

FEUILLET DE POLITIQUE TECHNIQUE DU CNES

RADIODÉTERMINATION

SE POSITIONNER DANS LE TEMPS ET L'ESPACE



Satellite IOV

© ESA/CARRIL Pierre, 2011

OCTOBRE **'25**

Objectif des feuillets de politique technique

Les Feuilles de Politique Technique visent à éclairer l'écosystème spatial sur les orientations techniques du CNES et sur les actions qu'il entend mener à court et moyen terme, conformément à ses priorités stratégiques et techniques.

Fruit d'une réflexion collective, ils s'appuient sur une concertation étroite avec les acteurs industriels et académiques nationaux, tout en s'inscrivant dans le cadre des programmes technologiques européens.

Conçus dans un esprit partenarial, ces Feuilles invitent l'écosystème à contribuer activement à leur enrichissement à travers un dialogue stratégique ouvert avec le CNES.

Ils embrassent l'ensemble des technologies et des techniques spatiales, dans le respect strict des règles de diffusion de l'information.

Porté par une dynamique d'amélioration continue au service de l'écosystème spatial français, le CNES, à travers cette initiative, affiche une ambition claire : affirmer la place de la France parmi les leaders mondiaux, en s'appuyant sur la force et la cohésion du collectif national.

ORIENTATIONS
TECHNIQUES

AFFIRMER
LA PLACE DE
LA FRANCE PARMI
LES LEADERS
MONDIAUX

ESPRIT
PARTENARIAL

Retrouvez les Feuilles de Politique Technique du CNES

<https://cnes.fr/entreprises/orientations-techniques>



Le contexte

L'usage des signaux satellitaires de positionnement, de navigation et de diffusion du temps (PNT) est aujourd'hui omniprésent.

En Europe, les constellations communément utilisées sont GALILEO, GPS et le système EGNOS. Ces signaux sont utilisés dans les services de localisation, dans le transport, l'agriculture, la cartographie, les services de temps précis, la défense, les transactions bancaires et pour différentes applications scientifiques.



La souveraineté européenne est assurée par les deux programmes EGNOS et Galileo dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par l'Union Européenne. Différentes délégations CNES à la Commission européenne, l'EUSPA et l'ESA existent afin de veiller au bon fonctionnement et à la pérennisation de ces systèmes.

Ce domaine, souvent appelé navigation par satellite, est une filière d'excellence française particulièrement représentative de l'implication du CNES dans le développement des systèmes spatiaux de bout en bout.

Depuis la définition des signaux et des messages de navigation, le développement du segment spatial (satellites et charges utiles de navigation, récepteurs GNSS spatiaux) en passant par les différentes contributions aux stations sol de contrôle et de suivi du système, les modes d'intervention et le positionnement du CNES et de ses partenaires se sont adaptés pour rester à l'état de l'art et ajustés à l'évolution de l'écosystème mondial.

Ainsi, on notera l'émergence des enjeux suivants :

- La montée en puissance des besoins de résilience des instruments de navigation au travers d'hybridation de fonctions ou de l'élaboration de services dédiés en vue d'une disponibilité et d'une fiabilité des données de navigation.
- L'arrivée de nouveaux besoins et services de navigation qui nécessitent le déploiement de constellations en orbite LEO.
- Les exigences des clients qui souhaitent un service de navigation complet depuis la collecte des signaux GNSS jusqu'à l'application aval et non plus un simple récepteur GNSS. Ces exigences adressent aussi bien les applications terrestres que spatiales.



Les enjeux

Pour le CNES, les objectifs poursuivis dans ce domaine sont de :

- » Représenter la France dans les groupes de travaux techniques européens concernant Galileo,
- » Développer l'expertise et les technologies de l'écosystème français pour permettre le positionnement stratégique de nos partenaires sur les domaines clés :
 - programmes Galileo et EGNOS,
 - récepteurs GNSS adaptés aux constellations et aux hautes orbites (MEO, GEO)
- » Développer les concepts et technologies nécessaires à l'usage efficient des essaims de satellites :
 - synchronisation, localisation et liens de communication entre les satellites,
 - échelles de temps autonomes.
- » Développer les technologies garantissant une résilience en temps et en position afin de répondre aux problématiques rencontrées et constatées en orbite,
- » Maintenir l'expertise et les laboratoires du CNES à l'état de l'art, et permettre un accès au collectif national.



Vue d'artiste de la complémentarité des systèmes GALILEO et EGNOS
© Airbus Defence and Space

ACCOMPAGNEMENT DE L'ÉCOSYSTÈME FRANÇAIS

Le domaine de positionnement, de navigation et de diffusion du temps (PNT) donne lieu à une compétition européenne très forte dont les programmes structurants sont soutenus financièrement au niveau européen.

Le CNES, au travers de ses différentes Directions est impliqué dans les programmes européens actuels tels que EGNOS et GALILEO ainsi que dans les activités préparatoires de nouveaux programmes ambitieux comme : EGNOS v3, GALILEO G2G, IRIS² et CELESTE.

Depuis près de 30 ans, la Direction Technique du CNES apporte une expertise technique au travers de différents modes d'interventions :

- Mise en place de thèses,
- Activités de R&D,
- Expérimentations et mesures via les laboratoires métrologiques Temps-Fréquence et Navigation,
- Animation de la Communauté d'Expert Position et Datation par Satellite, 
- Représentation de la France dans les groupes de travaux européens, notamment autour de Galileo.

Quelques accompagnements :

- Evaluation des performances d'instruments temps-fréquence (ex : étalonnage absolu en temps de chaîne de réception GNSS, notamment pour EGNOS v3),
- Evaluation des performances de récepteurs GNSS spatiaux,
- Développement et caractérisation d'horloges de nouvelle génération pour de futures missions à base d'essaims de satellites et compatible du NewSpace,
- Nouveaux usages des signaux GNSS (ex : réflectométrie GNSS),
- Accompagnement de la montée en maturité d'horloge sol hautes performances de souveraineté européenne,
- Ouverture opérationnelle des laboratoires de métrologie temps-fréquence et de navigation.

Les moyens du laboratoire

Le Laboratoire de Navigation du CNES possède de nombreux moyens de tests :

- Antenne de référence statique : signaux réels au laboratoire
- Antenne mobile et trajectoire de référence : signaux réels en extérieur
- Banc de test synchronisé avec UTC(CNES)
- Générateur de constellations : signaux synthétiques
- Différents numériseurs de signaux GNSS (jusqu'à 4 voies en parallèle)



Capacités et expertises proposées

- Mise à disposition du parc instrumental
- Génération de scénarios complexes
- Interférence, spatial, leurrage, multi-antenne, multitrajets
- Numérisation et rejeu dans tout type d'environnement
- Expertise CNES sur vos instruments de navigation de l'idéation au produit
- Réalisation de vos expérimentations dans le laboratoire



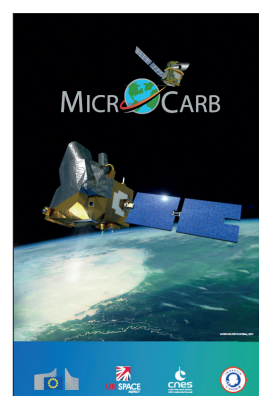
LABORATOIRE DE NAVIGATION

Vous accompagner dans toutes vos expérimentations PNT

Accompagnement du projet Microcarb

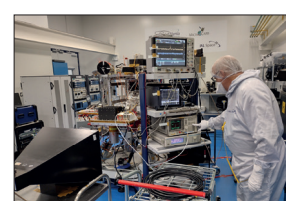
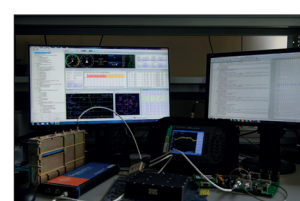
Contribution au développement du récepteur GNSS

- Evaluation du récepteur grâce à des scénarios représentatifs de la mission Microcarb
- Identification d'anomalies et itérations avec le fournisseur



Support au projet :

- Validation du design de la plateforme satellite via des simulations
- Participation à la validation des chaînes fonctionnelles
- Participation aux campagnes d'AIT plateforme et satellite avec mise à disposition d'un générateur de signaux en salle d'AIT



Campagne de mesure CESBIO/M3 Systems/SAFIRE

Exploitation de la réflectométrie GNSS pour l'estimation de la biomasse et la caractérisation de l'humidité des sols

- Campagne aéroportée sur ATR 42
- Validation par mesures in-situ simultanées
- Mise à disposition de moyens de numérisation et d'antennes
- Collaboration avec le CESBIO et M3 Systems



LES MOYENS DU LABORATOIRE

Echelle de temps - UTC(CNES)

- Horloges atomiques
- Génération et distribution d'un signal de référence ultra-stable pour besoins internes et partenaires

SYRTE Observatoire de Paris | PSL

SCALIAN

CLS



LABORATOIRE TEMPS-FREQUENCE

Répondre aux besoins de datation et de synchronisation du domaine spatial

Moyens de tests et métrologie

- Mesure de sensibilité thermique
- Métrologie en fréquence : stabilité, bruit de phase
- Métrologie en temps : délai, jitter

SAFRAN

ar ELECTRONIQUE

exail

rakon

TimeLink



LES ACTIVITÉS DU LABORATOIRE

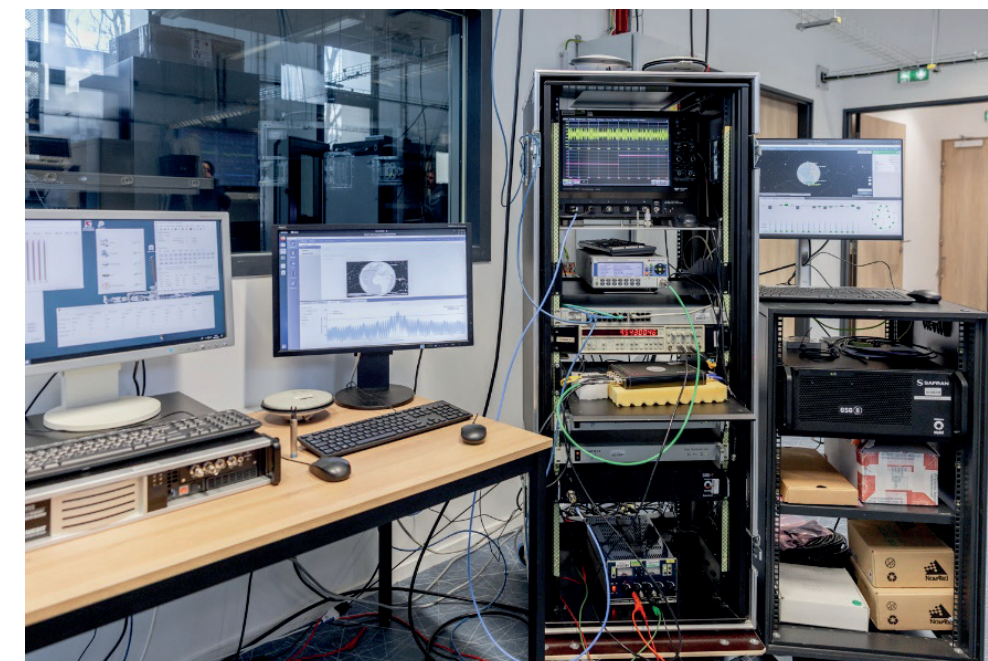
Etalonnage et Comparaison d'horloges par GNSS

- Monitoring du temps système Galileo pour la Commission Européenne
- Etalonnage de la station de temps EGNOS v3

BIPM

Capgemini

EUSPA



Préparation du futur - Essais

- Bancs d'essais ISL et synchronisation
- Campagnes de mesures en laboratoire et en extérieur

SAFRAN

TéSA

TEKEVER

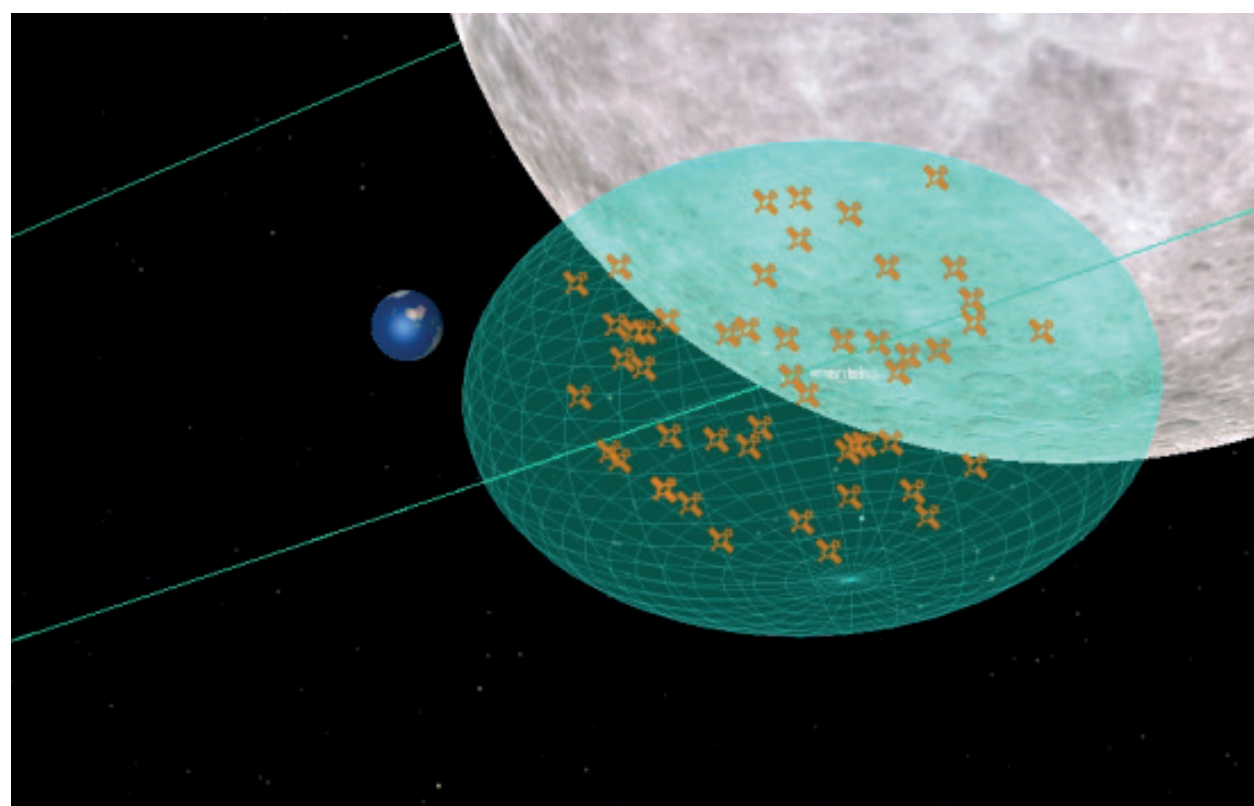
Université de Toulouse

ThalesAlenia Space



Technologies clés « en un coup d'œil »

Le CNES concentre son action sur 4 axes de travail principaux qui regroupent chacun des technologies clés en lien avec les challenges précédemment cités :



Mission noire
© CNES

1

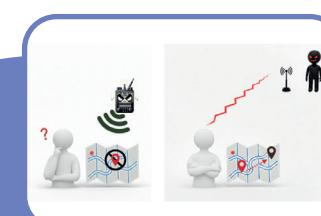
Récepteurs GNSS New Space

Développer des instruments pour différents types d'orbites et différents types de missions

3

Instruments et charges utiles LEO PNT

Développer les technologies à fortes valeurs ajoutées essentielles aux missions LEO PNT



2

Résilience en position et en temps

Apporter de la robustesse par rapport aux interférences afin de maintenir une solution de navigation avec des performances dégradées mais acceptables

4

Communication, localisation, synchronisation dans un essaim de satellites

Développer les échelles de temps robustes et les technologies clés au coeur de la synchronisation et de la localisation des satellites au sein d'un essaim

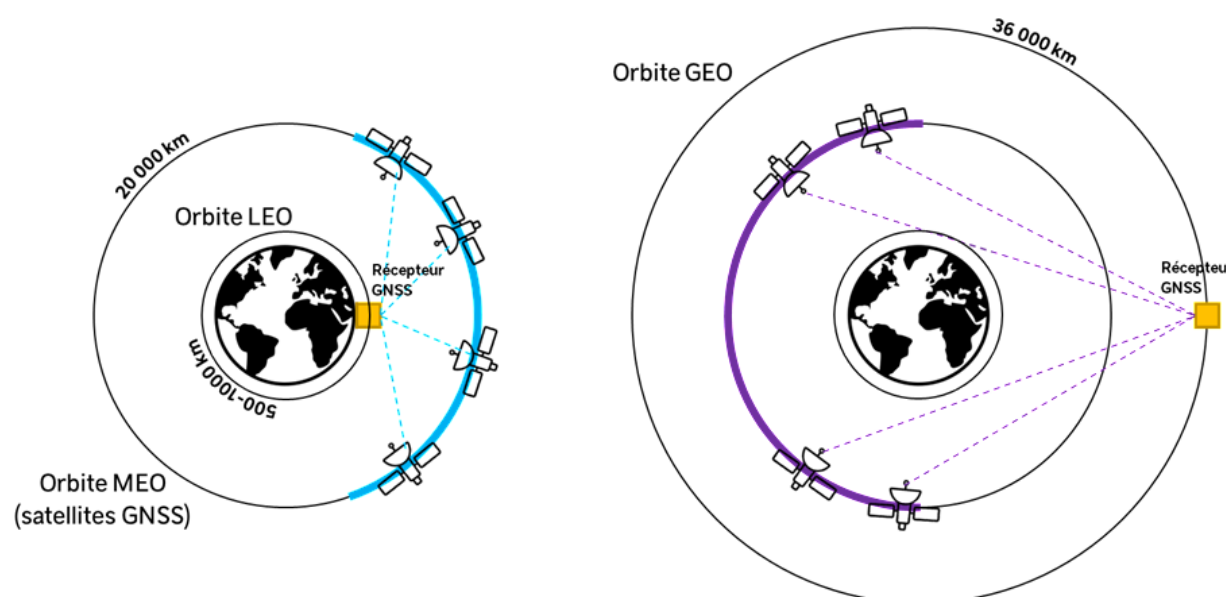
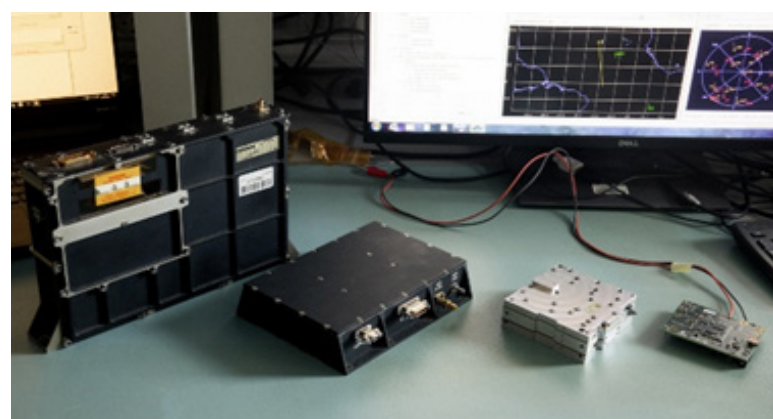


Récepteurs GNSS New Space

Technologies clés

Les récepteurs GNSS sont aujourd'hui un pourvoyeur majeur – et même souvent le seul – de solutions PNT à bord des satellites, quelles que soient leurs missions et leurs orbites. L'émergence des méga-constellations, elles-mêmes porteuses de nouveaux services, nécessite cependant une nouvelle génération de récepteurs : ils doivent pouvoir être produits dans des volumes et à un coût récurrent compatibles de telles constellations, tout en offrant une gamme couvrant des cas et périmètres d'usage très variés, souvent avec des exigences de performance élevées et des contraintes environnementales sévères.

L'obtention d'une position de très haute précision, d'une position relative très précise entre deux satellites ou d'un signal temps/fréquence de référence calé sur le temps UTC à quelques milliardièmes de seconde près sont autant d'exigences auxquelles il est aujourd'hui nécessaire de répondre, parfois simultanément. En sus, les orbites sur lesquelles évoluent les satellites apportent leur lot de contraintes intrinsèques.



La masse, la consommation et le volume (MCV) de ces récepteurs doivent aussi faire l'objet d'une attention particulière, notamment parce qu'ils sont massivement embarqués à bord de smallsats. En lien avec les contraintes précédentes, il sera pertinent soit d'embarquer un récepteur GNSS n'assurant que cette fonction avec un bilan MCV optimisé, soit à l'inverse d'intégrer les fonctionnalités GNSS – ou en tout cas PNT – au sein d'un ensemble avionique ou d'instruments RF multi-applicatifs.

Enfin, tous ces récepteurs se doivent de rester à la pointe des évolutions technologiques. Cela se traduit par le passage à des architectures

faisant plus largement appel à des composants très intégrés (par exemples sous forme d'ASIC) ou à des composants terrestres disponibles sur étagère. Des architectures plus complexes, par exemple avec des récepteurs multi-antennes, deviennent aussi nécessaires pour certaines missions. Il s'agit aussi d'être capable d'exploiter les signaux et services GNSS les plus récents tant pour assurer une performance optimale que pour repousser la date à laquelle un récepteur devient obsolète. Cela constitue aussi indirectement un vecteur de promotion des différenciateurs de Galileo, tels que E5 AltBOC, OSNMA ou le service haute précision (HAS).

Plan d'activités

Actuellement

- ▶ Suivi de récepteurs GNSS en vol sur plusieurs missions clés en cours en orbite basse (NESS, MICROCARB...) ou en cours d'intégration, ainsi qu'en orbite GEO (YODA),
- ▶ Développement de gammes de récepteurs GNSS seuls toutes orbites toutes fonctionnalités (produit STRELLAN, activités de R&T) intégrant des technologies en rupture,
- ▶ Développement de gammes de récepteurs GNSS intégrés toutes orbites toutes fonctionnalités utilisables sur un vaste panel de missions (démonstrateur et activités de R&T).

Période 2026-2028

- ▶ Conduite de ces activités jusqu'à la réalisation des premiers modèles de vol de ces récepteurs GNSS de nouvelle génération,
- ▶ Démonstrations en vol de récepteurs GNSS nouvelle génération dans divers cas d'usage.



Résilience en position et en temps

Technologies clés

De plus en plus, y compris dans les médias grand public, la présence de brouillage/leurrage des systèmes GNSS est rapportée.

Les récepteurs GNSS sont vulnérables au brouillage et au leurrage :

- Un récepteur brouillé fournit une position dégradée, voire n'est plus en mesure de fournir de position du tout, même en cas de brouillage involontaire,
- Un récepteur leurré fournit une position et une date erronées, sans nécessairement que l'utilisateur ne s'en aperçoive

Il est illusoire d'envisager des solutions robustes satisfaisant tous les cas et périmètres d'usage lorsque les récepteurs GNSS sont confrontés à toutes les menaces possibles. Il existe cependant des familles de solutions qui peuvent constituer une base versatile pour de nombreux utilisateurs, pourvu qu'elles soient adaptées à ces utilisateurs le cas échéant.



Pour la résilience en temps, il s'agit de discipliner une fonction temps/fréquence bord sur le temps diffusé par un ou plusieurs systèmes PNT. Cette fonction temps/fréquence compare en permanence les sources PNT utilisées. En cas de perte de tout ou partie de ces signaux PNT, la fonction temps/fréquence détectera des anomalies et fournira une référence temps/fréquence bord alternative satisfaisante pendant une certaine durée.

Pour la résilience en position, il s'agit de tirer profit de capteurs/systèmes PNT complémentaires, mais aussi des propriétés du cas d'usage lui-même. Pour le GNSS par exemple, l'hybridation avec des capteurs non-RF (centrale inertielle, senseur stellaire) ou avec d'autres systèmes (DORIS, signaux d'opportunité télécom) est envisageable. De plus, dans le cas d'un satellite, la prise en compte des lois de la mécanique spatiale peut assurer un rôle similaire à celui d'une centrale inertielle (filtre orbital).

Plan d'activités

En cours

- ▶ Développement d'un récepteur GNSS+DORIS,
- ▶ Développement d'oscillateurs disciplinés (module dédié ou intégré au sein d'un autre équipement),
- ▶ Exploitation de signaux d'opportunité (activités de R&T).

Période 2026 - 2028

- ▶ Poursuite des activités d'étude jusqu'à l'obtention de premiers modèles de vol à court/moyen terme,
- ▶ Intégration des résultats des études sur les solutions robustes dans les équipements, dont les récepteurs GNSS New Space,
- ▶ Caractérisation de comportements en environnement perturbé simulés au sein de laboratoire de Navigation,
- ▶ Démonstrations en environnement perturbé des solutions robustes.



JammerTest

Instruments et charges utiles LEO PNT

Technologies clés

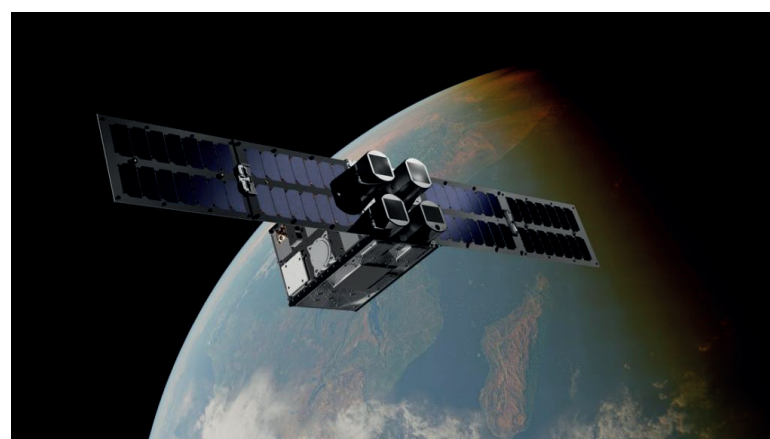
Le domaine du LEO PNT est en forte croissance avec de multiples initiatives de développement de constellations dans le monde. Ce nouveau système GNSS ouvre la voie à de nouveaux usages, grâce à des caractéristiques améliorées (bilan de liaison plus favorable, meilleure disponibilité en environnement contraint, etc...). Dans ce contexte, des initiatives françaises ou européennes visant à démontrer des capacités en orbite sont en cours de préparation.



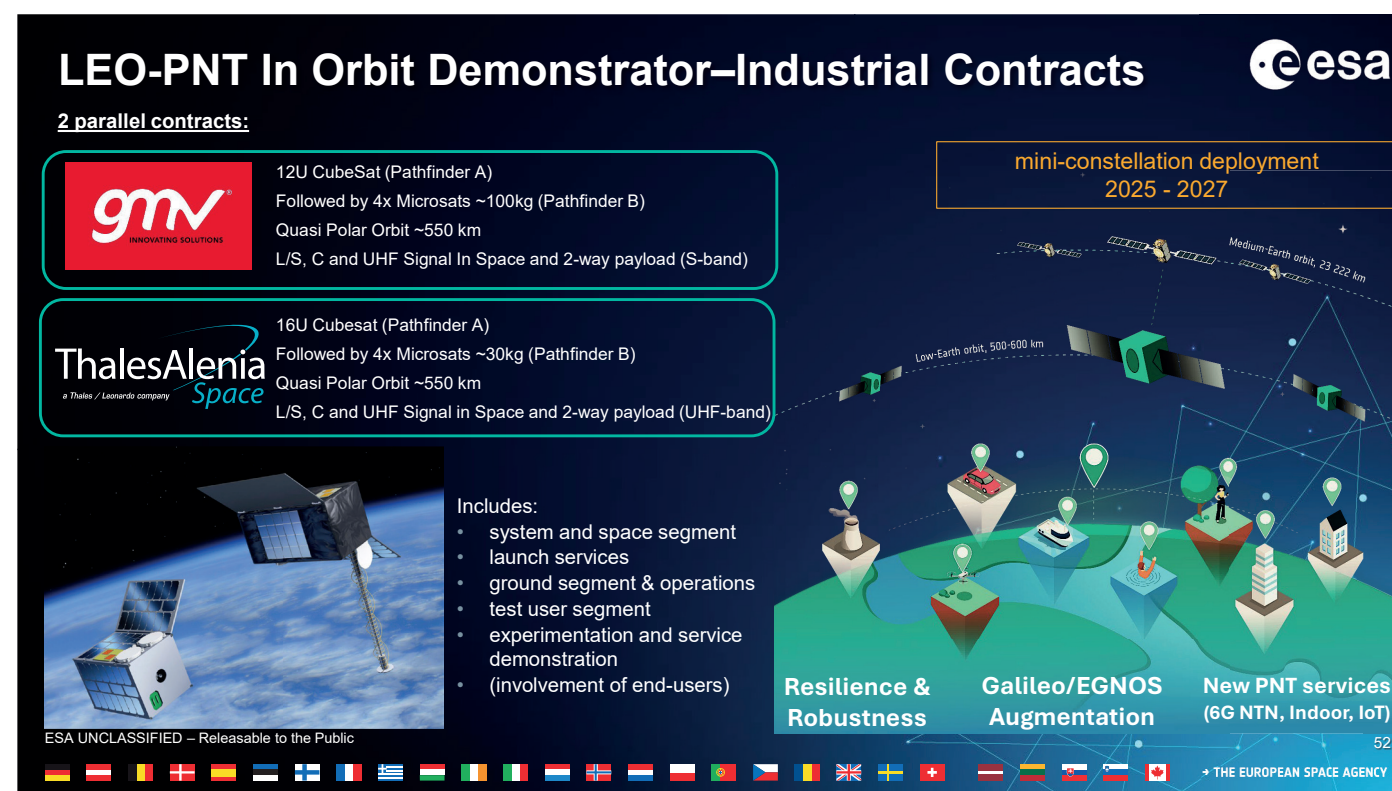
Satellite LEO-PNT
© TAS

L'enjeu pour le CNES est de faire émerger, au niveau national, différentes technologies souveraines à forte valeur ajoutée. Elles favoriseront le positionnement compétitif de l'écosystème français dans le système LEO PNT sur les programmes européens et à l'export.

L'ambition du CNES va de pair avec une approche écoresponsable qui vise à dimensionner au juste besoin les futures missions LEO-PNT Européennes, notamment en terme de production et de nombre de satellites lancés.



Mission Synchrocube sur satellite Pandore
© U-Space / Exolaunch



Plan d'activités

En cours

- ▶ Développement de récepteurs GNSS spatiaux réutilisables au sein de charges utiles LEO PNT,
- ▶ Développement de briques technologiques souveraines innovantes qui pourront parfois bénéficier d'opportunités d'emport sur la couche LEO IRIS²,
- ▶ Supporter ces développements nationaux avec une ingénierie système innovante afin de dimensionner une mission LEO PNT durable.

Période 2025-2028

- ▶ Poursuite des activités d'étude jusqu'à l'obtention de premiers modèles de vol à court/moyen terme,
- ▶ Démonstrations de capacité en orbite et collecte de retour d'expérience

Communication, localisation, synchronisation dans un essaim de satellites

Technologies clés

La synchronisation et la localisation sont des fonctions essentielles pour les essaims et les constellations de satellites. La mise en cohérence des mesures individuelles réalisées par chaque satellite de l'essaim nécessite en effet de disposer d'une base de temps commune à toutes les mesures et de connaître la position relative des différents satellites.

Dans l'environnement proche de la Terre (orbite LEO, typiquement), les fonctions de synchronisation et localisation peuvent être obtenues grâce aux systèmes GNSS. En espace lointain, la performance des systèmes GNSS peut ne plus suffire et l'essaim doit disposer de mesures internes via des liens inter-satellites pour assurer les fonctions de synchronisation et localisation. Les principaux enjeux sont alors les suivants :

- Développer des équipements ISL capables d'effectuer des mesures temps/fréquences et de distance/vitesse suffisamment précises pour répondre aux exigences de la mission,
- Développer les techniques et équipements permettant d'assurer l'asservissement des horloges de chaque satellite sur une référence commune, cette référence étant préalablement calculée par comparaison des horloges de l'essaim avec une notion importante de robustesse (on parle alors d'échelle de temps autonome),
- Développer les techniques de localisation basées sur les mesures ISL, recalées sur la connaissance partielle des positions absolues de quelques satellites.



Constellation de satellites Elisa
© CNES/PHOTON/REGY Michel, 2009

Plan d'activités

Phase-1 : 2025-2027

Les études en cours se concentrent sur le développement des techniques et technologies permettant :

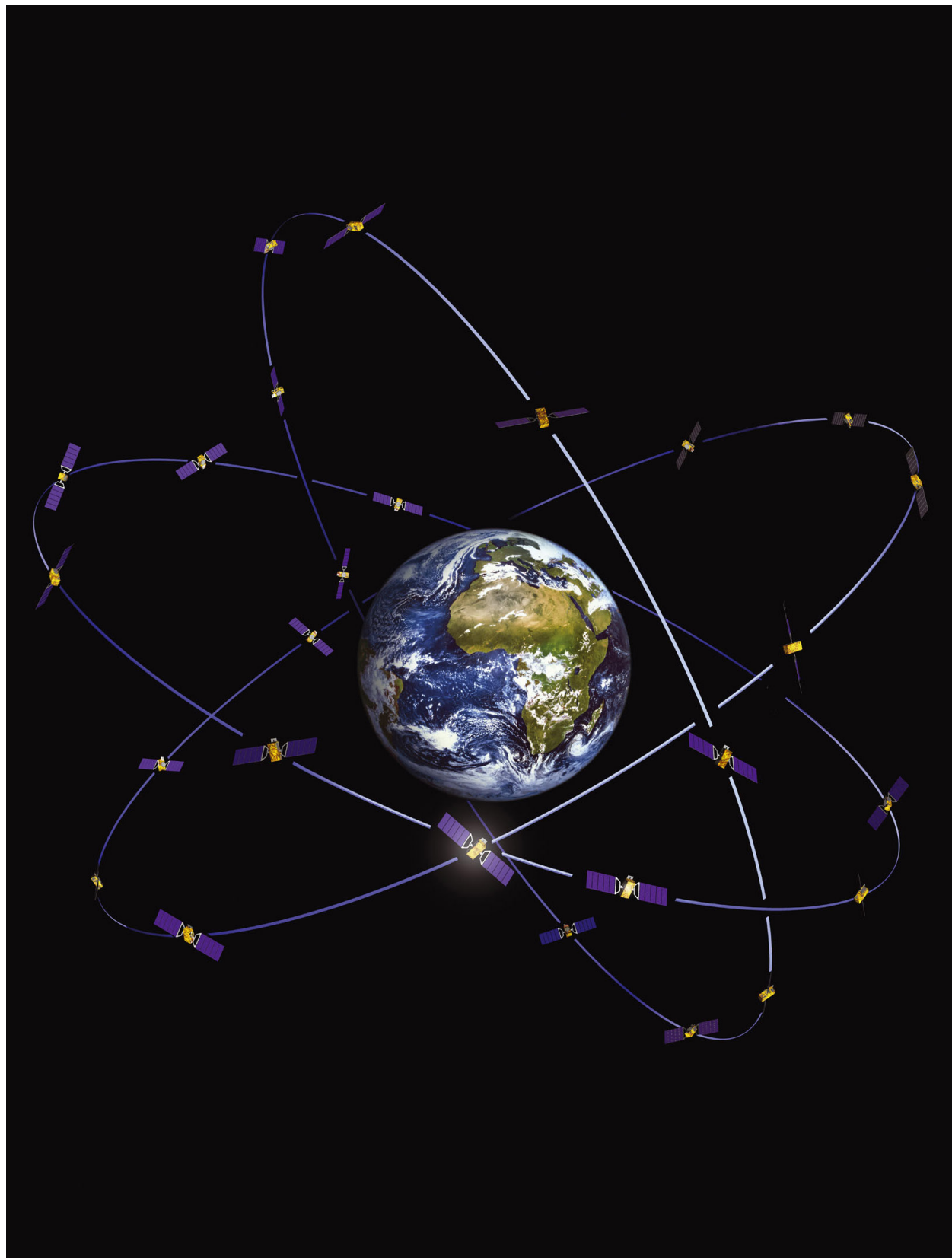
- ▶ D'optimiser la communication par ISL :
 - Etudes sur l'optimisation des formes d'ondes, modulations et codages permettant d'obtenir des mesures temps/fréquence précises et des débits de communication élevés,
 - Développement d'une technologie permettant une communication simultanée et « de tous vers tous » au sein d'un essaim comportant un grand nombre de satellites,
- ▶ De réaliser la fonction de synchronisation. Les études sur ce sujet comportent les 2 axes principaux suivants :
 - Les techniques d'asservissement d'une horloge sur une autre horloge de référence,
 - Les méthodes de calcul d'une échelle de temps autonome à partir de la connaissance des écarts de temps entre un nombre important d'horloges (> 10),
- ▶ De calculer la position de l'ensemble des satellites d'un essaim en l'absence de système externe permettant d'obtenir une référence absolue (ex : GNSS). Les méthodes étudiées se basent sur la connaissance partielle des mesures de distance/vitesse inter-satellites et la connaissance de la position absolue d'au moins 4 satellites de l'essaim.

Ces études s'accompagnent d'un effort pour soutenir le développement d'équipements ISL existants dans le but de réaliser des démonstrations technologiques et de préparer la participation à des missions scientifiques.

Phase-2 : 2026-2029

- ▶ Maturation des technologies de communication de « tous vers tous » simultanée via l'amélioration des prototypes existants et le maquettage d'architectures complètement numériques,
- ▶ Poursuite des travaux sur les calculs des échelles de temps autonomes et implémentation dans un banc de test,
- ▶ Implémentation d'une technique d'asservissement d'horloge dans un équipement ISL et démonstration en vol dans un mini-essaim à 3 satellites,
- ▶ Poursuite des études sur la localisation dans un essaim avec une meilleure prise en compte de la dynamique orbitale.





Constellation Galiléo
© ESA/IL HUART Jacky

ACRONYMES

ASIC : Application-Specific Integrated Circuit

CELESTE : Constellation of European LEO Satellites for Earth Observation

CNES : Centre National d'Études Spatiales

DORIS : Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite

EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service

ESA : European Space Agency

EUSPA : European Union Agency for the Space Programme

E5 AltBOC : modulation spécifique Alternative BOC sur la bande E5 GALILEO

FdPT : Feuille de Politique Technique

GEO : Geostationary Earth Orbit

GNSS : Global Navigation Satellite System

HAS : High Accuracy Service

IRIS² : Interconnecting Reconfigurable Intelligent Satellite Systems

ISL : Inter-Satellite Links

LEO : Low Earth Orbit

MEO : Medium Earth Orbit

OSNMA : Open Service Navigation Message Authentication

PNT : Positionnement, Navigation et Diffusion du Temps

R&D : Recherche et Développement

RF : Radiofréquence

UTC : Coordinated Universal Time

VOUS SOUHAITEZ APPORTER VOTRE CONTRIBUTION ?

orientations-techniques@cnes.fr



Retrouvez les Feuilles de Politique Technique du CNES

<https://cnes.fr/entreprises/orientations-techniques>



Avec Connect by CNES, le CNES met le spatial à votre service !

<https://www.connectbycnes.fr>

CNES

www.cnes.fr

