



**R&T**  
SYSTEMES ORBITAUX

# Livre bleu

Programmation avril 2023

Recherche et technologie des Systèmes Orbitaux

## RECHERCHE ET TECHNOLOGIE DES SYSTEMES ORBITAUX

# PROGRAMME 2023 relève avril

Rédacteurs :

L. AMEN  
P. LE METAYER

M. DEJUS  
PG. TIZIEN

Pour le service DS/PF/TD,  
Responsable du processus R&T



Laurence LORDA

**REPRODUCTION ET DIFFUSION INTERDITES SANS ACCORD PREALABLE DU CNES**

## SOMMAIRE

---

INTRODUCTION.....	3
DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL.....	7
ETUDE ET OBSERVATION DE LA TERRE.....	10
LOCALISATION, NAVIGATION, TEMPS-FREQUENCE .....	13
MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT .....	15
PLATES-FORMES .....	19
SCIENCES DE L'UNIVERS.....	22
SYSTEME BORD/SOL .....	24
TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES .....	26
TELECOMMUNICATIONS .....	28
ANNEXES .....	30

# INTRODUCTION

L'activité « Recherche et Technologie » du CNES dans le domaine des systèmes orbitaux est principalement réalisée :

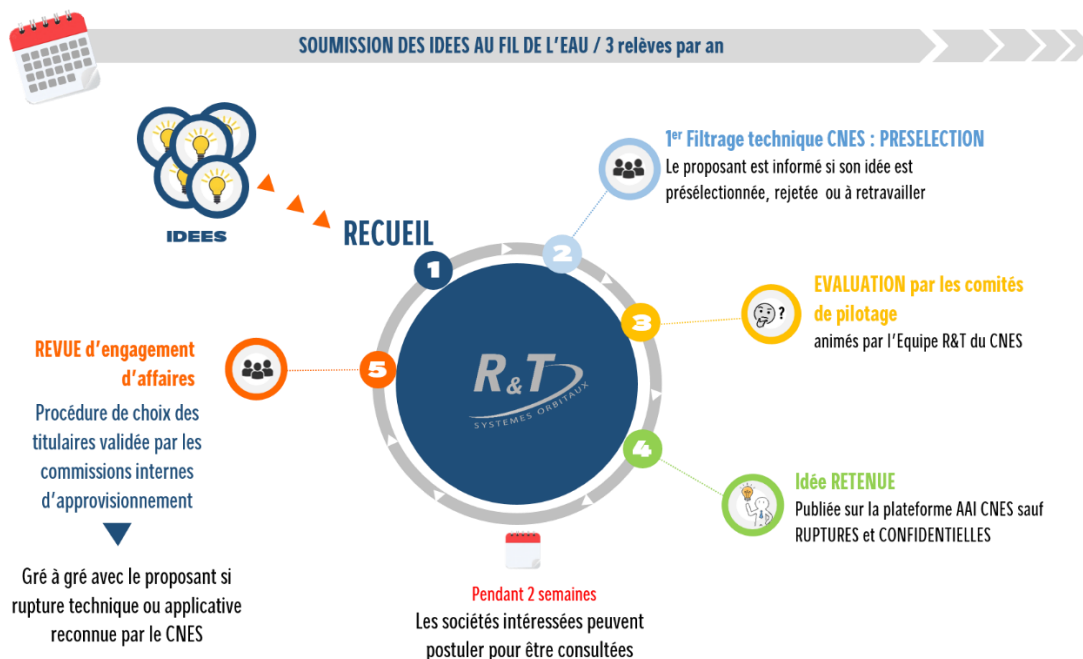
- Dans le cadre de l'Agence Spatiale Européenne à travers la contribution financière du CNES à divers programmes obligatoires comme le Technology Research Programme ou optionnels (GSTP, EOEP, ARTES...),
- Dans le cadre multilatéral à travers les activités de R&T menées par le CNES avec des industriels (maîtres d'œuvres, grands industriels, PME, Startup, SSII) et des organismes de recherche scientifiques et technologiques.

D'autres cadres existent également comme le pôle de compétitivité Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués, le RTRA STAE (Réseau Thématique de Recherche Avancée – Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace), l'Institut de Recherche Technologique Saint-Exupéry, les projets financés directement par les régions pour le soutien, par la recherche, au développement des applications spatiales et les Programmes Cadres de l'U.E. (Horizon Europe).

Le volet multilatéral des activités de R&T est couvert par le Programme Pluriannuel de Recherche et Technologie (PPRT). L'activité conduite à travers le PPRT vise essentiellement à couvrir les besoins de :

- Recherche prospective et particulièrement recherche des sauts technologiques possibles, y compris, en s'appropriant des techniques utilisées dans d'autres domaines que le secteur spatial,
- Préparation des projets futurs,
- Développement de la capacité d'expertise nationale et de sa compétitivité.

Le recueil des propositions de R&T se fait via un site de soumission accessible tout au long de l'année (<https://rd-cnes.wiin.io/fr/applications/aai-rt>) afin de permettre aux différents proposant de transmettre des idées de R&T au fil de l'eau. Des relèves sont effectuées régulièrement, sur une base de 3 par an, afin d'évaluer et sélectionner les actions qui seront ensuite intégrées dans le PPRT. Chacune de ces relèves donne lieu à la publication d'un document tel que celui-ci.



REPRODUCTION ET DIFFUSION INTERDITES SANS ACCORD PREALABLE DU CNES

## INTRODUCTION

---

La programmation du PPRT vise à favoriser **l'innovation et les ruptures** pour le développement de **nouveaux concepts et de briques technologiques** (TRL 2-3, généralement à risque et donc à budget limité) susceptibles d'ouvrir ultérieurement à des phases d'études plus ambitieuses de maquettage (TRL 4-5) ou de validation de mise en œuvre de niveau sous-système ou instrumental.

En cas d'intérêt confirmé de ces développements, une phase de qualification (TRL  $\geq$  6) via le plan Démonstrateur Transverse pourrait être envisagée.

Les actions issues de **propositions d'idées en rupture et confirmées comme telles par les équipes techniques du CNES** ne sont pas présentées dans le présent document dans la mesure où elles sont considérées confidentielles.

La R&T Systèmes Orbitaux est organisée en Objectifs Techniques dont les principaux enjeux sont déclinés ci-après :

- **BS** : Faire évoluer les fonctions du système **Bord/Sol** afin de répondre aux besoins des missions futures et aux exigences de compétitivité.
- **DU** : Favoriser le potentiel applicatif offert par les solutions spatiales infrastructures et données, en **Développant les Usages** au bénéfice de la société et de l'économie.
- **LN** : Préparer les infrastructures orbitales de nouvelle génération pour les systèmes de **Localisation, Navigation** et collecte de données, en améliorant les performances des technologies, de mesure et des systèmes. Pour le court terme, préparer les technologies et traitements permettant la bonne utilisation du secteur aval des systèmes actuels.
- **MT** : Maîtriser les **MicroTechnologies** en environnement spatial et suivre l'évolution des nanotechnologies en vue de leur utilisation dans le spatial. Améliorer la connaissance et l'impact de l'environnement spatial pour optimiser le dimensionnement des satellites.
- **OT** : Préparer les systèmes d'**Observation de la Terre** de nouvelle génération en augmentant la richesse des mesures, en accroissant la répétitivité, en facilitant leur exploitation et l'utilisation des données générées. Ces systèmes devront par ailleurs être optimisés en termes de coûts.
- **PF** : Faire évoluer les **Plates-Formes** existantes (dont les aérostats) et développer les technologies clés correspondantes en vue de répondre aux besoins des missions futures, aux évolutions des lanceurs et à l'exigence de compétitivité.
- **RE<sup>1</sup>** : Préparer les technologies contribuant à la protection des satellites et préparer les technologies des missions de surveillance dans le domaine de la protection des systèmes satellitaires.
- **SU** : Favoriser et développer les compétences instrumentales et technologiques françaises en préparation des futurs programmes d'étude et d'exploration en **Sciences de l'Univers**. Accompagner les programmes d'Exploration et vols habités internationaux, notamment par le soutien aux techniques associées au support vie.
- **TG** : Développer les **Techniques et technologies Génériques** des systèmes orbitaux.
- **TC** : Améliorer l'utilisation et le positionnement concurrentiel en Europe des **TéléCommunications** spatiales.

---

<sup>1</sup> Les actions de cet objectif ne font pas l'objet d'une publication dans le Livre Bleu

## INTRODUCTION

---

Le programme, associé à chaque objectif et décliné en axes techniques, est présenté ci-après avec une description des actions retenues pour la relève d'avril 2023, à l'exception des actions confidentielles et celles classées comme rupture, ainsi que celles relevant de l'objectif RE (Protection des systèmes satellitaires). Les budgets indiqués concernent la totalité des actions programmées (y compris actions confidentielles et en rupture) et correspondent uniquement aux dépenses externes du CNES.

Les actions sont, dans la mesure du possible, caractérisées par le niveau de maturité technologique que l'on souhaite atteindre à la fin de l'action. Ce niveau de maturité est quantifié par un indicateur dénommé TRL (Technology Readiness Level) dont l'échelle de valeur, telle que définie dans l'ISO 16290 : 2014, est indiquée dans l'annexe 1.

Pour chaque action, le titulaire pressenti ou le type de titulaire envisagé est indiqué (*voir en annexe 2 la définition des abréviations*).

### Comment se positionner ?

---

Chaque société souhaitant participer à une action (y compris celles figurant sur les listes d'attente) et entrant dans la catégorie de titulaire identifiée devra le signaler :

- Le **12 mai 2023 23h59 au plus tard**,
- Au **service technique du CNES** dont le sigle est précisé dans les tableaux (le nom du Chef de service étant indiqué en *Annexe 3*) ainsi qu'à l'**équipe DS/PF** (Préparation du Futur) via l'adresse : [technologie@cnes.fr](mailto:technologie@cnes.fr))
- En complétant impérativement le **fichier Excel** disponible en téléchargement sur la même page que ce document.

Merci de bien vouloir noter que ne seront prises en compte que les demandes totalement complétées dans le fichier et uniquement celles-ci.

**Nous rappelons que le cofinancement de l'étude par le titulaire est la règle générale.**

**DEVELOPPEMENT DES USAGES  
DU SPATIAL**

# DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL

---

Favoriser le potentiel applicatif offert par les solutions spatiales aussi bien les infrastructures que les données, au bénéfice de la société et de l'économie.

Cet objectif se décline en trois axes :

- DU1 : L'extraction d'informations des images
- DU2 : Les Technologies de l'Information et de la Communication pour la valorisation de la donnée spatiale
- DU3 : La maturation des services applicatifs

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

## Axe technique DU1

### **R-S23/DU-0001-028-01 : Production massive de MNT**

L'outil CNES Bulldozer est capable aujourd'hui de générer des Modèles Numériques de Terrain avec une stabilité dite interne (résultat identique avec ou sans tuilage de la donnée). Pour qu'un MNT mondial soit produit de façon stable, il faudrait attendre de disposer de toutes les dalles MNS (Modèle Numérique de Surface) sur le monde. Si tant est que nous en disposions, l'outil ne gèrerait pas non plus un rafraichissement local des dalles. Le monde entier devrait être retraité. L'objectif de la R&T est d'aboutir à la preuve de concept de la capacité à générer et mettre à jour facilement un MNT mondial. La difficulté est d'assurer une cohérence aux frontières des dalles voisines d'un grillage mondial.

### **R-S23/DU-0001-029-01 : Modèles génératifs pour construction de jeux de données d'apprentissage**

Les utilisations des algorithmes de Deep Learning dans le domaine de l'observation de la Terre sont devenues incontournables. Ces algorithmes permettent d'adresser des sujets très variés, mais nécessitent des bases de données d'apprentissage volumineuses et fiables. Dans cette étude, il est proposé d'explorer le potentiel des techniques génératives pour enrichir ces bases d'apprentissage avec des données « synthétiques » disposant des mêmes caractéristiques que les données « réelles ».

## Axe technique DU2

### **R-S23/DU-0002-025-01 : Hybridation de données multi-sources assistée par IA**

Pangeo est une communauté qui propose un écosystème logiciel Python permettant de manipuler de grosses quantités de données scientifiques, mais les outils d'hybridation de données multi-sources disponibles sont limités. L'objectif de cette étude est de proposer des solutions d'hybridation de données multi-sources adaptées à l'environnement PANGEO. Le cas d'application visé portera sur l'hybridation de données de température océanique multi-sources disponibles sur Data Terra et d'en favoriser l'utilisation dans la communauté utilisateur.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/DU-0001-028-01	DTN/CD/ID	Production massive de MNT	4	STS
R-S23/DU-0001-029-01	DTN/CD/TPA	Modèles génératifs pour construction jeux de données d'apprentissage	4	STS
R-S23/DU-0002-025-01	DTN/CD/TPA	Hybridation de données multi-sources assistée par IA	4	UMR LOPS

Une action en rupture est également programmée sur cet objectif technique.

**ETUDE ET OBSERVATION  
DE LA TERRE**

# ETUDE ET OBSERVATION DE LA TERRE

---

Préparer les Systèmes d'Observation de la Terre de nouvelle génération en augmentant la richesse des mesures, en accroissant la répétitivité, en facilitant leur exploitation et l'utilisation des données générées. Ces systèmes devront par ailleurs être optimisés en termes de coûts.

Cet Objectif se décline en quatre axes :

- OT1 : Systèmes imageur HR/THR
- OT2 : Sondeurs atmosphériques
- OT3 : Altimétrie et traitement du signal radar
- OT6 : Systèmes radiomètre imageurs

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

## Axe technique OT1

### **R-S23/OT-0001-167-01 : Matériaux Très Haute Température pour instruments optiques**

Certaines missions d'observation très haute résolution vont être soumises à des flux thermiques externes supérieurs à ceux des missions précédentes. Cette étude a pour objet d'identifier des couples matériaux-substrat très haute température existants, susceptibles d'être mis en œuvre sur le baffle et la cavité avant du télescope, puis de vérifier leurs propriétés optiques par essais.

### **R-S23/OT-0001-154-01 : Test irradiations détecteurs Type-II SuperLattice**

L'une des contraintes principales en imagerie infrarouge est la température du détecteur, qui nécessite généralement d'être refroidi afin de réduire au maximum les effets de bruit. Une solution pourrait être d'utiliser des matrices à base de super-réseau qui permettrait d'opérer à des températures plus hautes. Cette étude poursuit les travaux déjà engagés sur ces technologies en testant sous irradiation des matrices T2SL nouvelle génération.

## Axe technique OT2

### **R-S23/OT-0002-055-01 : Détecteur VLWIR pour météo**

En prolongement d'une R&T précédente ayant permis la réalisation d'un circuit de détection infrarouge VLWIR (Very Long Wave InfraRed) en technologie HgCdTe p/n pour des observations aux longueurs d'onde de 15 $\mu$ m, l'objet de cette action est maintenant d'hybrider ce circuit de détection avec un circuit de lecture existant puis de réaliser une caractérisation fine des performances obtenues.

## Axe technique OT3

### **R-S23/OT-0003-098-01 : Perturbations mécaniques sur radar en rotation**

Pour les missions de mesure des courants marins avec radar Doppler, il est nécessaire de disposer de la connaissance de pointage. L'objectif de l'étude est de simuler mécaniquement un instrument en rotation par rapport à un corps fixe (satellite) pour obtenir les variations du pointage RF antenne.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/OT-0001-154-01	DTN/TPI/OED	Test irradiations détecteurs T2SL	4	MO, EQ
R-S23/OT-0001-167-01	DTN/TVO/TH	Matériaux THT pour instruments optiques	4	MO
R-S23/OT-0002-055-01	DTN/TPI/OED	Détecteur VLWIR pour météo	5	LYNRED
R-S23/OT-0003-098-01	DTN/TPI/INR	Perturbations mécaniques sur radar en rotation	3	Thales Alenia Space

Deux actions confidentielles sont également programmées sur cet objectif technique.

**LOCALISATION, NAVIGATION,  
TEMPS-FREQUENCE**

## MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT

---

Préparer les infrastructures orbitales de nouvelle génération pour les systèmes de navigation, localisation et collecte de données, en améliorant les performances des technologies, de mesure et des systèmes jusqu'à 2030/2040. Pour le court terme, préparer les technologies et traitements permettant la bonne utilisation du secteur aval des systèmes de génération actuelle.

Cet Objectif se décline en trois axes :

LN1 : Temps Fréquence des systèmes de nouvelle génération.

LN2 : Améliorer les performances des services reposant sur les systèmes actuels et futurs.

LN3 : Préparer les évolutions des infrastructures spatiales.

**Il n'y a pas d'actions dans cette première relève de 2023.**

**MICROTECHNOLOGIES ET  
ENVIRONNEMENT**

# MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT

---

Maîtriser les microtechnologies en environnement spatial et suivre l'évolution des nanotechnologies en vue de leur utilisation dans le spatial. Améliorer la connaissance et l'impact de l'environnement spatial pour optimiser le dimensionnement des satellites.

Cet objectif se décline en trois axes :

- MT2 : Maîtriser la technologie des microsystèmes et évaluer l'apport des nanotechnologies jugées suffisamment matures pour les applications spatiales.
- MT3 : Améliorer la connaissance de l'environnement spatial et l'ingénierie d'assurance durcissement.
- MT4 : Maîtriser les technologies électroniques avancées pour les projets spatiaux.

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

## Axe MT3 : 1 actions

### **R-S23/MT-0003-240-01 : Simu dégradation composants débit dose**

A l'heure actuelle, pour les tests de dose non-ionisante (TNID), il n'existe qu'une seule recommandation dans les standards concernant le niveau de flux moyen à adopter pour les tests : l'ECSS 22500 recommande de ne pas dépasser un niveau de flux de  $10^9$  particules/cm<sup>2</sup>/s. Cette étude vise à montrer par simulation si oui ou non le débit de dose non-ionisante peut modifier la nature et la concentration des défauts cristallins stables créés au cours du temps. L'analyse des résultats de simulation permettra d'évaluer si les méthodes de test actuellement considérées restent adaptées pour un environnement spatial.

## Axe MT4 : 9 actions

### **R-S23/MT-0004-289-01 : Capteur fibre optique fortes radiations**

Nous voulons démontrer la faisabilité de l'utilisation d'une fibre optique amincie comme capteur de vide (Pirani) dans un environnement spatial à très forte radiation (supérieur à 109 Gray) pour évaluer les effets de dépressurisation et repressurisation.

### **R-S23/MT-0004-077-01 : Eval. Composants VLSI, CI et Opto**

Cette action a pour objectif de procéder à des études de prospective et de pré-évaluation de circuits intégrés de nouvelles générations. Cette action permettra de sélectionner les composants présentant un potentiel d'utilisation dans les applications spatiales embarquées, et de déterminer leur tenue en environnement spatial.

### **R-S23/MT-0004-290-01 : Dév. Filière GaAs "Normally-Off"**

Cette étude a pour objectif de développer une technologie GaAs haute fréquence à base de transistors à enrichissement. Ce type de dispositif doit permettre d'améliorer les performances et la compacité des amplificateurs faible bruit (LNA) utilisés dans les récepteurs.

### **R-S23/MT-0004-291-01 : Report module 3D haute temp**

Cette étude a pour but de développer de nouvelles briques technologiques pour l'assemblage de modules 3D, pour permettre le report sur carte de ces modules à des températures plus élevées. Des solutions innovantes seront mises au point pour atteindre cet objectif, qui sera validé par des essais d'évaluation en environnement.

### **R-S23/MT-0004-292-01 : Eval. Camera commerciale app. Spatiale**

L'objectif est d'évaluer une caméra du commerce utilisée dans des applications grand public tels que des smartphones (comprenant un imageur IMX219 accompagné d'un RaspBerry PI), afin de tester la possible spatialisation de ce composant. L'idée serait en premier lieu d'étudier la tenue en environnement radiatif.

### **R-S23/MT-0004-270-01 Pré-Eval. Câbles optiques harnais**

Différentes typologies de câbles pour fibre optique optiques (tight ou loose) existent dans le marché pour applications aéronautiques et télécommunications. Un recensement des options existantes, la sélection de candidats parmi les fabricants français et européens, la définition et la conduite d'essais d'évaluation pour choisir les options plus prometteuses constituent les axes d'activités de cette étude. Complément à l'action R&T R-S22/MT-0004-270

### **R-S23/MT-0004-293-01 : Impact X-Ray sur matériaux spatiaux**

Etudier l'effet des rayonnements X sur le comportement électrique des matériaux spatiaux. On s'attachera à étudier l'équivalence, à dose constante, entre irradiation X et irradiation électronique sur les processus de conduction électrique induite sous irradiation des matériaux spatiaux. La problématique est particulièrement intéressante pour différents matériaux à usage spatial, comme les matériaux de connecteurs, de câbles, de circuits imprimés, les verres ou les matériaux de structure

### **R-S23/MT-0004-294-01 : Opt. méthodes test analyse prop. Elec.**

Développement de méthodes permettant la caractérisation et la simulation du comportement électrique des matériaux sensibles aux irradiations électroniques spatiales reproduites dans des enceintes à vide en laboratoire. Il s'agira de construire des modèles physiques semi-empiriques, , pour décrire les tendances observées sur les évolutions de conductivité électrique sous irradiation. Ces modèles pourront être implémentées à l'avenir dans le moyen de simulation SPIS sous la forme d'un Plug-in CNES pour la prédiction des risques de charge et de décharge sur satellite.

### **R-S23/MT-0004-295-01 : Qualif. Capteurs SWIR InGaAs**

Capteurs d'images IR SWIR (bande 900nm-1,7 $\mu$ m) en InGaAs pour des besoins multiples et le spatial. Intégrés dans des liaisons sols et des environnements aéro (pour des application d'observations, et d'alignement avec un laser pour du FSO Free space optical telecom). Evaluation de ces solutions avec des essais de tenue aux protons, ions lourds, et rayonnement gamma.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/MT-0003-240-01	DTN/QE/EC	Simu dégradation composants débit dose	4	TRAD
R-S23/MT-0004-289-01	DTN/QE/LE	Capteur fibre optique fortes radiations	6	FEMTO-ST
R-S23/MT-0004-077-01	DTN/QE/EC	Eval. Composants VLSI, CI et Opto	4	AD
R-S23/MT-0004-290-01	DTN/QE/EC	Dév. Filière GaAs "normally-Off"	4	UMS
R-S23/MT-0004-291-01	DTN/QE/MP	Report module 3D haute temp	6	3D+
R-S23/MT-0004-292-01	DTN/TPI/OED	Eval. Camera commerciale app. Spatiale	4	AD
R-S23/MT-0004-270-01	DTN/QE/CQ	Pré-Eval. Câbles optiques harnais	5	AdvEOTec
R-S23/MT-0004-293-01	DTN/TVO/3CE	Impact X-Ray sur matériaux spatiaux	4	Onera-DPHY
R-S23/MT-0004-294-01	DTN/TVO/3CE	Opt. méthodes test analyse prop. Elec.	6	Onera-DPHY
R-S23/MT-0004-295-01	DTN/TPI/OED	Qualif. Capteurs SWIR InGaAs	4	NIT

Une action confidentielle est également programmée sur cet objectif technique.

**PLATES-FORMES**

# PLATES-FORMES

---

Faire évoluer les plates-formes existantes (dont les aérostats) et développer les technologies clés correspondantes en vue de répondre aux besoins des missions futures, aux évolutions des lanceurs et à l'exigence de compétitivité.

Cet objectif se décline en quatre axes :

- PF1 : Plates-Formes Géostationnaires,
- PF2 : Plates-Formes LEO/MEO,
- PF4 : Ballons,
- PF5 : Techniques et Technologies Clés Transverses.

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

## Axe technique PF2

### **R-S23/PF-0002-143-01 : Système RCS pour cubesat**

Etude interne qui a pour objectif de définir et de tester un sous-système RCS (Reaction Control System) réactif et précis capable de fournir une capacité de propulsion d'au moins 4 degrés de liberté à la plate-forme. Un RCS Cubestat permettrait de simplifier la correction d'orbite et le contrôle d'attitude et offrirait une capacité d'anti-collision et de désorbitation.

### **R-S23/PF-0002-145-01 : Résistojet H<sub>2</sub>O en microgravité**

Le laboratoire ICARE développe actuellement un propulseur miniature de type Résistojet opérant avec de l'eau comme carburant. Ce propulseur est adapté pour les transferts d'orbite et les manoeuvres d'évitement des petits satellites. Des expériences sur ce type de propulseur étant prévu en vol 0g, cette étude vise à mesurer les performances du propulseur afin de pouvoir valider les essais en vol par comparaison avec les mesures au sol.

### **R-S23/PF-0002-146-01 : Vanne miniature pour propulsion électrique**

Le projet consiste à porter à maturité les briques technologiques nécessaires à la construction d'électrovannes miniatures pour le contrôle des gaz utilisés dans la propulsion électrique des satellites.

## Axe technique PF5

### **R-S23/PF-0005-162-01 : Instabilités propulseurs de Hall**

Cette proposition vise à étudier les instabilités à l'origine du courant anormal des électrons dans les propulseurs de Hall. Des travaux théoriques récents ont notamment montré le rôle des gradients (de densité, de température et de champ magnétique) dans l'apparition de ces instabilités. Cependant, du fait de la difficulté de contrôler ces gradients, les travaux expérimentaux sur le sujet sont rares. Nous proposons ici d'utiliser le propulseur PPS Flex développé au Laplace afin d'étudier l'effet des gradients de B sur le développement des instabilités basse fréquence.

### **R-S23/PF-0005-164-01 : Identification objets orbitaux par RFID**

L'étude vise à établir la faisabilité d'un dispositif autonome pour l'identification des satellites LEO grâce à un "SpaceTag", monté sur tous les futurs objets spatiaux et communiquant sur le principe de rétro-modulation. Ce système a pour objectif de permettre une identification unique des objets dès leur arrivée en LEO.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/PF-0002-143-01	DTN/TVO/PR	Système RCS pour cubesat	4	Interne
R-S23/PF-0002-145-01	DTN/TVO/PR	Résistojet H2O en microgravité	6	ICARE
R-S23/PF-0002-146-01	DTN/TVO/PR	Vanne miniature pour propulsion électrique	5	Equip Aero
R-S23/PF-0005-162-01	DTN/TVO/PR	Instabilités propulseurs de Hall	2	LAPLACE
R-S23/PF-0005-164-01	DTN/TPI/INR	Identification objets orbitaux par RFID	4	Labo, EQ

Six actions en rupture ou confidentielles sont également programmées sur cet objectif technique.

**SCIENCES DE L'UNIVERS**

## SCIENCES DE L'UNIVERS

Favoriser et développer les compétences instrumentales et technologiques françaises en préparation des futurs programmes d'étude et d'exploration de l'Univers. Accompagner les programmes d'Exploration et vols habités internationaux, notamment par le soutien aux techniques associées au support vie.

Cet objectif se décline en cinq axes :

- SU1 : Physique fondamentale et mesures de précision ultime
- SU2 : Astronomie et Astrophysique
- SU3 : Planétologie et Exobiologie
- SU4 : Physique solaire et milieux ionisés
- SU5 : Sciences en micropesanteur, Exploration et vol habité (

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

### Axe technique SU3

#### **R-S23/SU-0003-088-01 : Synthèse organo-minérale**

En préparation de l'analyse d'échantillons extraterrestres, cette action vise à synthétiser des minéraux argileux en présence de biomarqueurs pour fournir des analogues reflétant la complexité des échantillons.

### Axe technique SU5

#### **R-S23/SU-0005-038-01 : Assistance au massage cardiaque des spationautes**

Dans le cadre des missions habitées de longue durée, l'objectif est de développer un prototype de dispositif d'assistance au massage cardiaque, notamment compatibles des conditions de micropesanteur.

**Tableau récapitulatif des actions**

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/SU-0003-088-01	DTN/QE/LE	Synthèse organo-minérale	3	CNRS IC2MP
R-S23/SU-0005-038-01	DOS/EVH/MMS	Assistance au massage cardiaque des spationautes	4	Université Bretagne Sud

Trois actions confidentielles sont également programmées sur cet objectif technique.

**SYSTEME BORD/SOL**

# SYSTEME BORD/SOL

Faire évoluer les fonctions du système bord/sol afin de répondre aux besoins des missions futures et aux exigences de compétitivité.

Cet objectif se décline en trois axes :

- BS3 : Communications bord/sol, Segments sol de contrôle et Opérations,
- BS4 : Ingénierie système, Simulation système et Logiciel de vol,
- BS5 : Navigation, Guidage, Pilotage.

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

## Axe technique BS3

### **R-S23/BS-0003-084-01 : Protocole communication réseau essaim**

Cette action de R&T interne vise l'étude et la sélection de piles protocolaires réseaux adaptées aux contraintes d'utilisation dans un essaim de satellites communicant par ISL (Inter Satellite Link). Un essaim se définit comme un système spatial, constitués de plusieurs satellites communicant entre eux, regroupés et travaillant de manière collective et collaborative (intelligence collective).

## Axe technique BS4

### **R-S23/BS-0004-093-01 : Simulation Bus avionique Ethernet**

Le bus Ethernet est incontournable dans de nombreux domaines et constitue un élément principal dans plusieurs systèmes d'exploitation. Dans le domaine du spatial, cela commence à devenir plus qu'une réalité sur plusieurs programmes tels que ARIANE 6, CALLISTO, les futures constellations avec Internet haut débit mais aussi sur les systèmes habités et les modules lunaires prévus par la NASA. L'objectif de l'étude est de prendre en compte les aspects numériques et hybrides liés à la gestion d'un bus Ethernet dans un simulateur de système orbitaux.

### **R-S23/BS-0004-071-01: Mobia 2 - Monitoring bord par IA**

Cette étude propose d'analyser et de tester l'embarquabilité d'un modèle de Machine Learning en complément du process de détection des pannes à bord d'un satellite. L'utilisation embarquée de ce type de modèle, bien que peu répandue, pourrait présenter de nombreux avantages en terme de réactivité (en particulier pour la détection de pannes) et d'autonomie bord.

**Tableau récapitulatif des actions**

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/BS-0003-084-01	DTN/AVI/AV	Protocole communication réseau essaim	4	LABO, SSII
R-S23/BS-0004-071-01	DTN/AVI/CC	Mobia 2 - Monitoring bord par IA	5	Airbus Defense and Space
R-S23/BS-0004-093-01	DTN/AVI/VS	Simulation Bus avionique Ethernet	4	SSII

Une action en rupture technologique est également programmée sur cet objectif technique.

**TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES  
GENERIQUES**

## TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES

---

Développer les techniques et technologies génériques des Systèmes Orbitaux.

Cet objectif se décline en trois axes :

- TG1 : regroupe les techniques radiofréquences et optiques,
- TG2 : les techniques des véhicules,
- TG3 : la contamination et les matériaux.

Les actions à engager au titre de la première relève de 2023 sont décrites ci-après.

### Axe technique TG1

#### **R-S23/TG-0001-091-01 : Evaluation d'optiques polymères**

Les optiques polymères sont très utilisées pour des applications sol. L'objet de l'action est d'évaluer l'intérêt et la possibilité d'utiliser des optiques en polymère pour des applications spatiales. Après avoir vérifié la tenue aux radiations de différents polymères, une optique simple sera réalisée avec ces matériaux polymères. Cette optique sera ensuite caractérisée avant et après des tests environnementaux.

**Tableau récapitulatif des actions**

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/TG-0001-091-01	DTN/TPI/OP	Evaluation d'optiques polymères	3	EQ, Labo

Deux actions confidentielle ou en rupture sont également programmées sur cet objectif technique.

**TELECOMMUNICATIONS**

# TELECOMMUNICATIONS

---

Améliorer l'utilisation et le positionnement concurrentiel en Europe des Télécommunications spatiales.

Cet objectif se décline en quatre axes

- TC5 : Télécommunications pour les services fixes,
- TC6 : Télécommunications pour les services mobiles,
- TC7 : Technologies génériques des charges utiles de Télécommunications,
- TC8 : Aval et hybridation des infrastructures terrestres et satellitaires.

L'action à engager au titre de la première relève de 2023 est décrite ci-après.

Axe TC7 :

## **R-S23/TC-0007-153-01 : Emulateur d'effet Kerr**

L'objet de cette étude est de conduire les activités de levée de risque identifiée dans une étude précédente, puis de réaliser un maquetage réduit de la fonction d'émulation de l'effet Kerr.

**Tableau récapitulatif des actions**

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S23/TC-0007-153-01	DOA/NT/ST	Emulateur d'effet Kerr	4	EXAIL

**ANNEXES**

### **ANNEXE 1: Echelle TRL (Technology Readiness Level – ISO 16290:2014)**

TRL1 : Principes de base observés et identifiés ("principe de base")

TRL2 : Concept technologique et/ou application formulés ("application formulée")

TRL3 : Preuve du concept analytique et expérimentale de la fonction et/ou de la caractéristique critique ("preuve du concept")

TRL4 : Vérification fonctionnelle en environnement de laboratoire au niveau composant et/ou maquette ("validation fonctionnelle")

TRL5 : Vérification en environnement représentatif de la fonction critique au niveau composant et/ou maquette ("modèles à échelle réduite")

TRL6 : Démonstration en environnement représentatif des fonctions critiques de l'élément au niveau modèle ("validation de la conception")

TRL7 : Démonstration en environnement opérationnel de la performance de l'élément au niveau modèle ("qualification spatiale")

TRL8 : Système réel développé et accepté pour le vol ("qualifié pour vol")

TRL9 : Système réel "démontré en vol" par mission opérationnelle réussie ("démontré en vol")

## ANNEXES

---

### **ANNEXE 2 : Type de titulaire**

MO : Fonction maître d'œuvre satellite

EQ : Fonction équipementier

Labo : Laboratoire ou organisme institutionnel de recherche

SSII : Société de Services en Informatique

STS : Société de Traitement Scientifique

Interne : Action réalisée en interne CNES

AD : A Définir

# ANNEXES

## ANNEXE 3 : Liste des services et des Chefs de service (version du 07/04/2023)

Direction Technique et Numérique –DTN (1/2)		
<b>Sous-Direction Qualité et Expertise</b>		
Service Politique Composants et Qualification	DTN/QE/CQ	Thomas Torloting
Service Environnement et Composants nouveaux	DTN/QE/EC	Julien Mekki
Service Laboratoires et Expertises	DTN/QE/LE	Olivier Puig
Service Technologies Matériaux et Procédés	DTN/QE/MP	Thierry Battault
Service Sûreté de Fonctionnement, sauvegarde et sécurité	DTN/QE/SF	Pascal Robert
<b>Sous-Direction Campus de la Donnée</b>		
Service Altimétrie et Radar	DTN/CD/AR	Flavien Gouillon
Service CESBIO/CNES	DTN/CD/CB	Olivier Hagolle
Service Géodésie Spatiale	DTN/CD/GS	Sean Bruinsma
Service Laboratoire Observation de la Terre	DTN/CD/LOT	Olivier Queyrut
Service Imagerie optique et défense	DTN/CD/ID	Sylvia Sylvander
Service LEGOS/CNES	DTN/CD/LG	Benoît Meyssignac
Service Sondage Atmosphérique	DTN/CD/SA	Sarah Guibert
Service Traitement Plateformes et hybridation Aval	DTN/CD/TPA	Vincent Martin
Service Sciences de l'Univers et exploration	DTN/CD/SC	Laurence Chaoul
<b>Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</b>		
Service Antennes	DTN/TPI/AN	Bertrand Marty
Service OptoElectronique de Détection	DTN/TPI/EOD	Cédric Virmontois
Service Hyperfréquences	DTN/TPI/HY	Vincent Armengaud
Service Instruments Optiques	DTN/TPI/INO	Frédéric Bernard
Service Instruments Radar	DTN/TPI/INR	Patrice Gonzalez*
Service Physique de la Mesure Optique	DTN/TPI/MO	Aimé Meygret
Service Optique	DTN/TPI/OP	Jacques Berthon
Service Qualité Image	DTN/TPI/QI	Gwendoline Blanchet
Service Signaux Temps / fréquence et Radiodétermination	DTN/TPI/STR	Gabriel Liabeuf
Service Sondage de l'Atmosphère	DTN/TPI/SA	Caroline Bes
Service Transmissions, Collecte de données et Propagation	DTN/TPI/TCP	Clément Dudal
Service algorithmie et Traitements et produits Radar	DTN/TPI/TR	Cedric Tourain
<b>Sous-Direction Dynamique du Vol</b>		
Service Architecture SCAO	DTN/DV/AS	Géraldine Constant Filaire
Service Ingénierie du vol pour les missions Futures et la LOS	DTN/DV/IFL	Régis Bertrand
Service Manœuvres orbitales et mécanique Spatiale Système	DTN/DV/MS2	Nicolas Tchintcharadze
Service Programmation Guidage et Simulation système	DTN/DV/PGS	Sophie Djalal
Service Orbitographie	DTN/DV/OR	Pascal Desmazeaux
Service Systèmes opérationnels et Patrimoine dynamique du vol	DTN/DV/SP	Michel Lacotte

## ANNEXES

<b>Direction Technique et Numérique – DTN (2/2)</b>		
<b>Sous-Direction Infrastructures Numériques, SI Scientifique et Applicatif</b>		
Service Calcul Ingénierie Logiciel et valorisation des données	DTN/ISA/CID	Eric Morand
<b>Sous-Direction Opérations</b>		
Correspondant R&T	DTN/OP	Nathalie Corcoral
Service Développements des Segments Sol d'Opérations	DTN/OP/SSO	Denis Perriot
<b>Sous-Direction Architecture, Validation et Intégration</b>		
Service Architecture Avionique et électrique	DTN/AVI/AV	François Bonnet
Service Commande Contrôle	DTN/AVI/CC	Marie-Laure Anadon
Service Ingénierie Intégration	DTN/AVI/2I	Annie Bourdette
Service Architecture Mécanique et Thermique	DTN/AVI/MT	Pierre Pasquier
Service Réalisation Intégration	DTN/AVI/RI	Florent Canourgues
Service Validation et moyens Système	DTN/AVI/VS	Dominique Besson
<b>Sous-Direction Technique Véhicules Orbitaux</b>		
Service Chaîne Energie, Compatibilité Electromagnétique et Charge Electrostatique	DTN/TVO/3CE	Christian Elisabelar
Service Electronique numérique et Traitements bord	DTN/TVO/ET	Roland Lautheret
Service Logiciels de Vol	DTN/TVO/LV	Benoît Frezouls
Service Mécanismes et équipements SCAO	DTN/TVO/MS	Frédéric Courtade
Service Propulsion, Pyrotechnie et aérothermodynamique	DTN/TVO/PR	Francis Presseccq
Service Structure et Mécanique	DTN/TVO/SM	Pierre-Yves Tourneau
Service Contrôle Thermique	DTN/TVO/TH	Stéphanie Remaury
<b>Direction des systèmes Orbitaux et des Applications – DOA (1/2)</b>		
<b>Sous-Direction Ballons</b>		
Correspondant R&T	DOA/BL	Lectez Anne-Sophie
Service Technique Véhicules Porteurs	DOA/BL/VP	Erwan Quevarec
<b>Sous-Direction Exploration et Vols habités</b>		
Service projet Moon et Mars Stations	DOA/EHV/MMS	Alexis Paillet
Service projet Vols Habités en Développement CADMOS	DOA/EHV/VHD	Rémi Canton
<b>Sous-Direction Missions et Données d'observation de la Terre et Applications aval</b>		
Service Missions Océanographie	DOA/MDA/OC	Thierry Guinle
Service Missions Terre et Atmosphère	DOA/MDA/TA	Steven Hosford

## ANNEXES

---

<b>Direction des systèmes Orbitaux et des Applications - DOA (2/2)</b>		
<b>Sous-Direction Navigation et Télécommunication</b>		
Service Architecture satellites de Télécommunication	DOA/NT/AS	Stéphane Berrivin
Service Système et Projets de Navigation	DOA/NT/SPN	Hélène Gautier
Service Architecture Systèmes de Télécommunications	DOA/NT/ST	Valérie Foix
<b>Sous-Direction Sciences de l'Univers</b>		
Service Avant-Projet	DOA/SU/APR	Eric Lorfevre*
<b>Sous-Direction Sécurité, Sauvegarde et Maitrise de l'Espace</b>		
Service LOS et Sauvegarde	DOA/SME/LOS	Olfá ElJed
Service Surveillance de l'Espace	DOA/SME/SE	Vincent Morand

\* *par intérim*