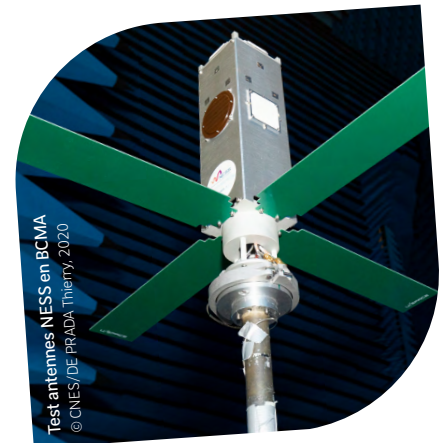


FEUILLES DE ROUTE TECHNIQUES DU CNES

TECHNIQUES BORD POUR LES NANOSATELLITES

MINIATURISER ET FIABILISER



Le contexte

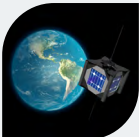
La définition du terme « nanosatellite », et plus généralement la définition des classes de satellites en fonction de leur masse, varie en fonction des agences, des constructeurs, des opérateurs et n'est pas normalisée.

Le concept Cubesat est lui standardisé et repose sur des plateformes qui sont des combinaisons de modules de base au format 1U (10cmx10cmx10cm), définissant des classes allant du 1U au 12U, voire au-delà (27U, soit environ 30 kg). Dans cette feuille de route, nous nommerons « nanosatellites » des satellites dont la masse est inférieure à 100 kg englobant ainsi les formats Cubesat.

Ces petits satellites représentent désormais **une part non négligeable des satellites mis en orbite**. Si on se réfère aux annonces de futurs projets de constellations, le nombre de nanosatellites lancés devrait croître significativement.

Le panorama a évolué rendant plus facile l'accès à l'espace. Il existe maintenant **de nombreuses options de lancements** avec de nouveaux lanceurs, de nouveaux dispenseurs et des sociétés spécialisées dans la fourniture de services de lancement en Europe et dans le monde.

Les nanosatellites offrent des **opportunités accrues de constellations** même si la masse des satellites des méga-constellations actuelles est supérieure à la gamme des nanosatellites.



On note parmi les évolutions récentes

- ✓ Un intérêt accru des agences pour les nanosatellites majoritairement orienté vers la réalisation de missions de démonstration
- ✓ La démonstration maintenant effective d'un ratio coût/performance permettant le développement de nouveaux marchés commerciaux
- ✓ L'émergence de nouveaux acteurs français, dans le domaine des services et des infrastructures
- ✓ De nouvelles approches de développement (utilisation massive de COTS, durée de développement réduite, production en série, tolérance à l'échec...)
- ✓ De nouvelles menaces (multiplication des débris spatiaux, brouillage du spectre, cyber-sécurité...) que l'évolution de la législation prend en compte



Nanosatellite Eye-Sat
© CNES/GRIMAULT Emmanuel, 2017

En un coup d'œil

Nouvelles technos, potentiel pour de nouvelles missions

AXES TECHNIQUES

- Miniaturiser les instruments, charges utiles, senseurs
- Consolider ou améliorer les performances mission atteignables
- Fiabiliser les équipements et logiciels embarqués
- Étendre les performances des véhicules :
 - Développer des mécanismes de déploiement
 - Augmenter puissance de calcul et débits
 - Développer des solutions de propulsion électrique
 - Étendre les capacités de la chaîne d'alimentation bord et du contrôle thermique
- Faciliter l'utilisation de COTS très intégrés
- Adapter la méthodologie de développement

MISSIONS

- Missions étudiantes en vol et à venir
- Missions institutionnelles en vol et à venir
 - Missions démonstratives ou préparatoires à d'autres missions d'envergure
 - Missions en appui à des missions plus ambitieuses
- Missions de l'industrie Française en vol ou prévues en 2024/25 :
 - Constellation Française IOT
 - Démonstrateurs de service plan de relance volet D
 - Missions issues des AO de service France 2030
 - Autres missions dans un cadre européen ou international...

Retour d'expérience, mise à jour des axes techniques

UN CADRE DE TRAVAIL STRUCTURÉ

R&T, PEX, POC
> préparer le futur

Démonstrateurs et IOD/IOV
> monter en TRL

Plan de relance et France2030
> **Accompagnement technique de l'éco-système**

Les enjeux

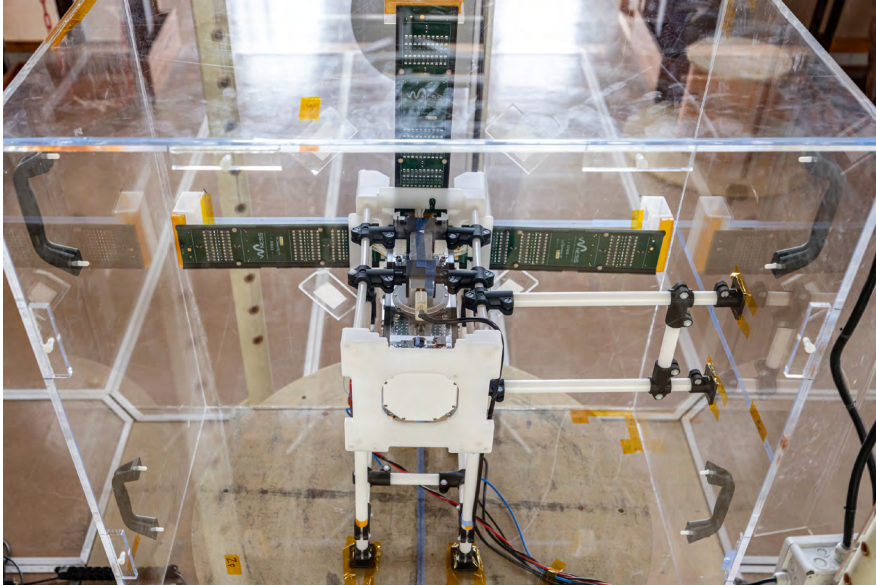
Au niveau des opportunités, les nanosatellites :

- **Constituent un moyen abordable pour tester ou caractériser des technologies d'avenir ou innovantes en vol**, ou étudier de nouveaux concepts (vol en formation, inspection, rendez-vous, accostage...)
- **Offrent l'opportunité de déployer facilement des charges utiles miniaturisées sur des constellations** (ou des essaims) embarquant des senseurs compacts (petites caméras, récepteurs GNSS, radars...). Leurs performances parfois limitées sont compensées par l'obtention d'un grand nombre de mesures provenant de la constellation en offrant une meilleure répétitivité ou une meilleure couverture par exemple pour des applications télécom, IOT, météo, défense...
- **Offrent la possibilité d'acquérir des mesures multi-points** et de combiner des observations de l'espace prises simultanément mais à des endroits ou des angles différents pour l'étude par exemple de l'atmosphère, de la thermosphère, de l'ionosphère, de la magnétosphère ou des flux de particules.
- **Permettent d'étudier de nouveaux concepts instrumentaux comme celui de l'instrumentation répartie.** Les charges utiles peuvent être réparties sur plusieurs satellites en réseau afin de contribuer à la performance globale d'une mission.
- **Peuvent aussi être utilisés pour l'exploration du système solaire** par exemple pour créer une flotte capable de rendez-vous avec des cibles multiples (Near Earth objects) ou en passagers d'un satellite plus gros qui seraient déployés près de la destination visée par la mission (Lune, Mars, astéroïde, ...).
- **Offrent un bon vecteur de formation** pour les futurs ingénieurs du secteur spatial, de la conception aux opérations, notamment à travers les CSU ou Nanolab Academy.



Intégration du satellite Angels

© © CNES/ESA/Arianespace/Optique Vidéo CSG/JM Guillon, 2019.jpg



Tests du nano-satellite NESS au BIOT, au Centre Spatial de Toulouse
© CNES/DE PRADA Thierry, 2022

Les défis soulevés par les nanosatellites concernent :

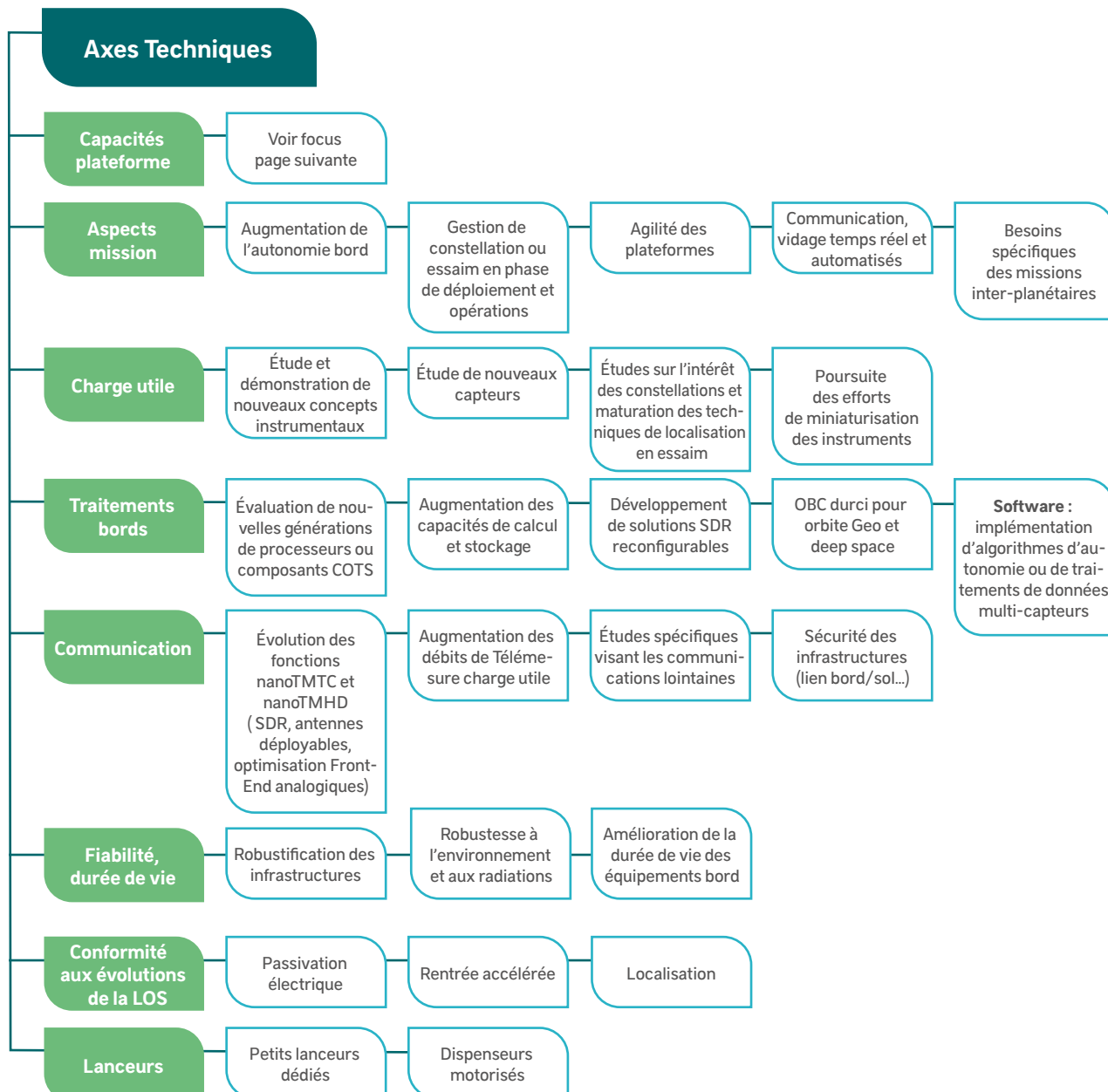
- › **La miniaturisation drastique des systèmes** (comme des 'systems-on-chips'), de nouvelles approches d'assemblage et intégration, des structures multi fonctions, des propulsions innovantes qui peuvent bénéficier par effet induit à toutes les futures missions.
- › **Une méthodologie de développement adaptée au New space** (low cost, rapidité de développement, démonstration en orbite). Le niveau de validation très hétérogène nécessite d'être harmonisé par des règles de bonne pratique (hand book développements nanosat et/ou équipements).
- › **Un ensemble de verrous technologiques** (performance SCAO, mécanismes de déploiement, puissance disponible, propulsion électrique...) à lever.
- › **La fiabilisation des nanosatellites**, avec le défis de la CEM (liée au format très compact) et de la thermique (liée aux faibles surfaces disponibles pour rayonner), pour des missions institutionnelles ambitieuses (longue durée opérationnelles, orbites contraignantes ou missions lointaines).
- › **La prise en compte des enjeux environnementaux**, au-delà de la conformité réglementaire, est un autre défi : même si le service rendu par le nanosatellite peut avoir pour objectif de contribuer à un espace durable, il est indispensable d'évaluer et de réduire au maximum son empreinte environnementale sur l'ensemble du cycle de vie. C'est particulièrement important pour les constellations, en se plaçant au niveau système.
- › **Un enjeu d'industrialisation**, notamment pour la production en série pour les constellations.

Les axes techniques

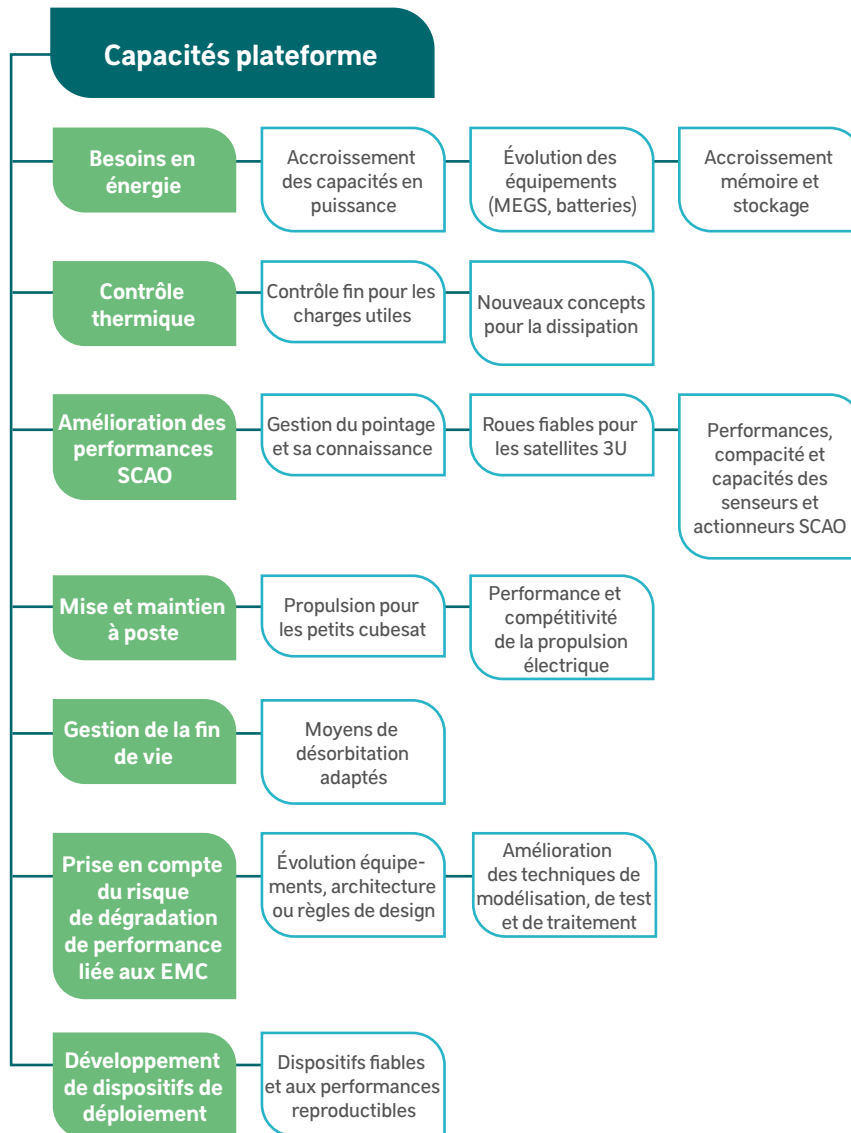
Une analyse du panorama des futures missions de nanosatellites à l'étude au CNES a conduit à identifier les axes techniques d'intérêt suivants.

Des améliorations technologiques clés et de nouveaux concepts sont nécessaires afin de pouvoir disposer de missions plus opérationnelles, au-delà d'une simple démonstration, capables d'adresser de nouveaux défis scientifiques ou de nouveaux marchés.

Besoins ou évolutions requis pour les prochaines années :



Focus sur les capacités plateforme :



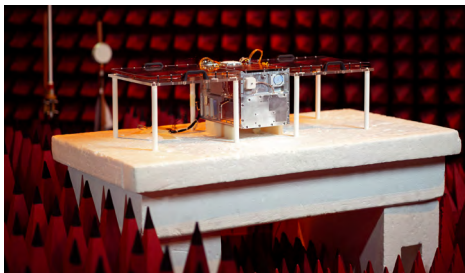
Des efforts continus sont réalisés sur les technologies de base pour accroître la compacité, les performances, ou la robustesse des charges utiles et des plateformes. Ils ne sont pas spécifiques aux nanosatellites. Toutefois, les nanosatellites bénéficieront fortement :

- Des activités d'évaluation de nouveaux composants COTS
- De la disponibilité de matériels (COTS) peu consommant pour des traitements évolués dont l'IA
- Des technologies de déploiement d'appendices
- Des progrès des techniques de fabrication additive
- et de la disponibilité de nouveaux matériaux

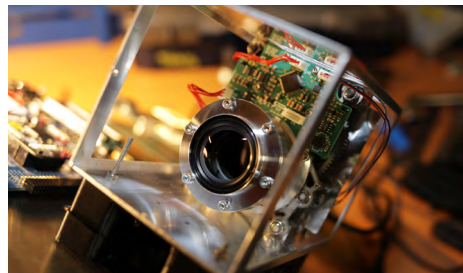
Les développements technologiques mentionnés ici sont poussés également par les contraintes financières et calendaires, les nanosatellites étant souvent développés dans un cadre « design-to-cost » et « time-to-market ».

En cours...

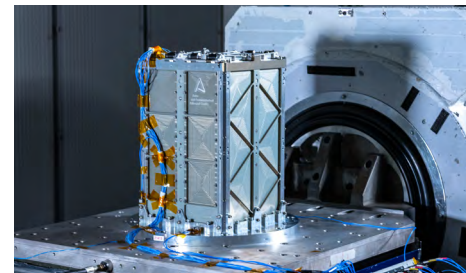
Plus d'une soixantaine d'actions de R&T en cours entre le CNES et ses partenaires industriels concernent les nanosatellites. Elles couvrent principalement les thèmes suivants : communication (dont ISL), mécanismes, propulsion, antennes, chaîne d'alimentation bord, calculateurs, traitements bords, opérations des constellations.



Nanosatellite Angels en essai chez Gerac
© CNES/LE BRAS Gwnewan, 2018.jpg



Instrument du nanosatellite Eye-sat
© QuisProduction/QUIGNAUX Frédéric, 2018



Tests mécaniques vibration du nanosatellite NESS au B612
© CNES/DE PRADA Thierry, 2021

Des actions de démonstrateur en orbite viennent finaliser la montée en TRL pour des technologies d'intérêt pour les nanosatellites :

- Une démonstration de programmation autonome embarquée
- Le développement d'un dispositif propulsif ayant une capacité de vectorisation de la poussée sur moteur à effet Hall
- La fabrication puis le test et l'évaluation d'équipements de liens de communications New Space, durcis à l'environnement, compatibles d'un emport nanosatellite (TMTC plateforme, TM charge utile et charge utile RF)
- Le développement d'une carte OBC nano-satellite plus robuste en radiations, compatibles d'une orbite géostationnaire
- La réalisation d'un télescope tout aluminium à planning de développement et coût réduits
- La réalisation d'une antenne déployable à panneaux plans pour reflectarray
- Le développement d'une antenne GNSS pour nano-satellites
- Le développement d'architectures tolérantes aux fautes (TAFT) pour les calculateurs COTS
- Le développement d'un mécanisme d'entraînement de générateurs solaires (MEGS) pour nano-satellites
- Des gammes de roues de réaction pour nano-satellites

Enfin, d'autres actions technologiques sont en cours en soutien à l'industrie via le plan de relance Volet D :

- charnière réutilisable en alliage à mémoire de forme,
- déployeur de nanosatellites,
- concept d'observation des océans,
- détecteur pour les rayons gamma,
- dispositif de compensation du défilement,
- micro-propulseur à ions métal,
- mémoire de masse miniaturisée,
- kits de rentrée atmosphérique déployable,
- navigation autonome,
- PCDU nano, nouveau plan focal,
- solution de gestion des charges électrostatiques,
- système de gestion des débris,
- France 2030.

Ces actions contribuent à améliorer la compétitivité de l'industrie spatiale française proposant des plateformes et équipements pour nanosatellites.

L'accompagnement des nouveaux entrants permet à l'écosystème national de bénéficier de l'expertise technique du CNES, de moyens logiciels, et des laboratoires et moyens de test du Centre Spatial de Toulouse (par exemple : laboratoire intégré d'expertise, moyens de tests électromagnétiques etc...) :

<https://www.connectbycnes.fr/contact>

Et au sol ?

Qui dit « petit satellite » ne dit pas toujours « petit segment sol » ! Néanmoins, afin d'offrir un service adapté aux nanosatellites, le CNES a mis en place un réseau de stations MiniMUM, avec des coûts d'exploitation réduits, et propose une offre de service nouvelle avec des offres segmentées (permettant différents niveaux de service et prix associés) orientées « Ground Stations as a Service » pour les missions Low Cost.

Les nano-satellites vus des opérations :

- des satellites avec toutes les chaînes fonctionnelles classiques d'un satellite mais sans redondance (objets moins complexes),
- des systèmes design to cost avec une qualification moins poussée
- moins d'observables (Télémétrie) et de commandabilité (Télécommande),
- mode de repli basique dû à l'absence de redondances et passages en survie plus fréquents
- plus de sensibilité à l'environnement radiatif avec des stratégies de mitigation variables
- des satellites avec ou sans propulsion sur des orbites parfois très sensibles à l'activité solaire
- des missions à géométrie variable en terme de complexités, exigences de disponibilité, prise de risque...

Bref, opérer un nano-satellite n'est pas une nano-activité !



Les prochaines étapes

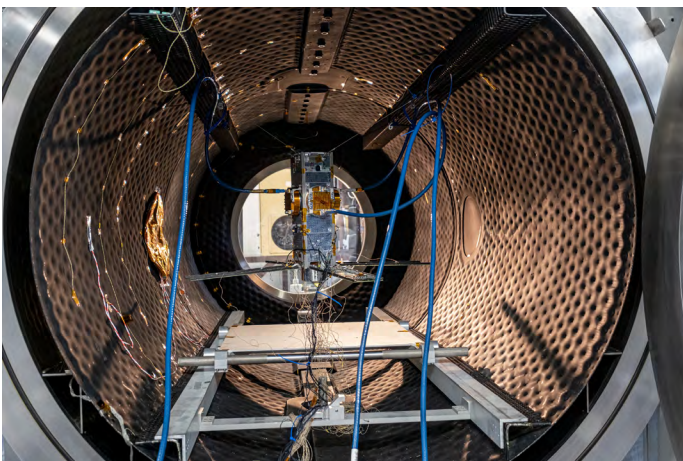
Les axes prioritaires sur les techniques bord pour les nano-satellites s'enrichissent en permanence des retours d'expérience sur les missions en développement et en vol.

Les avancées techniques réalisées pour les nanosatellites ont un impact au-delà du domaine des nanosatellites. En effet, la tendance à l'augmentation de la taille des nanosatellites laisse entrevoir des plateformes plutôt typées microsat qui intégreront des équipements issus du nano (avionique, communications, ...).

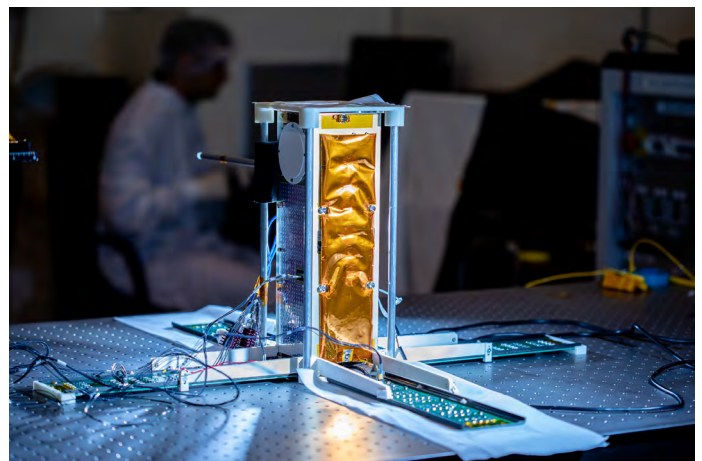
Un événement organisé dans le cadre des COMET du CNES a eu lieu le 27 octobre 2022 sur le thème « Retour d'expérience sur les nanosatellites », avec des interventions des universitaires et du CNES : Retour d'expérience sur les nanosatellites | Comet (comet-cnes.fr)

Au-delà des résultats attendus des R&T en cours, les prochaines étapes clés attendues concernent, d'une part, **les lancements des projets CNES de nano-satellites** en développement (dont AEROSAT dans le cadre NanoLab Academy, YODA, C3IEL) ou encore actuellement en phase A, d'autre part les lancements de constellations opérationnelles Françaises de nano-satellites en vol récents ou à venir, notamment sur l'IOT par Kineis.

De plus, **le plan de relance Volet D** a pour objectif de structurer la filière Nanosat Française via un Appel A Projets autour de 3 axes : IOD/IOV, concepts et technologies innovantes et démonstration de services. Dans ce cadre, le CNES a sélectionné et accompagne le développement des démonstrateurs pour 4 profils de systèmes (optique haute revisite, surveillance des aérosols, hyperspectral, service en orbite).



Nanosatellite Ness dans caisson 2m³
© CNES/DE PRADA Thierry, 2022



Modèle de vol du nanosatellite EyeSat
© CNES/TRONQUART Nicolas, 2019

Retour d'expérience de la mission N3SS

Après un an de vie en Orbite, le retour d'expérience sur la mission **N3SS** montre des performances excellentes pour le démonstrateur **CNES** de charge utile réalisé par **SYRLINKS**.

D'une stabilité remarquable, la fiabilité est également conforme à l'attendu sans aucune dérive de performances constatée. D'un point de vue Système, le taux d'utilisation de la charge utile est deux fois supérieur à l'attendu et les outils de traitement des données générées, tous conçus et développés en interne, fournissent des résultats probants tout en restants efficaces dans leur capacité à traiter de très forts volumes de données dans un temps relativement court. Une maîtrise par la même équipe de la spécification, du développement et de l'exploitation des données s'est avérée clé pour obtenir de tels résultats.

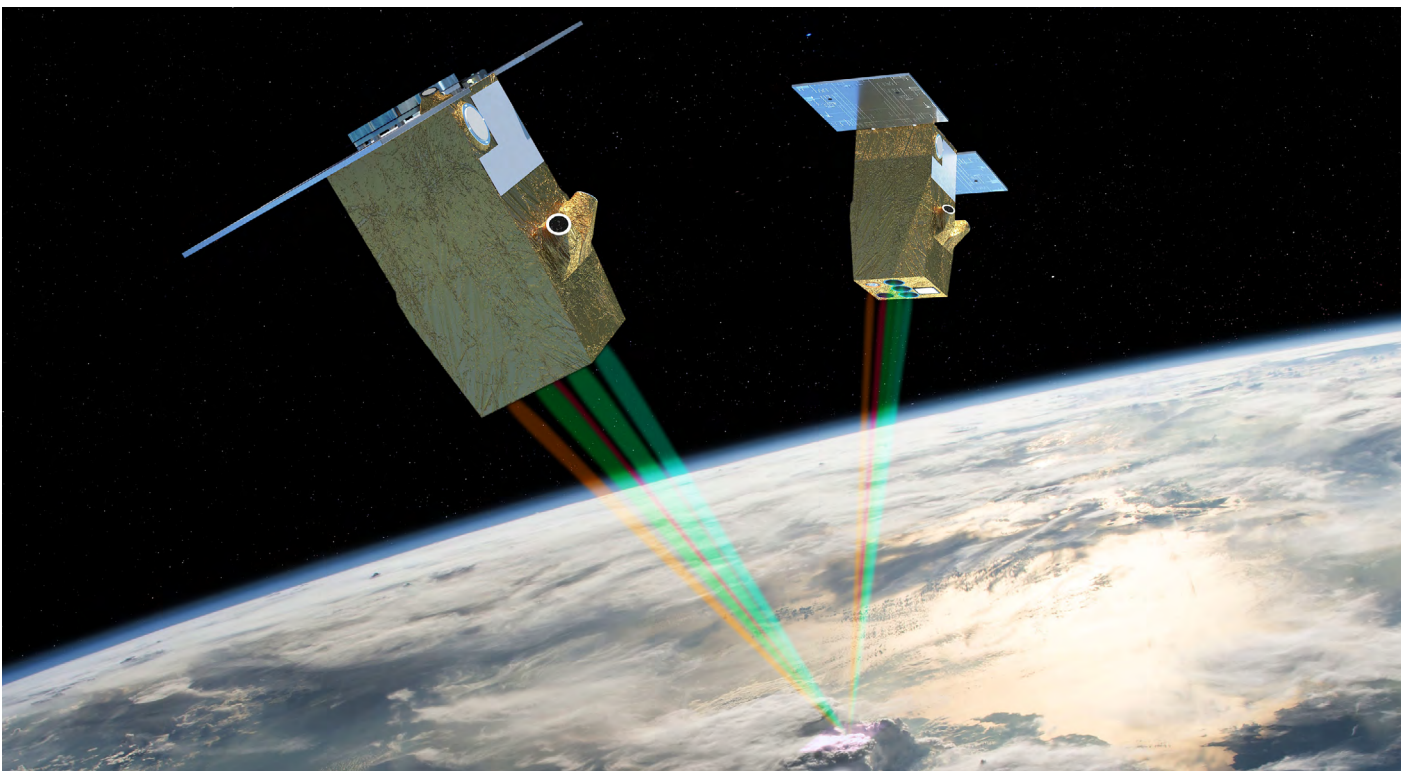
Cette mission montre ainsi qu'un nano-satellite est capable de détecter et de localiser des émetteurs terrestres interférents et apporte une vraie plus-value, par exemple en permettant une première mesure pour ainsi alléger la programmation de missions plus ambitieuses.

Pour en savoir plus : <https://cnes.fr/projets/ness>



Enfin, le **plan France 2030** va permettre de voir émerger de nouvelles idées de technologies ou démonstration de service en lien avec les nano-satellites,

notamment dans le cadre des Appels A Projets et Appel d'Offres de service sur le sujet des constellations, mais aussi l'hydrologie haute revisite ou les services en orbite.



Nanosatellites C3iel
© CNES/ill./SATTler Oliver, 2021

ACRONYMES

CEM : Compatibilité ElectroMagnétique

COMET : COMmunauté d'ExperTs

COTS : Components On The Shelf

CSU : Centre Spatial Universitaire

GNSS : Global Navigation Satellite System

HardWare

IOD / IOV : In Orbit Demonstration /
In Orbit Validation

IOT : Internet Of Tools

ISL : InterSatellite Link

MEGS : Mécanisme d'Entraînement
de Générateurs Solaires

OBC : OnBoardComputer

PEX : Projet Exploratoire

POC : Proof Of Concept (Projet
démontrant la faisabilité de futures
missions d'envergure)

TM/TC : TélÉMesure / TélÉCommande

TRL : Technology Readiness Level

LIENS

CNES

www.cnes.fr

ConnectByCNES

<https://www.connectbycnes.fr/>

Comet

<https://www.comet-cnes.fr>

Nanolab-Academy

<https://nanolab-academy.cnes.fr/>

DES QUESTIONS, DES COMMENTAIRES ? VOTRE AVIS NOUS INTERESSE

courriel : fdr-techniques@cnes.fr

