

Dossier de presse



inspire.sat 7
MONITORING THE EARTH

INSPIRE-SAT 7, l'épopée spatiale continue

Mise en orbite d'un nouveau satellite d'observation de la Terre en avril 2023

Sommaire

INSPIRE-SAT 7, un nanosatellite français pour observer le Soleil et la Terre.....	2
Une équipe pluridisciplinaire et engagée.....	6
Les contacts scientifiques de la mission.....	6
Objectifs de la mission.....	7
Historique du projet et frise chronologique.....	9
INSPIRE-SAT 7 : un concentré de technologie.....	10
Les partenaires de la mission INSPIRE-SAT 7.....	11
De la science à l'enseignement, un programme scientifique et pédagogique.....	13
Écosystème autour du projet.....	16
A propos de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ).....	18
A propos de l'Université Paris-Saclay	18
A propos du LATMOS.....	19
A propos du CNRS.....	20
A propos de Sorbonne Université.....	20
A propos de l'ONERA	20
A propos de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	20
Références bibliographiques.....	21



INSPIRE-SAT 7, un nanosatellite français pour observer le Soleil et la Terre



INSPIRE-SAT 7 est un nano-satellite français conçu pour observer le Soleil et la Terre.

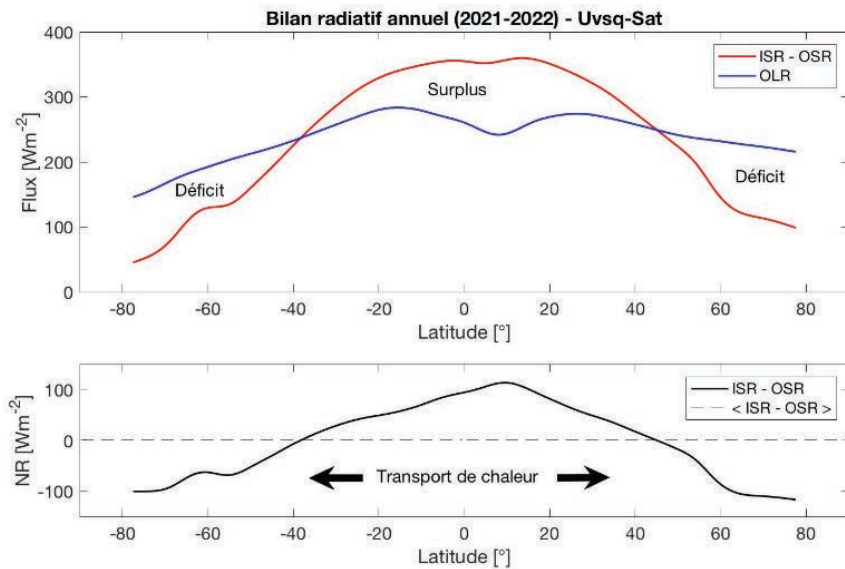
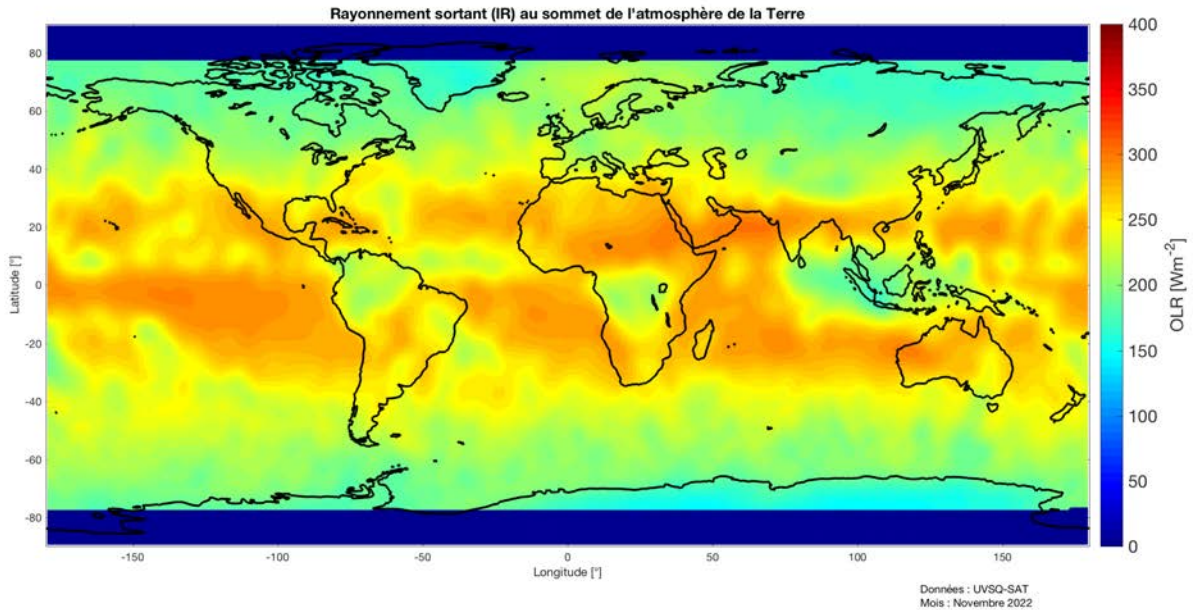
Ce satellite doit être mis en orbite le 3 avril 2023 depuis la base militaire américaine de Vandenberg en Californie. INSPIRE-SAT 7 rejoindra UVSQ-SAT dans l'espace à une altitude d'environ 550 km.

Le déploiement de ce deuxième satellite marque la seconde étape de la constitution de la première constellation universitaire de CubeSats dédiée à l'observation de variables climatiques essentielles.

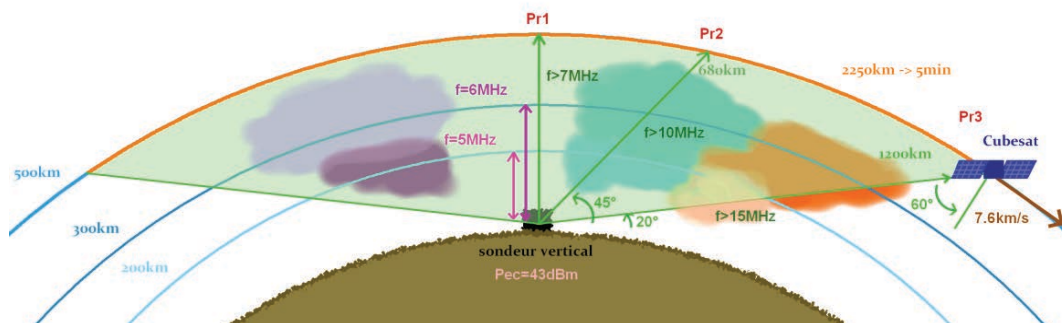
INSPIRE-SAT 7 apportera des informations complémentaires au satellite UVSQ-SAT qui observe la Terre, avec succès depuis le 24 janvier 2021, ainsi que son bilan radiatif.

UVSQ-SAT





INSPIRE-SAT 7 embarquera aussi une nouvelle charge utile dont l'objectif est la caractérisation de l'ionosphère en utilisant un moyen de réception haute fréquence (HF) embarqué dans un nanosatellite. Les signaux émis depuis le sol par un sondeur vertical de l'ONERA seront ainsi reçus au niveau du satellite INSPIRE-SAT 7 après une traversée partielle de l'ionosphère. L'objectif sera ensuite de caractériser le milieu le long du trajet à partir des signaux reçus.



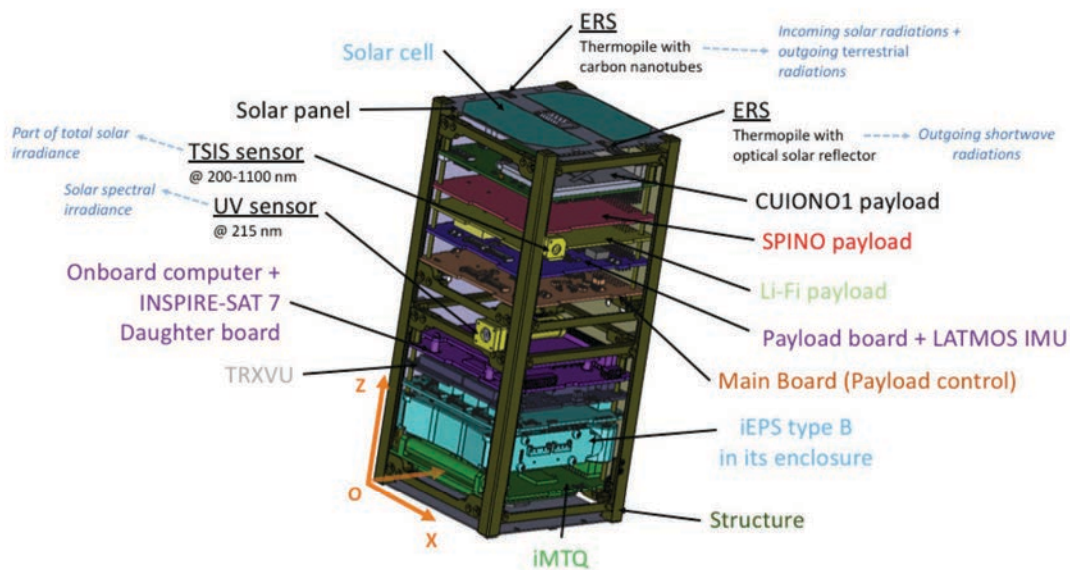
Ce nouveau démonstrateur technologique spatial est placé sous la responsabilité du LATMOS.

Le LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales – UMR8190 CNRS, UVSQ, Sorbonne Université) est le maître d'œuvre et d'ouvrage de ce satellite.

Une étroite collaboration a été mise en place avec l'ONERA, des partenaires académiques nationaux & internationaux, et des industriels de la région Ile-de-France pour pouvoir développer en 2 ans ce nouveau bijou technologique.

A l'instar d'UVSQ-SAT, INSPIRE-SAT 7 est un petit satellite respectant le standard Cube-Sat. Le terme « CubeSat » désigne un format de nanosatellite défini en 1999 par l'Université polytechnique de Californie et l'Université de Stanford (États-Unis). Il a été imaginé par les professeurs d'université Bob Twiggs et Jordi Puig-Suari, dont un des objectifs était de former les étudiants à la conception, la construction et l'exploitation d'un satellite. Un CubeSat est un satellite miniaturisé qui a une taille proche de celle d'un Rubik's Cube ©. C'est un parallélépipède rectangle d'environ 10 cm de côté pesant à peine 1,4 kg et consommant quelques watts. Il tient dans la paume de la main et donne un accès à l'espace. Un CubeSat peut être utilisé seul (une unité – 1U) ou en groupe pour former un nanosatellite. On peut en assembler jusqu'à 27 unités (27U).

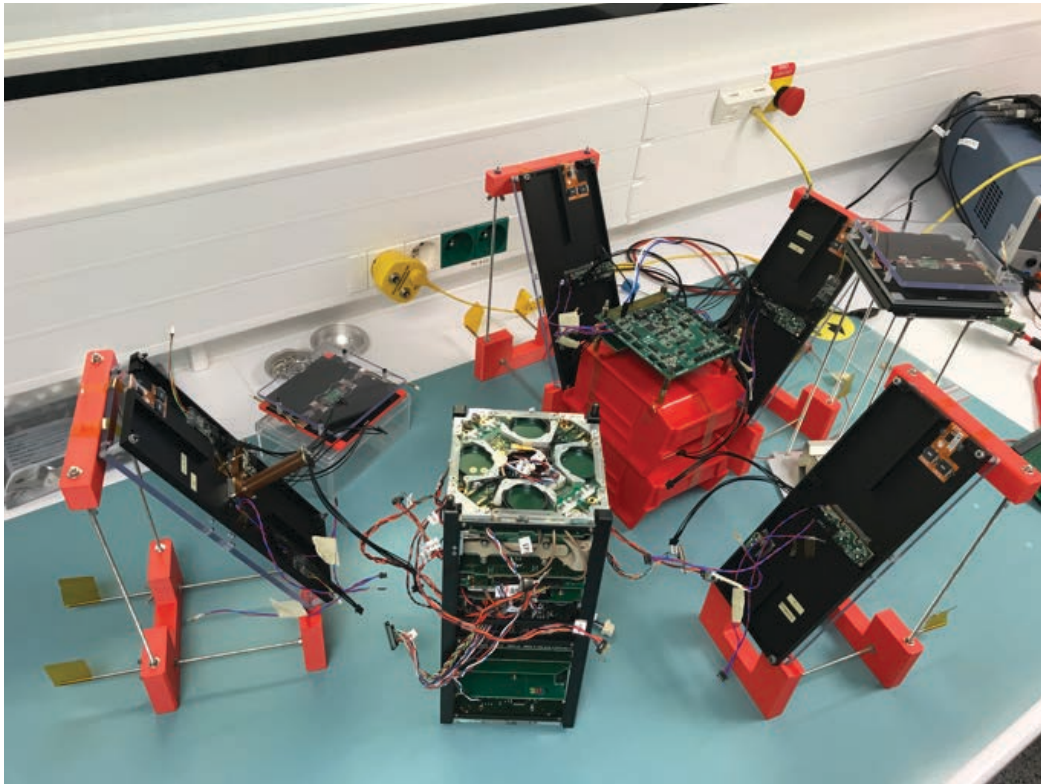
INSPIRE-SAT 7 est un nanosatellite de type 2U pesant environ 2 kg. Il est doté d'une multitude de capteurs hérités des progrès de la miniaturisation pour mesurer des variables climatiques essentielles et tester de nouveaux dispositifs technologiques. Deux fois plus grand que son prédécesseur (UVSQ-SAT), il embarquera donc à son bord plusieurs technologies supplémentaires (capteurs d'étude du bilan radiatif plus grands, charge utile pour étudier l'ionosphère, technologies sans fil, nouvelle carte radioamateur).



Meftah et al., MDPI, 2022.

Conçu, réalisé et testé à l'OVSQ (Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines).

INSPIRE-SAT 7 est le deuxième Cube-Sat de la future constellation hétérogène imaginée pour mesurer avec plus de précision le déséquilibre énergétique de la Terre et l'orientation future du climat. Projet de recherche innovant, ce Cube-Sat met également en valeur l'apprentissage des étudiants dans la conception et la réalisation d'une structure de satellite et la mise en œuvre d'un centre de contrôle-commande.



INSPIRE-SAT 7 en cours d'intégration à l'OVSQ – année 2022.



Satellite en cours d'intégration dans le système de séparation lanceur – février 2023.

« L'étude et l'observation du climat se jouent plus que jamais dans l'espace ».

M. Meftah – L'espace et le NewSpace au service du climat, une opportunité unique pour relever les défis du changement climatique.

Une équipe pluridisciplinaire et engagée

Composée d'académiques, d'industriels et d'étudiants, l'équipe d'INSPIRE-SAT 7 regroupe plus de 50 personnes investies sur le projet. Par ailleurs, l'équipe INSPIRE-SAT 7 a pu compter sur le support sans faille de la communauté radioamateur.

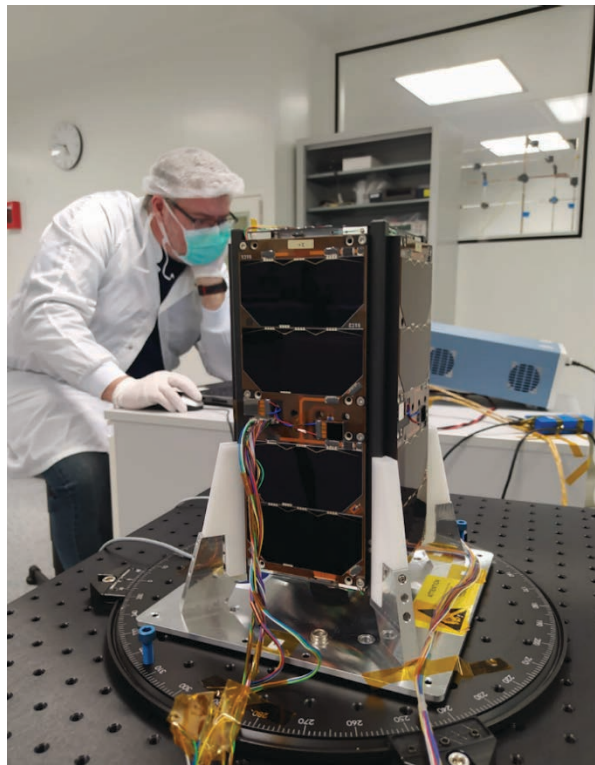
Tous les corps de métiers sont représentés : de la conception à la fabrication de maquettes taille réelle dans le Fablab, en passant par l'intégration de composants électroniques, la soudure, le développement logiciel, l'analyse de données, etc.

L'équipe est composée de :

- Une quinzaine d'ingénieurs et de techniciens
- Une dizaine de scientifiques
- 1 doctorant
- 1 post-doc
- Une dizaine de coopérations nationales et internationales

Contacts scientifiques de la mission

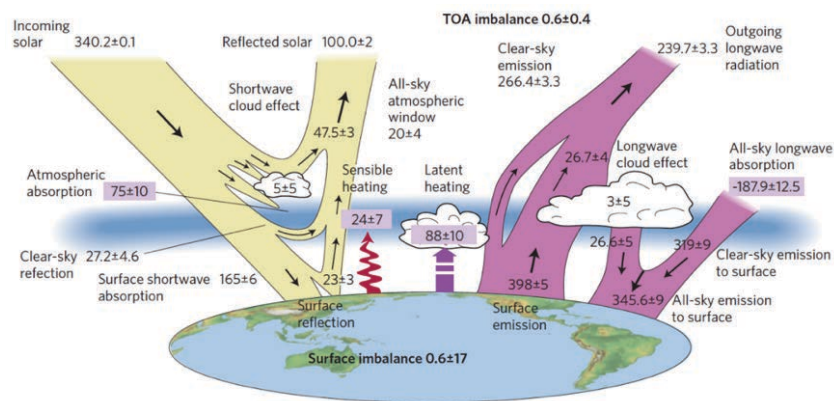
- Principal investigateur de la mission et porteur du programme – LATMOS/UVSQ/SU/Paris-Saclay/CNRS :
Dr. Mustapha Meftah – mustapha.meftah@latmos.ipsl.fr – 06 60 13 59 17
- Responsable scientifique ONERA :
Dr. Fabrice Boust – fabrice.boust@onera.fr
- Vice-président Recherche à l'UVSQ :
Dr. Philippe Keckhut – philippe.keckhut@latmos.ipsl.fr - 01 80 28 52 50



Missions et objectifs

La mission INSPIRE-SAT 7 a pour objectif d'observer le bilan radiatif au sommet de l'atmosphère. Le bilan radiatif de la Terre quantifie l'énergie reçue et perdue par le système climatique terrestre – au niveau de l'atmosphère, du sol et des océans. Il s'agit d'étudier le déséquilibre énergétique de la Terre qui représente la différence entre la quantité d'énergie solaire absorbée par la Terre et la quantité d'énergie que la planète rayonne vers l'espace sous forme de chaleur.

Le bilan radiatif de la Terre représente un problème extrêmement complexe. Les premiers bilans relativement détaillés des échanges énergétiques de notre planète et de son atmosphère ont été publiés en 1997 par Kiehl et Trenberth. Le bilan radiatif de la Terre dépend de plusieurs composantes. Notre planète reçoit en moyenne $340,2 \text{ Wm}^{-2}$ de rayonnement solaire au sommet de l'atmosphère (TSI/4), dont une partie est renvoyée vers l'espace. Le rayonnement solaire réfléchi à longueur d'onde courte (OSR) est de l'ordre de $100,0 \text{ Wm}^{-2}$. L'équilibre énergétique du système Terre-atmosphère est maintenu par rayonnement infrarouge de la Terre vers l'espace à longueur d'onde longue (OLR). Le rayonnement infrarouge de la Terre est d'environ $239,7 \text{ Wm}^{-2}$. Le déséquilibre énergétique de la Terre est la différence entre le flux solaire incident (TSI/4) et le flux solaire qu'elle réfléchit (OSR) associé au flux infrarouge qu'elle émet thermiquement (OLR). Lorsque le système est à l'équilibre, la température de la Terre reste constante. S'il y a un déséquilibre énergétique positif, notre planète va se réchauffer.



Bilan radiatif de la Terre pour la période 2000-2010. Tous les flux sont exprimés en Wm^{-2} . Les flux d'origine solaire (TSI, OSR) sont représentés en jaune et les flux IR (OLR) en violet. Crédits : Stephens et al. (2012).

Le déséquilibre énergétique de la Terre a été estimé à $0,6 \pm 0,4 \text{ Wm}^{-2}$ entre 2000 et 2010. Une étude publiée en 2020 montre que le déséquilibre énergétique de la Terre continue de croître sans relâche (Von Schuckmann et al.). Estimé à $0,87 \pm 0,12 \text{ Wm}^{-2}$ sur la période 2010-2018, il a doublé par rapport à la période 1971-2018. Le déséquilibre énergétique de la Terre représente la mesure la plus cruciale de l'état du climat de la Terre. Il définit les attentes en matière de changement climatique futur.

Pour caractériser le réchauffement climatique, deux paramètres sont particulièrement suivis :

- L'évolution de la concentration en CO_2 ,
- La température à la surface de la Terre.

C'est pourtant le déséquilibre énergétique de la Terre (EEI) qui représente la meilleure approche pour comprendre l'état du climat. Car, la capacité de l'océan à stocker et à redistribuer verticalement de grandes quantités de chaleur sur une dizaine d'années signifie que les tendances de température de surface sont un indicateur peu fiable du réchauffement climatique à ces échelles de temps. Le déséquilibre énergétique de la Terre traduit l'excès de chaleur qui s'accumule dans tout le système terrestre. C'est le véritable moteur du réchauffement climatique.

L'observation du climat se joue plus que jamais dans l'espace, et une constellation de petits satellites dédiée à l'observation de variables liées au changement climatique fournit des mesures scientifiquement essentielles et sollicitées. L'approche des chercheurs s'articule autour de la modélisation du système climatique et sur le développement des différents instruments d'observation.

La mission INSPIRE-SAT 7 va aussi permettre de mettre en œuvre une charge utile dédiée à l'observation de l'ionosphère.

La caractérisation de l'ionosphère présente un regain d'intérêt dans la problématique de la météorologie spatiale. En effet, les perturbations dont elle est le siège ont une grande influence sur la qualité de nombreux services de télécommunications et d'observations. La connaissance en temps réel de l'ionosphère et de son comportement devient alors un atout majeur. Une version améliorée de ce récepteur permettant de mesurer les retards des ondes HF à la traversée de l'ionosphère sera lancée en 2023 dans le cadre de la mission FlyLab de l'ONERA.

Les mécanismes de formation de l'ionosphère sont d'origine solaire. L'énergie des rayonnements électromagnétiques d'origine solaire est suffisante pour arracher des électrons aux atomes et aux molécules de l'atmosphère : c'est la photo-ionisation. Cette ionisation, non homogène sur l'ensemble de l'ionosphère, donne naissance à la formation de couches plus ou moins densément peuplées de particules chargées. Usuellement, l'ionosphère est divisée en trois couches : D, E et F. Les couches se différencient par l'altitude et la densité d'électrons au niveau du maximum local d'ionisation. Ces caractéristiques dépendent du rapport entre le taux d'ionisation et le taux de recombinaison des gaz présents aux différentes altitudes. La densité d'électrons dans ces couches fluctue en fonction des mouvements des gaz de l'ionosphère sous l'effet du vent local, de la convection et du flux solaire. Elle fluctue aussi directement sous l'effet des jets de particules solaires. La couche D est la région située entre 50 et 90 km d'altitude. Elle est très peu ionisée avec un maximum au midi local et des valeurs de densité électronique négligeables la nuit. La fréquence de collisions avec les atomes et les molécules neutres est importante si bien que cette couche est capable d'atténuer considérablement les ondes décimétriques lors de leur traversée du milieu ionosphérique (absorption). La couche E est située entre 90 à 120 km d'altitude environ. Cette couche présente deux types d'ionisation. Pour des périodes de jour et en toutes saisons, elle présente des fréquences plasma comprises entre 3 et 5 MHz à des altitudes comprises entre 110 et 115 km. L'ionisation résiduelle pour les périodes de nuit est très faible. Cette couche peut également présenter de très fortes densités électroniques se présentant sous la forme de bulles d'ionisation de tailles et de densités électroniques très variables ou d'une fine couche d'étendue spatiale plus ou moins grande pouvant occulter l'ionisation supérieure : la couche E sporadique notée Es. La couche E sporadique est capable de réfléchir des ondes électromagnétiques de fréquences allant jusqu'à 100 MHz. La région F est la couche de l'ionosphère qui a l'influence la plus prépondérante sur les communications radioélectriques. Elle s'étend au-delà de 140 km d'altitude avec un maximum de densité électronique situé entre 250 et 500 km. C'est la région de l'ionosphère la plus ionisée et qui exhibe les plus larges variations d'ionisation. Durant les mois d'été, elle se compose, pour des périodes de jour, de deux couches qui ont pour noms F1 et F2 et en une seule couche, nommée F, pour des périodes de nuit. Ainsi, chaque couche ionosphérique correspond à une gamme d'altitudes et de densités électroniques. Une onde HF voyageant dans ce milieu va fortement interagir avec ces particules chargées. Au lieu d'employer la notion de densité électronique, il est parfois utile d'introduire la notion équivalente de fréquence plasma, étant donné que l'ionosphère est considérée comme un plasma froid. La fréquence plasma peut être apparentée à la fréquence de coupure de l'ionosphère. Une onde, se propageant en incidence verticale dans l'ionosphère, est réfléchi sur les couches ionosphériques si sa fréquence est inférieure à la fréquence plasma, et les traverse dans le cas contraire.

Le milieu ionosphérique est sujet à de nombreuses perturbations d'origines géophysiques (passage d'onde de gravité, les éruptions solaires, les orages magnétiques ...) qui ont une influence directe sur le degré d'ionisation des couches ionosphériques. Ces changements d'ionisation se traduisent par des modifications de l'état de propagation des communications empruntant ce canal.

Le récepteur HF permet de numériser une bande à plusieurs fréquences porteuses simultanément. La mesure de l'amplitude du signal émis sur chacune des bandes permet d'obtenir une comparaison d'amplitude. Ces mesures d'amplitude permettent :

- De faire des statistiques sur les niveaux des signaux reçus par le nanosatellite au cours du temps ;
- D'observer l'impact des perturbations ionosphériques telles que les éruptions solaires et les orages magnétiques sur les ondes HF et leurs fréquences d'apparition dans le cas où nous ferions des mesures périodiques.

LATMOS **inspire.sat 7** **UVSQSAT**

Une filière Satellites dédiée à la Science

1999 Les universités américaines développent le concept de Cube-Sat.

2008 Mustapha Meftah et Alain Sarkissian proposent l'idée d'une constellation de petits satellites pour observer la Terre (climat).

2010 Naissance de la Plateforme Intégration et Tests (PIT) de l'OVSQ imaginée initialement par Gérard Mégie (président du CNRS de 2000 à 2004) pour mettre en œuvre des micro-satellites (jusqu'à 200 kg). Filière Myriade (Demeter, Picard, ...).

2014 Une première publication paraît au sujet de l'observation simultanée de la Terre et du Soleil avec des nano-satellites. Des collaborations internationales se mettent en place.

2016 Un accord de coopération sur les nano-satellites est signé entre l'UVSQ et l'Université du Colorado. Le consortium international INSPIRE (International Satellite Program in Research and Education) démarre et le LATMOS représente l'Europe.

2017 Philippe Keckhut en tant que directeur du LATMOS décide d'ouvrir un nouveau centre de contrôle-commande satellites à St Quentin-en-Yvelines (78). Mustapha Meftah est responsable de la filière petits satellites et lance le programme Uvsq-Sat.

2018 Le LATMOS organise le deuxième congrès international INSPIRE à Paris (75) et à Guyancourt (78). Des experts internationaux participent à ce colloque.

2020 Le COSPAR crée le groupe TGCCS (Task Group on establishing a Constellation of Small Spacecraft). Mustapha Meftah fait partie de ce groupes d'experts internationaux. Début du programme Inspire Sat.

2021 UVSQ-SAT a passé de nombreux essais environnementaux à la PIT, mais aussi au CNES et à l'ONERA à Toulouse. Mise en orbite du satellite Uvsq-Sat par la fusée Falcon 9 envoyée par SpaceX depuis la base de lancement en Floride.

2022 Fabrication, intégration et essais environnementaux du satellite Inspire Sat.

2023 Mise en orbite d'Inspire Sat depuis la Floride. Exploitation de deux satellites en orbite. Deux ans d'exploitation en orbite du satellite Uvsq-Sat, un succès total !

Gaïa Y78 ... 2030

inspire.sat 7
MONITORING THE EARTH

UVSQ-SAT

Credits : LATMOS - Marnie Boyer - Contact : mustaphameftah@latmos.fr

INSPIRE-SAT 7 : un concentré de technologie

INSPIRE-SAT7 embarque à son bord des détecteurs miniaturisés pour mesurer les composantes du bilan radiatif de la Terre durant au moins deux années. L'objectif est de quantifier le déséquilibre énergétique de la Terre, le moteur du réchauffement de la planète qui est alimenté par l'augmentation des gaz à effet de serre.

La mission utilise aussi une nouvelle technologie permettant de mesurer le rayonnement solaire dans le domaine de l'ultraviolet, dont la variabilité impacte directement la couche d'ozone et les températures dans la moyenne atmosphère.

INSPIRE-SAT 7 intègre également une nouvelle charge utile développée par l'ONERA. Elle fournira des informations sur l'état de l'ionosphère. Il s'agira d'observer l'impact des perturbations ionosphériques, telles que les éruptions solaires et les orages magnétiques sur les ondes à haute fréquence et leur occurrence. Ainsi, un récepteur à haute fréquence embarqué à bord d'INSPIRE-SAT 7 captera les signaux émis depuis le sol par des équipements existants de l'ONERA, tels qu'un sondeur vertical et un radar à haute fréquence. Ces mesures permettront de consolider un modèle ionosphérique et de mieux quantifier les perturbations ionosphériques qui ne sont pas prises en compte. Ces perturbations pourront ensuite être corrélées avec diverses observations effectuées par un réseau de magnétomètres et de satellites en orbite.

INSPIRE-SAT 7 cherchera aussi à mettre en orbite le premier module LIFI à bord d'un CubeSat. Il s'agit d'une technologie de communication sans fil reposant sur l'utilisation de la lumière visible. OLEDCOMM et le LATMOS souhaitent ainsi démontrer que la communication sans fil basée sur la lumière est une alternative crédible aux harnais de cuivre traditionnels. Que ce soit d'un point de vue de la masse ou de l'ingénierie, le LIFI offre des perspectives intéressantes pour les applications spatiales de demain.

Enfin, une charge utile radio amateur sera intégrée à bord d'INSPIRE-SAT7. Elle sera destinée à tous les radioamateurs de la planète. AMSAT-F, l'ELECTROLAB, ADRELYS et le LATMOS ont décidé de concevoir une carte complète de télémétrie bidirectionnelle « libre » pour les CubeSats. Ce dispositif sera associé au transpondeur audio validé à bord d'UVSQ-SAT, et qui offre déjà une possibilité de communication entre radioamateurs.



Tests radio réalisé sur la Colline d'Élancourt (78).

Les partenaires de la mission INSPIRE-SAT 7

- › ONERA - Le centre français de recherche aérospatiale, <https://www.onera.fr/fr>
- › AMSAT-F,
- › F6KRR,
- › OLEDCOMM,
- › HENSOLDT SPACE CONSULTING,
- › ACRI-ST,
- › L'Electrolab,
- › ADRELYS,
- › Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique,
- › Laboratory for Atmospheric and Space Physics aux Etats-Unis
- › Nanyang Technological University Singapore,
- › 國立中央大學 National Central University à Taiwan.

Ces activités spatiales sont également soutenues par la communauté d'agglomération de communes de Saint-Quentin-en-Yvelines, le département des Yvelines, ou encore le CNES.

Le Rectorat de Versailles apporte un fort support dans la mise en œuvre d'une constellation de petits satellites dédiée à l'étude du climat – Projet « Gaïa Y78 ».

Le principal objectif du programme Gaïa Y78 est de mettre en œuvre une constellation hétérogène de petits satellites dédiés à la mesure du déséquilibre énergétique de la Terre. Un premier nano-satellite (UVSQ-SAT) dédié à cette mesure a été mis en orbite en janvier 2021. Une autre mise en orbite de satellite (INSPIRE-SAT 7) est prévue en avril 2023. Ce programme cherche à sensibiliser le monde de la recherche académique et les étudiants à l'étude du climat et au spatial.





L'ONERA, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, placée sous la tutelle du Ministère des Armées. Il prépare la défense de demain, répond aux enjeux aéronautiques et spatiaux du futur, et contribue à la compétitivité de l'industrie aérospatiale. Il maîtrise toutes les disciplines et technologies du domaine. Tous les grands programmes aérospatiaux civils et militaires en France et en Europe portent une part de l'ADN de l'ONERA : Ariane, Airbus, Falcon, Rafale, missile, radars, etc. Une convention de collaboration entre l'ONERA et le LATMOS a été mise en place juin 2020.



Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), le CNES propose aux pouvoirs publics la politique spatiale de la France et la met en œuvre dans 5 grands domaines stratégiques : Ariane, les Sciences, l'Observation, les Télécommunications et la Défense. Le CNES entretient des relations très étroites avec l'industrie spatiale, ses partenaires européens dans le cadre de l'Agence spatiale européenne et de la Commission européenne, et à l'international.



La mission INSPIRE-SAT 7 s'intègre dans le programme INSPIRE (International Satellite Program in Research and Education). Ce consortium international d'universités collabore pour la mise au point d'une constellation de petits satellites. Ce programme a pour objectif de développer des programmes de recherche et d'enseignement sur la conception de nanosatellites, l'ingénierie des systèmes spatiaux et les opérations de réception et d'analyse de données.



La PIT installée dans les locaux de l'Observatoire de Versailles St Quentin-en-Yvelines est une Plateforme d'Intégration et de Test. Elle met à la disposition de ses clients des moyens d'intégration instrumentale et d'essais mécaniques dont certains en salles propres. Les moyens d'essais orientés spatial permettent de simuler lancements, rentrées atmosphériques, situations orbitales et conditions atmosphériques martiennes



L'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB), a comme tâches principales la recherche et les services publics dans le domaine de l'aéronomie spatiale. L'IASB est partenaire du LATMOS dans de nombreux projets de réalisation et d'exploitation d'instruments spatiaux.



Le radio-club amateur de St Quentin-en-Yvelines (F6KRR) travaille conjointement avec le LATMOS sur le projet UVSQ-SAT, notamment sur la préparation de la salle contrôle commande, sur la gestion de l'émission et la réception de données via le nanosatellite. Il a également fait le relais avec l'AMSAT Francophone pour l'obtention des fréquences numériques (VHF & UHF) utilisées pour communiquer avec INSPIRE-SAT 7.



Yvelines
Le Département

Les Yvelines sont, derrière la Haute-Garonne, le 2e département de France dans la filière aéronautique et spatiale. Avec 11 000 emplois, le territoire yvelinois accueille de grands acteurs de cette filière tels que Thales, Safran, ArianeGroup, CRMA (groupe Air France) ou encore Airbus Defense & Space.

Véritable projet territorial, le programme Challenge Y78, qui consiste à fabriquer et mettre en orbite la première constellation de nano-satellites français dédiés à l'étude du climat, associe recherche, enseignement supérieur et industrie en lien avec le tissu local et met ainsi en avant le triptyque recherche – éducation – industrie. Pour mener à bien ce projet, le Département des Yvelines s'est engagé, fin 2021, à financer le lancement du nano-satellite UVSQ SAT + pour un montant de 130 000 euros.

Ce partenariat, conclu avec l'UVSQ, répond à deux objectifs départementaux prioritaires :

- La transition énergétique des territoires pour laquelle le Département des Yvelines est activement engagé via la préservation de l'environnement, la responsabilité sociale et l'économie responsable. En parallèle, le Département valorise également les activités de recherche et les équipements scientifiques développés sur son territoire,

- Le soutien à l'enseignement supérieur et la recherche que le Département des Yvelines finance à hauteur de 207 M€ pour la période 2022-2027 aux côtés d'autres partenaires territoriaux (L'école des Mines Paris, Sciences Po Saint-Germain-en-Laye, l'UVSQ et l'Université de Cergy Paris).



SQY est très impliqué aux côtés du LATMOS et de l'UVSQ pour accompagner le lancement d'une constellation de nano-satellites destinés à étudier l'évolution du climat sur la terre. Après un premier soutien apporté à UVSQ-SAT qui avait été lancé avec succès il y a 2 ans, SQY a mobilisé son nouveau fonds de soutien à la recherche et à l'innovation pour accompagner à hauteur de 250 000 € la conception d'INSPIRE-SAT 7. Faire rayonner la qualité des travaux de recherche en matière de sciences du climat menés par l'OVSQ mais aussi structurer un écosystème complet laboratoire/start-up/grands comptes autour du "Newspace", tels sont les objectifs poursuivis par Saint-Quentin-en-Yvelines, 1er territoire francilien en R&D sur le secteur aéronautique/défense/sécurité.



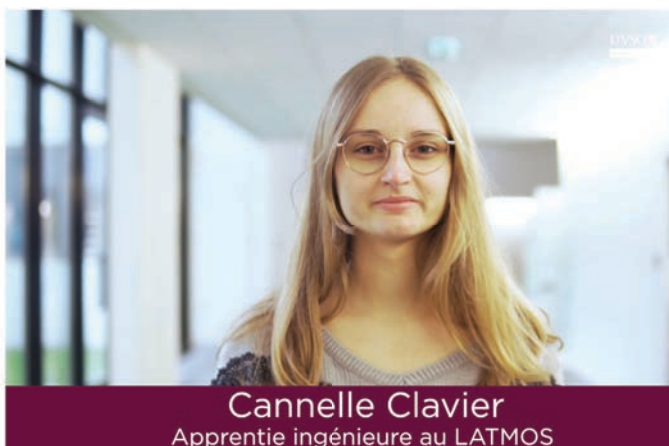
De la science à l'enseignement, un programme scientifique et pédagogique

La mission INSPIRE-SAT 7 est composée de chercheurs, d'académiques, de partenaires industriels et d'étudiants de disciplines et d'horizons divers.



Ce programme couvre ainsi trois domaines interconnectés : recherche, industrie locale et éducation. Sur le dernier domaine, les chercheurs ont déjà formé une cinquantaine d'étudiants à la conception et aux essais d'environnement de systèmes spatiaux. La mission comprenant toute la chaîne de conception et de réalisation du nanosatellite a permis aux étudiants de bénéficier de travaux pratiques concrets, avec la répétition des étapes et la vision d'ensemble.

De nombreux étudiants de Master université Paris-Saclay liés au spatial comme le Master New Space, dispensé à l'OVSQ, ou d'établissements comme l'Institut d'Optique- Université Paris-Saclay ont participé au projet selon leur spécialité. Des initiatives de sensibilisation et des actions pédagogiques sont mises en œuvre auprès des établissements scolaires du département des Yvelines et dans les milieux associatifs. Le but est de susciter des vocations auprès des plus jeunes.



Cannelle Clavier
Apprentie ingénieure au LATMOS

*Retrouvez le
témoignage vidéo
d'étudiants qui ont
participé au projet.*

<https://www.youtube.com/watch?v=4ET52H1W-A8>





Rencontre avec Louis Dechaseaux, de l'équipe étudiante d'INSPIRE-SAT 7
 3 mars 2023 - Louis a notamment mis en place une station de réception autonome pour récupérer les données du nanosatellite.

<https://www.youtube.com/watch?v=5nYSbX08jqE&feature=youtu.be>

Ce programme intègre des doctorants et des étudiants des tutelles du laboratoire, mais aussi des étudiants d'autres disciplines et d'horizons diversifiés :



Licence Pro SIMIS (Systèmes Intelligents Mécatroniques pour l'Industrie et le Spatial) – IUT de Mantes-la-Jolie (78).

Elle forme des étudiants au métier de technicien en mécatronique. La spécialité « Développements Technologiques du Spatial » est dispensée par les enseignants-chercheurs, les chercheurs, les ingénieurs et les techniciens du LATMOS. Cet été, dans le cadre de leurs stages, plusieurs étudiants mécatroniciens sont venus en renfort sur l'assemblage, l'intégration et les tests du satellite.



ESTACA (Ecole ingénieur) - Montigny le Bretonneux (78).

Cette école propose, en 5 ans après le bac, une formation d'ingénieur spatial. Plusieurs étudiants de l'ESTACA ont réalisé un stage autour de la mission INSPIRE-SAT 7 lors des dernières années. Entre 2021 et 2023, plusieurs étudiants ont réalisé leur stage de fin d'année au LATMOS sur de multiples thématiques associées à la mise en œuvre et à l'exploitation du futur satellite.



BTS CIM (Conception et Industrialisation en Microtechniques), lycée de Vilgénis, Massy (91)

Formation en 2 ans pour maîtriser la conception et la réalisation d'objets de très petites dimensions à forte valeur ajoutée. Plusieurs élèves de ce lycée ont travaillé avec l'équipe INSPIRE-SAT 7 lors de l'assemblage du satellite et sur certaines cartes électroniques.

Master NewSpace - UVSQ (78)

Cette formation a pour vocation d'apporter une connaissance de l'ensemble de la chaîne allant du concept d'instrument scientifique d'observation à l'exploitation des données afin de répondre aux demandes du marché et aux nouveaux métiers liés aux applications en émergence (Miniaturisation satellites, Cubesats, Flottes satellites, Drones, etc). Cette formation est donc fortement orientée vers la qualité de l'observation et de la donnée en apportant une meilleure compréhension de l'émergence des concepts instrumentaux, des approches AIT/AIV (intégration et essais), des analyses de données et de la validation de produits finaux.

Elle intègre des phases d'exemples pratiques sous forme de projets d'équipe tutorés sur des cas concrets (Learning by doing) et d'un stage en entreprise ou en laboratoire. Cette formation a pour vocation de répondre aux besoins du secteur privé, des laboratoires de recherche publics dits "instrumentaux", mais peut se poursuivre par la préparation d'un doctorat idéalement dans le cadre des bourses CIFRE du fait des besoins importants concernant l'innovation dans ce secteur. Plusieurs étudiants de ce cursus ont participé à la mise en œuvre du satellite INSPIRE-SAT 7.



Un écosystème autour du projet

Intégré dans le réseau international INSPIRE (International Satellite Program in Research and Education), la mission INSPIRE-SAT 7 s'inscrit dans un programme spatial de coopération internationale avec un accord de coopération signé en 2016 entre l'Université de Boulder (USA) et l'UVSQ (France). C'est ainsi que le LATMOS a établi des collaborations avec d'autres membres et utilise ce réseau de nanosatellites pour récolter des données.

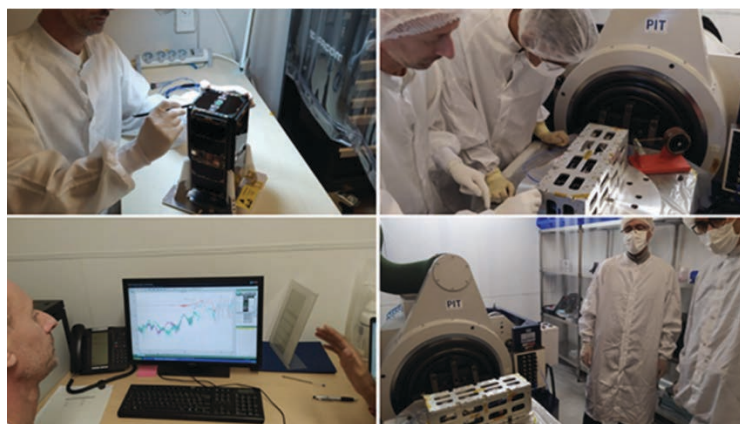


Outre le LASP, son laboratoire de connexion à l'Université de Boulder, le LATMOS travaille avec Taiwan National University, Singapour, l'IASB en Belgique, et entretient des connexions avec plusieurs pays dans le monde. Tout un écosystème gravite autour du nanosatellite, enrichissant la récolte des données.

Outre ses partenaires, INSPIRE-SAT7 a bénéficié du support de la Plateforme d'Intégration et de Tests (PIT) de l'OVSQ, et d'un ensemble d'équipements de tests spatiaux construit autour des années 2010 pour valider les systèmes mis en œuvre (vibration, essais thermiques, ...). Ces équipements ont été mis en œuvre grâce à un soutien important de la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin en Yvelines.

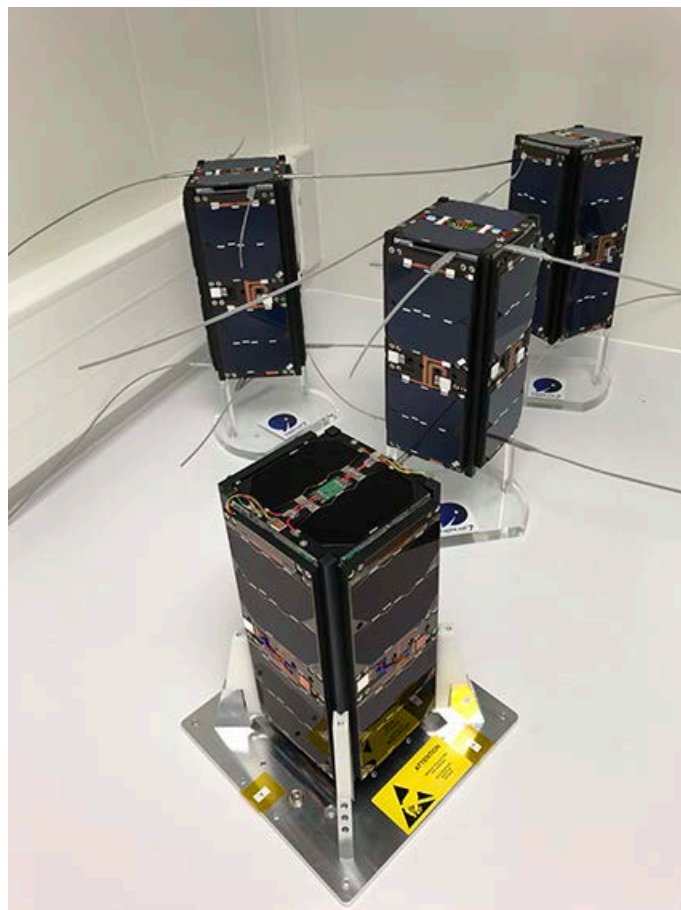
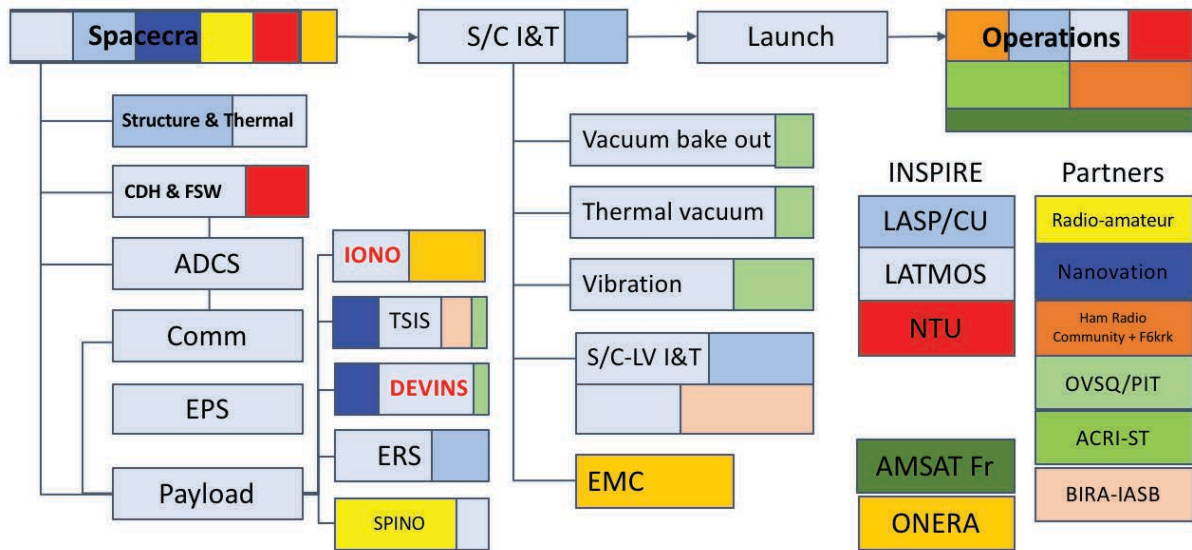
Une station « sol » LATMOS fonctionnant en bande UHF/VHF pour communiquer avec le nano-satellite de la mission UVSQ-SAT a été installée à l'Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (OVSQ). Une autre station a été développée par ACRI-ST. Elle permet de récupérer des données satellitaires depuis Grasse.

Le centre contrôle-commande de la mission UVSQ-SAT est mis en place au LATMOS. Il s'agit d'une structure qui rassemble les moyens nécessaires à la gestion opérationnelle des nano-satellites. Une autre station au « sol » doit être installée à l'OVSQ pour pouvoir communiquer avec le futur satellite INSPIRE-SAT7. Il s'agit de dupliquer les moyens pour sécuriser le téléchargement des données. De plus, une station mobile a été conçue pour être exploitée dans des lieux divers choisis selon l'intérêt.



Tests de Vibration à la PIT, la Plateforme d'Intégration et de Tests (OVSQ).

INSPIRE-SAT 7 représente un programme complet qui permet de mettre en œuvre tous les segments d'une mission spatiale. Ceux-ci font l'objet de supports de cours pour les étudiants (véhicules spatiaux, moyens de lancement, moyens d'opération au sol).



A propos de l'UVSQ - Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines



université PARIS-SACLAY

Créée en 1991, l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines compte plus de 19 000 étudiantes et étudiants, 1 000 enseignants-chercheurs dans 39 structures de recherche.

Répartie sur 5 campus dans les Yvelines (Versailles, Guyancourt, Rambouillet, Vélizy et Mantes-la-Jolie), elle est profondément ancrée sur son territoire aux côtés de ses partenaires. Cependant elle n'en reste pas pour autant franco-française, l'Université porte plus de 220 accords internationaux, permettant ainsi aux étudiants un large choix de formations à l'étranger.

Pluridisciplinaire, elle couvre 5 grands domaines d'enseignement :

- Arts, lettres, langues
- Droit, économie, gestion
- Sciences humaines et sociales
- Sciences, technologie
- Santé.

L'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines propose une offre de plus de 200 formations diplômantes. Parmi elles, BUT, licences, masters, doctorats, diplômes d'ingénieur et diplôme de médecine. Le classement de l'ARWU (Academic Ranking of World Universities), plus connu sous le nom de « classement de Shanghai », attribue en 2019 à l'UVSQ la 2ème place mondiale en Sciences de l'Atmosphère, grâce notamment aux excellents résultats des laboratoires LSCE et LATMOS.

A propos de L'Université Paris-Saclay



Née de la volonté conjugquée d'universités, de grandes écoles et d'organismes de recherche, l'Université ParisSaclay compte parmi les grandes universités européennes et mondiales, couvrant les secteurs des Sciences et Ingénierie, des Sciences de la Vie et Santé, et des Sciences Humaines et Sociales. Sa politique

scientifique associe étroitement recherche et innovation, et s'exprime à la fois en sciences fondamentales et en sciences appliquées pour répondre aux grands enjeux sociétaux.

Du premier cycle au doctorat, en passant par des programmes de grandes écoles, l'Université Paris-Saclay déploie une offre de formation sur un large spectre de disciplines, au service de la réussite étudiante et de l'insertion professionnelle. Elle prépare les étudiants à une société en pleine mutation, où l'esprit critique, l'agilité et la capacité à renouveler ses compétences sont clés. L'Université Paris-Saclay propose également un riche programme de formations tout au long de la vie.

Située au sud de Paris sur un vaste territoire, l'Université Paris-Saclay bénéficie d'une position géographique favorisant à la fois sa visibilité internationale et des liens étroits avec ses partenaires socio-économiques - grands groupes industriels, PME, start-up, collectivités territoriales, associations... www.universite-paris-saclay.fr



A propos du LATMOS



Le LATMOS, Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales est une unité mixte de recherche spécialisée sur l'observation des atmosphères terrestre et planétaires pour comprendre leurs synergies avec la surface des planètes, l'océan et le milieu interplanétaire.

Il relève de plusieurs tutelles :

- CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) •
- UVSQ (Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines)
- Sorbonne Université

Et depuis cet automne le LATMOS a une nouvelle tutelle secondaire, le CNES (Centre National d'Études Spatiales).

Créé en 2009, le LATMOS fait également partie de l'Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines et de l'Institut Pierre-Simon Laplace.

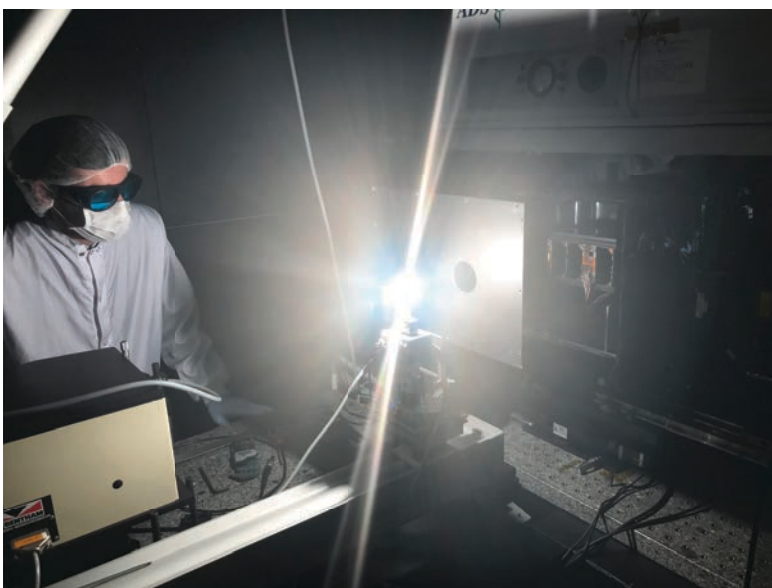
Il est né de la fusion de 2 laboratoires ayant tous deux un passé spatial de plus de 50 ans :

- Le Service d'Aéronomie qui, sous l'impulsion de Jacques Blamont (créateur du CNES), participera activement à la renommée de la recherche spatiale française en travaillant sur les fusées Véronique avec une poignée de chercheurs dont Monsieur Claude Cohen-Tannoudji.
- Le CETP (Centre des Environnements Terrestres et Planétaires), laboratoire de recherche en télécommunication du CNET (Centre National d'Étude des Télécommunications) qui s'implique dans le premier satellite français FR-1 avec comme objectif, l'étude de la propagation des ondes de très basses fréquences dans l'ionosphère.

Fort de cet héritage, le LATMOS est un laboratoire de référence dans le domaine de l'observation mais également dans l'instrumentation notamment grâce aux instruments spatiaux conçus et équipant les plus importantes missions spatiales d'exploration :

- L'analyseur SAM sur le rover martien Curiosity.
- Le radar CONSERT de la sonde Rosetta
- Le Lidar Alissa sur MIR
- Le spectromètre Solar/Solspec sur l'ISS
- ...

C'est aussi le laboratoire de recherche qui a développé la mission spatiale Uvsq-Sat.



A propos du CNRS



Le Centre National de la Recherche Scientifique est une institution publique de recherche parmi les plus reconnues et renommées au monde. Depuis plus de 80 ans, il répond à une exigence d'excellence au niveau de ses recrutements et développe des recherches pluri et interdisciplinaires sur tout le territoire, en Europe et à l'international. Orienté vers le bien commun, il contribue au progrès scientifique, économique, social et culturel de la France. Le CNRS, c'est avant tout 32 000 femmes et hommes et 200 métiers. Ses 1 000 laboratoires sont, pour la plupart, communs avec des universités, des écoles et d'autres organismes de recherche. Le CNRS rend accessible les travaux et les données de la recherche ; ce partage du savoir vise différents publics :

- Communautés scientifiques
- Médias
- Décideurs
- Acteurs économiques
- Grand public

A propos de Sorbonne Université



Sorbonne Université est une université pluridisciplinaire de recherche intensive de rang mondial. Sorbonne Université couvre tout l'éventail disciplinaire des lettres, de la médecine et des sciences. Ancrée au cœur de Paris, présente en région Ile de France, elle est engagée pour la réussite de ses étudiants et s'attache à répondre aux enjeux scientifiques du 21ème siècle et à transmettre les connaissances issues de ses laboratoires et de ses équipes de recherche à la société toute entière.

Grâce à ses près de 55 000 étudiants, 6 700 enseignants-chercheurs et chercheurs et 4 900 personnels administratifs et techniques qui la font vivre au quotidien, Sorbonne Université se veut diverse, créatrice, innovante et ouverte sur le monde.

A propos de l'ONERA



L'ONERA, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, emploie plus de 2 000 personnes. Placé sous la tutelle du ministère des Armées, il dispose d'un budget de 266 millions d'euros (2022), dont plus de la moitié provient de contrats

d'études, de recherche et d'essais. Expert étatique, l'ONERA prépare la défense de demain, répond aux enjeux aéronautiques et spatiaux du futur, et contribue à la compétitivité de l'industrie aérospatiale. Il maîtrise toutes les disciplines et technologies du domaine. Tous les grands programmes aérospatiaux civils et militaires en France et en Europe portent une part de l'ADN de l'ONERA : Ariane, Airbus, Falcon, Rafale, missiles, hélicoptères, moteurs, radars... Reconnus à l'international et souvent primés, ses chercheurs forment de nombreux doctorants

A propos de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)



L'IPSL est une fédération de recherche composée de 8 laboratoires (dont le LATMOS) et 2 équipes associées regroupant environ 1 400 personnes.

Au fil des ans, l'IPSL a construit un savoir-faire scientifique et technique très étendu et très diversifié, devenant ainsi une référence nationale et internationale pour toutes les questions relatives au climat et à l'étude du « Système Terre » dans sa globalité ainsi que pour l'exploration et l'étude d'autres objets du Système solaire.

Les laboratoires IPSL mettent en place, au niveau fédératif, des services communs et des grands projets scientifiques pour servir sa stratégie.

Ensemble ils ont pu construire un modèle intégré du « Système Terre », pouvant stimuler tant le climat actuel, que les climats passés et futur, en lien avec les cycles biogéochimiques et les problématiques de pollution atmosphériques.



Références bibliographiques

Lessons Learned from IDEASSat: Design, Testing, on Orbit Operations, and Anomaly Analysis of a First University CubeSat Intended for Ionospheric Science

Chiu Y.-C., Chang L., Chao C.-K., Tai T.-Y., Cheng K.-L., Liu H.-T., Tsai-Lin R., Liao C.-T., Luo W.-H., Chiu G.-P., Hou K.-J. et al. *Aerospace*, MDPI, 2022, 9, pp.110. [10.3390/aerospace9020110](https://doi.org/10.3390/aerospace9020110) - [insu-03581344](https://doi.org/10.3390/aerospace9020110)

INSPIRE-SAT 7, a Second CubeSat to Measure the Earth's Energy Budget and to Probe the Ionosphere

Meftah M., Boust F., Keckhut P., Sarkissian A., Boutéraon T., Bekki S., Damé L., Galopeau P. H. M., Hauchecorne A., Dufour C., Finance A. et al. *Remote Sensing*, MDPI, 2022, 14 (1), pp.186. [10.3390/rs14010186](https://doi.org/10.3390/rs14010186) - [insu-03506566](https://doi.org/10.3390/rs14010186)

The UVSQ-SAT/INSPIRESat-5 CubeSat Mission: First In-Orbit Measurements of the Earth's Outgoing Radiation

Meftah M., Boutéraon T., Dufour C., Hauchecorne A., Keckhut P., Finance A., Bekki S., Abbaki S., Bertran E., Damé L., Engler J.-L. et al. *Remote Sensing*, 2021, 13, pp.1449. [10.3390/rs13081449](https://doi.org/10.3390/rs13081449) - [insu-03195031](https://doi.org/10.3390/rs13081449)

In-Orbit Attitude Determination of the UVSQ-SAT CubeSat Using TRIAD and MEKF Methods

Finance A., Dufour C., Boutéraon T., Sarkissian A., Mangin A., Keckhut P., Meftah M. *Sensors*, MDPI, 2021, 21 (21), pp.7361. [10.3390/s21217361](https://doi.org/10.3390/s21217361) - [insu-03423054](https://doi.org/10.3390/s21217361)

SOLAR-v: A new solar spectral irradiance dataset based on SOLAR/SOLSPEC observations during solar cycle 24

Meftah M., Snow M., Damé L., Bolsée D., Pereira N., Cessateur G., Bekki S., Keckhut P., Sarkissian A., Hauchecorne A. *Astronomy and Astrophysics - A&A*, EDP Sciences, 2021, 645, A2 (9p.). [10.1051/0004-6361/202038422](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038422) - [insu-03000239](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038422)

Premières observations de UVSQ-SAT

Meftah M., Keckhut P.

La Météorologie, Météo et Climat, 2021, pp.5-7. [10.37053/lameteorologie-2021-0035](https://doi.org/10.37053/lameteorologie-2021-0035) - [insu-03218529](https://doi.org/10.37053/lameteorologie-2021-0035)

L'espace et le NewSpace au service du climat – Une opportunité unique pour relever les défis du changement climatique
Meftah M., St Honoré Éditions.





NEW SPACE

Research

**OBSERVER DEPUIS L'ESPACE
POUR MIEUX PROTÉGER LA TERRE**