPLINE

L'action Equipex a fourni des moyens importants et permis, dans les domaines concernés, d'amener, de ramener ou de maintenir les scientifiques français au meilleur niveau mondial. L'évaluation menée en 2017 a permis au jury de remarquer que dans de nombreux cas cela menait à des équipements innovants, parfois uniques en Europe, mis en œuvre par des équipes très bien structurées – ce que l'on peut certainement relier à la pratique déjà bien établie de grands projets instrumentaux, qu'ils soient centrés sur de très grands instruments ou sur des réseaux d'observation des milieux naturels. Malgré les nombreux retards, le jury pouvait donc constater dès 2017 que les Equipex de la discipline avaient tous démontré une utilisation effective et réfléchie des montants obtenus, et que la sélection initiale pouvait donc être considérée comme un réel succès. En termes d'impact de ces investissements majeurs, s'il ne pouvait dire que l'ensemble du domaine avait fait un pas de géant à l'échelle internationale, pour les équipes déjà compétitives à ce niveau le financement EQUIPEX assurait leur statut au point d'affirmer que la présence française, dans leur champ d'intervention, "fait la différence", particulièrement dans le cas des études sur la dynamique de l'océan et dans l'observation de l'Univers.

Dans plusieurs cas les projets correspondaient à un besoin déjà identifié (parfois depuis longtemps...) comme prioritaire par la prospective scientifique des communautés concernées, qui n'avait pas trouvé dans leurs ressources habituelles les moyens suffisants pour les financer. Ainsi NOEMA est la part française, encore incomplète, du programme franco-allemand du même nom, pour l'extension de l'interféromètre de l'IRAM. NAOS a permis de développer la contribution française au programme international ARGO, avec des plongeurs profonds développés avec un industriel. Ces projets conduits par des consortiums à la pointe de la recherche internationale, dans des domaines où la présence française sur la scène internationale est très en amont, incluaient des développements technologiques de grand intérêt.

D'autres projets comme (Eco-X, IAOOS, PLANEX, dont la "visibilité" internationale est variable sont très novateurs du point de vue technologique ou scientifique, couplant développement technologique et recherche. Le jury note aussi des projets de grande visibilité, scientifiquement très compétitifs et bâtis autour de technologies récentes mais existantes (ASTER-CEREGE, CRITEX, ainsi que d'autres destinés à une large communauté scientifique, mais dont les retombées scientifiques sont encore difficiles à estimer : RESIF-CORE ou CRITEX, qui implantent des réseaux d'observation étendus sur un très large territoire, CLIMCOR, qui a donné l'occasion d'une rénovation du navire polaire Marion Dufresnes tout en fournissant des moyens de forage et de sondage profonds, ou GEOSUD qui fédère les moyens d'accès aux données satellitaires d'imagerie de la Terre.

Ces investissements ont ainsi permis un renouveau salutaire du parc instrumental ; les équipes ont démontré une solide gestion des projets et une réelle attention au besoin scientifique en aval. La plupart ont clairement démontré, dans leurs rapports, l'effet majeur de la subvention EQUIPEX dans le montage financier global. Dans plusieurs cas (e.g., ASTER-CEREGE, CRITEX, CLIMCOR, PLANEX, PLANAQUA, GEOSUD, IAOSS, RESIF-CORE), la subvention EQUIPEX a couvert une partie majeure des coûts ; dans d'autres (e.g., NOEMA, NAOS, ECOX) une fraction suffisamment importante pour mener l'investissement global au succès. Dans tous les cas de figure, les fonds ont été utilisés de façon rigoureuse et avec une réelle collégialité dans les choix de développement technologique.

Les établissements et organismes les ont de manière générale accompagnés par quelques recrutements qui représentent un gros effort dans les circonstances actuelles. On constate déjà que les Equipex ont un effet fortement structurant, en exigeant de la communauté un effort supplémentaire d'organisation, souvent à l'échelle nationale, pour en assurer une exploitation scientifique à la hauteur des ambitions.

Les retombées sont variées et souvent multiples. En règle générale, les développements instrumentaux sont ou seront importants pour la formation de jeunes scientifiques. Souvent, de larges communautés d'utilisateurs, à l'échelle française, européenne ou internationale, sont prévisibles

(ECOX, NOEMA, RESIF-CORE, NAOS...). Dans quelques cas, l'infrastructure accroît de façon significative la visibilité de l'institution hôte ou des partenaires principaux (e.g., Orléans avec PLANEX, ou Aix-Marseille avec ASTER-CEREGE). Des applications imprévues et multidisciplinaires apparaissent (dans les domaines biomédical et de l'écotoxicologie avec ASTER-CEREGE ou Eco-X, par exemple). Si un effet structurant durable, en matière de partenariat avec les entreprises, est généralement difficile à cerner, certains projets sont très prometteurs. Il reste que les retombées les plus durables seront certainement liées au positionnement de la recherche française dans plusieurs domaines des STUE (espace, océan, changements à l'échelle du globe, structure des enveloppes terrestres, etc.).

Le modèle économique post-PIA repose en général sur l'apport des tutelles et des utilisateurs, plus rarement sur une valorisation par des collaborations industrielles. Toutefois, le caractère non récurrent du programme PIA alimente les inquiétudes sur le maintien d'un soutien au niveau nécessaire, permettant au fil des années la jouvence et le renouvellement du parc instrumental par des investissements comparables.

Le bilan des Labex est plus diversifié. Le format a permis de suivre les projets sur un temps long, avec des évaluations en 2015 et 2018 par le jury international, ainsi que les avis émis par les conseils scientifiques des projets. Les évaluations de 2018 ont ainsi pu porter non seulement sur la qualité du travail effectué, en général très apprécié par le jury, mais aussi sur l'adéquation avec les objectifs initiaux des projets. C'est sur cet argument que le jury d'évaluation s'est ainsi prononcé en 2018 contre le renouvellement d'un Labex. Il a aussi pointé, en leur demandant parfois des actions correctrices, les Labex qui ont soutenu l'activité d'équipes certes excellentes, mais sans apporter l'effet transformateur et constructeur qu'il estimait pouvoir attendre du PIA. Il a constaté que l'action a permis de mieux structurer la discipline en renforçant les pôles déjà bien établis, sans pour autant faire réellement progresser l'interdisciplinarité en interne. Celle-ci est toutefois plus manifeste dans la constitution de nouveaux pôles appelés à devenir pleinement compétitifs et obtenir un fort soutien de leur université d'ici la fin du programme. Le jury note également que le format des Labex permet une ouverture vers les enjeux scientifiques et sociétaux majeurs, en particulier vers les SHS.

Les Labex en réseau présentent un problème différent car, s'ils unissent une communauté sur un objectif scientifique commun, il y a peu de visibilité sur la persistance du réseau dans le futur espace de la recherche et de l'enseignement supérieur. Un exemple est le cas de FOCUS, dont le succès et l'importance stratégique pour des développements instrumentaux novateurs sont salués, mais qui repose sur des laboratoires relevant de trois Idex puissants, le jury a recommandé d'anticiper l'avenir pour ne pas risquer de casser la dynamique au moment où, chacun de son côté, ces Idex seront dévolus.

Enfin le jury attire l'attention sur l'avenir, dans ce futur espace de la recherche, d'équipes mondialement réputées mais qui, pour des raisons diverses, n'ont pu bénéficier des apports d'un Labex et/ou, pour l'avenir, d'un Idex ou Isite.

6. QUELQUES INDICATEURS

6.1. Equipex :

	Total 2011-2018	Moyenne annuelle 2011-2015	Moyenne annuelle 2016-2018
brevets	4	0	1.3
étudiants en Master	740	47.4	92.5
start-up créées	4	0	1.3
Thèses initiées avec financement PIA (50 à 100%)	179	16	33
Publications déclarées	1009	88	190

6.2. Labex :

Reconnaissance scientifique	Total 2011-2018	Moyenne annuelle 2011-2015	Moyenne annuelle 2016-2018
ERC	97	11.4	13.3
IUF	105	15.0	10.0
Médailles CNRS	53	6.4	7.0
brevets	20	2.4	2.7
start-up créées	15	0.8	3.7
Professeurs invités (Mois)	765.45	83	116.5
Post-doc (mois)	1011	86	193.7
Thèses Cifre/équival initiées	69	8	9.7
Thèses initiées avec financement PIA (50 à 100%)	402	45	57.7
Etudiants en Master	4272	481	621
Publications déclarées	9458	1188	1172
Monographies, ouvrages et actes déclarés	3366	477	326

Ces tableaux font apparaître une progression lente mais consistante et régulière des principaux indicateurs de qualité des travaux soutenus par les Labex et Equipex de la discipline ; l'indicateur bibliométrique s'avère complexe à interpréter et demande des analyses complémentaires. A ce stade, on notera que :

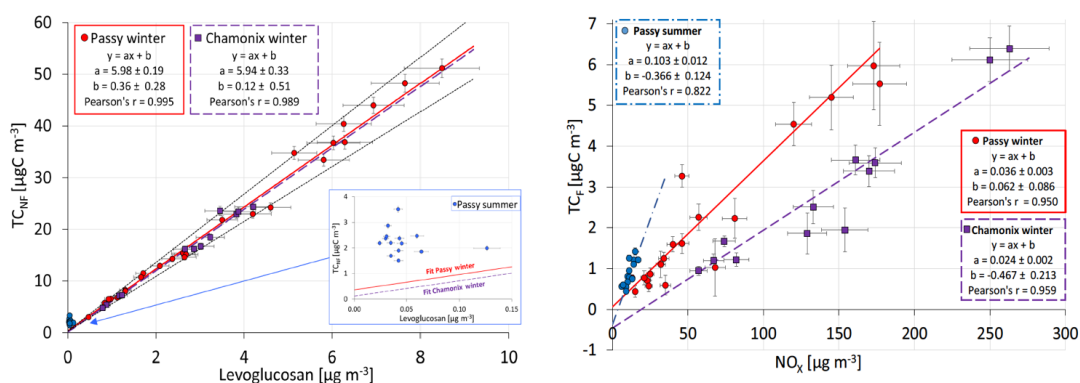
1/ La production scientifique est importante (14 % des publications Labex en STUE, pour 10 % des projets), mais semble atteindre un plateau.

2/ Elle est de qualité, si on se réfère à l'étude OST 2019 sur la bibliométrie Labex, qui sur le sous-domaine STUE *Sciences de l'Univers*, donne un indice d'activité dans le top 10 % stable de 2 entre 2012 et 2017 (rappel : indice de 2 également pour l'ensemble des Labex, 1.3 comme indice national et 1 comme indice mondial).

7. QUELQUES FAITS MARQUANTS

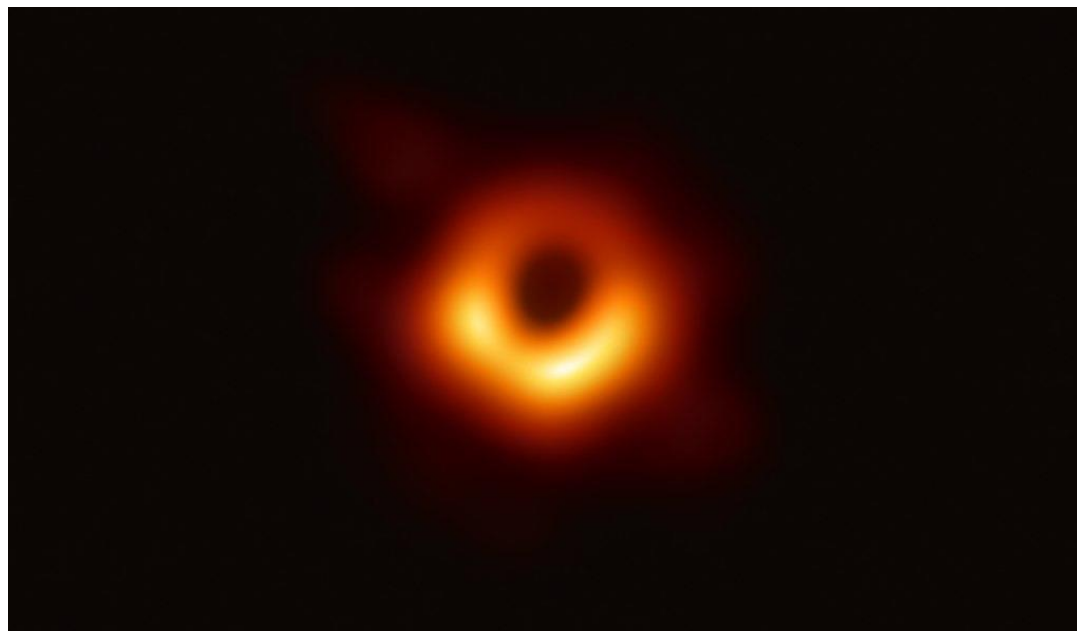
7.1. Equipex :

ASTER-CEREGE porté par Aix-Marseille Université et l'INRA, a établi sur le site de l'Arbois une plateforme de géochimie isotopique de premier plan permettant le développement de recherches sur les changements climatiques passés, sur le cycle du carbone et ses variations naturelles et anthropiques, sur les perturbations géochimiques via une approche de traçage isotopique multi-élémentaire.



Une étude a notamment permis, par la mesure du rapport C14/C12, de mesurer les teneurs en carbones fossiles et non-fossiles en fonction de traceurs de combustion de biomasse et d'émission véhiculaire.

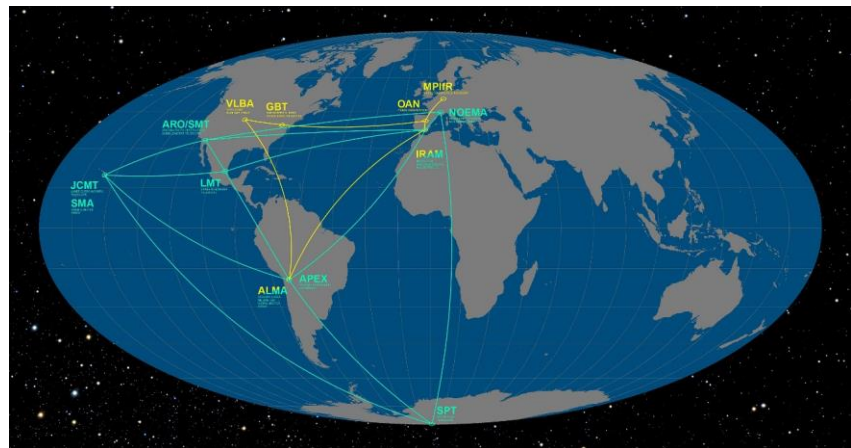
NOEMA : L'Equipex NOEMA est une contribution à la construction (cofinancée par l'Allemagne) de l'instrument du même nom par l'IRAM. Le projet consiste à étendre à 12 antennes, tout en améliorant les récepteurs, l'interféromètre de radioastronomie millimétrique du plateau de Bures.



Le trou noir au cœur de M87 © Event Horizon Telescope Collaboration

NOEMA est un instrument unique, très complémentaire dans l'hémisphère Nord de l'instrument en coopération mondiale ALMA installé au Chili. Par sa sensibilité et son emplacement, il a constitué en

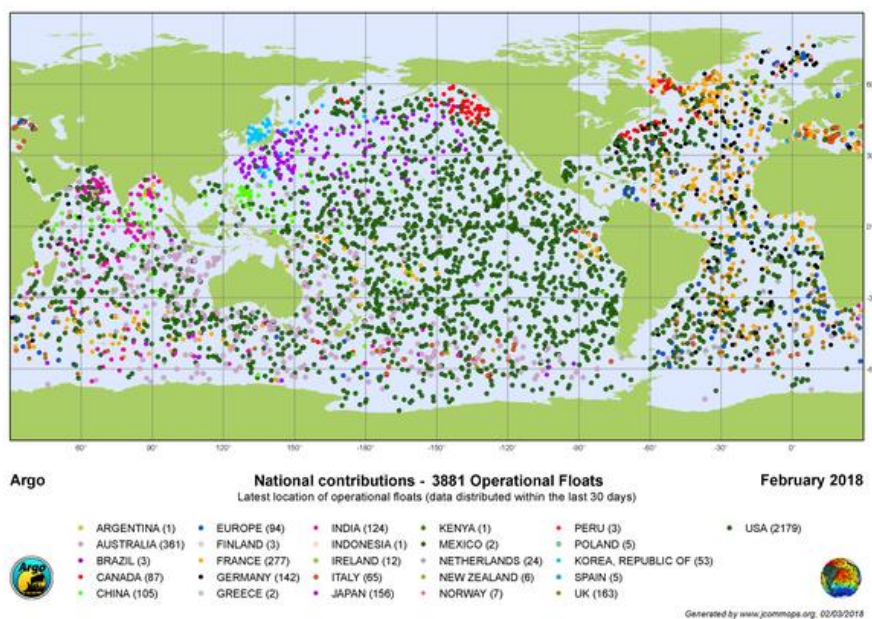
2018 une addition très attendue au réseau de l'Event Horizon Telescope qui venait de présenter la première image d'un trou noir supermassif, situé au cœur de la galaxie M87. L'arrivée de NOEMA augmentera très sensiblement les performances de l'EHT pour de prochaines observations.



La carte des télescopes du réseau EHT © ESO/O. Furtak

NAOS est un Equipex coordonné par l'Ifremer et porté avec Sorbonne université, le CNRS, l'UBO, le SHOM, et deux entreprises privées : CLS pour les aspects de télécommunications par satellite et la PME NKE, qui est en charge de la commercialisation des flotteurs français Argo. NAOS développe la nouvelle génération des flotteurs Argo français (notamment les Deep Arvor capables d'atteindre les plus grandes profondeurs, d'intégrer des capteurs biogéochimiques et d'explorer les zones polaires) et renforce l'offre industrielle française via le partenariat avec la PME NKE.

Afin de comprendre comment l'excès de chaleur pénètre et voyage dans l'océan profond et impacte son fonctionnement, des chercheurs du LOPS ont déployé, entre 2015 et 2017, cinq flotteurs Deep-Arvor lors de la campagne RREX. Ils ont été mis à l'eau au sud de l'Islande dans une zone profonde de 3 600 m et peuplée de reliefs sous-marins qui contraignent la trajectoire des masses d'eau profondes. Certaines, récemment en contact, avec l'atmosphère transportent ainsi la trace du climat récent.



La flotte internationale des flotteurs ARGOS en 2018 (© Projet ARGO)



Flotteur Arvor (@Ifremer/Olivier Dugornay)

CRITEX, porté par le CNRS, regroupe 42 partenaires répartis à travers le territoire pour l'étude et le suivi de la zone critique, en soutien de l'infrastructure de recherche OZCAR et de son pendant européen eLTER. Il rassemble deux réseaux existants, le Réseau des Bassins Versants et le réseau H+ de recherche hydrologique.



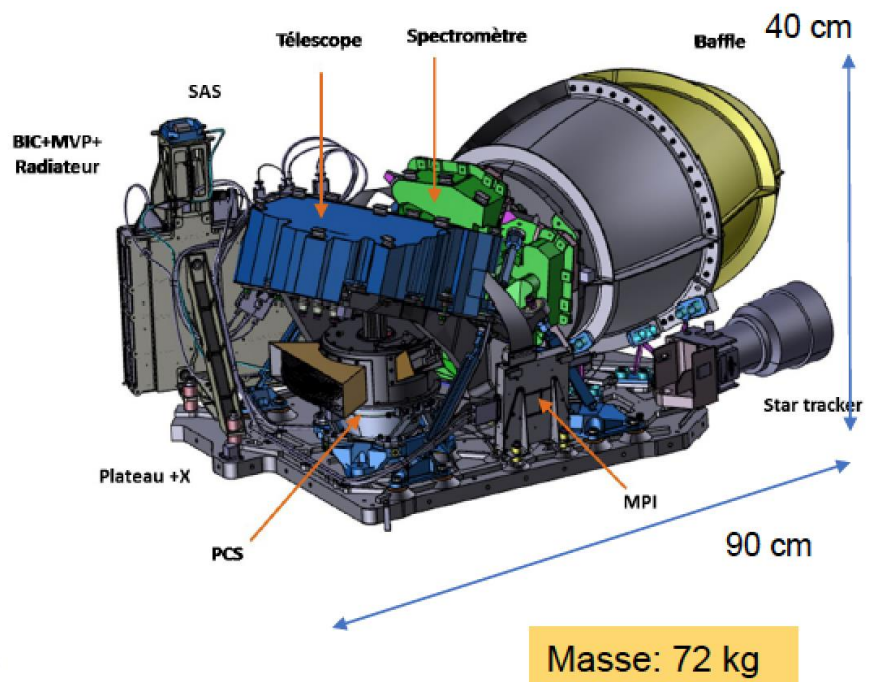
Livraison du «Riverlab» sur le site de l'Observatoire hydro-géochimique de l'environnement à Strengbach (@ M.C. Pierret).

Critex a notamment développé avec des industriels Thermofischer et Endress Hauser, et déploie sur le terrain le Riverlab, laboratoire de terrain permettant de mesurer la composition chimique d'une rivière ou d'une eau souterraine à haute fréquence de mesure, et de déployer ce prototype sur les sites les plus adéquats.

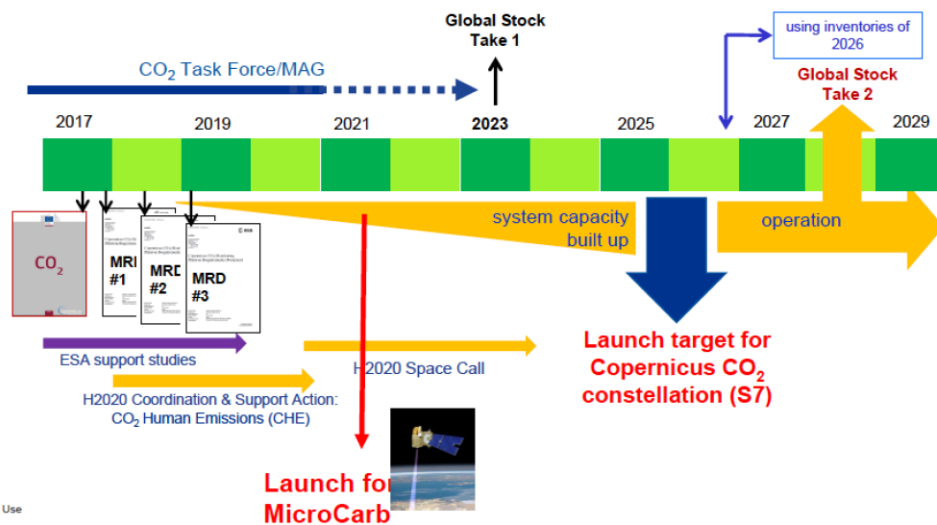
Amenant sur le terrain les appareils de laboratoire (chromatographie ionique), il permet de pomper l'eau de la rivière, de faire les premières analyses physico-chimiques, de filtrer l'eau et d'en mesurer

la composition chimique pour les cations et les anions majeurs, à raison d'une mesure toutes les 40 minutes.

MICROCARB, porté par le CNES est un projet de satellite portant un démonstrateur d'instrument de mesure du CO₂ atmosphérique, précurseur de futures missions spatiales dans le cadre du programme Copernicus de l'Union Européenne. Outre son intérêt scientifique, un enjeu sera d'informer les gouvernements dans le cadre des négociations sur la réduction de l'émission de gaz à effet de serre. Microcarb bénéficie d'un cofinancement britannique, et son lancement (prévu en 2022) sera fourni par l'ESA.



L'instrument principal du satellite Microcarb



ESA UNCLASSIFIED - For Official Use

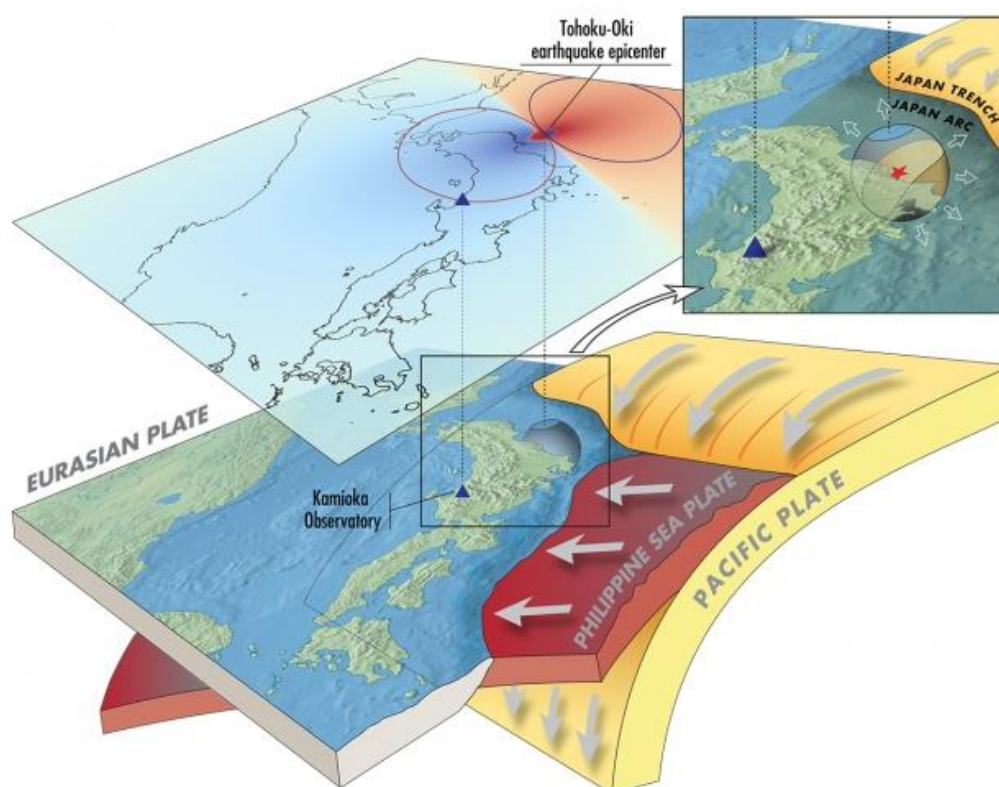
La roadmap européenne pour la mesure du CO₂ © ESA

7.2. Labex :

UnivEarthS, inclus dans l'Idex Université de Paris, rassemble trois laboratoires fondateurs (AIM, APC et IPGP) ainsi que l'ONERA. Leur expertise combinée et leur compétence scientifique, technique et spatiale concerne la Terre et les sciences environnementales (IPGP), les sciences planétaires (IPGP, AIM), l'astrophysique des hautes énergies (AIM, APC), la cosmologie, la physique fondamentale (APC) et l'aérospatiale (ONERA). UnivEarthS s'organise autour du thème « Évolution, Catastrophes et Émergence ».

En combinant leurs expertises en géophysique et en détecteurs d'ondes gravitationnelles les chercheurs d'UnivEarthS ont notamment pu identifier, dans les données enregistrées par le gravimètre supraconducteur de Kamioka à environ 500 km de l'épicentre, le changement du champ de gravité de la Terre lié à la rupture sismique lors du séisme de Tohoku-Oki (11 mars 2011, magnitude 9.0). Ce signal se propage à la vitesse de la lumière et pourrait donc être utilisé par les systèmes d'alerte rapide aux tremblements de terre, qui reposent actuellement sur la détection des ondes sismiques de compression P, qui arrivent avant les ondes de cisaillement S très destructrices. Ce décalage de seulement quelques secondes à proximité de la rupture est exploité pour alerter la population locale et protéger les équipements et infrastructures à risque. Le signal du champ de gravité pourrait permettre de gagner de précieuses secondes. Il pourrait également indiquer dès la fin de la rupture la magnitude exacte d'un séisme, indication précieuse pour déterminer le risque de tsunami.

Le Labex soutient maintenant la recherche sur des gravimètres de nouvelle génération, qui permettraient une implémentation opérationnelle à moyen terme.



Représentation de la rupture lors du tremblement de terre de Tohoku-Oki, dont l'hypocentre (étoile rouge) est représenté sur l'interface de subduction. La distribution de l'anomalie de gravité est représentée en couleurs bleu/rouge sur la carte superposée au contour de l'archipel japonais, en haut à gauche.

© Joël Dyon, IPGP, 2016

L-IPSL : Le Labex L-IPSL, aujourd'hui intégré à l'EUR IPSL-CGS, est un programme de recherche, de formation, d'innovation et de transfert d'expertise impliquant 8 laboratoires de l'Institut Pierre-Simon Laplace. Son objectif est d'améliorer la compréhension du climat et les outils pour y parvenir, de développer les actions éducatives et d'assurer le transfert d'expertise et d'innovation. Le programme de recherches vise à mieux quantifier les forçages naturels du climat mondial, à étendre la connaissance du cycle global du carbone, à renforcer la modélisation du Système Terre, à mettre en place des méthodes pour comprendre les incertitudes, à soutenir le développement du modèle de système Terre de l'IPSL et du centre de données international intégré dans l'infrastructure Earth System Grid Federation.

Le désert du Sahara émet plus de poussières que tout autre désert au monde. Plus de la moitié de la poussière déposée dans les océans provient d'ailleurs des terres d'Afrique du Nord. Ces poussières sahariennes ont une influence sur le climat : elles contiennent des nutriments qui fertilisent les sols et les eaux, elles bloquent ou réfléchissent la lumière du soleil, affectent la formation des nuages et des cyclones...

Les scientifiques ont mis au point un nouveau modèle prédictif, selon lequel les émissions de poussières sahariennes vont diminuer au fil des cent prochaines années. Leurs travaux sont publiés le 24 mars 2016 dans la revue Nature. La méthode prédit une baisse de la production de poussières jusqu'à la fin du XXI^e siècle. Cela aurait des effets bénéfiques pour la santé des populations, mais pourrait également réchauffer l'océan Atlantique tropical nord, le rendant plus propice à la formation et au développement des cyclones tropicaux.



Image acquise depuis la station spatiale internationale au-dessus de la Libye montrant une tempête de poussière s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres à travers le Sahara. Des cumulonimbus isolés se développent au sein de la couche de poussière

(c) NASA / ISS - Digital Camera

FOCUS : Le Labex FOCUS, inscrit dans l'IDEX UGA, associe des laboratoires de 5 partenaires académiques (de l'UGA et des IDEX AMU et Saclay), de l'Institut Neel, du CEA/LETI, de l'ONERA et de l'IRAM pour développer de nouvelles générations de détecteurs pour les observations astronomiques au sol ou spatiales, à la limite de la sensibilité, plus rapides, sur de plus larges bandes spectrales, ou offrant de nouvelles fonctionnalités.

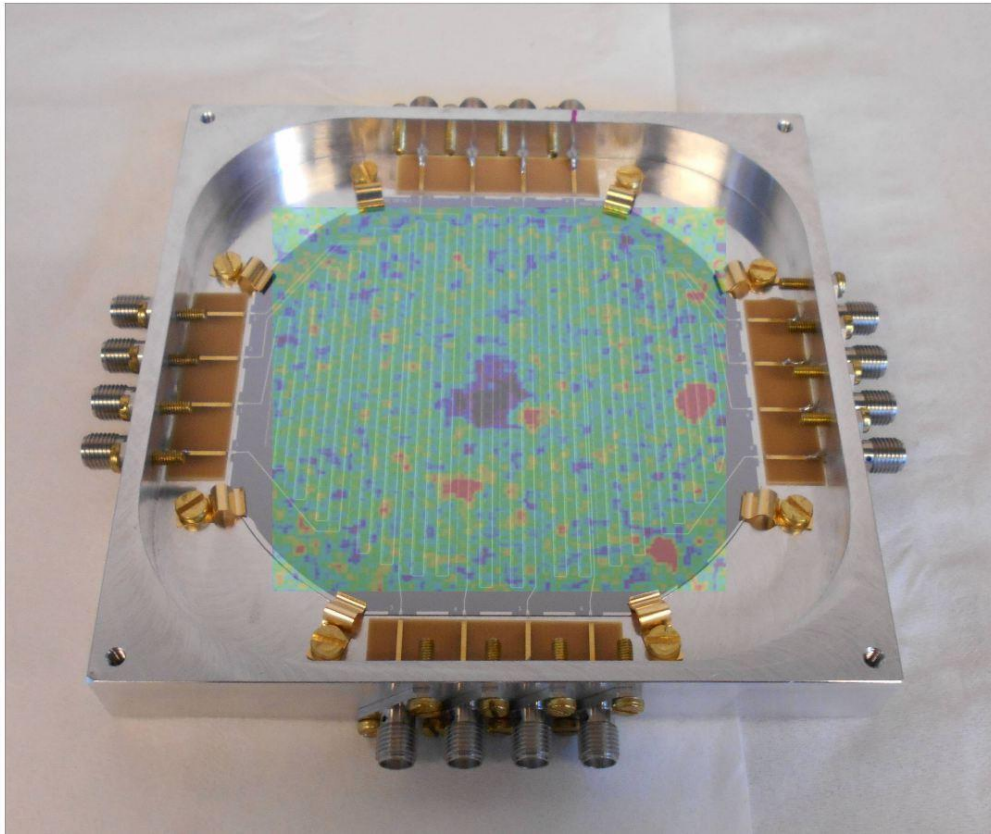


Image d'un amas de galaxies lointain, superposée à celle de la caméra millimétrique NIKA2 qui a permis de l'obtenir.

FOCUS a notamment permis de développer de nouveaux détecteurs à base de KIDs (Kinetic Inductance Detectors), pour l'observation dans deux bandes de longueur d'onde millimétrique, de grand intérêt pour les futures observations cosmologiques. La caméra NIKA2 a été installée au radiotélescope de 30m de l'IRAM à Pico Veleta (Espagne) et publié ses premières observations du gaz dans des amas de galaxies par l'effet Sunyaev-Zel'dovich.

8. ANNEXE : les projets STUE

(thématiques principales suivant les domaines du CNRS/INSU : TP=Terre Profonde, SC=Surfaces Continentales, OA=Océan/Atmosphère, AA=Astronomie/Astrophysique) et ANR : SMI (Sciences de la Matière et Ingénierie)

8.1. Equipex

Acronyme	Objet	Etab. Coordinateur	RST	Dotation (M€)	Thématiques	Lien TGIR/ESFRI/
ASTER-CEREGE	Développement d'une nouvelle plateforme de géochimie isotopique constitué de 3 équipements (spectromètres à source plasma et d'ions à haute sensibilité) ainsi que ASTERRisques (déjà présent sur le site) pour une meilleure connaissance et compréhension des climats du passé et futurs http://www.cerege.fr/spip.php?rubrique37	Idex Université Aix-Marseille	E. Bard	3,7	SC	
CLIMCOR	Développement et installation de nouveaux instruments de forage et carottage en mer, dans les glaces et les lacs. Contribue à la jouvence du Marion Dufresne, élément essentiel de la Flotte Océanique Française. http://climcor-equipex.dt.insu.cnrs.fr/?lang=fr	CNRS	D-D. Rousseau	17,7	OA	FOF/ECORD-IODP
CRITEX	Réseau distribué d'instrumentation d'étude du fonctionnement hydrologique, hydrogéologique et géochimique des bassins versants (http://www.critex.fr/)	CNRS	J. Gaillardet	7	SC.	OZCAR/eLTER
Eco-X	Amélioration et ré-équipement des lignes de lumière de l'ESRF, développe des cristaux analyseurs pour la caractérisation en spectroscopie X aux échelles atomiques et moléculaires de différents éléments (i.e. métalliques et métalloïdes, organiques et inorganiques, matière vivante)	Idex U. Grenoble-Alpes	A. Manceau	4,2	TP	FAME/ESRF
Geosud	Développement des outils et des moyens d'accès aux données satellitaires d'observation de la Terre http://ids.equipex-geosud.fr	IRSTEA	P. Maurel	11,5	SC.	DATA TERRA
IAOOS	Développement et exploitation des plateformes autonomes d'observation de la glace, de l'atmosphère et de l'océan dans l'Arctique, permet aux scientifiques français de	Idex Sorbonne Université	C. Provost	5,1	OA	

	participer à des grands programmes internationaux en bénéficiant notamment des brise-glaces mis en œuvre par d'autres pays, comme le Polarstern allemand http://www.iaoos-equipex.upmc.fr/					
Microcarb	Système spatial de mesure du CO2 atmosphérique	CNES	F. Buisson	87,2	OA	
NAOS	Contribution française à l'infrastructure européenne EURO-ARGO, participant au programme international ARG0 de déploiement de flotteurs instrumentés https://www.naos-equipex.fr/	IFREMER	P-Y. Le Traon	8	OA	EURO-ARGO
NOEMA	Jouissance et d'extension à 12 antennes de l'interféromètre millimétrique du plateau de Bures de l'IRAM. Contribuera à l'Event Horizon Telescope, réseau interférométrique mondial qui a obtenu la première image d'un trou noir.	IRAM	P. Schuster	10	AA	IRAM
PLANEX	Plateforme interdisciplinaire de caractérisation chimique et structurale de phénomènes dans des environnements sévères (haute pression et haute température) concernant la géologie ou la science des matériaux http://equipex-planex.prod.lamp.cnrs.fr	U. Orléans	B. Scaillet	5,4	TP	
RESIF-CORE	Extension à travers le territoire le réseau sismique et géologique français RESIF http://www.resif.fr	CNRS	J. Vergne	9,3	TP	RESIF/EPOS
Thalassa	Jouissance du navire océanographique Thalassa, principalement orienté vers les missions de service public dans le domaine de l'halieutique et l'océanographie physique, et le dotant d'équipements pour des missions dans le domaine des géosciences ou de l'environnement.	IFREMER	S. Duduyet	10	OA	FOF

8.2. Labex

Acronyme	Objectif scientifique	Etab. Coordinateur	RST	Dotation (M€)	Thématique
Cappa	Etude des processus physiques et chimiques de l'environnement atmosphérique, notamment du transport des aérosols, aux échelles locale et globale par des instruments de laboratoire, des campagnes in situ et des observations spatiales http://www.labex-cappa.univ-lille1.fr	Isite U. Lille-Nord Europe	D. Petiprez	5,5	OA
Clervolc	Développement des systèmes de surveillance dans différents milieux volcaniques (France et étranger) et proposer des stratégies de réduction des aléas et des risques induits (http://www.clervolc.univbpclermont.fr)	Isite U. Clermont-Auvergne	P. SCHIANO	6,2	TP
ESEP	Développement d'instruments spatiaux pour l'exploration spatiale des environnements planétaires et exoplanétaires http://www.esep.pro	Idex Paris Sciences et Lettres	P. Drossart	4	AA
Focus	Conception de détecteurs infrarouge et submillimétrique pour instruments spatiaux ou au sol, permettant des avancées fondamentales dans l'observation de l'Univers http://ipag.osug.fr/Focus-Labex	Idex U. Grenoble-Alpes	P. Kern	6,9	AA
G-EAU-TERMIE PROFONDE	Apporter une meilleure connaissance par l'observation et la modélisation de la structure du fossé d'effondrement rhénan et des anomalies géothermiques résultantes http://eost.unistra.fr/g-eauthermieprofonde/	Idex U. Strasbourg	J. Schmittbuhl	3	TP
ILP	Combine les apports de la physique théorique, des particules, de l'astrophysique et de la cosmologie à une meilleure compréhension de l'Univers http://www.ilp.upmc.fr	Idex Sorbonne Université	B.Wandelt	7,5	AA/SM I
LABEX MER	Renforcement des connaissances et de la compréhension du fonctionnement de l'océan global, profond et Côtier, avec dans ce dernier cas, un focus particulier sur l'influence des sociétés humaines http://www.labexmer.eu	U. Bretagne Occidentale/ Eur ISBlue	V. Pichereau	9,1	OA
L-IPSL	Développement de modèles climatiques et de mesures concernant le changement climatique futur, évaluation de ses conséquences sociétales http://labex.ipsl.fr/	Idex Sorbonne Université (EUR IPSL-CGS)	H. Le Treut	6,5	OA
L-IO	Etude des origines de la matière et des structures de l'Univers, des galaxies, des étoiles et des planètes de la Terre ainsi que des conditions d'apparition de la vie http://lio.universite-lyon.fr/	Idex Comue U. Lyon	B. Guiderdoni	8,0	AA/SM I

OCEVU	Contribution à l'exploration de l'Univers, des grandes échelles cosmologiques aux petites échelles de la physique des particules, associant approches instrumentales, observationnelles et théoriques http://www.labex-ocevu.univ-amu.fr/	IDEX U. Aix-Marseille	E. Kajsfaż	10	AA/SM I
OSUG@2020	Observation et modélisation des systèmes naturels relevant de la géophysique interne et externe, des surfaces et interfaces continentales, de la planétologie et de l'astrophysique http://www.osug.fr/labex-osug-2020/	IDEX U. Grenoble-Alpes	M. Dietrich	5,6	TP/AA
OTMed	Etude des impacts des changements environnementaux, climatiques et anthropiques sur les ressources et les services des écosystèmes ainsi que sur la perception des risques par les sociétés humaines du Bassin Méditerranéen http://www.otmed.fr	IDEX U. Aix-Marseille	J. Guiot	7	SC
P2IO	Physique expérimentale et théorique de l'infiniment petit à l'infiniment grand, et incluant les origines et les conditions d'apparition de la vie http://www.labex-p2io.fr/	IDEX U. Paris Saclay	S. Leray	14	AA/SM I
PLAS@PAR	Etudes numériques, observation et expériences en laboratoire en physique des plasmas de densités faible (magnétosphères), , moyenne intérieurs stellaires) et haute (par lasers) http://plasapar.upmc.fr/	IDEX Sorbonne Université	C. Stehlé	7,5	AA/SM I
Ressources 21	Démarche intégrée sur la connaissance, la valorisation et la gestion environnementale des ressources naturelles en métaux stratégiques pour le 21ème siècle (i.e. Terres rares, U, Ni) par des développements méthodologiques et numériques http://www.ressources21.univ-lorraine.fr/	ISITE U. Lille-Nord Europe	F. Villieras	6,2	TP
UnivEarthS	Etudes s'étendant des structures profondes de la Terre à celles de l'Univers et à la cosmologie, en passant par les planètes et par les conséquences sociétales des séismes et éruptions volcaniques. http://www.univearths.fr	IDEX U. De Paris	M. Chaussidon	9	TP/AA
VOLTAIRE	Dynamique et circulation des fluides naturels au sein des différentes enveloppes de la Terre (lithosphère, hydrosphère, atmosphère) et de leurs interactions par la combinaison d'approches expérimentales, observationnelles et modélisatrices, avec des applications dans les domaines des géoressources et des sciences environnementales http://labex-voltaire.prod.lamp.cnrs.fr	U. d'Orléans	B. Scaillet	11	TP/SC /OA

8.3. EUR

Proje	Titre, mots clés	Etablissement coordinateur	RST	Dotation (M€)	Autres projets du PIA liés ou intégrés à l'EUR
H2O'LYON	School of Integrated Watershed Sciences Urban water, Aquatic Ecosystems, Hydrosystems, Sustainable water management, Biodiversity, Ecological restoration, Hydrogeomorphology, Water policy, Bio-physico-chemical impacts, Basin environmental change	Idex U. Lyon	C. Douady	8,6	IMU (Labex) – DRIIHM (Labex) – Lyon Urban School (IConv) – PULSALYS (SATT)
IPSL-CGS	Institut Pierre-Simon de Laplace Climate Graduate School Climate system, Climate change, Impacts, Climate services	Idex Sorbonne Université	<u>H. Le Treut</u>	<u>8</u>	<u>L-IPSL (Labex)</u>
ISBlue	Interdisciplinary School for the Blue Planet Oceans and coasts, Marine science and technology, Climate and global change, Sea floor and ocean margins, Sustainability, Marine resources, Earth observation systems, Interdisciplinarity, Pedagogical innovation	Université de Bretagne occidentale	<u>A-M Treguier</u>	<u>21.8</u>	<u>MER (Labex) – NAOS (Equipex)</u>

8.4. MOPGA

Projet	Titre / Thématique	Etablissement coordinateur	Région	Bénéficiaire	Dotation (k€)	Champ thématique
ACROSS	Atmospheric ChemistRy Of the Suburban ForeSt	U. Paris XII	Ile de France	C. Cantrell	750	OA
AMANECER	AMazon-ANdEs ConnEctivity: impacts of climate-vegetation changes on the hydrology of the Amazon-Andes transition Region	IRD	<u>Auvergne-Rhône-Alpes</u>	<u>J.C. Espinoza,</u>	<u>498</u>	<u>SC</u>
ARCHANGE	<i>Arctic Climate Change and global Ocean Circulation</i>	CNRS	Ile de France	<u>A. Fedorov</u>	<u>750</u>	<u>OA</u>
ASET	Atmosphere – Sea ice Exchanges and Teleconnections	CNRS	Occitanie	V. Guemas	<u>494</u>	<u>OA</u>
CIUDAD	Carbon emissions Informed by Urban Dynamics and Atmospheric Data	CNRS	Ile de France	T. Lauvaux	<u>499</u>	<u>OA</u>

CONTACTS	<i>Consistent Ocean Turbulence for Climate Simulators</i>	CNRS	<u><i>Auvergne-Rhône-Alpes</i></u>	W. Dewar	<u>697</u>	<u>OA</u>
CZ-TOP	integrating recent advances in non-steady state hydrologic modeling, quantitative reactive transport processes, and geochemical tracer data in the Critical Zone	IPGP	Ile de France	L. Derry	<u>750</u>	<u>SC</u>
EUROACE	Enhancing the Understanding of the Roles of Aerosols in Climate and Environment	U. Toulouse III	Occitanie	C. Wang	<u>741</u>	<u>OA</u>
GYPTIS	Geodynamic perturbations of climate signals	IPGP	Ile de France	A. Forte	<u>750</u>	<u>SC</u>
HOTCLIM	Characterisation & Dynamics of Past Warm Climates	CNRS	<u><i>Auvergne-Rhône-Alpes</i></u>	E. Capron	<u>499</u>	<u>SC</u>
HRMES	High-Resolution Modeling of the Earth System	CEA	Ile de France	V. Balaji	<u>750</u>	<u>OA</u>
KMImpacts	Kilometer-scale climate change impacts over Europe	CNRS	Occitanie	Lucas-Picher	<u>490</u>	<u>SC</u>
MAGICLIM	<i>MountAin Glacier fluctuations and landscape dynamics under a changing CLIMate</i>	CNRS	<u><i>Auvergne-Rhône-Alpes</i></u>	P. Valla	<u>500</u>	<u>SC</u>
MAQGA	Make Air Quality Great Again	CNRS	Ile de France	R. Subramanian	<u>750</u>	<u>OA</u>
MOBIDIC	MOdeling Biologically-Driven processes In Clouds	CNRS	<u><i>Auvergne-Rhône-Alpes</i></u>	B. Ervens	<u>746</u>	<u>OA</u>
PEGS	PERmafrost and Greenhouse gas dynamics in Siberia	U. Paris Sud	Ile de France	F. Bouchard	<u>500</u>	<u>SC</u>
POMELO	<i>Process Oriented Earth System Model Evaluation Linked to Observations</i>	CEA	Ile de France	A. Ballantyne	<u>499</u>	<u>SC</u>
PRATO	Achieving the Paris Agreement Temperature Targets after Overshoot	CEA	Ile de France	K. Tanaka	<u>439</u>	<u>OA</u>
PRODUCT	Reducing uncertainty in projections of tropical precipitation change	CNRS	Ile de France	A. Giannini	<u>750</u>	<u>OA</u>

RISCCI	Risque et Incertitude Sous le Changement Climatique	CNRS	Occitanie	B. Sanderson	<u>500</u>	<u>OA</u>
TAG	Tropical Atlantic Deoxygenation: gateway dynamics, feedback mechanisms and ecosystem impacts	Sorbonne Université	Provence-Alpes-Côte d'Azur	R. Kiko	<u>500</u>	<u>OA</u>
TROCODYN	TROPical Cyclone activity and upper-Ocean DYNamics: A Pacific-Atlantic Intercomparison	CNRS	Occitanie	J. Boucharel	<u>407</u>	<u>OA</u>

Glossaire

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
Agro-Eco	Agronomie, Ecologie
ALMA	Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
AMIDEX	Aix-Marseille Initiative d'excellence (Idex)
ANR	Agence Nationale de la Recherche
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives
CFHT	Canada-France-Hawaii Telescope
CIFRE	Conventions Industrielles de Formation par la Recherche
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
Copernicus	programme de surveillance de la Terre de l'Union Européenne et de l'Agence Spatiale Européenne
CTA	Cerenkov Telescope Array
EHT	Event Horizon Telescope
Equipex	Equipement d'Excellence du PIA
ERC	European Research Council
ESA	Agence Spatiale Européenne
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
ESO	Observatoire Austral Européen
ESRF	European Synchrotron Research Facility
EUR	Ecole Universitaire de Recherche du PIA
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HESS	High Energy Stereoscopic System
Idex	Initiative d'Excellence du PIA
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation des Mers
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
IPGP	Institut de Physique du Globe de Paris
IRAM	Institut de Radioastronomie Millimétrique (France/Allemagne/Espagne)
IRD	Institut de Recherche sur le Développement
IRSTEA	Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ISite	Initiatives Science / Innovation / Territoires / Economie du PIA
IUF	Institut Universitaire de France
JAXA	Agence Spatiale Japonaise
Labex	Laboratoire d'Excellence du PIA
LETI	Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA
MESRI	Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MOPGA	Make our Planet Great Again
NASA	Agence Spatiale Américaine
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales
PIA	Programme des Investissements d'Avenir
RST	Responsable Scientifique et Technique
SHOM	service hydrographique et océanographique de la Marine
SHS	Sciences Humaines et Sociales
SMI	Sciences de la Matière et Ingénierie
STUE	Sciences de la Terre, Univers, Espace
TGIR	Très Grande Infrastructure de Recherche
UBO	Université de Bretagne Occidentale
UGA	Université Grenoble-Alpes
UPEC	Université Paris-Est-Créteil