



# Livre bleu

Programmation novembre 2023

**Recherche et technologie des Systèmes Orbitaux**



DIRECTION DE LA STRATEGIE  
Sous-Direction Préparation du Futur

Toulouse, 8 décembre 2023  
DS/PF-2023.0016876

## RECHERCHE ET TECHNOLOGIE DES SYSTEMES ORBITAUX

# Programme 2023 relève novembre

Rédacteurs :

Laurence AMEN  
Michel DEJUS  
Aurore DUPUIS  
Pierre-Gilles TIZIEN

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



Laurence LORDA

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

- **Dans le cadre de l'Agence Spatiale Européenne (ESA)** 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.

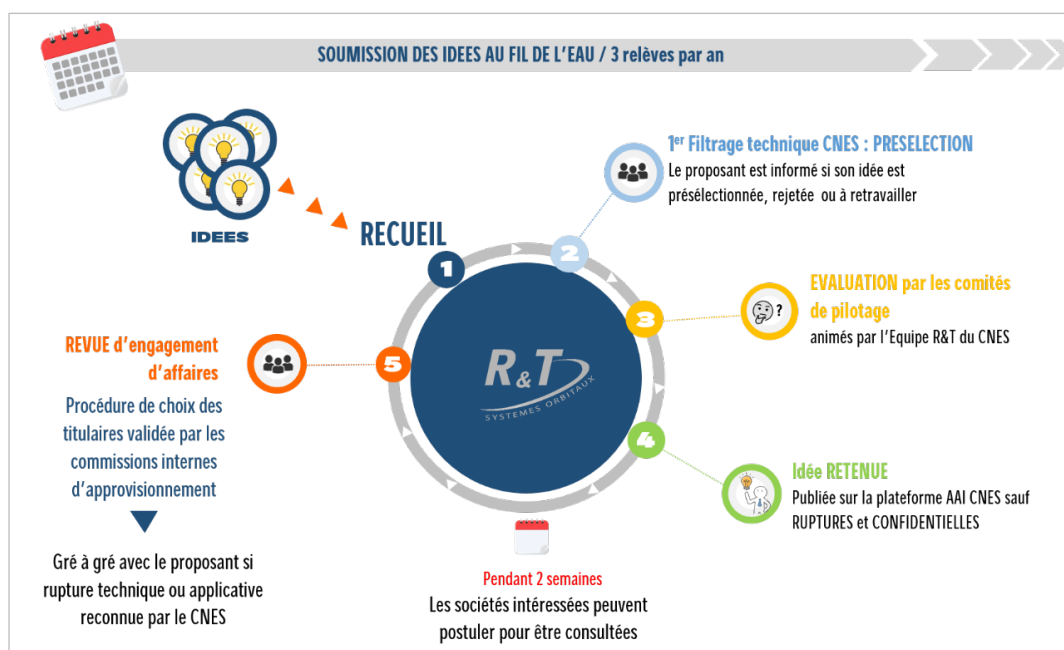
Le CNES assure également un lien avec d'autres programmes nationaux et européens afin de favoriser les synergies et une cohérence d'ensemble.

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 :



Le recueil des propositions de R&T se fait via une plate-forme 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, avec une périodicité de 3 par an, afin de 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. Le Livre bleu de chaque relève est disponible sur la [plate-forme de soumission](#).



REPRODUCTION ET DIFFUSION INTERDITES SANS ACCORD PREALABLE DU CNES

Afin de donner à l'ensemble de la communauté spatiale une vision plus complète et plus exhaustive des travaux de R&D menés par le CNES sur la composante « multilatérale » de son budget, ce Livre Bleu présente les activités menées dans le cadre du Programme Pluriannuel de R&T, du Plan Démonstrateurs transverses et du Plan Composants stratégiques

## Le Programme Pluriannuel de Recherche et Technologie

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.

Le programme, associé à chaque objectif et décliné en axes techniques, est présenté ci-après avec une description des actions retenues pour la **Relève de novembre 2023**.

**Les actions issues de propositions comportant des éléments jugés confidentiels et confirmés comme telles par les structures techniques du CNES ainsi que celles relevant de l'objectif RE (Protection des systèmes satellitaires) ne sont pas présentées dans ce document.**

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.

### Comment se positionner ?

Chaque société souhaitant participer à une action et entrant dans la catégorie de titulaire identifiée devra le signaler le **10 janvier 2024 23h59 au plus tard** au **service technique du CNES** dont le sigle est précisé pour chaque action (le nom du point de contact pour chaque service étant indiqué en Annexe 2) ainsi qu'à l'**équipe R&T** via l'adresse : [technologie@cnes.fr](mailto:technologie@cnes.fr), en renvoyant le [fichier Excel disponible en téléchargement](#) dûment complété.

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.**

## LISTE DES ACTIONS RETENUES R&T des Systèmes Orbitaux

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
<b>SYSTEME BORD SOL</b>				
R-S23/BS-0004-095-03	<u>DTN/AVI/VS</u>	<u>Simulation Native pour logiciel de bord - Suite R&amp;T logiciel fonctionnel</u>	5	Airbus Defence & Space, Thales Alenia Space, Spacebel
R-S23/BS-0005-091-03	<u>DTN/DV/IFL</u>	<u>Localisation absolue basée vision pour rover lunaire</u>	5	STS
R-S23/BS-0005-092-03	<u>DTN/DV/AS</u>	<u>Synthèse et Validation de SCAO en présence de perturbations multiples (PIC COSOR2)</u>	4	ONERA
Deux actions non publiables programmées sur cet objectif technique				
<b>DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL</b>				
R-S23/DU-0001-033-03	<u>DTN/CD/TPA</u>	<u>Amélioration Masque de Nuages MAJA sur l'eau</u>	6	STS
R-S23/DU-0001-035-03	<u>DTN/CD/ID</u>	<u>Transfert de domaine pour le recalage de données hétérogènes (Optique/LiDAR/Labels)</u>	4	CS
R-S23/DU-0002-026-03	<u>DTN/ISA/CID</u>	<u>Evaluation des technologies LLM (Large Language Model) pour les besoins métiers CNES</u>	5	AD
R-S23/DU-0002-027-03	<u>DTN/CD/AR</u>	<u>Etude et conception d'un index DGGS Spatio-Temporel 4D</u>	6	Geomatys
Deux actions non publiables programmées sur cet objectif technique				
<b>LOCALISATION, NAVIGATION, TEMPS FREQUENCE</b>				
Une action non publiable programmée sur cet objectif technique				
<b>MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT</b>				
R-S23/MT-0003-245-03	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Analyse du spectre en énergie responsable pour la dose déposée</u>	5	TRAD
R-S23/MT-0003-247-03	<u>DTN/TVO/3CE</u>	<u>Evaluation du modèle Reverse Monte-Carlo dans la chaîne de modélisation Space Suite</u>	4	ARTENUM SARL
R-S23/MT-0003-248-03	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Influence de la dose non-ionisante sur la sensibilité SEE d'un composant</u>	5	AD
R-S23/MT-0004-300-03	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Evaluation de technologies MMIC PH25-20 &amp; PH10-20</u>	6	UMS
R-S23/MT-0004-302-03	<u>DTN/TPI/STR</u>	<u>Analyse SEE + TID d'un oscillateur MEMS</u>	5	EQ
R-S23/MT-0004-303-03	<u>DTN/QE/MP</u>	<u>Solutions novatrices de billes pour boîtiers BGA</u>	4	Teledyne e2V
R-S23/MT-0004-304-03	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Evaluation radiation filière MMIC GH15-20</u>	5	UMS
Trois actions non publiables programmées sur cet objectif technique				

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
<b>OBSERVATION DE LA TERRE</b>				
R-S23-OT-0006-054-03	<u>DTN/TPI/SA</u>	<u>Masque de nuages par données in situ</u>	5	ACRI
R-S23/OT-0006-057-03	<u>DTN/TPI/MO</u>	<u>Séparation émissivité et température par méthode de machine learning</u>	5	STS
Une action non publiable programmée sur cet objectif technique				
<b>PLATE-FORMES</b>				
R-S23/PF-0002-151-03	<u>DTN/TVO/PR</u>	<u>Outil Aérodynamique haute-fidélité en régime raréfié pour le code de rentrée atmosphérique PAMPERO</u>	4	RTECH
R-S23/PF-0002-152-03	<u>DTN/TVO/MS</u>	<u>Pré dimensionnement d'un Nano-CMG au travers d'une analyse paramétrique d'une grappe de multiples CMGs</u>	3	ADS,COMAT ISAE-Supaero
R-S23/PF-0005-168-03	<u>DTN/TVO/3CE</u>	<u>Méthode pour l'estimation de l'état de santé des batteries en vol</u>	6	Airbus Defence & Space
Une action non publiable programmée sur cet objectif technique				
<b>SCIENCES DE L'UNIVERS ET EXPLORATION</b>				
R-S23/SU-0002-068-03	<u>DTN/TPI/OP</u>	<u>Optimisation banc optique très haute dynamique</u>	4	CNRS-LESIA
R-S23/SU-0002-088-03	<u>DTN/TPI/OP</u>	<u>Coronographe à masque complexe d'apodisation d'amplitude induite par phase</u>	4	CNRS-OCA
R-S23/SU-0003-090-03	<u>DTN/TPI/QI</u>	<u>Démonstration d'images acquises par filtres matriciels multispectraux</u>	4	STS, Labo
R-S23/SU-0003-091-03	<u>DTN/TPI/OED</u>	<u>Détecteur intégré infrarouge compact</u>	5	LYNRED
R-S23/SU-0004-062-03	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Détecteur Silicium SSD pour instruments de détection de particules</u>	5	CNRS-IRAP
Trois actions non publiables programmées sur cet objectif technique				
<b>TELECOMMUNICATIONS</b>				
R-S23/TC-0005-112-03	<u>DTN/TPI/TCP</u>	<u>Propagation en bande Ka pour Syracuse 4</u>	3	ONERA
R-S23/TC-0007-155-03	<u>DTN/TPI/HY</u>	<u>Traitement de surfaces compatible avec REACH anti multipactor</u>	4	ONERA
R-S23/TC-0007-156-03	<u>DOA/NT/ST</u>	<u>Amélioration de la couche physique et du récepteur de signaux LoRa LR-FHSS sur satellite</u>	4	EQ
R-S23/TC-0007-158-03	<u>DTN/TPI/HY</u>	<u>Contrôle de l'effet multipactor par insert diélectrique</u>	4	CNES,ONERA, Thales Alenia Space. Lab-STICC
R-S23/TC-0008-048-03	<u>DTN/TPI/TCP</u>	<u>Analyse multi-instruments de la transmission optique atmosphérique</u>	4	CIMEL, REUNIWATT
R-S23/TC-0008-049-03	<u>DOA/NT/ST</u>	<u>Adaptation dynamique des réseaux SATCOM à l'aide du reinforcement learning pour améliorer la QoE</u>	5	Viveris Technologies, TeSA/ENAC
Une action non publiable programmée sur cet objectif technique				

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
<b>TECHNIQUES GENERIQUES</b>				
R-S23/TG-0001-060-03	<u>DTN/TPI/OP</u>	<u>Dépôts ALD complexes pour miroirs et optiques fortement courbées</u>	6	Safran Reosc
R-S23/TG-0002-183-03	<u>DTN/TVO/ET</u>	<u>Vérification formelle HDL sur FGPA et ASIC</u>	5	Linty Service
R-S23/TG-0002-184-03	<u>DTN/TVO/SM</u>	<u>Amélioration des méthodes d'analyse de chocs</u>	6	MO
R-S23/TG-0002-185-03	<u>DTN/TVO/ET</u>	<u>Algorithme de placement et routage pour FPGA</u>	5	Nano-Xplore
R-S23/TG-0002-186-03	<u>DTN/TVO/SM</u>	<u>Caractérisation des glissements des assemblages visés</u>	4	Interne
R-S23/TG-0002-187-03	<u>DTN/AVI/RI</u>	<u>Matériaux polymères compatibles de fabrication additive pour AIT</u>	4	Interne
R-S23/TG-0003-072-03	<u>DTN/QE/LE</u>	<u>Dégazage et recuits sous pression</u>	4	ONERA
Une action non publiable programmée sur cet objectif technique				

## Types de titulaire

<b>MO</b>	Fonction maître d'œuvre satellite
<b>EQ</b>	Fonction équipementier
<b>LABO</b>	Laboratoire ou organisme institutionnel de recherche
<b>SSII</b>	Société de Services en Informatique
<b>STS</b>	Société de Traitement Scientifique
<b>INTERNE</b>	Action réalisée en interne CNES
<b>AD</b>	A Définir





## Le Plan Démonstrateurs transverses

Les démonstrateurs transverses permettent de prendre le relais de la R&T dans les TRL supérieurs à 5 pour porter des développements prometteurs au niveau de TRL 6 ou 7 au minimum (à un stade de Revue de Qualification d'équipement ou de sous-ensemble partiel). Ainsi, ces technologies devront avoir subi, au cours de ces travaux, une qualification adaptée à leurs premières applications, les projets utilisateurs futurs devant, si nécessaire, réaliser les delta-qualifications adaptées à leur propre mission.

Ces activités démonstrateurs peuvent aussi parfois aller jusqu'à l'expérimentation en orbite pour atteindre un niveau de TRL 9.

Le processus de soumission, un peu différent de celui de l'appel à idées de la R&T, s'appuie sur des propositions faites par les services techniques du CNES en charge du suivi des développements R&T et du support aux projets en coopération multilatérale. Elles peuvent être élaborées en liaison avec les industriels et les scientifiques.

Le budget mobilisé pour ce plan est en moyenne 2 à 2,5 M€ par an.

## LISTE DES ACTIONS RETENUES R&T Démonstrateurs

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	Titulaires envisagés
Y-TSO_/23-01	<u>DTN/QE/LE</u>	<u>Détection et piégeage de la contamination moléculaire en orbite</u>	AD
Y-TSO_/23-02	<u>DTN/TPI/TCP</u>	<u>Démonstration de com. Optiques cohérentes jusqu'à 32GBaud</u>	SAFRAN/Airbus Defence & Space
Y-TSO_/23-03	<u>DTN/TPI/HY</u>	<u>Limiteur forte puissance pour applications spatiales</u>	Exens Solutions
Y-TSO_/23-04	<u>DTN/TPI/HY</u>	<u>Dispositif de detumbling passif</u>	Airbus Defence & Space
Y-TSO_/23-05	<u>DTN/TVO/MS</u>	<u>AURICAM+ : nouvelles fonctionnalités</u>	SODERN
Y-TSO_/23-06	<u>DTN/TVO</u>	<u>CASOLBA NG</u>	AD
Y-TSO_/23-07	<u>DTN/TVO/PR</u>	<u>Reaction Control System à l'eau</u>	ThrustMe
Y-TSO_/23-08	<u>DTN/TPI/STR</u>	<u>End of life tracker for spacecrafts</u>	Syntony (AC)
Y-TSO_/23-09	<u>DTN/TPI/STR</u>	<u>Démonstrateur antenne active G6PO-NG Bande L</u>	AD
Y-TSO_/23-10	<u>DTN/TVO/PR</u>	<u>Développement et industrialisation d'une micro vanne MFV</u>	ALAT
Y-TSO_/23-11	<u>DTN/TVO/PR</u>	<u>Accompagnement au développement du propulseur électrospray</u>	Ion - X
Y-TSO_/23-12	<u>DTN/TVO/ET</u>	<u>IP génériques de compression bord</u>	TSN + AD
Y-TSO_/23-13	<u>DTN/TVO/LV</u>	<u>Hébergeur d'applications bord sous Linux</u>	AD
Y-TSO_/23-14	<u>DTN/DV/AS</u>	<u>POC SCAO à ruban déroulable en VLEO</u>	Thales Alenia Space





## Le Plan Composants stratégiques

Dans un marché mondial très concurrentiel et à l'évolution rapide, la compétitivité et la souveraineté de l'industrie spatiale européenne requièrent des systèmes performants et à coût maîtrisé. Cet objectif ne peut être tenu que par l'utilisation de composants EEE (Electriques, Electroniques et Electromécaniques) « état de l'art ».

Plus généralement, la performance et les coûts des systèmes spatiaux dépendent directement de la maîtrise des filières composants, c'est-à-dire la maîtrise de leur performance, fiabilité, coût, délai, et pérennité. Nos besoins stratégiques qui tendent vers plus de performance requièrent des percées qui s'appuient sur des produits spécifiques que les marchés de masse ne soutiendront pas.

L'objectif de la ligne Composants Stratégiques est de mettre à la disposition de la communauté spatiale européenne des filières technologiques et des composants performants durcis aux radiations, à la maturité établie et dont l'accès est garanti. Elle permet de contribuer à la souveraineté française et européenne.

Les activités sont menées en coordination avec le CTB (Components Technology Board) de l'ESCC (European Space Components Coordination) qui regroupe tous les acteurs : Commission Européenne, ESA, agences nationales, équipementiers et fabricants européens.

Les technologies évoluent rapidement et le développement de composants complexes est de plus en plus onéreux.

Les orientations techniques en 2023 et 2024 du plan RCS Composants Stratégiques portent notamment sur :

- Le développement de la nouvelle génération de FPGA durci de NanoXplore avec la conception des 1ères briques de bases critiques
- Le développement de la nouvelle génération de microcontrôleur durci de Microchip,
- L'évaluation du convertisseur analogique/numérique EV10AS940 en bande Ka et assemblé dans un SiP (System-In-Package) de Teledyne-E2V,
- La caractérisation du convertisseur numérique/analogique EV12DD700 de Teledyne-E2V
- L'amélioration des capacités de la technologie GaN RF GH15 d'UMS jusqu'à la bande Q
- La qualification de la nouvelle filière de quartz européenne d'Ezus-Cristal Innov afin de réduire le risque des approvisionnements de ce matériau stratégique pour les oscillateurs ultra-stables.

## LISTE DES ACTIONS RETENUES R&T Composants stratégiques

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-CS1/23-0094	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Développement FPGA NanoXplore ULTRA7 Phase 1</u>	4	NanoXplore
R-CS1/23-0095	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Extension de la filière GH15 à la bande Q</u>	5	UMS
R-CS1/23-0082	<u>DTN/QE/LE</u> <u>DTN/QE/EC</u>	<u>Activités labo QE/LE de caractérisation des FPGA NanoXplore NG-ULTRA et ULTRA300</u>	NA	Thales SIXT, Synergie Cad PSC, Intraspec ST
R-CS1/23-0096	<u>DTN/QE/CQ</u>	<u>Qualification diodes plastiques petits signaux</u>	7	Microelectronics
R-CS1/23-0067	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Introduction microcontrôleur SAMD21RT en version RAD-TOL Phase 2</u>	7	Microchip
R-CS1/23-0093	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Développement microcontrôleur ARM M7 durci en techno mixte 55nm (SAMRHM7+) - Phase 2 Faisabilité de durcissement par process GF55 et par conception</u>	4	Microchip
R-CS1/23-0097	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Caractérisation et qualification du CNA EV12DD700X pour applications spatiales</u>	5	Teledyne e2V
R-CS1/23-0085	<u>DTN/QE/EC</u>	<u>Evaluation ESCC du SoC ARM SAMRH707 (JAGUAR) en boîtier céramique</u>	7	Microchip

# ACTIONS RETENUES R&T des Systèmes Orbitaux

## SYSTEME BORD/SOL

Faire évoluer les fonctions du système Bord/Sol afin de répondre aux besoins des missions futures et aux exigences de compétitivité

### BS3 ► **Communications bord/sol, Segments sol de contrôle et Opérations**

★ Deux actions non publiables pour cette relève

### BS4 ► **Ingénierie système, simulation système et logiciel de vol**

#### **Simulation Native pour logiciel de bord - Suite R&T logiciel fonctionnel**

Les simulateurs actuels d'OBC (On Board Computer) pour le test de logiciels de vol bord nécessitent des temps de calcul assez importants. La simulation native permet d'augmenter significativement la performance par rapport à l'émulation.

L'objectif de l'étude est d'enrichir la solution (ordonnanceur, support natif de bus logiciel,...).

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/BS-0004-095-03	DTN/AVI/VS	5	Airbus Defence & Space, Thales Alenia Space et Spacebel

### BS5 ► **Navigation, Guidage, Pilotage**

★ Aucune action pour cette relève

#### **Localisation absolue basée vision pour rover lunaire**

Des développements de localisation absolue pour rover basée vision ont été réalisés dans le cadre de missions martiennes. Dans le contexte des missions lunaires des adaptations de ces méthodes sont requises en raison d'un environnement différent.

L'objet de l'action est de proposer des approches adaptées à la Lune.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/BS-0005-091-03	DTN/DV/IFL	5	STS

#### **Synthèse et Validation de SCAO en présence de perturbations multiples (PIC COSOR2)**

Développement de nouvelles méthodes avancées pour la conception de systèmes de contrôle d'attitude (SCAO) précis et robustes aux perturbations malgré de fortes contraintes actionneurs.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/BS-0005-092-03	DTN/DV/AS	4	ONERA

## DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL

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.

### DU1 ► L'extraction d'informations des images

✳ Deux actions non publiables pour cette relève

#### Amélioration Masque de Nuages MAJA sur l'eau

L'objet de cette étude est l'amélioration de la détection de nuages avec la chaîne de traitement MAJA sur les zones hydrologiques qui actuellement n'offre pas une précision optimale.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/DU-0001-033-03	DTN/CD/TPA	6	STS

#### Transfert de domaine pour le recalage de données hétérogènes (Optique/LiDAR/Labels)

L'objet de cette étude est de poursuivre les travaux engagés sur le recalage de données pour proposer une solution de recalage précise de 3 données hétérogènes : donnée d'élévation (LiDAR), donnée optique (image satellite), donnée labels (type bâtiment par exemple).

##### VIP Digital Twin Factory

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/DU-0001-035-03	DTN/CD/ID	4	CS

### DU2 ► Les Technologies de l'Information et de la Communication pour la valorisation de la donnée spatiale

#### Evaluation des technologies LLM (Large Language Model) pour les besoins métiers CNES

L'objet de cette étude est d'évaluer des LLMs, en vue d'applications type chatbot et autres pour des besoins métiers CNES.

##### VIP Digital Twin Factory

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/DU-0002-026-03	DTN/ISA/CID	5	AD

#### Etude et conception d'un index DGGS Spatio-Temporel 4D

L'objet de cette étude est d'implémenter un index DGGS (Digital Global Grid System) spatio temporel 4D au standard OGC (Open Geospatial Consortium), nécessaire pour gérer et indexer des jeux de données volumineux.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/DU-0002-027-03	DTN/CD/AR	6	Geomatys

### DU3 ► La maturation des services applicatifs

✳ Aucune action pour cette relève

REPRODUCTION ET DIFFUSION INTERDITES SANS ACCORD PREALABLE DU CNES

## **LOCALISATION, NAVIGATION, TEMPS-FREQUENCE**

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

### **LN1 ► Temps Fréquence des systèmes de nouvelle génération**

\* Aucune action pour cette relève

### **LN2 ► Améliorer les performances des services reposant sur les systèmes actuels et futurs**

\* Une action non publiable pour cette relève

### **LN3 ► Préparer les évolutions des infrastructures spatiales**

\* Aucune action pour cette relève

## 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.

### MT2 ► **Maîtriser la technologie des microsystèmes et évaluer l'apport des nanotechnologies jugées suffisamment matures pour les applications spatiales**

★ Aucune action pour cette relève

### MT3 ► **Améliorer la connaissance de l'environnement spatial et l'ingénierie d'assurance durcissement**

★ Une action non publiable pour cette relève

#### Analyse du spectre en énergie responsable pour la dose déposée

Etude statistique afin de déterminer la contribution des particules primaires (type et énergie) au dépôt de dose au niveau des composants électroniques.

L'objectif final sera d'aider à l'amélioration des spectres issus des modèles d'environnement en déterminant la gamme d'énergie des particules primaires qui apportera la majorité de la dose.

Pour cela, le logiciel FASTRAD® sera utilisé pour calculer la dose sur un grand nombre de modèles et plusieurs environnements pertinents pour les missions actuelles.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0003-245-03	DTN/QE/EC	5	TRAD

#### Evaluation du modèle Reverse Monte-Carlo dans la chaîne de modélisation Space Suite

Optimisation de la chaîne de modélisation charge interne Space Suite avec la méthode Direct Monte-Carlo (DMC).

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0003-247-03	DTN/TVO/3CE	4	ARTENUM SARL

#### Influence de la dose non-ionisante sur la sensibilité SEE d'un composant

Tester divers composants sensibles aux événements singuliers (SEE) après avoir été exposés à de la dose non-ionisante (TNID).

L'étude se focalisera sur différents types de SEE au travers de technologies diverses (CMOS pour les SEL, MOSFET pour les SEB, mémoires pour les SEU...).

L'analyse des résultats de tests permettra d'évaluer la modulation de la sensibilité SEE avec la TNID. Une attention particulière sera portée sur les flux de particules utilisés.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0003-248-03	DTN/QE/EC	5	AD

**MT4 ► Maîtriser les technologies électroniques avancées pour les projets spatiaux**

\* Deux actions non publiables pour cette relève

**Evaluation de technologies MMIC PH25-20 & PH10-20**

Réaliser une (delta) évaluation spatiale des filières PH25-20 et PH10-20 (technologies GaAs d'UMS) de manière à permettre aux utilisateurs du spatial de bénéficier des dernières améliorations apportées par le fabricant.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0004-300-03	DTN/QE/EC	6	UMS

**Analyse SEE + TID d'un oscillateur MEMS**

L'étude proposée vise à caractériser la tenue aux radiations de deux oscillateurs COTS en vue de leur utilisation dans de nombreux projets spatiaux du CNES et de ses partenaires : le XO MEMS ABRACON EBRA53 L2H-12.000M et le DCTCXO MEMS SiTime SiT5346

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0004-302-03	DTN/TPI/STR	5	EQ

**Solutions novatrices de billes pour boîtiers BGA**

Evaluation de diverses alternatives de billes en remplacement des billes SnPb utilisées dans les interconnexions BGA, dans le but d'améliorer de manière significative la fiabilité de la solution alternative actuelle, à savoir le SAC305, en ce qui concerne le report sur carte.

Trois configurations distinctes seront analysées et comparées en termes de résistance à la fatigue thermomécanique, en suivant les normes ECSS-Q-ST-70-61.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0004-303-03	DTN/QE/MP	4	Teledyne e2V

**Evaluation radiation filière MMIC GH15-20**

Evaluer la tenue aux radiations (SEE) de la nouvelle filière GaN d'UMS (GH15-20) qui permettra d'améliorer les performances en rendement et linéarité.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/MT-0004-304-03	DTN/QE/EC	5	UMS



## 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.

**OT1 ► Systèmes imageurs HR/THR**  
 \* Une action non publiable pour cette relève

**OT2 ► Sondeurs atmosphériques**  
 \* Aucune action pour cette relève

**OT3 ► Altimétrie et traitement du signal radar**  
 \* Aucune action pour cette relève

**OT6 ► Systèmes radiomètre imageurs**

### Masque de nuages par données in situ

Cette action poursuit les travaux engagés en 2022 sur une méthode de validation des masques nuageux à partir de l'utilisation au sol de caméra.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/OT-0006-054-03	DTN/TPI/SA	5	ACRI

### Séparation émissivité et température par méthode de machine learning

Le problème de la séparation de la température de surface et de l'émissivité constitue un problème non déterministe. Les méthodes actuelles sont insatisfaisantes. Plusieurs études récentes montrent que des méthodes de machine learning pourraient apporter des améliorations.

L'objet de cette action est de tester la faisabilité de la résolution du problème de séparation émissivité/température par machine learning pour des capteurs haute résolution spatiale mesurant dans l'infrarouge thermique.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/OT-0006-057-03	DTN/TPI/MO	5	STS

## 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.

### PF1 ► Plates-Formes Géostationnaires

\* Aucune action pour cette relève

### PF2 ► Plates-formes LEO/MEO

#### Outil Aérodynamique haute-fidélité en régime raréfié pour le code de rentrée atmosphérique PAMPERO

Cette action consiste à améliorer le code de rentrée atmosphérique CNES PAMPERO dans le régime raréfié, en s'appuyant sur des outils aérodynamiques de pointe tel que la DSMC (Direct Simulation Monte-Carlo).

##### VIP T4SC

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/PF-0002-151-03	DTN/TVO/PR	4	RTECH

#### Pré dimensionnement d'un Nano-CMG au travers d'une analyse paramétrique d'une grappe de multiples CMGs

Cette action consiste à dimensionner au juste besoin le mécanisme d'un NanoCMG (Control Momentum Gyroscope) pour des applications de micro-satellite (80-200kg).

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/PF-0002-152-03	DTN/TVO/MS	3	Airbus Defence & Space COMAT ISAE-Supaero

### PF4 ► Ballons

\* Aucune action pour cette relève

### PF5 ► Techniques et Technologies clés transverses

\* Une action non publiable pour cette relève

#### Méthode pour l'estimation de l'état de santé des batteries en vol

Cette action consiste à définir un algorithme permettant la caractérisation de l'état de santé (SOH) des batteries lithium-ion en vol afin de pouvoir estimer la réserve en énergie de ces batteries une fois embarquées dans un satellite sans contrainte opérationnelle.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/PF-0005-168-03	DTN/TVO/3CE	6	Airbus Defence & Space

## 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.

### SU1 ► Physique fondamentale et mesures de précision ultime

\* Aucune action pour cette relève

### SU2 ► Astronomie et Astrophysique

\* Une action non publiable pour cette relève

#### Optimisation banc optique très haute dynamique

Dans le domaine de l'imagerie très haute dynamique pour la caractérisation des exoplanètes, des travaux antérieurs ont permis le développement d'un banc optique pour explorer les limites ultimes de ce type d'instrumentation.

L'objet de cette action est d'améliorer le rapport signal/bruit par la mise en œuvre sur ce banc d'une caméra ultrasensible.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/SU-0002-068-03	DTN/TPI/OP	4	CNRS LESIA

#### Coronographe à masque complexe d'apodisation d'amplitude induite par phase

L'étude fait suite à des travaux R&T sur le développement d'un coronographe à masque complexe d'apodisation d'amplitude induite par phase.

L'objet de l'action est de réaliser une nouvelle version de miroirs afin de pallier aux limitations de performances observées sur la génération précédente.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/SU-0002-088-03	DTN/TPI/OP	4	CNRS OCA

### SU3 ► Planétologie et Exobiologie

#### Démosaïquage d'images acquises par filtres matriciels multispectraux

L'étude consiste à définir et maquetter des algorithmes de démosaïquage pour les motifs spectraux complexes (typiquement 25 bandes spectrales), dans le contexte de l'exploration spatiales, donc sans connaissance a priori des paysages observés.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/SU-0003-090-03	DTN/TPI/QI	4	STS, Labo

### Détecteur intégré infrarouge compact

Dans le cadre de la miniaturisation des équipements spatiaux notamment pour les missions d'exploration planétaire, l'objet de cette action est le développement d'un détecteur infra-rouge SWIR (Short Wave Infra Red) avec cryogénie active.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/SU-0003-091-03	DTN/TPI/OED	5	LYNRED

## SU4 ► Physique solaire et milieux ionisés

### Détecteur Silicium SSD pour instruments de détection de particules

Les instruments de détection des particules chargées utilisent des détecteurs silicium (SSD-Silicon Strip Detector). Pour les basses énergies, les performances accessibles sont à évaluer et des optimisations de technologies sont possibles. L'objet de l'action est d'évaluer différentes sources, de les caractériser et d'apprécier les optimisations envisageables

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/SU-0004-062-03	DTN/QE/EC	5	CNRS IRAP

## SU5 ► Sciences en micropesanteur, Exploration et vol habité

\* Deux actions non publiables pour cette relève

## TELECOMMUNICATIONS

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

### TC5 ► Télécommunications pour les services fixes

#### Propagation en bande Ka pour Syracuse 4

Dans le cadre de l'action de R&T R-S22/TC-0005-112, le CNES et l'ONERA réalisent une expérimentation de propagation bande Ka en Afrique. L'étude porte sur la supervision, le maintien en conditions opérationnelles et le traitement des données des sites d'expérimentation.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TC-0005-112-03	DTN/TPI/TCP	3	ONERA

### TC6 ► Télécommunications pour les services mobiles

\* Aucune action pour cette relève

### TC7 ► Technologies génériques des charges utiles de Télécommunications

\* Une action non publiable pour cette relève

#### Traitement de surfaces compatible avec REACH anti multipactor

L'ECSS multipacting préconise des marges de puissance RF importantes pour se prémunir du Multipactor. Une façon efficace pour réduire les marges consiste à produire des surfaces aux faibles rendements d'émission électronique (TEEY).

L'objet de l'étude est de proposer une alternative basée sur l'électrochimie pour réduire le TEEY.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TC-0007-155-03	DTN/TPI/HY	4	ONERA

#### Amélioration de la couche physique et du récepteur de signaux LoRa LR-FHSS sur satellite

Le protocole LoRa est désormais largement utilisé par les réseaux IoT terrestres et son extension à un usage satellitaire largement considérée.

A ce titre, une couche physique a été spécifiquement conçue pour le lien montant des réseaux à forte charge. Cette dernière, limitée historiquement par la faible efficacité spectrale de la forme d'onde CSS, a été nettement améliorée par la conception d'une nouvelle couche physique appelée LR-FHSS qui permet d'adresser de fortes efficacités spectrales agrégées.

Cependant, il existe encore des degrés de liberté possibles pour l'amélioration de cette couche physique, en particulier dans un contexte satellite. C'est l'objet de cette étude.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TC-0007-156-03	DOA/NT/ST	4	EQ

### Contrôle de l'effet multipactor par insert diélectrique

L'objet de cette étude vise à réduire les effets néfastes de la puissance RF dans les chaînes d'émission.

Une solution innovante consiste à utiliser des résonateurs RF avec inserts diélectriques ou polarisés électriquement en DC (courant continu) pour infléchir la trajectoire des électrons.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TC-0007-158-03	DTN/TPI/HY	4	CNES, ONERA, Thales Alenia Space. Lab-STICC

### TC8 ► Aval et hybridation des infrastructures terrestres et satellitaires

#### Analyse multi-instruments de la transmission optique atmosphérique

Caractériser la transmission atmosphérique à 1,55µm en utilisant plusieurs instruments de mesures optiques déployés au sol. L'objectif étant d'analyser la transmission optique (et la polarisation) à 1.55µm pour des liens optiques Terre-Espace et d'instruire la précision des données fournies par les différents instruments.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TC-0008-048-03	DTN/TPI/TCP	4	CIMEL, REUNIWATT

#### Adaptation dynamique des réseaux SATCOM à l'aide du renforcement learning pour améliorer la QoE

L'objectif de l'étude est de proposer et d'évaluer l'implémentation des algorithmes de Renforcement Learning (RL), qui mettraient en place des solutions sur les réseaux satellites SATCOM permettant d'optimiser la Qualité d'Expérience (QoE) ressentie par les utilisateurs des services de streaming vidéo (type YouTube).

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TC-0008-049-03	DOA/NT/ST	5	Viveris Technologies et TeSA/ENAC

## TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES

Développer les techniques et technologies génériques des Systèmes Orbitaux

### TG1 ► Techniques radiofréquences et optiques

#### Dépôts ALD complexes pour miroirs et optiques fortement courbées

Des travaux de R&T antérieurs sur le dépôt ALD (Atomic Layer Deposition) pour la protection des argentures de miroirs ont été très concluants.

L'objectif de cette action est d'exploiter ce type de dépôt pour la réalisation d'empilements de couches minces de plus en plus complexes soit sur des optiques fortement courbées, soit pour réaliser des fonctions optiques (filtrage).

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0001-060-03	DTN/TPI/OP	6	Safran REOSC

### TG2 ► Techniques des véhicules

\* Une action non publiable pour cette relève

#### Vérification formelle HDL sur FPGA et ASIC

L'objet de cette action consiste à exploiter des méthodes formelles comme technique novatrice de vérification de la qualité et fiabilité des langages VHDL utilisés pour configurer les composants logiques programmables FPGA et ASIC.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0002-183-03	DTN/TVO/ET	5	Linty Service

#### Amélioration des méthodes d'analyse de chocs

L'objectif de l'action est d'améliorer la compréhension de l'endommagement aux chocs sur des structures simples, les méthodes de dimensionnement habituelles n'apportant pas une fiabilité suffisante. Parallèlement, il est prévu de travailler sur le concept de « notching » secondaire aux chocs afin de réduire les spécifications des sous-systèmes.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0002-184-03	DTN/TVO/SM	6	MO

#### Algorithme de placement et routage pour FPGA

L'objectif de cette action est d'améliorer les outils de placement routage nécessaires pour le développement de FPGA basée sur la technologie nanoXplore.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0002-185-03	DTN/TVO/ET	5	Nano-Xplore



### Caractérisation des glissements des assemblages visés

Plusieurs études ont été menées sur ce sujet en modélisant les glissements en partant des coefficients de frottements considérés comme maîtrisés. Or certaines expérimentations sur la caractérisation d'assemblages vissés ont montré que les frottements mesurés ne correspondent pas à ce qui est mentionné dans la littérature.

L'objet de cette action est, sur certains cas d'applications d'intérêt, de caractériser le coefficient d'adhérence et d'en établir une base de données de référence.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0002-186-03	DTN/TVO/SM	4	Interne

### Matériaux polymères compatibles de fabrication additive pour AIT

Dans le cadre des activités AIT, il est nécessaire de réaliser des MGSE (Mechanical Ground Support Equipment) rapidement et avec plusieurs itérations.

L'objet de cette action est de sélectionner des matériaux polymères de haute performance exploitables avec des procédés de fabrication additives et compatibles des activités liées à l'intégration d'équipements de vol.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0002-187-03	DTN/AVI/RI	4	Interne

## TG3 ► Contamination et matériaux

### Dégazage et recuits sous pression

En se fondant sur les travaux récents sur le dégazage sous vide, l'objet de l'action est d'étudier le dégazage sous pression (flux azote) en prenant en compte les retards dus à la diffusion des contaminants en phase gazeuse après émission par les matériaux, voire à la modification de cette émission.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-S23/TG-0003-072-03	DTN/QE/LE	4	ONERA

## ACTIONS RETENUES DEMONSTRATEURS

### Détection et piégeage de la contamination moléculaire en orbite

L'objectif de ce démonstrateur est de développer et pré-spatialiser des briques technologiques élémentaires pour la détection et le piégeage de contaminants en orbite. Ce module comporterait deux fonctions :

- La détection de contaminants à l'aide d'une microbalance à quartz fonctionnalisée (QCM) par des matériaux poreux de type MOF (Metal Organic Framework) capable de détecter un type de contaminant.
- Le piégeage de contaminants par des matériaux poreux de type zéolithe.

Un premier modèle participerait à un vol de démonstration en orbite en 2024.

Les phases de développement prévues sont les suivantes : usinage mécanique, utilisation de la carte électronique QCM COTS et intégration de module type raspberry pour acquisition des données, qualité et tests fonctionnels et de qualification (file de tests complète).

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-01	DTN/QE/LE	AD

### Démonstration de com. Optiques cohérentes jusqu'à 32GB

Il s'agit ici d'évaluer les performances d'un lien optique très haut débit en modulation cohérente. Ce récepteur cohérent sera intégré à la station sol optique en cours de finalisation. En exploitant l'amplitude et la phase du signal optique, la sensibilité du récepteur sera accrue. En conséquence, les modulations cohérentes permettront de transmettre avec des débits supérieurs (facteur 4 à 8) comparativement au récepteur n'exploitant que l'amplitude du signal.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-02	DTN/TPI/TCP	SAFRAN/Airbus Defence & Space

### Limiteur forte puissance pour applications spatiales

En réponse à un besoin pour l'instrument ROSE-L (Radar Observation System for Europe in L-band) du programme satellite Copernicus Sentinel Expansion Missions de l'ESA, le limiteur haute puissance et faible perte d'insertion sera développé pour des applications spatiales en bande L. Par ailleurs, le besoin Défense est avéré et d'actualité.

Les activités prévues sont les suivantes : développement d'un EM, puis d'un QM et du PFM.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-03	DTN/TPI/HY	Exens Solutions

## Dispositif de detumbling passif

La récupération de débris spatiaux est d'autant plus difficile que l'objet à récupérer est animé de fortes vitesses de rotation. Dans ce contexte, avoir à bord des satellites, un dispositif autonome de réduction des vitesses de spin permettrait et simplifierait la récupération des satellites en fin de vie.

Le dispositif pour lequel on se propose de poursuivre le développement est passif, il exploite les propriétés du champ magnétique terrestre et est relativement simple sur le plan technologique. Ce démonstrateur couvre toutes les activités requises pour aboutir à la réalisation et à la qualification d'un modèle de vol.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-04	DTN/TPI/HY	Airbus Defence & Space

## AURICAM+

SODERN développe depuis 2021 deux versions de la caméra AURICAM avec d'une part un objectif large champ de 80° et d'autre part, un objectif à champ plus étroit de 35°. La qualification de la caméra 35° a été atteinte en novembre 2023 et la qualification de la caméra 80° sera atteinte début 2024. SODERN va maintenant compléter ce développement par l'ajout de traitements intégrés à la caméra (versant logiciel), ce qui permettra à SODERN de se différencier par rapport à la concurrence.

L'objet de ce démonstrateur est donc de développer et qualifier le code VHDL associé au matériel.

Le plan de travail est le suivant : rédaction de la spécification, définition de l'architecture logicielle (ACR : Architecture & Code Review), développement (tenue de la PDR et de la CDR, puis validation et qualification logicielle).

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-05	DTN/TVO/MS	SODERN

## CASOLBA NG

L'instrument CASOLBA (CALibration des cellules SOLaires sur vol BALLON) actuel s'avère être volumineux (> 0,5 m<sup>3</sup>), lourd (~ 100 kg) avec une électronique peu miniaturisée. Le processus de mise en configuration pour un vol (instanciation) est séquentiel, long et peu réactif par rapport aux développements des cellules solaires. Il s'agit de l'adapter au marché en le faisant profondément évoluer et en intégrant des innovations à développer. C'est l'objet de la présente activité dont le plan de travail est le suivant : développement de l'électronique, du logiciel et fabrication des cartes, évolution des interfaces logiciels nacelle, développement mécanique et fabrication structure instrument et interface nacelle.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-06	DTN/TVO	AD

## Reaction Control System à l'eau

Le RCS à l'eau est un produit adapté aux petits satellites ayant des besoins de manœuvres complexes (avec un potentiel d'évolutivité vers des tailles plus grandes). Il s'agit d'un moteur de type resistojet à l'eau.

Les travaux à réaliser comprennent :

- la consolidation de la technologie : conception et tests supplémentaires sur les composants et les fonctionnalités critiques.
- un complément de conception pour répondre aux besoins spécifiques de missions nécessitant un système RCS : capacité correction d'orbite et contrôle d'attitude, capacité d'anti-collision et de désorbitation.
- la conception détaillée du RCS. Une CDR sera réalisée à la fin des travaux, et un plan d'essais de qualification sera défini.
- l'intégration et test d'un modèle de qualification (QM).
- et la fourniture de modèles de vol pour la mission DROID et Player-One, ou autres possibilités de vol (en option).

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-07	DTN/TVO/PR	ThrustMe

## EOLTS : End of life tracker for spacecrafts

Le CNES a lancé le programme T4SC (Tech for Space care) en lien avec la Loi sur les Opérations Française, pour un espace durable, référençant les méthodes, règles et technologies permettant de mieux gérer la problématique des débris spatiaux, tout en favorisant l'émergence et le développement de solutions innovantes. Un des besoins exprimé est le meilleur suivi de la position et de la vitesse des systèmes spatiaux une fois la durée de vie opérationnelle atteinte et ainsi d'«améliorer la précision des mesures SSA». EOLTS est une solution qui permet de suivre la position vitesse de l'objet spatial en échantillonnant le signal GNSS et en le fournissant à un système sol calculant le PVT. Cela permet un gain considérable en consommation et donc en autonomie et en durée de vie.

Le plan de travail est le suivant :

- Spatialisation de la maquette EOLTS (choix des composants et boîtier)
- Innocuité du système vis-à-vis du véhicule porteur (antenne / alimentation)
- Réalisation/validation des algorithmes suivant recommandation de la maquette EOLTS
- Réalisation d'un EM et test.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-08	DTN/TPI/STR	Syntony (AC)

## Démonstrateur antenne active G6PO-NG Bande L

L'Observatoire des Signaux G6PO du CNES est le moyen de caractérisation des signaux des constellations GNSS. Avec ce moyen, le CNES apporte un support au projet SPG (Support Performance Galileo) pour l'EUSPA (EU Agency for Space Programme) et des contributions pour le CDE (Commandement de l'Espace).

Le développement des systèmes de navigation autonome nécessite l'apport de constellations LEO PNT (Position Navigation et Temps). L'enjeu majeur est l'accompagnement du développement par la caractérisation en orbite des signaux émis par les futures charges utiles LEO PNT dont l'implantation dans le périmètre de la performance des systèmes GNSS est maintenant généralisée.

À travers ce démonstrateur, le CNES souhaite acquérir et renforcer ses compétences dans le domaine des antennes actives afin de se doter dans un futur de 2 à 3 ans d'une station de réception à grand gain de type antenne active pour un suivi multi-satellites comme solution pour le support aux charges utiles LEO PNT afin de fournir un avantage à l'industrie française dans ce nouveau domaine d'applications commerciales.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-09	DTN/TPI/STR	AD

## Développement et industrialisation d'une micro vanne MFV

Dans la continuité des activités de R&T réalisées ces dernières années, il s'agit maintenant de consolider la conception de la micro vanne ALAT en vue de son industrialisation. Les activités prévues sont les suivantes :

- Consolidation de la définition fluide et thermoélastique,
- Justification de la conception de la vanne,
- Validation en environnements,
- Justification préliminaire des procédés de fabrication.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-10	DTN/TVO/PR	ALAT

## Accompagnement au développement du propulseur électrospray

La technologie de propulsion électrospray présente de bonnes performances, notamment en terme d'ISP, ce qui lui confère des avantages compétitifs vis-à-vis des technologies concurrentes plus classiques telles que les moteurs à grille et à effet Hall (ISP x 5 à iso puissance).

La preuve de concept de la technologie de propulsion électrospray à liquide ionique a été mise en œuvre et validée lors de l'activité R&T menée conjointement par le CNRS et le CNES de 2017 à 2020 (R&T N° R-S17/PF-0002-085). Il en est ressorti un premier prototype de brique moteur, qui a démontré des performances en poussée de l'ordre de 1mN lors d'essai en chambre à vide à Friedrichshafen dans les locaux d'Airbus en 2021. Cette R&T a notamment donné lieu à la dépose d'un brevet.

En 2022 et 2023, ION-X a conçu et produit différents prototypes pour les briques constitutives du moteur complet et dispose de prototypes testés dans ses chambres à vide au C2N (Centre de Nanoscience et de Nanotechnologie du CNRS) pour chacune de ces briques (moteur, réservoir, électronique).

Le but du projet est d'accompagner ION-X dans le développement de son moteur à propulsion électrospray jusqu'à un premier vol de démonstration. Le TRL visé à l'issue de ce projet est 7.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-11	DTN/TVO/PR	Ion-X

## IP génériques de compression bord

La compression de données s'impose sur tous types de systèmes de manière à pouvoir transmettre et stocker un flux d'information de manière efficace. Disposer d'IP génériques Hardware (FPGA) et/ou Software à jour et validées permettrait d'implémenter facilement et rapidement un moyen de compression bord. Cette étude vise le développement d'IP pour la compression dite classique basée sur les standards CCSDS (121, 122, 123) permettant la compression bord à des fins de transmission vers le sol, ainsi qu'un volet destiné à de la compression/décompression rapide à bord destinée aux systèmes plus évolués ambitionnant du traitement/retraitement à bord.

Le but de cette étude est de proposer ces briques génériques technologiques sur les projets demandeurs.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-12	DTN/TVO/ET	TSN + AD

## Hébergeur d'applications bord sous Linux

Le service DTN/TVO/LV met à disposition une partition logicielle applicative générique qui s'intègre dans le logiciel de vol générique développé par le service LV : LVCUGEN. Cette partition permet aux utilisateurs de bénéficier d'un certain nombre de services prêts à l'emploi (PUS, gestion du temps bord...). Ces produits ont déjà été éprouvés à de nombreuses reprises en interne ou par nos partenaires scientifiques et industriels (Eyesat, Angels, Juice, SVOM, MMX...). Ces solutions permettent aux utilisateurs de se concentrer sur l'intégration de leur applicatif (en langage C).

L'objectif du démonstrateur est de développer un hébergeur d'applications générique, puis d'en faire la démonstration. Cet hébergeur d'applications est dès à présent convoité pour des projets tels qu'AEROSAT, ou encore ASTERIA pour les ESSAIMS. Embarquer Linux à bord dans un environnement qualifié (ECSS de niveau B) est encore inédit au CNES.

L'activité consiste à intégrer Linux dans la partition logicielle applicative proposée par le service LV ce qui permettra l'intégration notamment d'applicatifs codés dans des langages autres que le C. L'intérêt majeur est de réduire le time to market puisque l'applicatif n'a plus besoin d'être recodé en C : L'effort de portage est désormais limité.

Dans un second temps, un hébergeur d'applications sous Linux, reconfigurable en vol sera développé. Le but est de faire cohabiter plusieurs applications, orchestrées par Linux. Un tel produit permet de charger un nouvel applicatif depuis le sol en lieu et place d'un applicatif ayant atteint son objectif à bord. Cela permet de faire évoluer la mission au fil du temps. Cet hébergeur d'applications vise à standardiser le déploiement d'applicatifs à bord pour les futures missions.

Finalement, la démonstration d'applicatifs exécutés par cet hébergeur sera faite dans le cadre de tout ou partie des cas d'utilisations suivants : SESAM (Aerosat), ASTERIA : support à intégration par ESSAIMS, SATLAB, ...

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-13	DTN/TVO/LV	AD

## POC SCAO à ruban déroulable en VLEO

Certaines nouvelles stratégies de fin de vie de satellites LEO (Low Earth Orbit) suite à l'entrée en vigueur de la LOS (Loi sur les Opérations Spatiales) nécessitent la mise en œuvre d'une rentrée contrôlée ou bien d'une rentrée naturelle assistée, ce qui oblige à contrôler le satellite sur des orbites très basses.

Dans ce cas, elles nécessitent la prise en compte de couples aérodynamiques importants dans le dimensionnement du sous-système SCAO (Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite) mais aussi un besoin de maîtrise de la force de frottement pour une bonne mise en œuvre de l'analyse mission.

L'objectif de ce démonstrateur est de poursuivre les travaux engagés dans le cadre de la R&T « SCAO à membrane déroulable » et qui ont montré des potentialités très intéressantes pour ces stratégies de fin de vie lorsqu'on utilise un nouvel actuateur SCAO défini pendant les études précédentes et ayant fait l'objet d'une publication de brevet fin 2021.

Ce démonstrateur vise à mettre en place un POC (« Proof Of Concept ») d'une partie du SCAO à membrane déroulable en le mettant en œuvre sur un petit satellite. L'objectif est de développer un mode SCAO pour gérer le contrôle du satellite à basse altitude en utilisant cet actuateur. Ces éléments seront fournis pour une intégration sur un satellite dans le but de faire une démonstration en vol de l'utilisation du système à basse altitude dans le cadre du projet T4SC (Tech for Space Care) du CNES.

Code ACTION	Service technique	Titulaire envisagé
Y-TSO_/23-14	DTN/DV/AS	Thales Alenia Space



## ACTIONS RETENUES COMPOSANTS STRATEGIQUES

### Développement FPGA NanoXplore ULTRA7 Phase 1

Le prochain FPGA durci reposera sur la technologie UDSM FinFET 7nm, tout comme le composant commercial AMD-Xilinx ACAP VERSAL. Il se nomme ULTRA7 et est conçu par NanoXplore.

Le développement est prévu en 3 phases. La phase 1 adresse le développement et la caractérisation des briques de base.

L'action RCS-2023 s'intègre comme une sous-partie de cette phase 1 et complète le projet DUROC (H2020) en permettant la conception et le test de cellules élémentaires de type Flip-Flop et de l'IP PLL durcie.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0094	DTN/QE/EC	4	NanoXplore

### Extension de la filière GH15 à la bande Q

Cette étude a pour objectif d'étendre le domaine d'utilisation de la filière GH15 (technologie GaN d'UMS) en introduisant des options technologiques qui permettront de monter plus haut en fréquence et en particulier de couvrir la bande Q.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0095	DTN/QE/EC	5	UMS

### Activités labo QE/LE de caractérisation des FPGA NanoXplore NG-ULTRA et ULTRA300

Cette action menée au laboratoire DTN/QE/LE adresse la caractérisation des FPGA durcis NanoXplore (NG-ULTRA et ULTRA300) en support au fabricant. Avec pour objectif de disposer en interne de solution de test et d'investigation suffisamment performante pour répondre rapidement à une demande projet.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0082	DTN/QE/LE DTN/QE/EC	NA	Thales SIXT, Synergie Cad PSC, Intraspec

### Qualification diodes plastiques petits signaux

Cette action fait suite à l'action R&T R-S21/MT-0004-265, qui a consisté à définir et à évaluer la fiabilité d'une chaîne d'approvisionnement de diodes LEO ST.

Cette nouvelle étude va consister à introduire des diodes petit signaux dans la gamme de produit LEO ST. Pour cela, ST va encapsuler en boîtier plastique SOD128F deux diodes Schottky et une diode bipolaire en utilisant une ligne d'assemblage qualifiée AEC-Q101 (Automobile). Une validation radiation puis une qualification type AEC-Q101 seront ensuite réalisées sur un seul gros lot de production permettant ainsi de couvrir la fourniture de plusieurs modèles de vol.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0096	DTN/QE/CQ	7	ST Microelectronics

## Introduction microcontrôleur SAMD21RT en version RAD-TOL Phase 2

Le but de cette action est d'enrichir l'offre de microcontrôleurs en travaillant sur le produit SAMD21RT. Le SAMD21RT est un MCU « low-power » utilisant le processeur 32-bit ARM® Cortex M0+ et intégrant des capacités analogiques. Il est développé sur une technologie 110nm UMC.

Il s'agira de dérouler les étapes nécessaires à l'industrialisation du SAMD21RT en boîtier céramique hermétique dans la gamme -SV équivalente QML-V, ainsi que sa qualification conformément à la spécification Microchip QCI-39010, compatible avec les standards ESCC et DLA.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0067	DTN/QE/EC	7	Microchip

## Développement microcontrôleur ARM M7 durci en techno mixte 55nm (SAMRHM7+) – Phase 2 Faisabilité de durcissement par process GF55 et par conception

Cette étude consiste en la deuxième étape du développement du microcontrôleur ARM M7 durci nouvelle génération, en technologie mixte Global Foundry 55nm. Elle s'inscrit dans la continuité des activités de définition des solutions de durcissement, supportées au travers de l'action R-CS1/22-0093.

Ici les essais radiations TID et SEL/SEU seront réalisés pour vérifier les apports des ajustements technologiques réalisés, caractériser les blocs fonctionnels du microcontrôleur et les cellules élémentaires du process GF55. En parallèle, la spécification d'un microcontrôleur durci sur ce vecteur technologique sera mise en place.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0093	DTN/QE/EC	4	Microchip

## Caractérisation et qualification du CNA EV12DD700X pour applications spatiales

Le convertisseur numérique analogique EV12DD700 est un Dual 12-bit 12Gsps en technologie BiCMOS 55nm de ST.

Le 1<sup>er</sup> silicium a été développé dans le cadre d'un projet H2020 mais nécessite un redesign pour atteindre les performances visées.

L'action présente couvre la caractérisation électrique et radiation du run 2 de ce CNA dont les prototypes sont aujourd'hui disponibles.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0097	DTN/QE/EC	5	Teledyne e2V

## Evaluation ESCC du SoC ARM SAMRH707 (JAGUAR) en boîtier céramique

Le microcontrôleur SAMRH707 sur la technologie ASIC 0.15µm SOI durcie ATMX150RHA a été développé par Microchip dans le cadre d'un contrat ESA.

L'objectif ici est de réaliser la qualification spatiale du produit en version céramique.

Code ACTION	Service technique	TRL visé	Titulaire envisagé
R-CS1/23-0085	DTN/QE/EC	7	Microchip

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

<b>TRL1</b>	<b>Principe de base</b> Principes de base observés et identifiés
<b>TRL2</b>	<b>Application formulée</b> Concept technologique et/ou application formulés
<b>TRL3</b>	<b>Preuve du concept</b> Preuve du concept analytique et expérimentale de la fonction et/ou de la caractéristique critique
<b>TRL4</b>	<b>Validation fonctionnelle</b> Vérification fonctionnelle en environnement de laboratoire au niveau composant et/ou maquette
<b>TRL5</b>	<b>Modèles à échelle réduite</b> Vérification en environnement représentatif de la fonction critique au niveau composant et/ou maquette
<b>TRL6</b>	<b>Validation de la conception</b> Démonstration en environnement représentatif des fonctions critiques de l'élément au niveau modèle
<b>TRL7</b>	<b>Qualification spatiale</b> Démonstration en environnement opérationnel de la performance de l'élément au niveau modèle
<b>TRL8</b>	<b>Qualifié pour vol</b> Système réel développé et accepté pour le vol
<b>TRL9</b>	<b>Démontré en vol</b> Système réel "démontré en vol" par mission opérationnelle réussie

## ANNEXE 2 : Liste des services et des Chefs de service (version du 23/11/2023)

### Direction Technique et Numérique –DTN

<b>QE</b> Sous-Direction Qualité et Expertise		▶ p. 5
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	Sébastien Bosse

<b>CD</b> Sous-Direction Campus de la Donnée		▶ p. 5
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 Queyru
Service Imagerie optique et défense	DTN/CD/ID	Sylvia Sylvander
Service LEGOS/CNES	DTN/CD/LG	Alessandro Blazquez
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>TPI</b> Sous-Direction Techniques et Performances Instruments		▶ p. 5
Service Antennes	DTN/TPI/AN	Bertrand Marty
Service OptoElectronique de Détection	DTN/TPI/OED	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>DV</b> Sous-Direction Dynamique du Vol		▶ p. 5
Service Architecture SCAO	DTN/DV/AS	Géraldine Constant Filaire
Service Ingénierie du vol pour les missions Futures et la LOS	DTN/DV/IFL	Pascal Desmazeaux
Service Manœuvres orbitales et mécanique Spatiale Système	DTN/DV/MS2	Nicolas Tchintcharadze
Service Programmation Guidage et Simulation système	DTN/DV/PGS	Sophie Djatal
Service Orbitographie	DTN/DV/OR	Vincent Ruch
Service Systèmes opérationnels et Patrimoine dynamique du vol	DTN/DV/SP	Michel Lacotte

<b>ISA</b> Sous-Direction Infrastructures Numériques, SI Scientifique et Applicatif		▶ p. 5
Service Calcul Ingénierie Logiciel et valorisation des données	DTN/ISA/CID	Florent Ventimiglia

<b>OP</b> Sous-Direction Opérations		▶ p. 5
Correspondant R&T	DTN/OP	Nathalie Corcoral
Service Développements des Segments Sol d'Opérations	DTN/OP/SSO	Guillaume Vaccari

<b>AVI</b> Sous-Direction Architecture, Validation et Intégration		▶ p. 5
Service Architecture Avionique et électrique	DTN/AVI/AV	Clément Sinibaldi
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>TVO</b> Sous-Direction Technique Véhicules Orbitaux		▶ p. 5
Service Chaine Energie, Compatibilité Electromagnétique et Charge Electrostatique	DTN/TVO/3CE	Christian Elisabelar
Service Electronique numérique et Traitements bord	DTN/TVO/ET	Roland Lauheret
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 Pressecq
Service Structure et Mécanique	DTN/TVO/SM	Christian Pullet
Service Contrôle Thermique	DTN/TVO/TH	Stéphanie Remaury

## Direction des Systèmes Orbitaux et des Applications –DOA

<b>BL</b> Sous-Direction Ballons <span style="float: right;">▶ p. 5</span>		
Correspondant R&T	DOA/BL	Isabelle Zenone
Service Technique Véhicules Porteurs	DOA/BLVP	Erwan Quevarec

<b>EHV</b> Sous-Direction Exploration et Vols habités <span style="float: right;">▶ p. 5</span>		
Service projet Moon et Mars Stations	DOA/EHV/MMS	Alexis Paillet
Service projet Vols Habités en Développement CADMOS	DOA/EHV/VHD	Rémi Canton

<b>MDA</b> Sous-Direction Missions et Données d'observation de la Terre et Applications aval <span style="float: right;">▶ p. 5</span>		
Service Missions Océanographie	DOA/MDA/OC	Thierry Guinle
Service Missions Terre et Atmosphère	DOA/MDA/TA	Steven Hosford

<b>NT</b> Sous-Direction Navigation et Télécommunication <span style="float: right;">▶ p. 5</span>		
Service Architecture satellites de Télécommunication	DOA/NT/AS	Stéphane Berrivin
Service Système et Projets de Navigation	DOA/NT/SPN	Gilles Dorléac
Service Architecture Systèmes de Télécommunications	DOA/NT/ST	Marion Aubault

<b>SME</b> Sous-Direction Sécurité, Sauvegarde et Maitrise de l'Espace <span style="float: right;">▶ p. 5</span>		
Service LOS et Sauvegarde	DOA/SME/LOS	Oifa ElJed
Service Surveillance de l'Espace	DOA/SME/SE	Sylvain Delattre