



R&T
SYSTEMES ORBITAUX

Livre bleu

Programmation novembre 2022

Recherche et technologie des Systèmes Orbitaux

RECHERCHE ET TECHNOLOGIE DES SYSTEMES ORBITAUX

PROGRAMME 2022 relève novembre

Rédacteurs :

L. AMEN
P. BENARROCHE
M. DEJUS
L. LORDA

P. LE METAYER
PG. TIZIEN

La cheffe du service Technologie et Données
Responsable du processus R&T



Laurence LORDA

Le Sous-Directeur Préparation du Futur



Eric BOUSSARIE

REPRODUCTION ET DIFFUSION INTERDITES SANS ACCORD PREALABLE DU CNES

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL.....	7
ETUDE ET OBSERVATION DE LA TERRE.....	9
LOCALISATION, NAVIGATION, TEMPS-FREQUENCE	12
MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT	14
PLATES-FORMES	18
SCIENCES DE L'UNIVERS.....	21
SYSTEME BORD/SOL.....	24
TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES	27
TELECOMMUNICATIONS	30
ANNEXES	32

INTRODUCTION

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

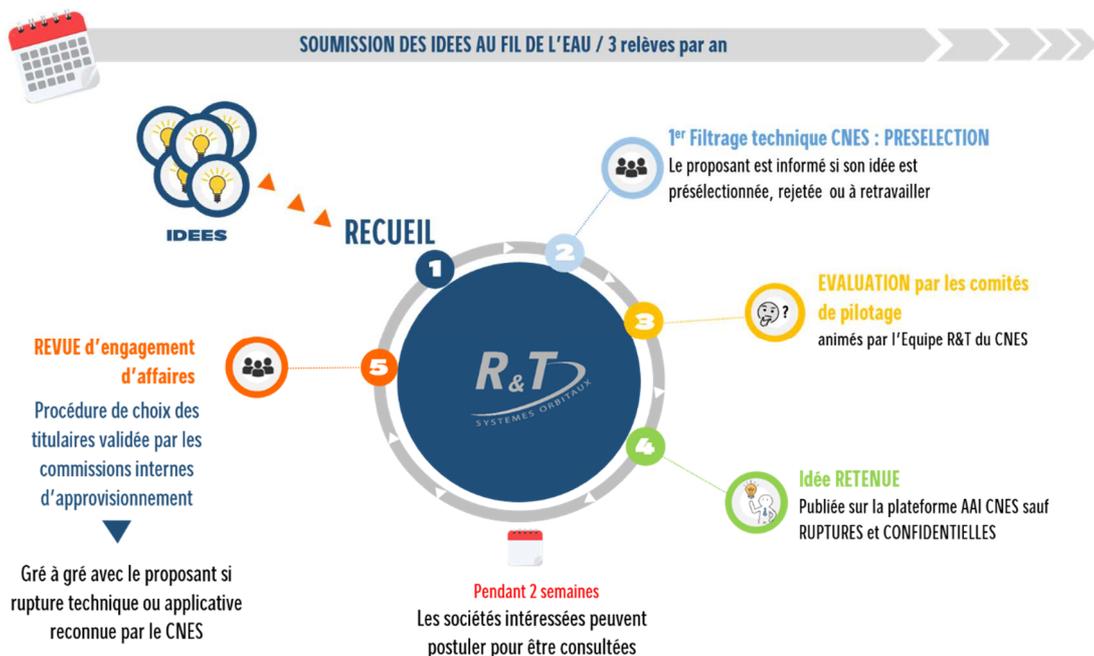
- Dans le cadre de l'Agence Spatiale Européenne à travers la contribution financière du CNES à divers programmes obligatoires comme le Technology Research Programme ou optionnels (GSTP, EOEP, ARTES...),
- Dans le cadre multilatéral à travers les activités de R&T menées par le CNES avec des industriels (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 planifiées régulièrement, avec un objectif 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.
- **RE¹** : 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.

¹ 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 de novembre 2022, 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 **16 janvier 2023 (24h) 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
- 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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique DU1

R-S22/DU-0001-016-02 : Classification des surfaces hydrologiques continentales

Définition d'un algorithme de classification basé sur une architecture de « deep learning » pour améliorer les algorithmes de détection hydrologique sur les cas difficiles à différencier : neige, glace, eau.

R-S22/DU-0001-026-02 : Détection automatisée d'ombres dans l'imagerie

Développement d'un outil de détection et localisation automatisé des ombres sur de l'imagerie optique THR (Très Haute Résolution).

Axe technique DU2

R-S22/DU-0002-023-02 : Création automatisé de BD pour apprentissage IA

Réalisation d'un prototype d'outil collaboratif inédit pour élaborer des bases de données d'apprentissage de qualité pour l'entraînement de modèles d'intelligence artificielle.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/DU-0001-016-02	DTN/CD/TPA	Classification surfaces hydrologiques continentales	6	STS
R-S22/DU-0001-026-02	DTN/CD/TPA	Détection automatisée d'ombres dans l'imagerie	6	STS
R-S22/DU-0002-023-02	DTN/CD/TPA	Création automatisé de BD pour apprentissage IA	5	STS

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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique OT2

R-S22/OT-0002-090-02 : Commutateurs pour système de calibration intégrée pour radiomètre microonde

Développement de commutateurs radiofréquences à 36 et 55 GHz pour des systèmes de calibration intégrée au sein des récepteurs de radiomètres microondes miniaturisés pour le sondage atmosphérique.

R-S22/OT-0002-119-02 : Source multifréquences pour radiomètre microonde au-delà de 54GHz

Développement d'une source multifréquences au-dessus de 54 GHz pour les radiomètres microondes pour le sondage atmosphérique, pour lesquels l'aspect multifréquences est de plus en plus envisagé pour les missions à venir.

Axe technique OT3

R-S22/OT-0003-091-02 : Reconstruction d'images d'interférométrie RF par IA

Les méthodes algébriques de reconstruction d'images à partir de données d'interféromètres microondes comme SMOS, entraînent des limitations telles que le repliement de champ de vue. Une méthode nouvelle, basée sur les techniques de « deep learning » a été étudiée et développée dans une R&T précédente. L'objectif de cette nouvelle action sera de valider cette approche innovante sur des données réelles.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/OT-0002-090-02	DTN/TPI/INR	Commutateurs pour systèmes de calibration intégré pour radiomètre microonde	4	Airbus Defence & Space
R-S22/OT-0002-119-02	DTN/TPI/INR	Source multifréquences pour radiomètre microonde au-delà de 54GHz	6	Airbus Defence & Space
R-S22/OT-0003-091-02	DTN/TPI/TR	Reconstruction d'images d'interférométrie RF par IA	5	CNRS- CESBIO

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.

Les actions à engager au titre de la seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique LN3

R-S22/LN-0003-031-02 : Mitigation interférences GNSS LEO

L'enjeu de cette étude est de déterminer, pour les récepteurs GNSS embarqués sur des satellites LEO quelles sont les méthodes de réduction d'interférence qui peuvent/doivent être mises en œuvre pour pouvoir utiliser les bandes de fréquence GPS L5 et GALILEO E5 en orbite malgré la présence des TACAN/DME au sol, selon le type de mission spatiale envisagé.

R-S22/LN-0003-051-02 : DORIS bord sur satellite MEO

L'étude vise à évaluer l'impact d'une orbite plus élevée (de type MEO) que celle habituelle (LEO) sur les performances de l'instrument DORIS : diminution du bilan de liaison, réception d'un nombre supérieur à 7 de signaux de balises sol, collisions Doppler plus fréquentes. Une fois cette évaluation menée, l'action de R&T vise à la proposition de solutions techniques d'évolutions de l'instrument pour que celui-ci puisse fonctionner de façon nominale avec le réseau de balises sol.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/LN-0003-031-02	DTN/TPI/STR	Mitigation interférences GNSS LEO	4	Agenium et TéSA
R-S22/LN-0003-051-02	DOA/OT/DOR	DORIS bord sur satellite MEO	3	TDMS

**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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique MT3

R-S22/MT-0003-238-02: Etude test MOSFETS A – Clip Bonding

Les MOSFETs « clippés » qu'on retrouve de plus en plus souvent dans les applications hautes fréquences et les DCDC intégrés posent des problèmes de testabilité. La présence de contacts sur une surface significative au-dessus de la partie active rend souvent impossible la mise à nu de l'ensemble de la puce par les procédés standards. Les tests ions lourds sont alors rendus difficiles par la diminution de la surface irradiée effective et les questions de représentativité des tests au sol par rapport à l'application finale. Une étude bibliographique approfondie couplée avec des campagnes de test comparatives seront menées à bien pour répondre à ces problématiques et émettre des recommandations de test sur ces technologies.

R-S22/MT-0003-010-02 : Test ESD sur revêtement Thermique

Cette étude a pour objet la validation de nouveaux revêtements de contrôle thermique avec dans le contexte d'aujourd'hui deux objectifs principaux :

- Le premier est de remplacer des formulations déjà commercialisées des composants devenus obsolètes principalement du fait des nouvelles réglementations environnementales européennes. (REACH, RoHS et COV)
- Le deuxième est de travailler sur la mise au point de nouveaux revêtements de contrôle thermique ou ayant des fonctions thermiques (peintures, vernis, colles...) avec des tenues améliorées en environnement spatial ou des propriétés renforcées.

Axe technique MT4

R-S22/MT-0004-284-02 : Evaluation d'assemblage pressfit

L'étude consiste à évaluer la fiabilité d'interconnexion de type pressfit ainsi que leur réparabilité.

R-S22/MT-0004-286-02 - Delta évaluation de la filière GH15-1x

Cette étude a pour objectif l'évaluation spatiale d'un certain nombre d'options technologiques permettant d'étendre le domaine d'utilisation de la filière MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) GH15. Ces nouvelles options concernent principalement l'introduction de transistors faible bruit, de condensateurs plus compacts, d'une protection des puces contre l'humidité et d'une protection contre les dommages liés aux manipulations (facilité d'assemblage en boîtier moulé).

R-S22/MT-0004-266-02 : Evaluation de condensateur Tantale commerciaux

L'utilisation des composants passifs commerciaux est une demande de plus en plus pressante de l'ensemble des utilisateurs du spatial. Selon les projets et les utilisateurs concernés, cette demande vise à accroître les performances de l'électronique, notamment par l'accès à des gammes ou des technologies non disponibles en versions de « haute fiabilité », réduire les délais d'approvisionnement et les coûts en sélectionnant des composants en stock chez les distributeurs, notamment pour les condensateurs tantale objets de cette étude.

Ces avantages certains s'accompagnent toutefois d'une part de risque, difficile à estimer au regard de notre faible expérience sur ces composants. Il est donc nécessaire de renforcer nos connaissances pour identifier les limites de ces composants vis-à-vis de nos applications et de nos habitudes d'utilisation et être en capacité d'émettre des recommandations sur ces technologies.

R-S22/MT-0004-288-02 : Etude d'un système de numérisation optique pour l'Assurance Qualité

L'objet de l'étude est d'évaluer la faisabilité d'un nouveau concept de numérisation et de documentation des composants et systèmes spatiaux afin d'en suivre la qualité dans le temps. Cette étude est une première étape vers la traçabilité multi-informationnelle des composants spatiaux critiques.

R-S22/MT-0004-215-02 : Test SEE de composant GaN de puissance

Cette étude va consister à tester des composants GaN de puissance commerciaux en ions lourds afin de ré-évaluer leur sensibilité suite aux derniers résultats obtenus en juin 2022. Il est urgent de bien connaître le seuil de destruction aux ions lourds de ces composants afin d'éviter des destructions en orbite car les conditions de test utilisés jusqu'à présent ne paraissent pas réalistes. La principale difficulté de cette étude va être d'obtenir une profondeur de pénétration de l'ion suffisante à forte inclinaison afin d'obtenir des résultats crédibles.

R-S22/MT-0004-215-02 : Cellules InGaAsN et cellules tandem

Les cellules multi-jonctions à haut rendement sont majoritairement des cellules tri-jonctions InGaP/InGaAs/Ge avec des rendements optiques de 30%. Pour augmenter ces rendements, l'une des solutions possibles est d'accroître le nombre de jonctions. Le LAAS mène des travaux depuis des années sur la mise en œuvre de cette technologie et sa caractérisation. La poursuite de ces travaux vise à l'amélioration de la qualité de la structure afin d'approcher les performances de fin de vie visées.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/MT-0003-238-02	DTN/QE/CQ	Etude test MOSFETS A – Clip Bonding	6	TRAD, ESRF
R-S22/MT-0003-010-02	DTN/TVO/TH	Test ESD sur revêtement Thermique	4	ONERA-DPHY
R-S22/MT-0004-284-02	DTN/QE/CQ	Evaluation d'assemblage pressfit	6	MO
R-S22/MT-0004-286-02	DCT/QE/EC	Delta évaluation de la filière GH15-1x	7	UMS
R-S22/MT-0004-266-02	DTN/QE/CQ	Evaluation de condensateurs. Tantale commerciaux	4	EQ
R-S22/MT-0004-288-02	DTN/QE/LE	Etude d'un système de numérisation optique pour l'AQ	5	LUMETIS
R-S22/MT-0004-215-02	DTN/QE/CQ	Test SEE de composant GaN de puissance	6	TRAD, HIREX, CEA Tech
R-S22/MT-0004-216-02	DTN/QE/EC	Cellules InGaAsN et cellules tandem	4	LAAS, Onera

Quatre actions confidentielles sont également programmées 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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique PF1 :

R-S22/PF-0001-054-02 : Candidats Ergol Vert

Cette étude a pour objectif de construire une base de données expérimentale et mécanistique portant sur plusieurs couples d'ergols verts pouvant remplacer l'hydrazine et ses dérivées. Il est nécessaire de bien connaître leur propriétés réactives : décomposition, vitesse de combustion, sensibilité à la détonation, limites d'inflammabilité et limites d'hypergolicité. Les activités comportent un volet expérimental permettant de générer les paramètres de combustion important pour évaluer le potentiel des ergols identifiés et un volet de simulation de cinétique détaillée afin de mieux comprendre leur potentiel réactif avec comme visée : l'efficacité de combustion et la sûreté de leur utilisation.

Axe technique PF4 :

R-S22/PF-0004-034-02 : Modélisation mécanique des enveloppes ballons

Dans la continuité d'actions de R&T précédentes, cette étude vise à améliorer les méthodes et outils de modélisation du comportement mécanique des enveloppes ballons en s'appuyant sur trois axes principaux qui sont la multiaxialité des essais, l'amélioration et la pérennisation du code Herezh, et la simulation d'une phase complexe lors du lâcher.

Axe technique PF5 :

R-S22/PF-0005-158-02 : Transfert multi-ergols en vol

L'objectif de cette étude est de démontrer la maîtrise du remplissage d'un réservoir de satellite en vol au travers d'une interface fluide sur étagère équipant plusieurs satellites. L'approche proposée consiste à développer un dispositif actif capable de s'adapter à cette interface standard déjà adoptée par de nombreux utilisateurs.

R-S22/PF-0005-159-02 : Correction des équations balistiques

Cette action s'inscrit dans le contexte de l'étude de la vulnérabilité des structures spatiales vis-à-vis des débris orbitaux. Il s'agit d'évaluer expérimentalement l'énergie cinétique critique de pénétration des structures. Les modèles actuels conservatifs utilisent une hypothèse d'énergie cinétique constante. Des extrapolations semblent indiquer une augmentation de celle-ci.

R-S22/PF-0005-160-02 : Caractérisation magnétique des batteries

Les batteries lithium-ion sont actuellement la solution de prédilection pour stocker l'énergie dans les petites plateformes de type nanosat. Néanmoins, leurs caractéristiques magnétiques sont mal connues pouvant engendrer de forts moments magnétiques. Cette étude propose de réaliser des caractérisations magnétiques des batteries lithium-ion dans leurs différents états de fonctionnement.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/PF-0001-054-02	DTN/TVO/PR	Candidats Ergol Vert	3	CNRS
R-S22/PF-0004-034-02	DOA/BL/VP	Modélisation mécanique des enveloppes	5	IRDL
R-S22/PF-0005-158-02	DTN/TVO/PR	Transfert multi-ergols en vol	4	EQ
R-S22/PF-0005-159-02	DTN/TVO/SM	Correction des équations balistiques	6	THIOT
R-S22/PF-0005-160-02	DTN/TVO/3CE	Caractérisation magnétique des batteries	6	SAFT

Sept 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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique SU2

R-S22/SU-0002-120-02 : Interrupteur thermique sous 1K

Pour les missions cryogéniques, la performance de l'ADR (Adiabatic Demagnetization Refrigerator) nécessite entre autre de disposer d'interrupteurs thermiques performants. Aux températures sub-Kelvin, la conception des interrupteurs est très minutieuse et l'efficacité de ceux-ci dépend d'une bonne compréhension des phénomènes mis en jeu. L'objet de cette action est de mener une étude théorique avec validation expérimentale.

Axe technique SU3

R-S22/SU-0003-85-02 : Mécanisme de scan miniaturisé pour MicroLIBs

Dans le cadre de la proposition instrumentale MicroLIBs (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) un effort significatif de miniaturisation est requis. L'objet de l'action est de proposer un concept de mécanisme assurant le pointage deux axes du faisceau laser de l'instrument.

R-S22/SU-0003-86-02 : Laser miniaturisé pour MicroLIBs

Dans le cadre de la proposition instrumentale MicroLIBs (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) un effort significatif de miniaturisation est requis. Sur la base des lasers réalisés pour les instruments ChemCam et SuperCam, cette action vise à réduire très fortement la masse et le volume du laser, mais en offrant des performances compatibles des exigences demandées pour réaliser les mesures scientifiques visées.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/SU-0002-120-02	DTN/TVO/TH	Interrupteur thermique sous 1K	4	CEA
R-S22/SU-0003-085-02	DTN/TVO/MS	Mécanisme de scan miniaturisé pour MicroLIBs	4	EQ
R-S22/SU-0003-086-02	DTN/TPI/OP	Laser miniaturisé pour MicroLIBs	4	THALES LAS

Deux 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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique BS4

R-S22/BS-0004-091-02 : Optimisation des traducteurs binaires pour émulateur

L'émulation de processeurs pour les simulateurs de type TOMS pâtit fortement de l'augmentation des performances de ceux-ci au point de rendre leur utilisation problématique. Ils utilisent déjà un moteur de traduction binaire (JIT) et une optimisation des instructions de la CPU émulée. Cela améliore grandement les performances mais pas suffisamment. Les activités proposées ici visent à travailler en amont des phases de traduction binaire afin de fournir au moteur JIT un ensemble de blocs d'instructions plus facilement « optimisables » et donc plus performants.

Axe technique BS5

R-S22/BS-0005-073-02 : SCAO en présence de perturbations multiples

Cette étude s'inscrit dans le PIC (Programme d'Intérêt Commun ONERA) COSOR 2 qui s'intéresse à la conception de nouvelles lois de commande sous perturbations multiples ainsi qu'au thème de la validation. Elle est divisée en deux lots, un lot focalisé sur la conception de lois de commande intégrant des contraintes (ballottements, modes souples, saturations) et dans lequel des méthodes plus exploratoires basées sur du Machine Learning par exemple seront testées. Le second lot s'intéresse à faire évoluer des méthodes de mu-analyse existantes pour élargir la validation des contrôleurs en amont des simulations Monte-Carlo.

R-S22/BS-0005-089-02 : Guidage en attitude asservi sur cible

Les missions d'observation d'astéroïdes ou d'autres objets spatiaux non coopératifs exigent une forte réactivité dans la boucle de guidage en attitude. Cette réactivité, associée aux objectifs de continuité des missions, exclut de fait les traitements sol dans la boucle de guidage, compte tenu des retards que cela pourrait introduire, et de la disponibilité limitée du lien bord/sol. L'évolution des technologies permet d'embarquer des capteurs de plus en plus performants et d'en traiter les mesures directement à bord afin d'élaborer un guidage asservi sur cible. Cette étude vise la prise en compte de ces nouvelles informations temps réel dans plusieurs modes de guidage et de définir une algorithmie de guidage bord asservi sur cible capable de respecter les exigences de performance et les contraintes système.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/BS-0004-091-02	DTN/AVI/VS	Optimisation des traducteurs binaires pour émulateur	3	AD
R-S22/BS-0005-073-02	DTN/DV/AS	SCAO en présence de perturbations multiples	4	ONERA
R-S22/BS-0005-089-02	DTN/DV/PGS	Guidage en attitude asservi sur cible	5	AD

Une action confidentielle 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 seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe technique TG1

R-S22/TG-0001-090-02 : Dispositif d'alignement pour positionneur AST-BCMA

Etude d'un dispositif d'alignement, ayant pour vocation de compenser des défauts d'orientation d'une structure antennaire, avec l'axe de référence de mesure du positionneur. La proposition consiste à étudier un dispositif agile et amovible, à installer sur le positionneur dès qu'une correction d'alignement est exigée pour satisfaire les conditions de test. Cet équipement compléterait ainsi les capacités de mesure du positionneur de la BCMA du CNES.

Axe technique TG2

R-S22/TG-0002-088-02 : Préparation à l'industrialisation des huiles gélifiées

En poursuite de travaux de R&T précédents, l'objet de l'étude est de transférer le procédé d'élaboration des huiles gélifiées de PolymerExpert qui les a mises au point vers MAP en vue d'une industrialisation pour commercialisation du produit.

Axe technique TG3

R-S22/TG-0003-042-02 : Développement et essais pour matelas MLI aérogel

L'objet de cette étude est de proposer un plan de développement pour des MLI composées d'aérogel. Plusieurs étapes composent cette étude. La première consiste à poursuivre la recherche bibliographique des matériaux aérogel pouvant être intégrés dans un matelas MLI pour l'isolation thermique des satellites. Les sorties de cette première étape permettront le choix de produits à partir desquels seront définis des échantillons de matelas MLI qui subiront des tests environnementaux.

R-S22/TG-0003-069-02 : Design de la protection thermique d'une capsule mesurant la rentrée atmosphérique de satellite

Cette fiche de R&T s'inscrit dans un projet plus large dont l'objectif est de mettre sur pieds une capsule type boire-noire, permettant de mesurer l'environnement aérothermodynamique d'un satellite en train de se détruire pendant sa phase de rentrée atmosphérique. La capsule, quant à elle, se doit de survivre, jusqu'à l'envoi de la totalité des mesures acquis pendant cette phase à un récepteur qui reste à définir. Une protection thermique est par conséquent indispensable. L'objet de cette action est donc de proposer un design (géométrie, dimensions, matériaux) compatible des contraintes de la mission.

TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/TG-0001-090-02	DTN/TPI/AN	Dispositif alignement pour positionneur AST-BCMA	3	EQ
R-S22/TG-0002-088-02	DTN/TVO/MS	Préparation à l'industrialisation des huiles gélifiées	6	MAP
R-S22/TG-0003-042-02	DTN/TVO/TH	Plan de développement et d'essai pour matelas MLI aérogel	4	Interne
R-S22/TG-0003-069-02	DTN/TVO/PR	Design de la protection thermique d'une capsule mesurant la rentrée atmosphérique de satellite	4	ArianeGroup

Sept 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.

Les actions à engager au titre de la seconde relève de 2022 sont décrites ci-après.

Axe TC7

R-S22/TC-0007-152-02 : Nouvelle approche du seuil Multipactor

L'étude des effets néfastes de la puissance RF demande un niveau de technicité, d'investissement et d'expertise important. En prenant chaque équipement individuellement, en s'attachant aux différents paramètres de la physique qui mènent à ces défauts de fonctionnement et aux effets néfastes, chaque équipement peut être notablement amélioré, augmentant les performances de l'ensemble des chaînes RF. Par exemple, un seuil de déclenchement multipactor trop bas dans un filtre imposera par exemple de réduire la puissance RF de l'ensemble de la chaîne d'émission. Une solution innovante consiste à relever considérablement le seuil de déclenchement multipactor, en permettant l'existence d'un seuil très bas dans une zone ciblée. L'objet de cette action est d'appliquer cette approche pour la réalisation de filtres à résonateurs coaxiaux SIR (Stepped Impedance Resonator).

Axe TC8

R-S22/TC-0008-047-02 : Algorithme d'hybridation accès SATCOM LEO et GEO

L'objectif est d'optimiser des transmissions bidirectionnelles entre un site client et des serveurs internet distants, via une connexion partagée utilisant des satellites GEO et LEO. L'idée est d'analyser une possible intégration complète des deux systèmes satellitaires qui, du point de vue de l'utilisateur, forment alors une unique constellation multi-orbites. Il est donc nécessaire de proposer et d'évaluer l'impact des différents algorithmes de routage hybride dans le cadre d'un accès SATCOM intégré LEO/GEO.

Tableau récapitulatif des actions

Code Action	Service Technique	Titre de l'action	TRL visé	Titulaires envisagés
R-S22/TC-0007-152-02	DTN/TPI/HY	Nouvelle approche du seuil Multipactor	4	Interne CNES
R-S22/TC-0008-047-02	DOA/NT/ST	Algorithme d'hybridation accès SATCOM LEO et GEO	5	VIVERIS TECHNOLOGIES

Deux actions confidentielles sont également programmées sur cet axe technique.

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 25/11/2022)

Direction Technique et Numérique –DTN (1/2)		
Sous-Direction Qualité et Expertise		
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
Sous-Direction Campus de la Donnée		
Service Altimétrie et Radar	DTN/CD/AR	Frédéric Menot
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
Sous-Direction Techniques et Performances Instruments		
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
Sous-Direction Dynamique du Vol		
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 Perrachon
Service Systèmes opérationnels et Patrimoine dynamique du vol	DTN/DV/SP	Michel Lacotte

ANNEXES

Direction Technique et Numérique – DTN (2/2)		
Sous-Direction Infrastructures Numériques, SI Scientifique et Applicatif		
Service Calcul Ingénierie Logiciel et valorisation des données	DTN/ISA/CID	Eric Morand
Sous-Direction Opérations		
Correspondant R&T	DTN/OP	Nathalie Corcoral
Service Développements des Segments Sol d'Opérations	DTN/OP/SSO	Denis Perriot
Sous-Direction Architecture, Validation et Intégration		
Service Architecture Avionique et électrique	DTN/AVI/AV	François Bonnet
Service Commande Contrôle	DTN/AVI/CC	Nathalie Corcoral
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
Sous-Direction Technique Véhicules Orbitaux		
Service Chaîne 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	Alberto Rossi
Service Structure et Mécanique	DTN/TVO/SM	Pierre-Yves Tourneau
Service Contrôle Thermique	DTN/TVO/TH	Stéphanie Remaury
Direction des systèmes Orbitaux et des Applications – DOA (1/2)		
Sous-Direction Ballons		
Correspondant R&T	DOA/BL	André Vargas
Service Technique Véhicules Porteurs	DOA/BL/VP	Erwan Quevarec
Sous-Direction Exploration et Vols habités		
Service projet Moon et Mars Stations	DOA/EHV/MMS	Alexis Paillet
Service projet Vols Habités en Développement CADMOS	DOA/EHV/VHD	Rémi Canton
Sous-Direction Missions et Données d'observation de la Terre et Applications aval		
Service Missions Océanographie	DOA/MDA/OC	Thierry Guinle
Service Missions Terre et Atmosphère	DOA/MDA/TA	Steven Hosford

ANNEXES

Direction des systèmes Orbitaux et des Applications - DOA (2/2)		
Sous-Direction Navigation et Télécommunication		
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
Sous-Direction Sciences de l'Univers		
Service Avant-Projet	DOA/SU/APR	Eric Lorfevre*
Sous-Direction Sécurité, Sauvegarde et Maitrise de l'Espace		
Service LOS et Sauvegarde	DOA/SME/LOS	Olfia ElJed
Service Surveillance de l'Espace	DOA/SME/SE	Vincent Morand

* *par intérim*