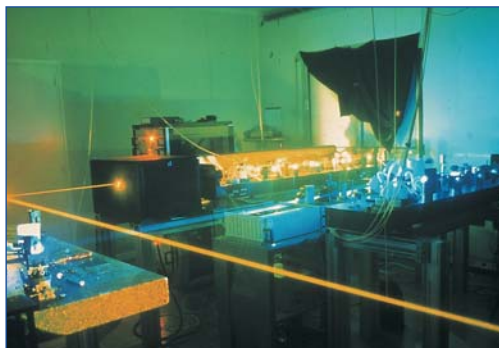


From small to large scale: the role of processes

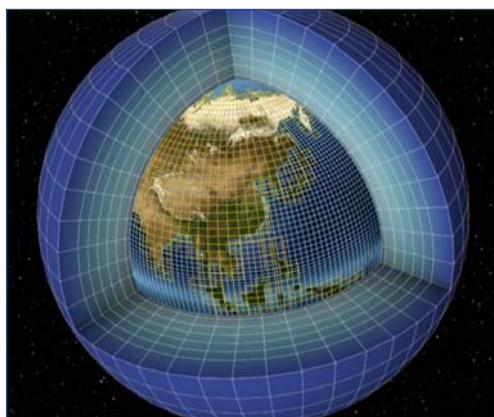


Les lidars, instruments fonctionnant sur le principe des radars mais utilisant des sources laser, sont devenus une source d'informations multiples sur le climat et l'environnement (ozone, aérosols, nuages, vent, gaz à effet de serre, végétation). Ils sont l'une des spécialités instrumentales de l'IPSL.

Lidars work like radars but using lasers as sources. They have become a major source of information about climate and environment (ozone, aerosols, clouds, winds, greenhouse gases, vegetation). IPSL has a major expertise in this field.

© CNRS Photothèque

To understand the climate system as a whole, it is necessary to combine and integrate knowledge that range from observation and small scales modeling - often pertaining to field campaigns such as AMMA or the Mediterranean MISTRALS project - to the global scale through space observation and climate modeling. This is one of the major strengths of IPSL: to be able, for a given process, to collectively develop the whole range of activities going from R & D for instrumentation, to process observation and its inclusion into climate models, and finally to the comparison of model outputs to satellite observations.



Le modèle de climat de l'IPSL intègre à la fois l'atmosphère, l'océan, les glaces de mer et continentales, les surfaces continentales, la chimie atmosphérique et le cycle du carbone. Grâce à ce modèle, l'IPSL participe à la réalisation et à l'analyse des simulations du changement climatique pour les rapports du GIEC.

The IPSL climate model includes the atmosphere, the ocean, the sea and continental ice, the continental surfaces, the atmospheric chemistry and carbon cycle. With this model, IPSL can participate in the IPCC assessment reports with both climate simulations and analysis.

Pour comprendre le système climatique, il est nécessaire d'associer et d'intégrer des connaissances acquises à la fois à partir de l'observation et de la modélisation. Aux petites et moyennes échelles, les recherches s'articulent souvent autour de campagnes d'observation telles que les campagnes du projet AMMA sur la mousson africaine et celles pour l'étude de la région méditerranéenne. A l'échelle planétaire, les observations par satellites et la modélisation climatique constituent des éléments essentiels pour l'avancée des connaissances. Une des forces majeures de l'IPSL est sa capacité à développer collectivement, pour un processus donné, toute une série d'actions qui vont de la recherche et développement (R&D) instrumentale pour l'observation de ce processus jusqu'à sa prise en compte dans des modèles climatiques, eux-mêmes évalués par les observations spatiales.

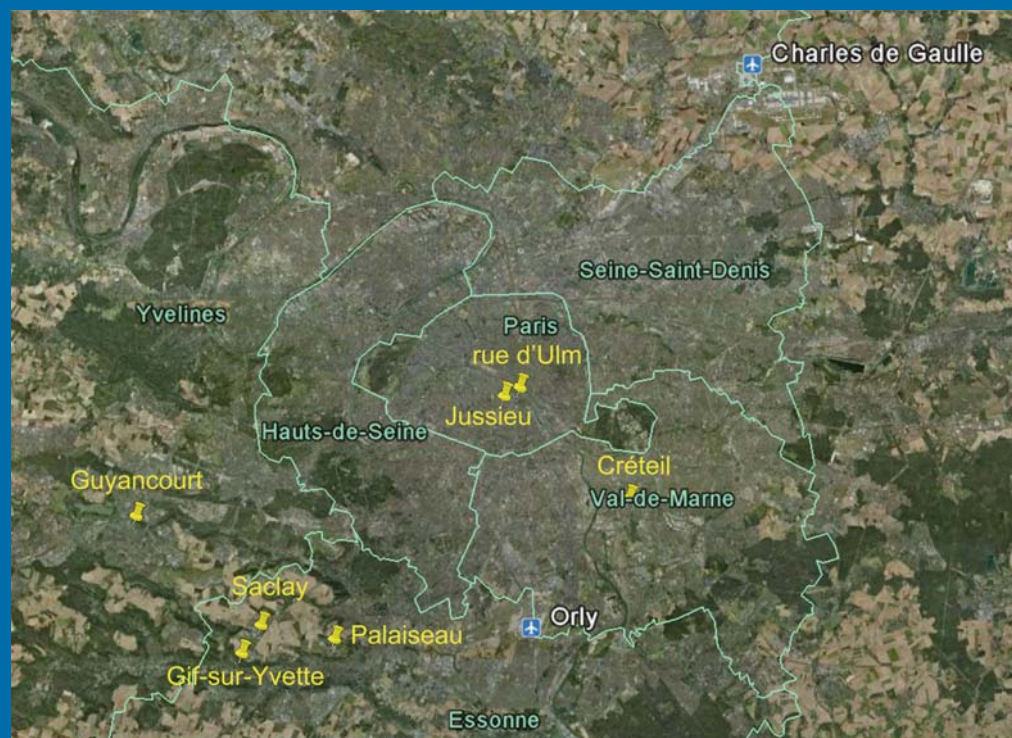
© IPSL, CEA

6 laboratoires

10 tutelles

L'IPSL en chiffres

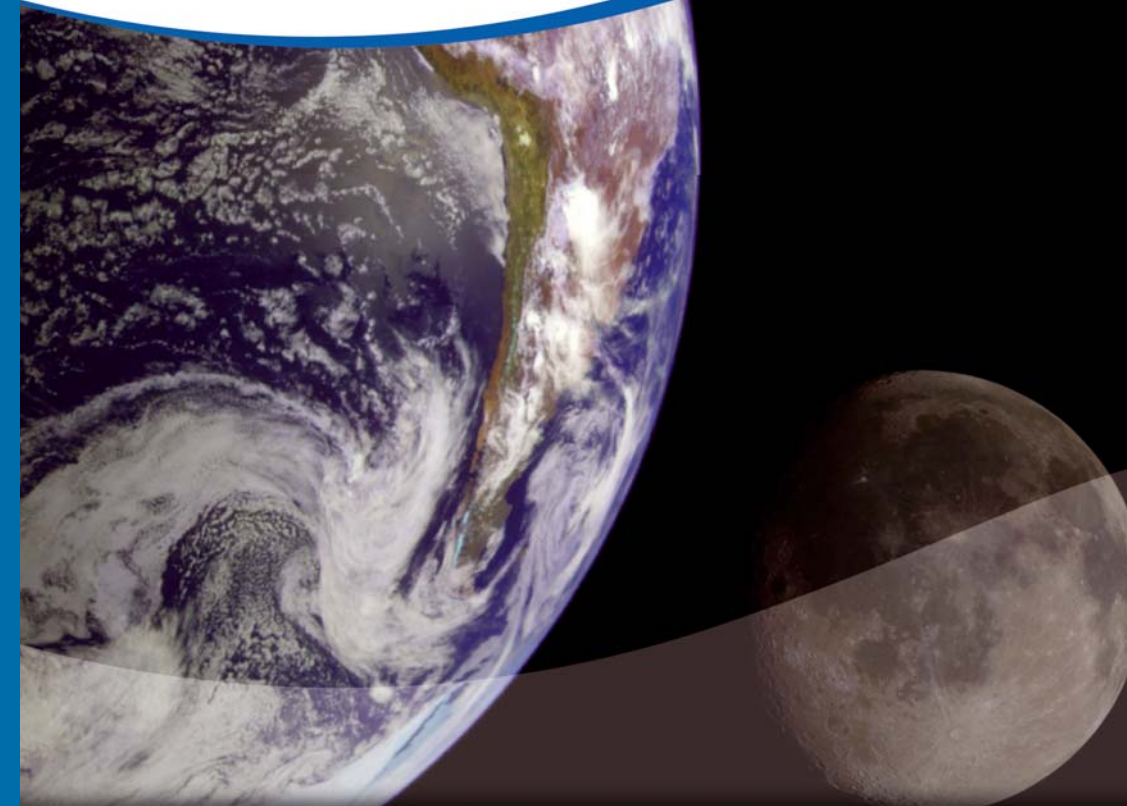
environ 1000 personnes



Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines
Quartier des Garennes
11 boulevard d'Alembert
78280 Guyancourt cedex
FRANCE
Tel : + 33 (0)1 80 28 50 16

Université Pierre et Marie Curie
4 place Jussieu
Boîte 101
75252 Paris Cedex 05
FRANCE
Tel : +33 (0)1 44 27 61 68

www.ipsl.fr



UN INSTITUT DE RECHERCHE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

A RESEARCH INSTITUTE IN ENVIRONMENTAL SCIENCES



De la petite à la grande échelle : le rôle des processus

L'évolution du système climatique global dépend de processus qui s'organisent à des échelles spatiales et temporelles très variées. Une grande part des nuages tropicaux résulte de mouvements turbulents et convectifs dont les temps caractéristiques vont de quelques minutes à quelques heures, avec des échelles spatiales de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres. Ces nuages affectent pourtant l'évolution à long terme du climat, déterminant des mécanismes de rétroactions qui peuvent amplifier ou diminuer la réponse climatique aux gaz à effet de serre. Les courants océaniques mettent en jeu des tourbillons puissants, à des échelles de quelques kilomètres, qui jouent un rôle à la fois dans les transferts horizontaux d'énergie et dans le développement de la vie océanique. On peut citer ainsi une gamme très large de processus qui ont un impact fort sur le système climatique et sur certains grands cycles, comme ceux de l'eau ou du carbone. Cela va des processus radiatifs eux-mêmes, jusqu'à des mécanismes organisés comme les moussons, en passant par les processus liés à la dynamique de l'atmosphère et de l'océan, à la chimie atmosphérique (troposphérique ou stratosphérique, gaz et poussières), à la végétation et l'hydrologie continentale, à la biogéochimie océanique.



Les satellites de la constellation de l'A-Train voyagent les uns derrière les autres le long de la même orbite. En combinant les données quasi simultanées de tous ces satellites, les scientifiques peuvent étudier les paramètres importants qui influent sur le climat. L'IPSL est particulièrement impliqué dans le satellite CALIPSO sur lequel un lidar est embarqué pour l'étude des nuages.

Satellites of the A-Train suite orbit Earth along the same track close to one another. By combining nearly simultaneous observations from these satellites, scientists can study important parameters related to climate change. IPSL is particularly involved with the CALIPSO satellite that carries a lidar for the study of clouds.

© CNRS



Développement vertical d'un cumulus en fin de journée à Agoufou au Mali. Cette photo a été prise pendant la campagne AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine).

Vertical development of a cumulus, at the end of the day in Agoufou, Mali. This picture was taken during the AMMA campaign (African Monsoon Multidisciplinary Analyses)

© CNRS Photothèque - F. GUICHARD, L. KERGOAT

The evolution of the global climate system depends on processes that organize themselves with a wide variety of spatial and temporal scales. A large proportion of tropical clouds results from convective and turbulent movements with characteristic time scales ranging from minutes to hours and spatial scales of a few hundred meters to several tens of kilometers. These clouds affect the long-term climate evolution, since they generate feedback mechanisms that can amplify or reduce the climate response to greenhouse gas emissions. Ocean currents involve powerful vortices at scales of several kilometers, which play a role in both the horizontal transfer of energy and the development of ocean life. There is a wide range of processes that have a strong impact on the climate system and on the great cycles, such as the water and carbon cycles. These include radiative processes, organized mechanisms such as monsoons, processes related to the dynamics of the atmosphere and ocean, to atmospheric chemistry (tropospheric or stratospheric gas and dust), to plant life and surface hydrology, and to ocean biogeochemistry.

Les développements instrumentaux et les observations

Les laboratoires de l'IPSL développent et mettent en œuvre depuis longtemps des **instruments** offrant des précisions et résolutions croissantes pour mesurer des paramètres très variés : **mesures dynamiques, mesures des nuages et aérosols, mesures des gaz à effet de serre et des gaz réactifs, des rapports isotopiques, de la vapeur d'eau, du couvert végétal, des composés organiques, de la salinité, du vent, de champs électrique et magnétique...** Ces observations se font aussi dans des environnements très diversifiés, hostiles, et parfois difficiles d'accès : stratosphère, océan, pôles, système solaire et au-delà. Les expertises développées dans chaque cas concernent les couples instruments/plates-formes : avions, bateaux, ballons, fusées, bouées, satellites, etc. Cet effort réclame parfois d'être conduit dans la durée et l'IPSL réalise des observations systématiques sur des échelles décennales, à partir de réseaux de mesures au sol ou à partir de plates-formes multi-instrumentées, mais aussi dans le cadre de campagnes coordonnées ou depuis l'espace. Ces activités font souvent l'objet de collaborations internationales. Concernant le spatial, l'IPSL travaille en partenariat avec les agences nationales que sont le CNES, l'IFREMER, l'IPEV, l'INSU (Division Technique), etc., les agences européennes (ESA, EUMETSAT), et les autres agences spatiales (NASA, NOAA, etc.).



Les techniques utilisées sont très diverses, souvent innovantes et souvent développées en interne par les ingénieurs et techniciens des laboratoires de l'IPSL : spectromètres à absorption, spectromètres de masse, hygromètres, spectromètres à diode laser, anémomètres. Des techniques de télédétection sont utilisées pour sonder l'atmosphère, allant du domaine de l'optique (de l'ultraviolet à l'infrarouge) aux hyperfréquences et aux techniques radioélectriques. Elles sont passives (spectromètres, radiomètres, photomètres et imageurs) ou actives avec une grande diversité de lidars et de radars.

Ce savoir-faire instrumental très diversifié s'exprime par la participation de l'IPSL à des missions aux objectifs très variés : composition atmosphérique (GOMOS, IASI, OCO), cycle de l'eau, nuages et rayonnement (MWR, SCARAB, CALIPSO, CLOUDNET, AIRS, MEGHA TROPIQUES), atmosphères planétaires et cométaires (CASSINI-HUYGENS, SPICAM/SPICAV, ROSETTA, BEPI-COLOMBO), ionosphère, magnétosphère et émissions solaires (DEMETER, SWAN, CAPS/CASSINI, SOLSPEC, PICARD, TARANIS).

Instrumental developments and observations

IPSL laboratories have long developed and implemented instruments that provide growing accuracies in the measurement of various parameters: **dynamic measurements, measurements of clouds and aerosols, of greenhouse gases and reactive gas concentrations, isotope ratios, water vapor, vegetation cover, organic compounds, salinity, wind, electric and magnetic fields...** These observations are also made in very diverse environments, sometimes hostile and hard of access: stratosphere, ocean, polar regions, solar system and beyond. The expertise developed in each case applies both to instruments and platforms: aircrafts, boats, balloons, rockets, buoys, satellites, etc. This sometimes requires long term efforts and IPSL conducts systematic observations on decadal time scales, from ground-based measurement networks or multi-instrumented platforms, but also as part of coordinated campaigns or from space. These activities are often carried out in the context of international collaborations. As far as space research is concerned, IPSL also works in partnership with national agencies such as CNES, IFREMER, IPEV, INSU (its technical division), etc., with European agencies (ESA, EUMETSAT) and other space agencies (NASA, NOAA, etc.).

The techniques used are diverse, often innovative and often developed by engineers and technicians within IPSL laboratories: absorption spectrometers, mass spectrometers, hygrometers, diode laser spectrometers, anemometers. Remote sensing techniques are used to probe the atmosphere, from optics (from ultraviolet to infrared) to microwave and radio techniques. They are passive (spectrometers, radiometers, photometers and imagers) or active with a variety of lidars and radars.

This multiple instrumental expertise enables IPSL to participate in a wide variety of projects, with various objectives: atmospheric composition (GOMOS, IASI, OCO), water cycle, radiative budget and clouds (MWR, Scarab, CALIPSO, CLOUDNET, AIRS, MEGHA TROPIQUES), planetary atmospheres and comets (Cassini-Huygens, SPICAM / SPICAV, ROSETTA, COLOMBO-SIPO), ionosphere, magnetosphere and solar emissions (DEMETER, SWAN, CAPS / CASSINI-HUYGENS, SOLSPEC, PICARD, TARANIS).

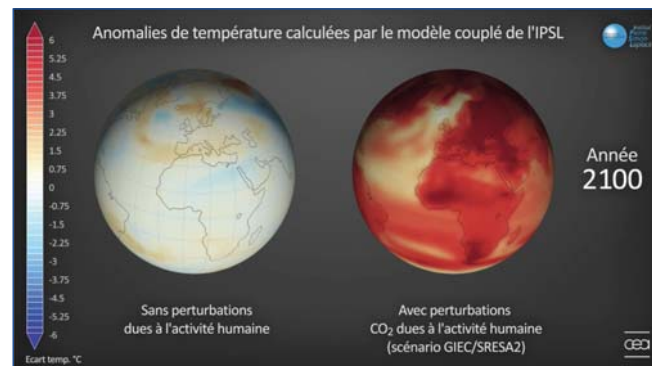
La modélisation du climat

Un des rôles de l'IPSL est d'étudier le climat actuel de la Terre, ses variations passées et ses possibles évolutions futures, aussi bien aux échelles globales que régionales. Ce travail repose sur le **développement de modèles climatiques de différents degrés de complexité et sur l'analyse d'observations**. Il a deux objectifs principaux :

- **étudier les variations naturelles du climat**, à toutes les échelles de temps (de quelques semaines à quelques milliers ou dizaines de milliers d'années) avec un accent particulier sur les échelles de temps de la décennie au siècle. Ces variations sont à la fois dues à la variabilité interne du climat (celui-ci étant un système chaotique) et à des perturbations naturelles (éruptions volcaniques, variation de l'intensité du soleil ou de l'orbite terrestre) ;
- **étudier l'impact des activités humaines sur le climat**, à la fois sur les évolutions récentes du climat mais aussi sur les évolutions futures. Les activités humaines (émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols, utilisation des sols, déforestation, etc.) modifient le climat via un grand nombre de phénomènes physiques, chimiques et biogéochimiques. Ces variations du climat affectent en retour les écosystèmes et les activités humaines.

L'IPSL étudie le climat en considérant les différents compartiments du système Terre (océan, continent, atmosphère) et leurs couplages, à travers une approche multidisciplinaire incluant les différents processus physiques, chimiques et biogéochimiques.

L'IPSL coordonne ou contribue à de nombreux travaux de recherches internationaux, et participe par exemple à la réalisation et à l'analyse de simulations de changement climatique en vue de la préparation des différents rapports du GIEC.



Climate modeling

One of the missions of IPSL is to study the past and present climate of Earth, and its possible future variations, at both global and regional scales. This work is based on the **development of climate models of varying degrees of complexity and on the analysis of observations**. It has two main objectives:

- **to study the natural variations of Earth climate**, at all time scales (from a few weeks to a few thousands or tens of thousands of years) focusing on timescales of a decade to a century. These variations are both due to internal climate variability (the latter being a chaotic system) and natural perturbations (volcanic eruptions, variations in the intensity of the sun or of the earth orbit)
- **to study the impact of human activities**, on both recent and future evolution of the climate of Earth. Human activities (emissions of greenhouse gases and aerosols, land use, deforestation, etc.) are changing the climate through a variety of physical, chemical and biogeochemical processes. These variations in turn affect ecosystems and human activities.

IPSL studies climate by considering the various domains of the Earth system (ocean, continent, atmosphere) and their interactions, through a multidisciplinary approach including various physical, chemical and biogeochemical processes.

IPSL coordinates or contributes to numerous international research projects, such as the production of climate change simulations and their analysis for the different IPCC reports.

L'accroissement de température globale par le modèle de climat de l'IPSL pour 2100 pourrait atteindre plus de 4° sur les continents dans le cas où les émissions de CO₂ ne ralentiraient pas.

The global temperature increase in 2100 as simulated by the IPSL climate model could reach more than 4 °C on the continents in the case of a "do as usual" scenario for CO₂ emissions.

La qualité de l'air

La compréhension des processus physico-chimiques et dynamiques déterminant la **qualité de l'air régionale** est la préoccupation centrale de plusieurs équipes de recherche et de formation de l'IPSL. Côté recherche, il s'agit en particulier de déterminer l'origine locale ou continentale de la pollution photo-oxydante (ozone, dioxyde d'azote, etc.), l'influence de la dynamique et de la chimie sur la formation des polluants secondaires (O₃, etc.) en milieu urbain et périurbain, ainsi que la composition chimique et l'évolution de l'aérosol urbain à l'aide de moyens de mesures importants :

- **le Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique (SIRTA)**, service d'observation labellisé par l'INSU, fournit tout un ensemble de données météorologiques, physiques et chimiques sur les nuages et les aérosols (capteurs in situ, radars, radiomètres, lidars, etc.) ;
- **la plateforme d'observations QUALAIR** assure des mesures, intégrées sur la couche limite atmosphérique urbaine parisienne, de paramètres météorologiques et de concentrations d'espèces chimiques (O₃, NO_x, CO, CO₂, CH₄, hydrocarbures, aérosols, ...) à l'aide notamment de spectromètres (UV, visible, FT) et de lidars ;
- **des instruments de laboratoire** ou à déployer sur le terrain (analyseurs pour mesures de surface ou aéroportés), ainsi que des chambres de simulation permettant de mieux caractériser les réactions chimiques monophasiques ou multiphasiques en laboratoire.



Le SIRTA est situé à Palaiseau, à 20 km au sud de Paris dans un environnement semi-urbain. L'observatoire exploite un ensemble très performant d'instruments actifs et passifs de télédétection pour documenter et surveiller les processus radiatifs et dynamiques de l'atmosphère.

SIRTA is located 20 km south of Paris (France) in a semi-urban environment. The observatory gathers and operates a suite of state-of-the-art active and passive remote sensing instruments to document and monitor an ensemble of radiative and dynamic processes in the atmosphere.

Les données de ces plateformes instrumentales servent de contraintes pour des modèles de transport et de la chimie atmosphérique à l'échelle régionale, comme le modèle CHIMERE (outil national labellisé par l'INSU), développé au sein de l'IPSL, et utilisé quotidiennement pour la prévision de la qualité de l'air en France.

Côté enseignement, les mécanismes de formation de la pollution atmosphérique, la théorie et la pratique des instruments de mesures, ainsi que la modélisation des processus de physico-chimiques et dynamique, sont enseignés dans plusieurs masters, à vocation professionnelle ou de recherche, et portés par des enseignants-chercheurs des laboratoires de l'IPSL.

Air quality

Understanding the physical and chemical processes that determine **regional air quality** is a central concern for several IPSL research and education teams. On the research side, IPSL focuses on determining the local or continental sources of photochemical pollution (ozone, nitrogen dioxide, etc.), the influence of dynamics and chemistry on the formation of secondary pollutants (O₃, etc.) in urban and suburban environments, as well as the chemical composition and evolution of urban aerosol. Significant measurement facilities are used to this end:

- **the SIRTA observatory (Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique)**, a French national atmospheric observatory, provides a collection of meteorological, physical and chemical observations on clouds and aerosols (in-situ sensors, radars, radiometers, lidars, etc.) ;
- **the QUALAIR observation platform**, including spectrometers (UV, visible, FT) and lidars, provides measurements of meteorological parameters and of the concentrations of several chemical species (O₃, NO_x, CO, CO₂, CH₄, hydrocarbons, aerosols, ...) integrated over the atmospheric boundary layer above Paris;
- **laboratory or field instruments** (analyzers for surface or airborne measurements), as well as simulation chambers to better characterize the chemical monophasic or multiphase reactions.

Le SIRTA est situé à Palaiseau, à 20 km au sud de Paris dans un environnement semi-urbain. L'observatoire exploite un ensemble très performant d'instruments actifs et passifs de télédétection pour documenter et surveiller les processus radiatifs et dynamiques de l'atmosphère.

SIRTA is located 20 km south of Paris (France) in a semi-urban environment. The observatory gathers and operates a suite of state-of-the-art active and passive remote sensing instruments to document and monitor an ensemble of radiative and dynamic processes in the atmosphere.

Observations from these instrumental platforms are used as constraints for regional models of atmospheric dynamics and chemistry, such as the CHIMERE model, a national tool developed at IPSL and used daily for predicting the air quality in France. On the educational side, the formation mechanisms of air pollution, the theory and practice of measuring instruments, together with the modeling of physico-chemical and dynamic processes, are taught in several research and vocational master programs by researchers from the IPSL laboratories.

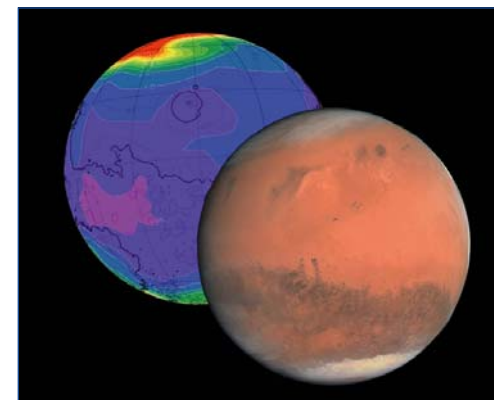
Le système solaire

A l'IPSL, l'étude de l'environnement ne se limite pas à la Terre. Les méthodes d'observations et de modélisation développées pour l'étude de notre planète sont **appliquées aux autres planètes telluriques comme Mars, Vénus et Mercure, ainsi qu'à Titan (un satellite de Saturne), et même aux comètes et à l'espace interplanétaire**.

Si l'exploration du système solaire bénéficie ainsi du savoir faire acquis sur notre planète, notre compréhension de la Terre est grandement enrichie par l'étude de systèmes aussi différents. Plusieurs dizaines de chercheurs, répartis sur quatre laboratoires, participent à cette recherche, autour de trois grands thèmes :

- **Comprendre le système climatique des planètes telluriques**, en combinant observations spatiales et simulations numériques. Les instruments atmosphériques de l'IPSL sont présents sur les grandes missions européennes : Mars Express, Venus Express, Cassini-Huygens (étude de Titan).
- **Etudier les interactions entre les planètes, l'espace et le « vent solaire »**. Parmi les objectifs : comprendre pourquoi Mars et Vénus ont connu un destin différent de la Terre suite à l'échappement d'une partie de l'eau et des gaz de l'atmosphère dans l'espace, et étudier l'origine de Mercure.
- **Enquêter sur la chimie de la « vie extraterrestre »**, en simulant au laboratoire l'évolution de la matière organique dans les environnements extra-terrestres, et en analysant in situ les molécules organiques sur Mars, Titan et les comètes.

L'IPSL a co-développé le laboratoire SAM du rover Curiosity, qui explorera en 2012 un site martien susceptible d'avoir hébergé la vie.



La planète Mars photographiée par la sonde Rosetta (ESA), et une simulation numérique de l'ozone atmosphérique. L'ozone martien est mesuré par le spectromètre SPICAM sur Mars Express et modélisé dans le modèle de climat global martien, deux outils développés à l'IPSL.

Mars photographed by Rosetta (ESA), together with a numerical simulation of atmospheric ozone. Martian ozone is measured by the SPICAM spectrometer on board Mars Express and is modeled by the Martian global climate model, two tools developed at IPSL.

Et déjà, les équipes de l'IPSL se préparent à dépasser les limites du système solaire, en préparant l'observation de l'atmosphère d'exoplanètes, en orbite autour d'autres étoiles.

At IPSL, the study of the environment extends to other planets. The observation and modeling methods developed for the study of our planet are also applied to **other terrestrial planets like Mars, Venus, Mercury, and Titan (a satellite of Saturn), and even to comets and interplanetary space**.

If the exploration of the solar system takes advantage of the expertise acquired on our planet, our understanding of the Earth is also greatly improved by the study of such different planetary systems. Dozens of researchers across four of the IPSL laboratories participate in this research, around three main themes:

- **Understanding the climate system of terrestrial planets** by combining space observations and numerical simulations. IPSL atmospheric instruments are present on major European missions: Mars Express, Venus Express, Cassini-Huygens (study of Titan).
- **Studying the interactions between the planets, space and the solar wind**. Among the objectives: to understand why Mars and Venus have experienced such a different evolution from that of the Earth, after part of their atmospheric water and gases escaped into space, and to study the origin of Mercury.

- **Investigating the chemistry of "extraterrestrial life"**, by simulating, in laboratory experiments, the evolution of organic matter in extraterrestrial environments, and by analyzing organic molecules in situ, on Mars, Titan and on comets.

IPSL has, for example, co-developed the SAM experiment on board of the Curiosity rover, which, in 2012, will explore a site on the planet Mars that may have hosted life.

Furthermore, IPSL teams are already preparing to go beyond the limits of the solar system, observing the atmosphere of exoplanets orbiting around other stars.