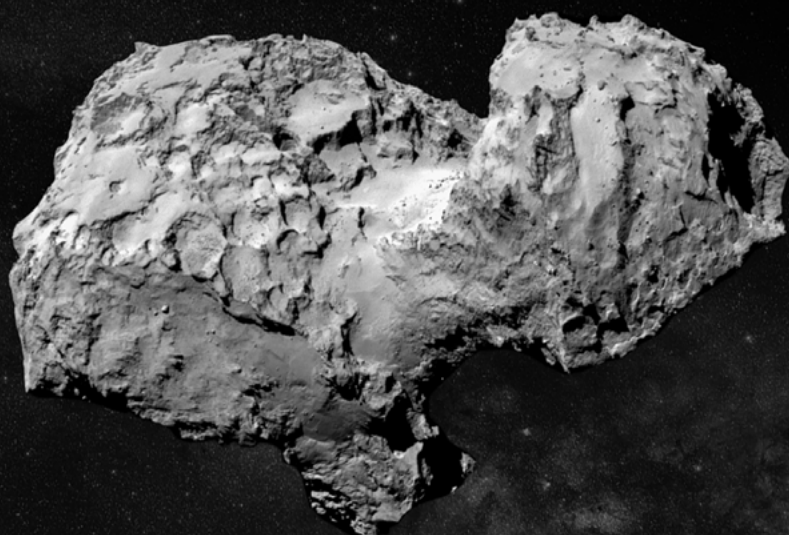


**DOSSIERS THÉMATIQUES DU CNRS**



**LES RECHERCHES  
SPATIALES**

# DE LA QUESTION SCIENTIFIQUE À L'INSTRUMENT

## ÉDITORIAL

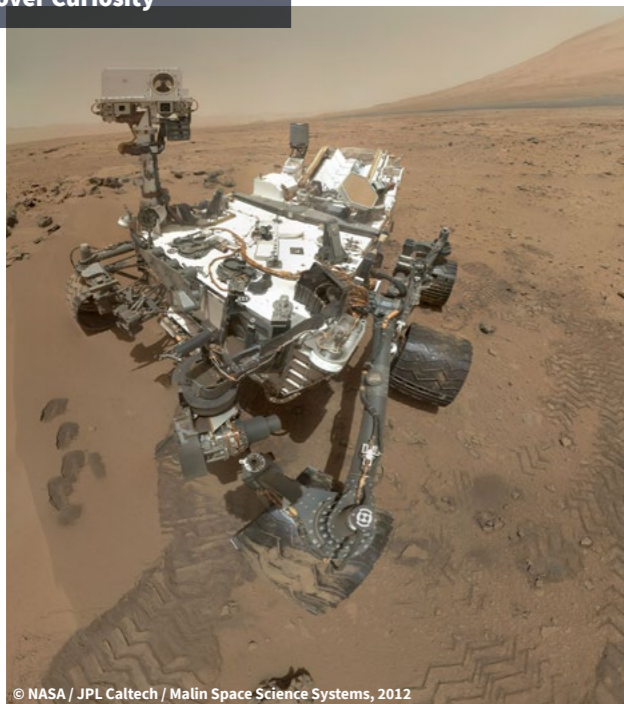
« Entre 2020 et 2022, seront lancées une vingtaine de missions spatiales représentant souvent de longues années de travail dans les laboratoires du CNRS. Une belle moisson de résultats devrait en découler : astrophysique et cosmologie bien sûr, mais aussi sciences du climat et de l'environnement, physique fondamentale ou sciences humaines et sociales ! En parallèle, d'autres sciences comme la robotique, l'ingénierie, la chimie, les mathématiques ou l'intelligence artificielle viennent élargir le champ des possibles. Un cercle vertueux, parce que pluridisciplinaire, qui explique la place incontournable du CNRS, avec le CNES et nos partenaires historiques, dans le développement des projets spatiaux. Dans ce secteur à haut potentiel, des créations de start-up assurent au CNRS une place de choix dans le New Space, compétition mondiale de construction de systèmes spatiaux toujours plus agiles, plus intelligents et moins coûteux. Les retombées de la science spatiale dans notre quotidien permettront par exemple le déploiement de technologies moins énergivores et donc plus respectueuses d'un développement que nous voulons durable. »

Antoine Petit, PDG du CNRS

## L'ESPACE, LIEU PRIVILÉGIÉ D'OBSERVATION

Pour le CNRS, l'espace est surtout un lieu privilégié pour observer tant la Terre elle-même (continents, océans, atmosphère, pôles, biodiversité, éruptions volcaniques...) que le reste de l'Univers (planètes, étoiles, trous noirs, galaxies, etc.). Comprendre l'origine et l'évolution de l'Univers, mieux appréhender le changement climatique... parce que tous ces grands sujets sont au cœur des recherches du CNRS et de ses partenaires, leurs laboratoires sont naturellement en première ligne, toujours avec le CNES, agence française de l'espace chargée de la politique scientifique spatiale.

### Panorama et « selfie » du rover Curiosity



© NASA / JPL Caltech / Malin Space Science Systems, 2012

## DES INSTRUMENTS À INVENTER

Souvent, quand les instruments nécessaires n'existent pas pour observer la Terre et l'Univers depuis l'espace, il faut les inventer, fabriquer, tester, et étalonner ! Des instruments miniaturisés, sobres en consommation énergétique, très résistants, y compris en environnement hostile (vide spatial, températures extrêmes, rayonnements ionisants) et fonctionnant sans possibilité d'intervention humaine. Avec le temps, les chercheurs et ingénieurs des laboratoires du CNRS ont ainsi développé une expertise pointue pour la conception et la réalisation d'instruments complexes : télescopes à optique active, détecteurs, caméras, radars, lidars, spectromètres ou même laboratoires d'analyses physico-chimiques embarqués...

## EXPLORATION MARTIENNE : UN PARTENARIAT HISTORIQUE FRANCE-USA

Avec les instruments ChemCam et SAM, embarqués à bord du rover Curiosity, et avec le sismomètre SEIS déposé par la sonde spatiale INSIGHT, nos équipes sont à la tête d'un laboratoire géophysique absolument unique à la surface de la planète Mars pour en explorer à la fois la surface et l'intérieur. Grâce au rover Curiosity, nous savons que l'eau a effectivement coulé en abondance sur la planète il y a un peu plus de 4 milliards d'années. Les missions en cours de développement visent désormais à prélever des échantillons que l'on rapportera sur Terre afin d'y rechercher les traces éventuelles d'une vie passée. Nos laboratoires sont en première ligne avec le développement de l'instrument SuperCam qui est embarqué à bord du rover Perseverance (2020) et les instruments de la mission européenne Exomars menée avec la Russie.

## UNE EXPERTISE NÉCESSAIRE

Aujourd'hui, les laboratoires du CNRS et de ses partenaires instrumentent une part importante des missions spatiales européennes, comme c'est le cas avec la mission Solar Orbiter de l'Agence Spatiale Européenne (ESA, voir encadré). Ils participent aussi à des missions internationales, notamment avec la NASA pour les missions martiennes MSL, Insight et Mars 2020. L'archivage et l'analyse des flots de données de plus en plus volumineux et complexes produits par ces missions sont un autre enjeu crucial auquel nos laboratoires ont commencé à s'attaquer. Le CNRS, en partenariat avec les autres agences et organismes de recherche, apporte des contributions majeures à des infrastructures numériques de grande ampleur : Data Terra pour les données d'observation de la Terre (voir encadré), Centre de Données de Strasbourg (CDS) pour l'astronomie.

## SOLAR ORBITER : EN ROUTE POUR LE SOLEIL

Comment le champ magnétique émerge-t-il de l'intérieur du Soleil et quel est son impact sur l'atmosphère solaire ? Quels sont les mécanismes impliqués dans la formation de la couronne et du vent solaires ? Quels sont les processus physiques expliquant l'activité éruptive du Soleil ? Grâce à la mission Solar Orbiter, les scientifiques espèrent avoir bientôt des réponses à ces questions ! Il a fallu pour cela concevoir des instruments très spécifiques, qui sont soumis à des conditions... extrêmes ! Sur les 10 instruments embarqués par la sonde, 6 sont issus des laboratoires du CNRS. En associant des mesures *in situ* et de télédétection, ils nous promettent une riche moisson de résultats dans les années à venir !

### Vue d'artiste de Solar Orbiter devant le Soleil



© ESA / ATG medialab

### Illustration du satellite Merlin mesurant la concentration de méthane dans l'atmosphère



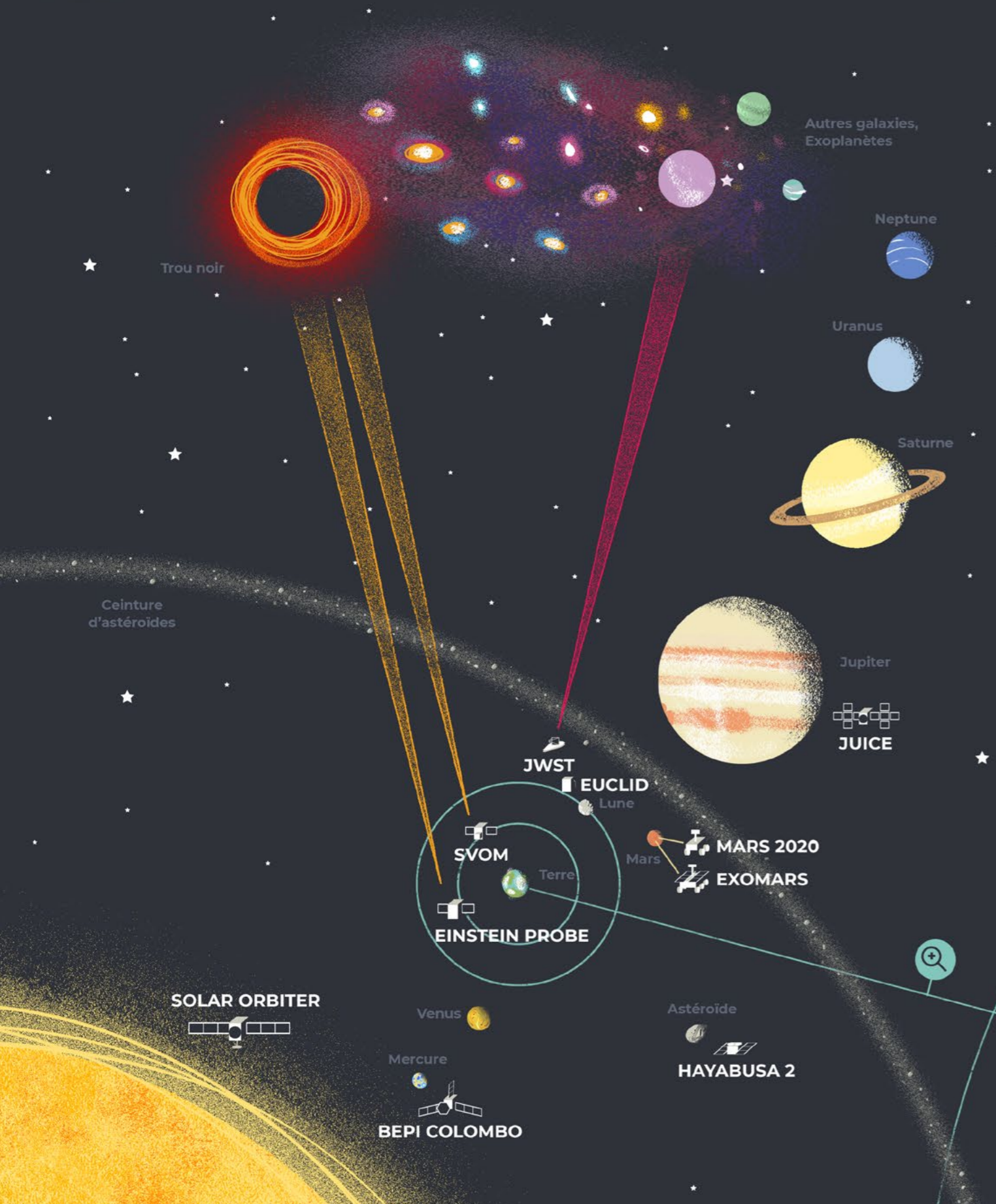
© CNES / DUCROS David, 2016

## LA TÉLÉDÉTECTION : SUIVRE ET COMPRENDRE LA CRISE CLIMATIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Bien observer la Terre impose de prendre de la hauteur ! Les moyens d'observation utilisés depuis l'orbite terrestre couvrent tout le spectre du rayonnement électromagnétique, de l'UV au domaine radio, de façon passive (radar) ou active (radiométrie). Ils permettent de suivre les phénomènes atmosphériques (météorologie et pollution) océaniques, ou géologiques (éruptions volcaniques, séismes...), mais aussi le niveau des ressources en eau des lacs et des rivières, l'enneigement et les surfaces continentales, ainsi que tous les effets de l'activité humaine comme l'agriculture, l'urbanisation et la déforestation. Aujourd'hui dans le « top 5 » mondial du classement de Shanghai pour cette discipline, la France a décidé, suite à la COP 21, de compléter son dispositif d'observation par deux satellites pour le suivi précis des principaux gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (mission française Microcarb, lancement en 2021) et le méthane (mission Merlin en partenariat avec l'Allemagne, lancement en 2025).

# Les recherches spatiales pour comprendre notre Univers...

Big Bang



## Missions spatiales qui seront lancées ou atteindront leur cible de 2020 à 2023

ISS	Mener des recherches en conditions spatiales (apesanteur, vide spatial, etc.)
BepiColombo	Observer et comprendre l'intérieur, la surface et l'environnement de Mercure
2020 Solar Orbiter	Comprendre l'activité du Soleil, ses éruptions et le souffle brûlant de sa couronne
Mars 2020 Perseverance	Prélever des échantillons dans des endroits où la vie a pu apparaître sur Mars pour les ramener sur Terre
Taranis	Étudier les transferts d'énergie des orages vers le proche environnement spatial
Sentinel 6	Mesurer avec précision les vents, les vagues et le niveau de la mer à la surface des océans
Hayabusa 2	Analyser la composition d'un astéroïde proche en rapportant des échantillons sur Terre
2021 Stratéole 2	Étudier la dynamique de l'atmosphère dans la zone intertropicale avec des ballons pressurisés
JWST	Observer l'Univers lointain, les galaxies, les exoplanètes, le Système solaire depuis l'espace
SVOM	Localiser les explosions cosmiques les plus violentes de l'histoire de l'Univers
Pharao	Vérifier les principes de la relativité générale avec une horloge atomique française à bord de l'ISS
2022 SWOT	Mesurer précisément le niveau de l'eau dans les rivières, les lacs et les zones inondées, les océans
JUICE	Explorer Jupiter et ses lunes glacées qui pourraient bien abriter la vie
Microcarb	Cartographier à l'échelle planétaire les flux de CO <sub>2</sub> et donc ses sources et ses puits
Einstein Probe	Détecter les phénomènes astronomiques transitoires à haute énergie
Biomass	Mesurer le volume global des forêts et quantifier la réduction de la biomasse
Exomars	Explorer la surface de Mars à la recherche d'indices d'activité biologique présente ou passée
EarthCare	Cartographier les nuages et les aérosols pour un bilan radiatif plus précis de la Terre
Euclid	Caractériser l'énergie sombre, constituant majoritaire de l'Univers
MTG-I MTG-S	Mieux prévoir et anticiper les phénomènes météorologiques
2023 IASI-NG	Analyser l'atmosphère terrestre et suivre tous les produits de la pollution humaine ou naturelle



...et pour comprendre notre planète

# L'ORGANISATION DE LA RECHERCHE SPATIALE

« Chargé de proposer et de mettre en œuvre la politique spatiale de la France, le CNES veille à soutenir et renforcer l'excellence de la recherche à travers un partenariat historique avec la communauté scientifique. Le CNRS est le principal partenaire scientifique du CNES, au travers d'un accord-cadre global et d'interactions permanentes : le CNES finance les activités conduites dans les laboratoires pour la réalisation et l'exploitation des projets spatiaux, tandis que le CNRS prend en charge le coût de ses propres personnels. La science est un marqueur fort du rayonnement spatial français et c'est ce solide tandem CNRS-CNES qui en est la colonne vertébrale, tant au niveau de l'Europe que des coopérations internationales. »

Jean-Yves Le Gall, Président du CNES

## UN RÉSEAU DE LABORATOIRES SPATIAUX

Les recherches spatiales impliquent au CNRS environ 600 équipes dans plus de cent laboratoires en partenariat avec les universités et les établissements d'enseignement supérieur et de recherche. Six de ces laboratoires sont dotés de compétences et d'installations spécifiques (salles propres, moyens de test et d'essai) qui permettent de développer tout ou partie des instruments embarqués sur les satellites : ce sont les « laboratoires spatiaux » du GIS Paradise.

### UN NEW SPACE À LA FRANÇAISE

À l'heure du New Space américain et de la donnée spatiale qui devient un produit à forte valeur ajoutée, l'Europe est attentive aux enjeux de souveraineté et déploie un New Space à sa façon avec la constellation des satellites Sentinel du programme Copernicus. Pilier de cette politique spatiale européenne, la France n'est pas en reste. Que ce soit pour la micro-propulsion, l'équipement, le positionnement ou le contrôle dans le monde émergent des nanosatellites, ou encore pour l'exploitation des images d'observation de la Terre, une quinzaine de start-up issues de laboratoires CNRS entrent dans cette compétition mondiale de construction de systèmes spatiaux toujours plus agiles, plus intelligents, plus propres et moins coûteux.

## LA FORCE DE L'INTERDISCIPLINARITÉ

L'originalité et la force du CNRS reposent sur sa capacité à mobiliser autour d'un même objectif scientifique des spécialistes de différentes disciplines (chimie, cryogénie, électronique, mathématique, nanotechnologies, physique des particules, physique fondamentale, traitement du signal, etc.).

Les recherches spatiales concernent en effet tous les instituts du CNRS et un réseau de correspondants dans chacun d'entre eux garantit une attention à l'ensemble des problématiques liées au spatial.

## UN PARTENARIAT ESSENTIEL AVEC LE CNES

Partenaire du CNES depuis 1976, le CNRS construit avec ce dernier une réponse scientifique et technologique ambitieuse et coordonnée au service de la politique spatiale de la France. Agence française de l'espace, le CNES joue en effet un rôle central en proposant et mettant en œuvre la politique spatiale du pays, élément clé de la souveraineté nationale.

Sur le terrain, les centres techniques du CNES et nos laboratoires travaillent main dans la main. Souvent, le développement des expériences se fait au sein d'équipes intégrées CNES/laboratoires/industrie.

Cette collaboration place la France dans le peloton de tête de la science spatiale et contribue largement à ce que l'Europe spatiale, avec ses programmes portés par l'ESA et l'UE, soit à la pointe de la compétition mondiale.

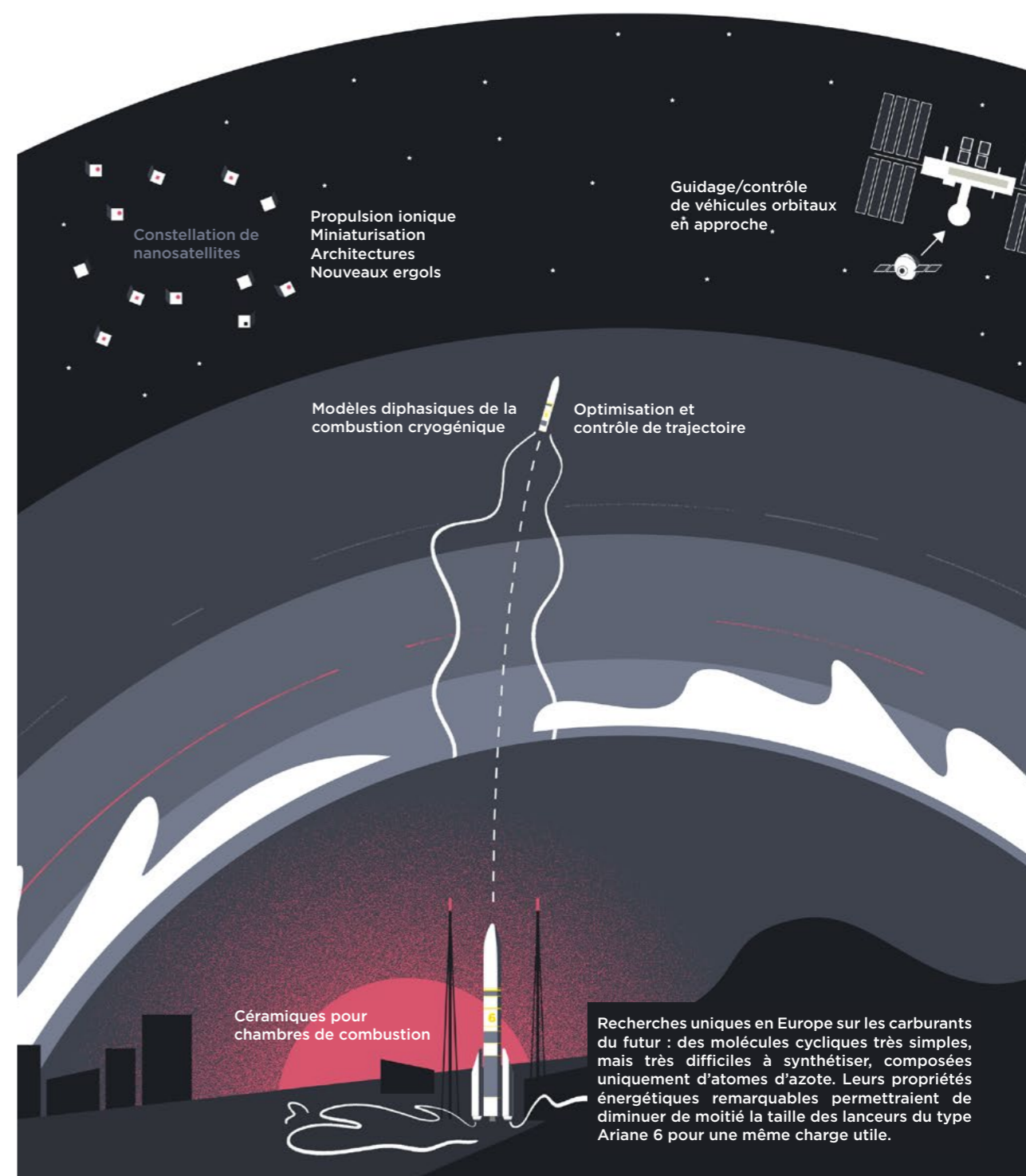
### DATA TERRA : DES DONNÉES POUR COMPRENDRE ET PRÉVOIR L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME TERRE

Un défi capital : faciliter l'accès à des données de qualité, acquises depuis l'espace, au sol, ou *in situ*, sur l'ensemble des compartiments du système Terre, indépendamment de leur nature ou du mode de collecte. Y répondre nécessite des infrastructures interopérables permettant d'accélérer l'extraction, l'analyse, la diffusion et l'usage intelligent des données, indicateurs et modèles issus des systèmes nationaux et internationaux d'observation.

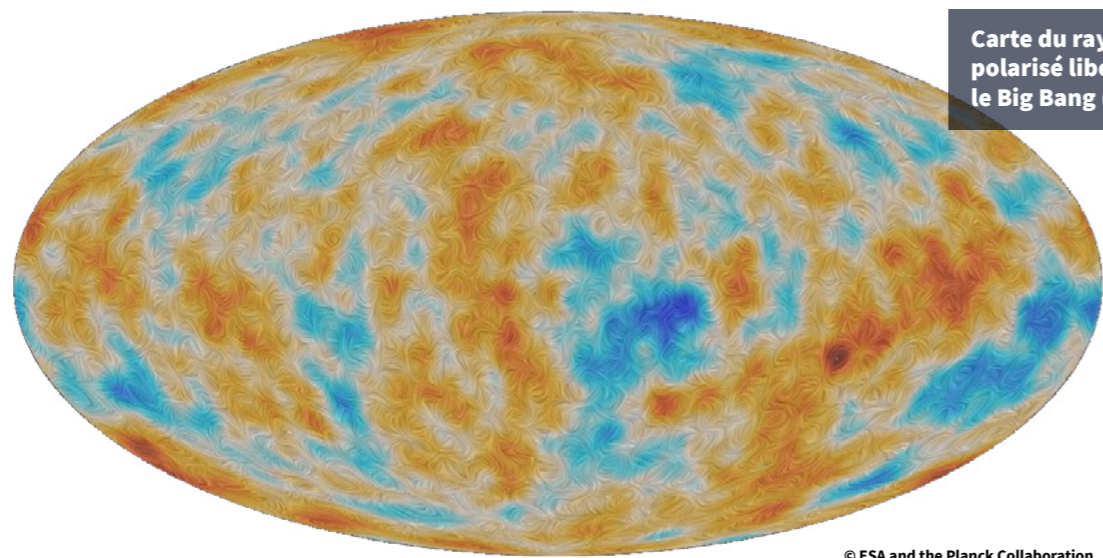
Destinés à la communauté scientifique comme aux acteurs publics et socio-économiques, ces données multi-sources, produits et services sont accessibles au travers d'une infrastructure distribuée de données et de services pour observer, comprendre et prévoir l'évolution du système Terre soumis aux changements globaux. Coordonner les dispositifs et moyens existants est une des ambitions de l'IR Data Terra.

# LA PROPULSION : UN ENJEU CRUCIAL

Depuis le début de l'aventure spatiale, la propulsion et le guidage des engins sont des enjeux cruciaux. Les contraintes environnementales, le New Space et ses constellations de petits satellites, entraînent des changements considérables qui nécessitent une recherche de pointe à la fois fondamentale et appliquée. Les équipes du CNRS relèvent ces défis, en interaction étroite avec l'écosystème industriel français piloté par le CNES, des grands groupes aux start-up, avec le concours de CNRS Innovation. Quelques thématiques emblématiques des recherches au CNRS sont illustrées ci-dessous.



# DEUX ÉCOLES FRANÇAISES PRESTIGIEUSES



Carte du rayonnement fossile polarisé libéré 380 000 ans après le Big Bang (mission Planck)

© ESA and the Planck Collaboration

## COSMOLOGIE : MISSIONS EUROPÉENNES PLANCK (2009) ET EUCLID (2022)

**Quoi :** Observer l'Univers à travers la multitude des galaxies lointaines, jusqu'au Big Bang

**Pour...** Mesurer la composition de l'Univers, comprendre la formation des objets qui nous entourent, et améliorer notre compréhension des lois fondamentales de l'Univers.

La voûte céleste est comme une grande empreinte qui nous surplombe et que l'Univers nous aurait laissée en témoignage de ses origines (le Big Bang), de son contenu (matière, matière et énergie sombres), et de son évolution (la formation des galaxies). L'école française de cosmologie observationnelle a acquis une renommée internationale en développant des méthodes originales pour décrypter cette empreinte depuis l'espace, dans le domaine micro-onde, avec le succès de la mission Planck (cf figure), et dans le domaine visible avec le développement qui s'achève de la mission Euclid, deux missions emblématiques de l'ESA.

**Moyens :** Lancée en 2009, la mission Planck a permis de dresser une carte complètement inédite du rayonnement fossile polarisé, révélant les mécanismes spectaculaires à l'œuvre pendant les tout premiers instants du Big Bang. Son système de détection ultra-sensible (instrument HFI) a été inventé et développé dans les laboratoires du CNRS, en partenariat avec l'industrie spatiale européenne. L'image du ciel observée est la superposition des émissions d'avant-plan, comme celles de notre galaxie et des galaxies lointaines, à celle du rayonnement fossile. Les scientifiques ont pu séparer avec une extrême précision les différentes composantes du rayonnement reçu grâce à des simulations

ambitieuses et des méthodes mathématiques innovantes ... ainsi qu'un remarquable savoir-faire en astrophysique, souligné par de multiples distinctions : plusieurs médailles d'argent et une médaille de l'innovation au CNRS, plusieurs prix Grüber de cosmologie et le prix Shaw en 2018. Aujourd'hui, nos équipes apportent la dernière touche à la mission Euclid qui sera lancée prochainement. D'un principe complètement différent de celui de Planck, ce télescope spatial va réaliser un relevé minutieux de la distribution, de l'évolution et la déformation gravitationnelle des galaxies jusqu'au plus profond de l'Univers. De cette façon, l'énigme qui subsiste sur la nature physique profonde de l'énergie sombre, constituant majoritaire de l'Univers, pourrait être levée.

## LES RÉSULTATS

- Un portrait de 35 millions de pixels du fond diffus cosmologique sur toute la sphère céleste, en intensité et en polarisation.
- Une contribution essentielle à la formalisation des lois de la physique au-delà du modèle standard de la physique des particules, avec :
  - \* La confortation du modèle d'Univers minimal, dans lequel les fluctuations primordiales à l'origine de tous les objets que nous observons sont issues d'une phase dite d'inflation. Les paramètres de ce modèle sont maintenant connus avec précision.
  - \* La détection d'un signal très attendu : l'empreinte de la fin de la phase d'inflation.

## Océanographie spatiale : un partenariat France-USA fort avec la série des altimètres spatiaux

**Quoi :** Observer l'océan, ses courants et ses tourbillons  
**Pour...** Améliorer la connaissance et les simulations du changement climatique.

Au-delà d'une métrologie très précise du niveau des océans et du suivi depuis l'espace de leur montée inexorable causée par le réchauffement climatique, l'altimétrie par satellite est un formidable instrument qui révèle aussi bien les courants et tourbillons de surface que le relief des grands fonds marins.

En contribuant à la redistribution globale de la chaleur et du sel, en influençant les échanges entre l'océan et l'atmosphère, ou encore en structurant la distribution spatiale de la vie marine, les tourbillons de l'océan Austral jouent par exemple un rôle clé dans l'équilibre du climat.

Le CNRS s'investit fortement dans la valorisation de ces mesures, car elles sont fondamentales pour les études sur le climat, et pour améliorer la précision des simulations du changement climatique !

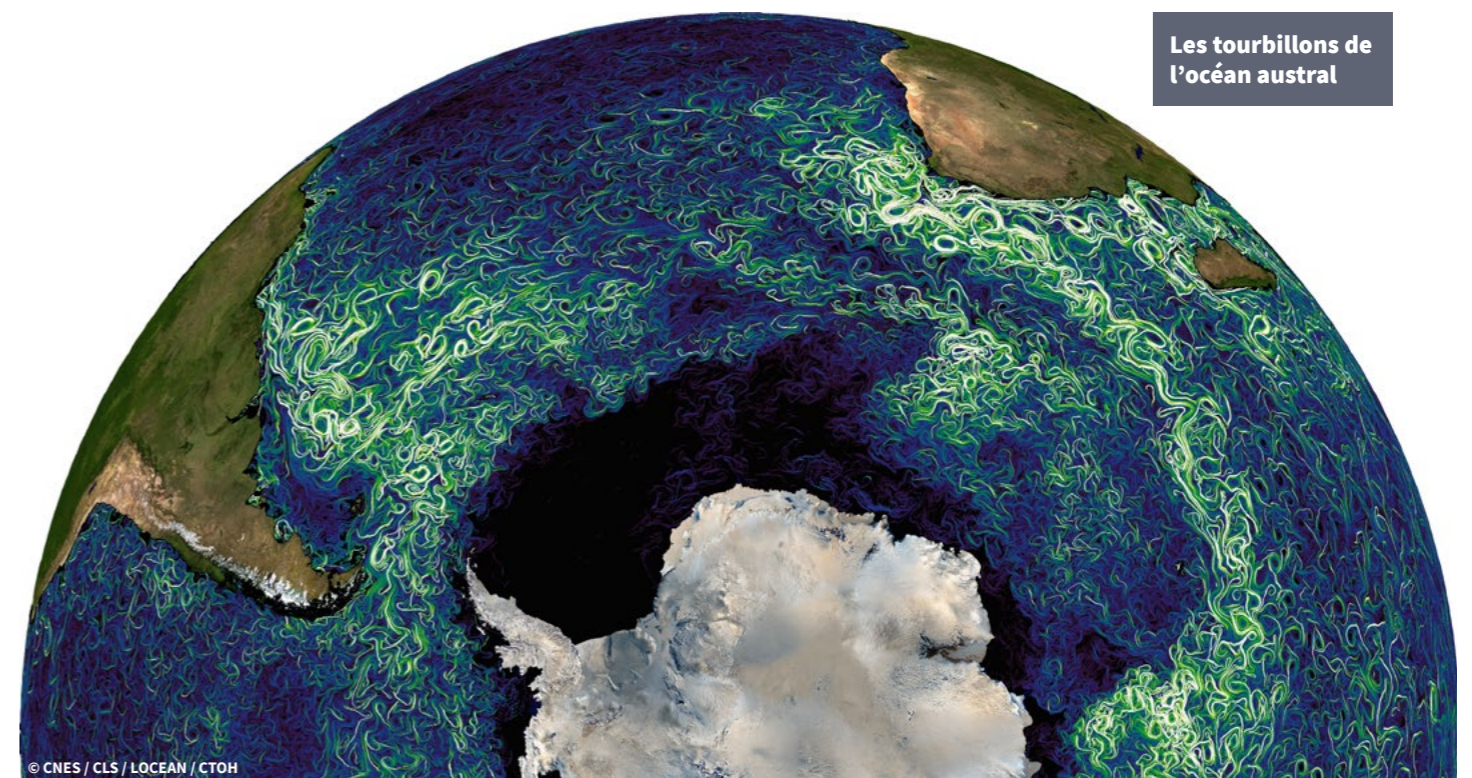
**Moyens :** Une série d'altimètres spatiaux de haute précision TOPEX/Poseidon (1992), Jason-1 (2002), Jason-2 (2008) et Jason 3 (2016) ont fourni la base de la constellation altimétrique au nadir sur 25 ans. Au-delà, le relais sera pris par l'Union européenne (programme Copernicus) avec deux satellites de la famille Sentinel-6/Jason-CS (2020, 2026). L'ensemble de l'instrumentation à bord du satellite

comprend des radars centimétriques dont le faisceau est réfléchi par la surface de l'océan pour en mesurer la distance, des radiomètres micro-onde sensibles à la vapeur d'eau atmosphérique, et une localisation avec trois composantes : un système GPS, et des stations laser et Doppler DORIS installées au sol.

Pour l'avenir, le partenariat franco-américain se poursuivra avec la mission SWOT (Surface Water Ocean Topography), un altimètre à fauchée qui sera lancé en 2022 et qui permettra de cartographier les courants, les tourbillons, les marées et les fonds marins jusqu'aux plus petites échelles spatiales.

## LES RÉSULTATS

- Première topographie globale des fonds marins montrant les fosses abyssales et des chaînes de volcans sous-marins résultant de la tectonique des plaques ;
- Cartographie mondiale des courants marins, principal régulateur thermique de la planète ;
- Depuis bientôt 30 ans, mesure de la montée du niveau des océans produite par le réchauffement climatique, soit 3,28 mm/an ;
- Récemment (voir figure), obtention d'une carte précise du courant circumpolaire antarctique, jusqu'à présent méconnu, de ses tourbillons à petite échelle, et finalement de son rôle dans le cycle du carbone et le réchauffement climatique.



Les tourbillons de l'océan austral

© CNES / CLS / LOCEAN / CTOH

# TOUT UN UNIVERS DE THÉMATIQUES

## MANIPULER LES ROBOTS DANS L'ESPACE

« Robots géologues » qui se déplacent à la surface des planètes pour y effectuer des mesures scientifiques, robots capables d'assembler des infrastructures sur les planètes (instruments d'observation de l'Univers ou même véritables usines d'exploitation de ressources), les robots vont jouer un rôle important dans l'exploration des planètes du Système solaire ! Ils devront être mobiles et coopératifs, dotés de capacité de déplacement, manipulation et assemblage de grandes pièces. Ces problématiques d'exploration et de co-manipulation multi-robots représentent de véritables défis pour nos laboratoires !



## OBSERVER NOS SOCIÉTÉS ET LEURS CHANGEMENTS DEPUIS LE CIEL

De la géopolitique à l'économie, en passant par l'archéologie et l'urbanisme, l'observation de la Terre nourrit de multiples disciplines des sciences humaines et sociales. Grâce aux plateformes de géomatique, que nos laboratoires contribuent fortement à développer, elle se fait également outil d'aide à la décision en permettant de cartographier, mesurer et comprendre tant les réactions aux risques naturels que les liens entre mobilité humaine et changements climatiques.



## CONSTITUER LE FILM DE LA TERRE

Comment recréer le film de l'évolution du relief du sol à haute résolution ? Ce projet vise à définir la chaîne algorithmique qui, partant d'ensembles d'images stéréoscopiques de la Terre obtenues par satellite, détecte ses changements significatifs, donne par fusion le relief le plus plausible à chaque date, et enfin projette sur cette référence 3D commune toutes les images acquises par satellite, en les fusionnant quand elles sont synchroniques, en les égalisant quand elles sont diachroniques.

## COMPRENDRE, SUIVRE ET PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ

Comment évoluent les écosystèmes au sein desquels nous vivons ? Si l'imagerie multi-spectrale à haute résolution nous permet de caractériser et positionner les populations, le système de localisation et de collecte de données environnementales ARGOS en rend possible un suivi précis, très appréciable notamment pour les espèces menacées. Le bio-logging des animaux marins plongeurs nous enrichit quant à lui de mesures physiques (température, salinité) ou écologiques (bioluminescence) très précieuses concernant l'écosystème océanique.

## TROUVER LA MATIÈRE SOMBRE MANQUANTE

Placé en 2011 sur la Station spatiale internationale (ISS), le spectromètre magnétique alpha (AMS) est un détecteur d'astroparticules qui effectue des mesures de précision sur les rayons cosmiques qui ne cessent de bombarder notre planète. Il a déjà collecté 160 milliards de ces rayons, soit plus que tout ce qui avait été mesuré par l'humanité auparavant. D'une précision inégalée, ces données permettent aujourd'hui des avancées majeures en astrophysique, et apportent de précieux indices dans la recherche de la mystérieuse matière sombre et de l'antimatière primordiale. AMS est une collaboration impliquant 44 institutions dans le monde, dont le CNRS en France.



## COMMUNIQUER DANS L'ESPACE

Dans le domaine des télécommunications spatiales, les solutions conventionnelles arrivent souvent à la limite de leurs performances tandis que les défis sont nombreux : comment accroître la capacité des systèmes, réduire leur masse, leur encombrement et leur consommation ? Comment intégrer la flexibilité dans les charges utiles ? Seules des solutions de rupture peuvent alors être envisagées, par exemple celles basées sur des réseaux réflecteurs et des antennes à métasurfaces, des sources rayonnantes compactes et intégrées, ainsi que des antennes à formateurs de faisceaux quasi-optiques.

## RÉLEVER LE DÉFI DE L'ADAPTATION HUMAINE AU SPATIAL

La vie dans l'espace, si elle est possible avec des moyens technologiques, a des conséquences sur la physiologie et le comportement des spationautes. Privé d'atmosphère et de gravité, exposé aux rayons solaires et cosmiques, comment l'humain s'adapte-t-il ? Les biologistes étudient ces adaptations lors de séjours orbitaux de longue durée (à bord de la Station spatiale internationale) ou lors de simulations d'impesanteur sur Terre au moyen de vols paraboliques, immersion sèche, bed-rest, etc. Les laboratoires du CNRS et de ses partenaires participent ainsi aux défis actuels de l'exploration spatiale humaine dont s'emparent la plupart des pays.

## TESTER LES THÉORIES FONDAMENTALES

Effectuer des mesures ultrasensibles et tester des théories fondamentales comme la relativité générale avec une précision impossible à obtenir sur Terre, voici la promesse offerte par le calme de l'espace ! Les premiers résultats de la mission MICROSCOPE permettent déjà d'améliorer d'un facteur 10 la précision de la vérification expérimentale de l'universalité de la chute libre. L'horloge à atomes froids PHARAO devrait rejoindre la station spatiale en 2021, pour tenter de mesurer avec une précision inégalée le changement de rythme des horloges dû à la gravitation (dilatation du temps).



**Partenaires français (hors CNES) :** BRGM, Bureau des Longitudes, CEA, Centrale-Supelec, CERFACS, CNAM, Ecole Polytechnique, EPHE, ENS Lyon, ENS Paris, ENS Paris Saclay, IFREMER, IGN, INRAE, Institut d'Optique GS, IPGP, IPSL, IRD, IRSN, LNME, Météo France, MNHN, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire de Paris, ONERA, Aix Marseille Université, CY Cergy Paris Université, IMT, INP, INSA, La Rochelle Université, ParisTech Sorbonne Université, Université Caen Normandie, Université Clermont Auvergne, Université Côte d'Azur, Université d'Angers, Université d'Avignon, Université d'Orléans, Université de Bordeaux, Université de Bourgogne, Université de Bretagne Occidentale, Université de Bretagne Sud, Université de Franche Comté, Université de Guyane, Université de Haute Alsace, Université de la Réunion, Université de Lille, Université de Limoges, Université de Lorraine, Université de Lyon, Université de Montpellier, Université de Nantes, Université de Paris, Université de Poitiers, Université de Strasbourg, Université de Toulon, Université des Antilles, Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, Université Grenoble Alpes, Université Paris-Est Créteil Val de Marne, Université Paris-Saclay, Université Perpignan Via Domitia, Université Reims Champagne Ardenne, Université Rouen Normandie, Université Savoie Mont-Blanc, Université Rennes 1, Université Rennes 2, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

## CHIFFRES CLÉS

**1000** publications de rang A chaque année

**600** équipes

dans **180** laboratoires de recherche

**72** universités, organismes et établissements partenaires

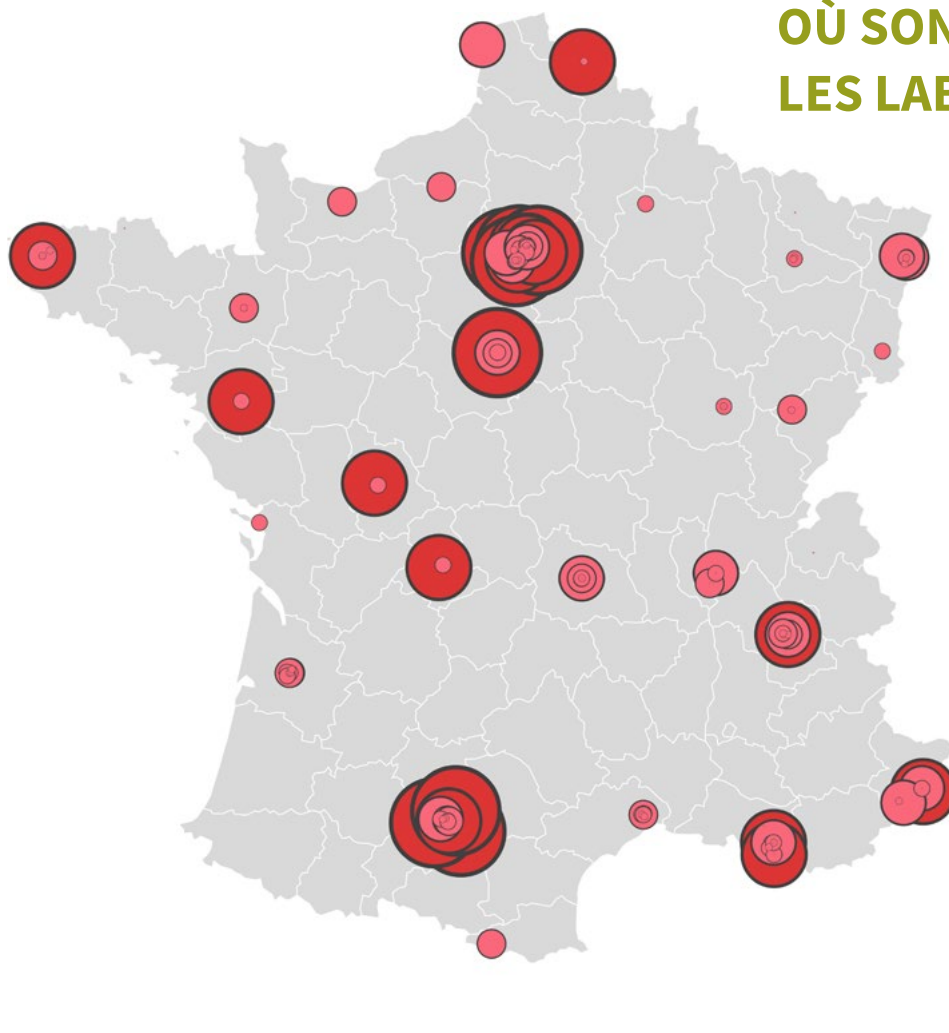
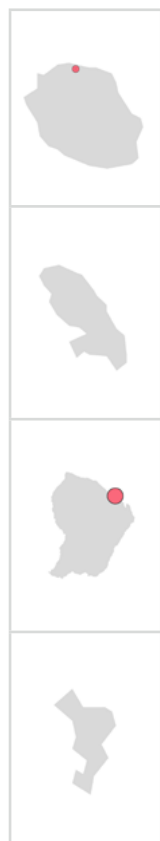
**37** missions en exploitation

et **35** missions en développement

**80** millions d'€ mis en oeuvre par an dans les laboratoires

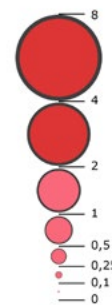
**50%** CNRS et partenaires

**50%** CNES



## OÙ SONT LES LABORATOIRES ?

Moyens financiers et humains engagés annuellement sur chaque site (en millions d'euros)



### CNRS

3 rue Michel-Ange, 75016 Paris

[www.cnrs.fr/insu](http://www.cnrs.fr/insu)

Réalisation et mise en page : INSU Communication

Impression : CNRS DR1 IFSEM secteur de l'imprimé

Octobre 2020

Photo de couverture : Illustration du satellite Rosetta en approche de la comète

Churyumov Gerasimenko © CNES / Rosetta / MPS

Infographies P4-5 et P7 © Loïc Gosset

Photo des en-têtes : Voie lactée observée depuis le désert de Secchura,

au Pérou © Cyril FRESILLON / ARCHAM / CNRS Photothèque

Planètes P10-11 © Freepik.com



### CONTACTS

Anne Brès  
[anne.bres@cnrs.fr](mailto:anne.bres@cnrs.fr)

Martin Giard  
[martin.giard@cnrs-dir.fr](mailto:martin.giard@cnrs-dir.fr)

Gilles Ohanessian  
[gilles.ohanessian@cnrs.fr](mailto:gilles.ohanessian@cnrs.fr)