



## APPEL A IDEES EXTERNE R&T SYSTEMES ORBITAUX 2021

	Nom et Sigle	Date et Visa
Auteur(s)	<p>Patrick Dumon</p> <p>Luc Lefebvre</p> <p>Pierre Le Metayer</p> <p>Patrice Benarroche</p> <p>Pierre-Gilles Tizien</p> <p>Amaury Larue de Tournemine</p>	
Application Autorisée par	<p>Céline Angélelis</p> <p>Responsable de l'équipe R&amp;T et Démonstrateurs</p>	

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des  Applications et de la Science  (DIA)  Sous-Direction Préparation du  Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T  SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	<p>Réf : DIA/PF-2020.0030498  Date : 03/07/2020  Edition : 1  Page : 2/25</p>
---	---	---

## Sommaire

<b>1. CONTEXTE</b> .....	<b>3</b>
<b>2. GENERALITES CONCERNANT LE PLAN PLURIANNUEL R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ÉLÉMENTS DE RECEVABILITE DES PROPOSITIONS</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. THESES</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2. CADRAGE TECHNIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>3.3. IMPORTANT – SPECIFICITES DE L'AAI EXTERNE 2021</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3.1. SUITES D' ACTIONS EN COURS</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3.2. ACTIONS ISSUES D'UNE REFLEXION CONJOINTE AVEC LE CNES</b> .....	<b>5</b>
<b>4. ORIENTATIONS TECHNIQUES DE L'APPEL A IDEES R&amp;T 2021</b> .	<b>6</b>
<b>4.1. DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL (DU)</b> .....	<b>6</b>
<b>4.2. ETUDE ET OBSERVATION DE LA TERRE (OT)</b> .....	<b>7</b>
<b>4.3. LOCALISATION, NAVIGATION, TEMPS/FREQUENCE (LN)</b> .....	<b>9</b>
<b>4.4. MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT (MT)</b> .....	<b>10</b>
<b>4.5. PLATES-FORMES (PF)</b> .....	<b>10</b>
<b>4.5.1. PLATES-FORMES GEOSTATIONNAIRES</b> .....	<b>11</b>
<b>4.5.2. PLATES-FORMES LEO/MEO</b> .....	<b>12</b>
<b>4.5.3. BALLONS</b> .....	<b>12</b>
<b>4.5.4. TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES CLES TRANSVERSES</b> ..	<b>12</b>
<b>4.5.5. SYNTHESE PLATE-FORMES</b> .....	<b>13</b>
<b>4.6. SCIENCES DE L'UNIVERS (SU)</b> .....	<b>13</b>
<b>4.7. SYSTEME BORD-SOL (BS)</b> .....	<b>15</b>
<b>4.7.1. GENERALITES</b> .....	<b>15</b>
<b>4.7.2. COMMUNICATIONS BORD/SOL, SEGMENTS SOL DE CONTRÔLE ET OPERATIONS</b> .....	<b>15</b>
<b>4.7.3. INGENIERIE SYSTEME, SIMULATION SYSTEME ET LOGICIEL DE VOL</b> .....	<b>15</b>
<b>4.7.4. NAVIGATION, GUIDAGE, PILOTAGE</b> .....	<b>16</b>
<b>4.7.5. SYNTHESE SYSTEME BORD / SOL</b> .....	<b>16</b>
<b>4.8. TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES (TG)</b> .....	<b>17</b>
<b>4.9. TELECOMMUNICATIONS (TC)</b> .....	<b>18</b>
<b>5. ANNEXE 1</b> .....	<b>20</b>
<b>5.1. ANNEXE 1.A : RUPTURE TECHNIQUE/INNOVATION</b> .....	<b>20</b>
<b>5.2. ANNEXE 1.B : PROCEDURE DE SOUMISSION DES ACTIONS A CARACTERE CONFIDENTIEL</b> .....	<b>20</b>
<b>6. ANNEXE 2</b> .....	<b>22</b>
<b>7. ANNEXE 3 : ECHELLE TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL – ISO 16290:2013)</b> .....	<b>23</b>
<b>8. ANNEXE 4 : CONTACTS TECHNIQUES CNES (MIS A JOUR LE 01/07/2020)</b> .....	<b>24</b>

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	<p>Réf : DIA/PF-2020.0030498  Date : 03/07/2020  Edition : 1  Page : 3/25</p>
--	--	---

## 1. CONTEXTE

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 Development Elements (TDE) 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, SSII) et des organismes de recherche scientifiques et technologiques.

D'autres cadres existent également, avec lesquels le CNES s'attache à assurer un lien afin de favoriser les synergies et de rechercher une cohérence d'ensemble. On peut ainsi mentionner 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 maturité technologique et de la capacité d'expertise nationale.

Le PPRT est également renforcé par des activités dénommées Démonstrateurs et Composants Stratégiques qui visent à élever le niveau de maturité technique de certains produits issus de la R&T et à favoriser ainsi leur emport sur un véhicule spatial. Ces activités font l'objet d'un chapitre spécifique du document.

## 2. GENERALITES CONCERNANT LE PLAN PLURIANNUEL R&T SYSTEMES ORBITAUX

La préparation du PPRT pour l'année 2021 démarre avec l'appel à idées, objet de ce document.

Vos propositions d'idées pour le PPRT 2021 devront nous être soumises sur le site <https://rt-theses.cnes.fr/> avant la date de clôture fixée au **Lundi 14 septembre 2020 à 23H59.**

Dans les cas exceptionnels associés au caractère confidentiel des informations à communiquer au CNES, nous vous demandons de vous référer à *l'Annexe 1b* du présent document.

Les idées soumises feront l'objet d'un premier filtrage technique par le CNES pour la mi-octobre 2020.

Les idées externes présélectionnées suite à ce premier filtrage seront ensuite évaluées par des Comités de Pilotage animés par l'équipe R&T de DIA/PF. Les idées retenues seront présentées lors de la

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 4/25
--	--	--

**Journée de l'Innovation du Jeudi 11 février 2021 à Toulouse** et apparaîtront dans le recueil (Livre Bleu) diffusé à cette occasion<sup>1</sup>.

Pour chaque idée retenue, le titulaire ou le type de titulaire pressenti sera indiqué dans ce Livre Bleu et des commissions internes d'approvisionnement statueront définitivement sur la procédure de choix des titulaires au plus tard au mois de mars 2021. Le CNES s'engage à traiter en gré à gré avec le proposant pour les idées reconnues par le CNES comme étant innovantes ou constituant une rupture technique ou applicative (*voir les conditions en Annexe 1a*).

Les informations à fournir dans une proposition d'idée sont indiquées en *Annexe 2*. Dans ces informations figure, en particulier, le niveau de maturité technique dénommé TRL (Technology Readiness Level) dont vous trouverez l'échelle en *Annexe 3*.

N'hésitez pas à prendre contact avec les services techniques du CNES pour discuter du contenu technique de vos idées avant leur soumission sur le site. Vous trouverez en *Annexe 4* la liste des contacts techniques par métier.

Par ailleurs, le point de contact R&T à DIA/PF est joignable à l'adresse suivante : [technologie@cnes.fr](mailto:technologie@cnes.fr).

### 3. ÉLÉMENTS DE RECEVABILITE DES PROPOSITIONS

#### 3.1. THESES

L'appel à proposition de sujets de thèse regroupe les recherches à caractère scientifique et technique. Cet appel à proposition unique sera ouvert début septembre.

Les thèses qui nécessiteront des accompagnements techniques (approvisionnement, moyens d'essai...) devront inclure, dans le descriptif du travail de thèse, les éléments relatifs à ces activités et à leur financement.

Les propositions de R&T en accompagnement de thèse ne sont, par conséquent, **plus éligibles dans le cadre de l'appel à idées R&T**.

Les conditions de l'appel à proposition de sujets de thèses seront précisées ultérieurement sur le site.

#### 3.2. CADRAGE TECHNIQUE

Le chapitre 4 de ce document expose les orientations établies par le CNES pour ses activités de R&T des systèmes orbitaux. Ces orientations sont bâties de façon à être en cohérence avec les axes stratégiques du CNES, qui se déclinent également dans ses feuilles de route technologiques ou thématiques.

Les propositions en ligne avec ces cadrages ont donc naturellement de meilleures chances d'être favorablement reçues par le CNES.

Pour autant, nous ne souhaitons pas exclure d'entrée des propositions qui seraient en dehors de ce cadrage, particulièrement si elles recèlent un fort degré d'innovation (actions en rupture par exemple).

---

<sup>1</sup> A noter que les actions validées en rupture (voir annexe 1a) ne seront pas publiées de manière individuelle dans le Livre Bleu

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des  Applications et de la Science  (DIA)  Sous-Direction Préparation du  Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T  SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	<p>Réf : DIA/PF-2020.0030498  Date : 03/07/2020  Edition : 1  Page : 5/25</p>
---	---	---

### **3.3. IMPORTANT – SPECIFICITES DE L'AAI EXTERNE 2021**

Lors de l'appel à idées externes de 2019, première étape de la constitution du PPRT 2020, 618 ont été déposées. Le CNES se félicite naturellement du succès rencontré par l'exercice et de l'intérêt manifesté à cette occasion. Cette volumétrie importante génère néanmoins une contrainte considérable sur le processus de sélection de ces idées, par ailleurs également contraint par le temps pour ne pas trop allonger les délais entre la soumission d'une proposition et sa mise en œuvre.

Cette contrainte ne favorise pas la meilleure analyse et appréciation possible des idées soumises, particulièrement en ce qui concerne les idées les plus originales et en rupture qui demandent par définition un examen plus attentif afin d'en percevoir la portée.

Il n'est naturellement pas question de limiter l'expression d'idées originales de nos partenaires externes, qui est l'essence même de cet appel à idées, nous avons donc plutôt cherché à orienter différemment les idées ne requérant pas le même niveau d'analyse.

#### **3.3.1. SUITES D' ACTIONS EN COURS**

Suivant cette démarche, les suites d'actions déjà engagées (voire terminées) font l'objet d'échanges réguliers entre les titulaires et le CNES. Aussi ont elles fait l'objet ces derniers mois d'un processus d'identification en interne. Chaque service technique du CNES en charge du suivi d'actions de R&T s'est vu sollicité pour identifier les suites d'actions pertinentes à engager dans le PPRT 2021. Le catalogue d'actions ainsi constitué sera directement versé dans les actions de l'Appel à Idées Internes et débattu en comité de pilotage.

**Les propositions de R&T constituant des suites d'actions en cours ne sont donc pas recevables dans l'AAI externe de cette année.**

#### **3.3.2. ACTIONS ISSUES D'UNE REFLEXION CONJOINTE AVEC LE CNES**

Toujours dans l'objectif de ne soumettre à l'AAI Externe que les idées qui n'auraient pas déjà été analysées au préalable par les services techniques du CNES, il sera demandé cette année que les idées résultant d'une démarche de co-construction entre le CNES et le proposant **soient déposées directement dans l'Appel à Idées Interne par le service technique du CNES.**

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 6/25
--	--	--

## 4. ORIENTATIONS TECHNIQUES DE L'APPEL A IDEES R&T 2021

Les orientations techniques générales du nouveau PPRT sont décrites dans les paragraphes suivants. Elles sont structurées, comme les années précédentes, en Objectifs techniques dont la liste est la suivante :

- Développement des Usages du spatial,
- Télécommunications,
- Localisation/Navigation et Temps/Fréquence,
- Etude et Observation de la Terre,
- Sciences de l'Univers,
- Plates-Formes,
- Micro-Technologies et Environnement,
- Système Bord/Sol
- Techniques Génériques.

### 4.1. DEVELOPPEMENT DES USAGES DU SPATIAL (DU)

Au-delà de la mise en œuvre de nouvelles missions, un renforcement de l'usage des infrastructures spatiales est souhaité par un soutien accru aux activités tournées vers l'aval. En effet, le potentiel applicatif offert par les solutions spatiales est encore largement sous-utilisé par une grande partie des secteurs de l'économie.

Pour accompagner cette orientation, l'objectif R&T DU est structuré autour de trois axes techniques qui adressent en partant de l'aval :

#### La maturation des applications

Le potentiel applicatif offert par les solutions spatiales existantes au service des secteurs de l'économie constitue un axe de développement important qu'il convient d'encourager. Les applications envisagées visant à terme la mise en place de services opérationnels doivent s'appuyer sur les infrastructures disponibles dans les domaines de la Localisation/Navigation, de l'Observation de la Terre ou des Télécommunications. Dans la perspective de cas d'usage clairement définis impliquant l'entité qui à terme opérera le service, la R&T peut favoriser la levée de verrous technologiques ou algorithmiques spécifiques afin de conforter la maturité du service applicatif visé.

On notera que les activités qui concourent à l'amélioration des performances globales du système afin d'offrir in fine une meilleure qualité de service (précision de géolocalisation, résolution spatiale...) seront traitées dans les Objectifs spécifiques au domaine concerné.

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

Dans le domaine de la valorisation des données spatiales exploitant les Techniques de l'Information et de la Communication (TIC), la préoccupation est de s'affranchir des spécificités de l'infrastructure et de la couche système, en offrant un niveau d'intégration au plus proche de l'algorithme. Dans un contexte de valorisation de nouvelles données, l'objectif est de permettre à l'utilisateur de se concentrer sur les aspects métiers afin de prototyper simplement de nouvelles techniques d'enrichissement/extraction de données.

Pour cette année, l'intérêt porte plus prioritairement sur :

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	<p>Réf : DIA/PF-2020.0030498  Date : 03/07/2020  Edition : 1  Page : 7/25</p>
--	--	---

- L'interopérabilité des plateformes de données et de services qui constitue un enjeu fort dans un contexte national et européen distribués (INFRANUM, DATA TERRA, EOSC, GAIA-X, etc.). Dès lors, il importe de travailler sur la distribution intelligente des grands ensembles de données avec pour objectifs d'éviter la redondance, garantir la résilience, d'optimiser la bande passante réseau, de rapprocher les données du calcul tout en masquant la distribution des données à l'utilisateur final (en misant sur une ergonomie efficace). L'autre grand enjeu est l'orchestration de grands calculs ou de chaînes de traitement distribués sur plusieurs centres de calcul/cloud en visant la performance (temps de restitution mesuré par l'utilisateur final), la résilience aux pannes, le passage à l'échelle sur des emprises de niveau national ou continental, le monitoring, l'utilisation optimale des ressources (billing). Ces deux axes devront également prendre en compte l'utilisation d'API (Application Programming Interface) aussi standardisées que possible de manière à en garantir la diffusion/adhésion/pérennisation,
- Les techniques de l'Intelligence Artificielle, d'apprentissage et d'analyse des données, en particulier pour de l'identification automatique d'objet, de la détection de changement ainsi que les techniques visant la constitution non supervisée de grandes bases d'apprentissage et/ou les techniques permettant de ne pas avoir recours à des bases d'apprentissage.

#### **L'extraction d'information des images**

Concernant les développements des briques algorithmiques d'extraction de l'information des images, les domaines d'intérêts portent sur la problématique des données multi-sources optique visible et infrarouge (acquisitions de jour, acquisitions de nuit), radar, altimétrie, aérien, in situ... En effet, la disponibilité des nouveaux satellites, notamment dans le cadre de Copernicus, CO3D, SWOT, TRISHNA, engendre une masse de données considérable nécessitant la mise en œuvre de nouvelles méthodes génériques de traitement automatique adaptées au fort volume de données en considérant les aspects multi-sources et multi-temporels. L'objectif est d'étendre la mise à disposition de produits Système élaborés et l'exploitation de la donnée spatiale pour mieux répondre aux enjeux des politiques publiques (gestion des crises par exemple), aux attentes du secteur économique ou aux usages plus scientifiques dans le cadre des pôles thématiques de données et de services.

Il convient également de poursuivre les travaux sur l'élaboration des produits 3D afin d'améliorer le produit final en vue de disposer de cartographies haute intégrité.

La détection d'objets et de changements, que ce soit à partir de traitements sol ou d'algorithmes adaptés à une implantation à bord des satellites via des méthodologies spécifiques, constitue aussi un axe de recherche à privilégier.

## **4.2. ETUDE ET OBSERVATION DE LA TERRE (OT)**

Le domaine « Etude et Observation de la Terre » a pour objectif de favoriser et de développer les compétences instrumentales et technologiques françaises en préparation des futurs programmes d'Observation de la Terre qui, à l'horizon 2025-2035, se dérouleront dans divers cadres et principalement :

- Au sein de l'ESA (Earth Explorer, Earth Watch) et de l'UE (Copernicus, PESC),
- Dans le cadre du Programme Multilatéral du CNES. Ce programme couvre des missions et des participations menées en coopération avec les autres agences nationales.

Aujourd'hui, la communauté spatiale française participe au développement des systèmes orbitaux dans le cadre d'applications diverses telles que : la recherche scientifique dans le domaine des sciences de la Terre, depuis l'intérieur de celle-ci jusqu'à ses enveloppes fluides, le suivi de l'environnement (changement global et impact de l'activité humaine à l'échelle régionale), la surveillance météorologique opérationnelle, les applications civiles, le secteur des risques majeurs, la Défense...

Les orientations techniques du plan R&T 2021 pour la partie scientifique s'appuient sur la vision programmatique issue du dernier séminaire de prospective scientifique (Le Havre 2019) et les

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 8/25
--	--	--

recommandations du Comité des Programmes Scientifiques (CPS). Parmi les priorités identifiées, on peut mentionner, sans exhaustivité, pour le moyen et le long terme :

- L'étude de l'impact radiatif des aérosols et des nuages, notamment par des techniques lidar,
- L'amélioration du système de référence et mesure du champ de pesanteur,
- La mesure du courant océanique de surface,
- La couleur de l'océan à haute résolution temporelle,
- La mesure de l'humidité des sols et de la salinité des océans à haute résolution,

Certaines de ces priorités scientifiques nécessitent des développements nouveaux en termes de technologies spatiales, et sont donc plus particulièrement à même de susciter de nouvelles propositions d'actions de R&T.

Au-delà de la diversité des techniques instrumentales à maîtriser pour disposer d'une vision intégrée du « Système Terre » et de l'interaction de ses différents milieux, il apparaît un besoin générique particulièrement vif d'accroître les capacités de :

1. De répétitivité des observations,
2. De miniaturisation,
3. Continuité des mesures au travers de missions successives, mais innovantes.
4. Combinaison et d'assimilation de données multi-sources et volumineuses, nécessitant des méthodes de traitement innovantes (Big data, HPC-High Performance Computer, Intelligence Artificielle)

Le déroulement du programme européen Copernicus et les perspectives futures qui y sont associées, sont particulièrement structurants, du fait de son caractère opérationnel qui se traduit par l'assurance de la pérennité et de la continuité des observations et des services mis en place.

Dans ce contexte et plus particulièrement pour les services opérationnels, il est essentiel de proposer des infrastructures spatiales offrant des performances améliorées aussi bien en termes de capacités opérationnelles que de richesse de mesures tout en minimisant les coûts de possession. Ce dernier point est particulièrement crucial pour les concepts missions susceptibles d'améliorer fortement la revisite à partir de constellations et pour le maintien de la compétitivité de l'industrie nationale sur les marchés à l'export.

Relativement aux différentes techniques d'Observation de la Terre, on peut mentionner pour cette année 2021, un intérêt particulier sur les points suivants :

- Les enjeux associés à la mesure de la vapeur d'eau, des puits et sources du CO<sub>2</sub> ainsi que d'autres espèces de gaz à effet de serre ou de gaz polluants conduisent également le CNES à soutenir les activités visant à établir une stratégie instrumentale répondant à ces besoins que ce soit en optique passive et en optique active. Pour les techniques Lidar, les travaux relatifs à la physique de la mesure et au traitement du signal seront privilégiés sans exclure les briques technologiques présentant un caractère générique aux diverses applications. Une disponibilité de lidars profileurs robustes, fiables, simples et d'un cout modéré est sollicité pour suivre l'évolution des gaz (notamment CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>), des nuages et des aérosols.
- Vis-à-vis des techniques d'altimétrie, les orientations à privilégier cette année portent sur le besoin de disposer d'outils de traitement multi-capteurs et multi-temporel aussi bien pour les applications en océanographie qu'en hydrologie.
- L'amélioration de la mesure des états de mer et des courants de surface est un axe de recherche à promouvoir notamment en perspective de nouvelles missions.
- Les performances radiométriques toujours plus exigeantes des systèmes d'imagerie optique, nécessitent un effort de compréhension des phénomènes qui interviennent dans la physique de la mesure. Cette année, l'effort est maintenu pour les missions dans le domaine de l'infrarouge thermique.



<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 9/25
--	--	--

#### 4.3. LOCALISATION, NAVIGATION, TEMPS/FREQUENCE (LN)

Le domaine « Localisation, Navigation, Temps-Fréquence » doit permettre de 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, et de préparer, pour le court terme, les technologies et traitements permettant la bonne utilisation par le secteur aval des systèmes de la génération actuelle.

Pour atteindre ces objectifs l'appel à idées R&T 2021 est focalisé sur les trois thématiques décrites ci-après.

##### 1- Temps Fréquence des systèmes de nouvelle génération :

Outre ce qui est exposé au paragraphe ci-dessus, la thématique Temps-Fréquence des systèmes de nouvelle génération doit également contribuer à l'indépendance de l'Europe dans ce domaine. Ces besoins prennent en compte d'une part un objectif d'amélioration des performances d'un ordre de grandeur par rapport aux dispositifs actuels et d'autre part, les contraintes de miniaturisation, de fiabilité des équipements et de réduction de la masse, de la consommation et du volume.

Les propositions 2021 devront donc cibler en priorité :

- Les oscillateurs : amélioration des oscillateurs à quartz, développement de technologies de rupture (notamment par voie optique).
- Les échelles de temps (datation) et les techniques avancées de transfert de temps/fréquence incluant en particulier la calibration en temps des chaînes de réception.

##### 2- Améliorer les performances des services reposant sur les systèmes actuels et futurs :

Cette thématique se situe dans un contexte d'utilisation des systèmes actuels à des fins civiles et de défense. Dans ce cadre, elle a vocation à favoriser ces utilisations en proposant des technologies et traitements de signaux pertinentes pour les utilisateurs. Cette amélioration des performances devra être justifiée par une analyse des besoins utilisateurs à court ou moyen terme.

Concernant les segments utilisateurs des systèmes de localisation/navigation (y compris balises Argos et système/balises SAR) l'appel à idée 2021 tend à répondre aux défis futurs des véhicules autonomes (drones, transport, agriculture, ...) et de miniaturisation. Pour cela il faut améliorer la précision, la robustesse et l'intégrité des mesures de positionnement. Ceci conduit à lutter contre les dégradations du signal liées à l'environnement et à augmenter les performances des systèmes d'authentification. Cela impose de considérer la fusion des mesures provenant de divers systèmes ou alors de réaliser un positionnement collaboratif entre divers récepteurs. Le traitement de la phase des porteuses ainsi que le traitement large bande des signaux GPS/Galileo devrait également contribuer à l'amélioration de l'intégrité et de la précision du positionnement. Tout ceci doit contribuer à la levée des verrous technologiques pour les applications critiques et liées à la sécurité.

Un autre segment d'application concerne l'utilisation à des fins scientifiques (géodésie, définition des repères de référence, radio occultation, réflectométrie) des signaux GNSS qui nécessite une précision maximum des mesures et la mise en œuvre de méthodes de réception (matériel et traitements) spécifiques.

##### 3- Préparer les évolutions pour les infrastructures spatiales des systèmes de navigation, localisation et collecte de données :

L'évolution du système GPS, le déploiement de Galileo, un fonctionnement en mode multi-constellations (Galileo, GPS, BEIDOU, GLONASS) ainsi que l'utilisation des services SBAS (e.g. EGNOS, WAAS) va conduire à une amélioration des performances avec la nécessité de fournir des indicateurs d'intégrité pour les applications critiques.

Parallèlement aux deux programmes EGNOS et Galileo, menés sous la responsabilité de la Commission Européenne et de l'Agence Spatiale Européenne, le programme H2020 de l'UE

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 10/25
---	---	---

vient en complément pour préparer au niveau amont les évolutions EGNOS et Galileo. Par ailleurs des études préliminaires sur Galileo2 (G2G) sont en cours. Cette préparation de GNSS évolution doit s'appuyer sur des activités de recherche et technologie ainsi que sur l'analyse des futurs concepts système.

L'appel à idées 2021 donne la priorité à la préparation de l'évolution des technologies et des systèmes spatiaux de navigation et synchronisation (terrestre et embarqué). En particulier celles envisagées pour Galileo G2G, ainsi que la localisation et la collecte de données (Argos, recherche et sauvetage, et GNSS), en améliorant leurs fonctionnalités, leurs performances ou leur robustesse de façon significative (intégrité horloge, intégrité récepteur, mesure...).

Et, parmi les priorités pour 2021 :

- L'identification et l'évaluation de nouveaux services fournis par l'infrastructure (complétée ou non d'une infrastructure Télécom sécurisée), en prenant en compte les nouveaux services Galileo.
- La recherche de concepts innovants en localisation et navigation (concepts complémentaires et alternatifs à ceux basés uniquement sur les radiofréquences).

#### **4.4. MICROTECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT (MT)**

Sous l'appellation « Microtechnologies et Environnement » sont rassemblées les études de R&T concernant les domaines des Nanotechnologies et Microsystèmes, de l'Environnement spatial, des Technologies électroniques avancées et de leur expertise.

Les objectifs fixés à ces actions sont d'optimiser les marges de dimensionnement des satellites par une meilleure connaissance de l'environnement spatial et de maîtriser l'offre de composants, de technologies avancées et de microsystèmes issus de filières commerciales haute fiabilité ou émergentes.

Les activités du PPRT 2021 seront en continuité avec celles initiées dans les plans précédents.

Les efforts dans le domaine des composants seront maintenus sur l'adaptation des technologies aux besoins spatiaux, la spatialisation de certaines technologies clés et l'évaluation ou la vérification de la fiabilité de composants issus de filières commerciales, entre autres :

- Technologie Deep Sub Micron (évaluation de la fiabilité de la technologie et adaptation de l'assemblage aux contraintes spatiales).
- Composants opto-électroniques (liens haut débit, composants pour lasers de puissance...).
- Technologie GaN (utilisation dans le domaine RF et conversion de puissance).

Dans le domaine de la connaissance de l'environnement, l'émergence de nouvelles constellations nous amènera à poursuivre les activités engagées depuis plusieurs dizaines d'années pour diminuer les marges de dimensionnement et ainsi participer à la réduction du coût des systèmes, en particulier pour les radiations et pour mieux connaître l'environnement débris afin de mieux estimer les risques et les anticiper.

Enfin, les activités prospectives sur les micro/nanotechnologies continueront à être menées, en particulier afin de mieux appréhender l'apport de ces technologies à la miniaturisation des capteurs, à la faisabilité de nouveaux instruments ou encore à l'élaboration de matériaux aux propriétés remarquables et d'intérêt pour nos applications.

#### **4.5. PLATES-FORMES (PF)**

Les activités R&T de l'objectif Plates-Formes ont pour but de faire évoluer les plates-formes satellites afin de répondre aux besoins de performances et de compétitivité, aux évolutions des lanceurs et de préparer les missions futures. Elles adressent aussi les aérostats pour des besoins de performances.

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 11/25
---	---	---

Elles visent à faire émerger les techniques et les technologies nécessaires pour atteindre cet objectif et à développer les compétences métiers nationales. Elles se placent en amont ou en accompagnement des autres programmes de recherche nationaux ou de l'ESA et de l'Union Européenne.

Pour ce qui concernent les technologies critiques, elles recherchent également une indépendance européenne, tout en favorisant des solutions compétitives.

De manière générale, il faut noter le contexte de forte compétitivité, plus particulièrement à l'export, non seulement pour les satellites de télécommunications mais aussi pour les satellites d'observation de la Terre. Les exigences de coûts de possession et de délais de réalisation deviennent de plus en plus prioritaires.

Dans le domaine du développement des Plate-Formes, certaines tendances se dessinent ou se confirment, qui méritent d'être accompagnées.

En parallèle de la propulsion chimique, on a assisté depuis plusieurs années à l'essor de la propulsion électrique que ce soit sur les grosses ou les petites plates-formes, permettant un gain de masse, un accroissement de charge utile et une réduction des coûts d'acquisition et d'exploitation.

On assiste également à l'arrivée de nouveaux SoC (System on Chip) très performants qui permettent d'accroître de manière inédite les capacités de traitements à bord et une intégration poussée de fonctions, révolutionnant ainsi l'architecture avionique. Le contrôle numérique tend également à s'étendre pour optimiser les chaînes fonctionnelles bord.

Que ce soit pour les processeurs, les cellules photovoltaïques, les batteries, la conversion d'énergie, ... le spatial tend à s'approprier de plus en plus les technologies issues du domaine terrestre.

La miniaturisation des équipements qui a favorisé le développement des plates-formes nanosats (< 50kg) fait émerger la gamme smallsat (~ 100-150kg) et profite à toutes les plates-formes.

Les techniques de fabrication additive pour leur part continuent d'investir la conception et le design des satellites permettant par exemple l'optimisation structurelle ou l'intégration de fonctions.

Les activités liées à la LOS (Loi relative aux Opérations Spatiales), qui entrera pleinement en vigueur en 2021, restent soutenues et impactent également le design des satellites.

L'Objectif se décline en quatre Axes :

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

#### **4.5.1. PLATES-FORMES GEOSTATIONNAIRES**

L'Axe Plates-Formes Géostationnaires vise à faire évoluer les plates-formes actuelles de satellites géostationnaires (sous-systèmes et équipements) pour répondre aux besoins de performances et de compétitivité dans un secteur fortement concurrentiel, et à étudier de nouveaux concepts adaptés aux marchés futurs.

Il existe une demande d'augmentation de la puissance pour la charge utile et de la propulsion électrique, passant par la résolution des problématiques de génération, de conversion et de dissipation d'énergie, ou de contrôle SCAO. En parallèle un intérêt croissant apparaît pour la mise en service sur des orbites

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 12/25
--	--	---

GEO de plates-formes plus petites (smallGEO, nanosat) avec des problématiques nouvelles de tenue et de qualifications aux environnements spécifiques ainsi que des besoins d'agilité.

Les activités liées à la LOS (Loi relative aux Opérations Spatiales) adressent notamment l'exigence de réalisation des opérations de retrait de service, de passivation fluïdique et de passivation électrique, afin de limiter les risques de génération de débris.

#### **4.5.2. PLATES-FORMES LEO/MEO**

L'Axe Plates-Formes LEO/MEO concerne les plates-formes de satellites en orbite basse ou moyenne (sous-systèmes et équipements) d'observation de la Terre, de télécommunications ou scientifiques, et couvre les champs d'intérêt actuels des constellations et des nanosats/smallsats.

Les projets de grandes constellations de télécommunications ou d'observation qui voient le jour ou sont en développement modifient sensiblement l'approche technico-économique traditionnelle en s'orientant résolument vers l'utilisation de COTS, la production de masse et la réduction importante des coûts et délais de production.

Le marché des nanosats et smallsats est, selon les observations et prévisions, en pleine expansion, favorisé par la miniaturisation des équipements et tiré par les constellations, avec de nouveaux et nombreux acteurs mondiaux. Les capacités de déploiement de structures (panneaux solaires, appendices, radiateurs, senseurs...), que ce soit pour la Plate-Forme ou la Charge Utile, permettront d'accroître significativement leurs performances. En parallèle, l'offre de lancement semble se constituer.

Pour ce qui concerne précisément les nanosats le CNES favorise le développement d'une filière nationale de plates-formes et d'équipements associés.

A noter également l'intérêt grandissant pour le concept d'essaim de satellites où les performances et l'intelligence sont distribuées.

Les activités liées à la LOS (Loi relative aux Opérations Spatiales), comme pour les plates-formes GEO, adressent notamment l'exigence de réalisation des opérations de retrait de service, de passivation fluïdique et de passivation électrique, afin de limiter les risques de génération de débris. La LOS exige en plus pour les plates-formes LEO une durée maximale de rentrée et un risque limité vis-à-vis de la population nécessitant soit un design favorisant la désintégration, soit une rentrée contrôlée. En parallèle, les études portant sur l'amélioration des modèles de désintégration lors de la rentrée doivent se poursuivre.

#### **4.5.3. BALLONS**

La France est un des rares pays au monde à disposer de moyens opérationnels (véhicules porteurs, infrastructures sol et capacités opérationnelles) pour des missions sous ballons au profit des communautés scientifiques nationales et internationales.

L'Axe Ballons vise à développer et optimiser la gamme des ballons en termes de durée de vol, de capacité d'emport et de fiabilité. Ces objectifs nécessitent l'amélioration des modèles de comportement mécanique des aérostats dans les différentes phases de vol, le développement d'équipements et d'une instrumentation spécifiques basés sur des concepts nouveaux.

L'Axe comporte également un volet qui a pour but de limiter l'impact environnemental des activités Ballons.

#### **4.5.4. TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES CLES TRANSVERSES**

L'Axe Techniques et Technologies Clés Transverses regroupe les activités s'appliquant à l'ensemble des plates-formes et visant à faire émerger de nouvelles techniques et technologies, potentiellement en rupture ou techno-push, au profit des plates-formes actuelles ou pour les besoins futurs.

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 13/25
---	---	---

#### **4.5.5. SYNTHÈSE PLATE-FORMES**

En synthèse, le plan R&T 2021 pour l'Objectif Plates-Formes met l'accent sur les points suivants :

- ❖ Conception visant à réduire la durée de cycle de développement/réalisation des satellites (équipements, sous-systèmes, logiciels, AIT) en adoptant notamment des principes de généricité, de standardisation et de flexibilité. Pour l'AIT en optimisant le processus de tests et en simplifiant l'instrumentation des essais.
- ❖ Recherche de solutions améliorant la robustesse, la performance et la fiabilité des équipements Plateformes nanosats.
- ❖ Recherche d'une synergie entre les techniques de production des P/F LEO/MEO et GEO.
- ❖ Recherche de solutions technologiques en rupture amenant à la réduction des coûts, de la masse, de la consommation électrique et du volume.
- ❖ Utilisation des nouveaux composants et processeurs COTS, permettant une intégration poussée des avioniques.
- ❖ Conception des plates-formes faisant appel à la fabrication additive, permettant l'optimisation structurelle ou la co-intégration de fonctions.
- ❖ Dans le même esprit de simplification et d'allègement de la P/F, optimisation de l'architecture et de la performance de la chaîne SCAO, mise en œuvre du concept de modularité des équipements, standardisation et réduction du harnais et du RTU, etc.
- ❖ Recherche de nouvelles solutions technologiques permettant l'accroissement des performances des sous-systèmes et équipements ou leur fiabilité (énergie massique des batteries, performance des cellules solaires, capacités des mémoires, etc.).
- ❖ Introduction du contrôle numérique pour optimiser les chaînes fonctionnelles bord.
- ❖ Recherche de solutions de déploiement de structures notamment pour les petites P/F.
- ❖ Recherche de solutions fiabilisant les opérations de retrait de service et amélioration des méthodes de calcul de fiabilité.
- ❖ Concernant les ballons, amélioration des modèles de comportement mécanique des enveloppes dans les différentes phases de vol et développement d'équipements et d'une instrumentation spécifiques associés.
- ❖ Evolution de la gamme des ballons ouverts pour des nacelles charge utile légères et des vols de plus longue durée (système sauvegarde de destruction de l'enveloppe et technique de lâcher).

Nota : les sujets portant sur le SCAO d'un point de vue algorithmes sont traités dans l'objectif Système Bord/Sol.

#### **4.6. SCIENCES DE L'UNIVERS (SU)**

Le domaine « Sciences de l'Univers, Sciences en Micropesanteur et Exploration » a pour objectif de favoriser et développer les compétences instrumentales et technologiques françaises en préparation des futurs projets des programmes « Sciences » et « Exploration » qui, à l'horizon 2025-2035, se dérouleront dans les cadres suivants :

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 14/25
--	--	---

- Au sein de l'ESA (Cosmic Vision, European Exploration Envelope-E3P),
- Dans le cadre du Programme Multilatéral du CNES. Ce programme couvre des missions et des participations menées en coopération avec d'autres agences nationales (USA, Allemagne, Italie, Russie, Chine, Japon, Inde, etc.).

L'effort spatial français pour les Sciences de l'Univers, les Sciences en Micropesanteur et l'Exploration et vol habité, est un des plus importants au niveau européen. En plus de sa contribution en tant qu'état membre au financement des projets de l'ESA, la France participe au développement des charges utiles, d'éléments technologiques et des segments sol scientifiques de ces missions. Cette forte participation française confirme la valeur scientifique et technique des propositions de notre communauté de recherche dans ces domaines et concrétise l'effort du CNES à soutenir, notamment au travers de son programme R&T, l'innovation dans le domaine de l'instrumentation scientifique et de la technologie.

- Au-delà des programmes de l'ESA, dans le cadre du Programme Multilatéral du CNES, il convient également de préparer les futures missions ou les propositions sur des missions d'opportunité ayant des objectifs scientifiques et technologiques prioritaires pas forcément couverts par les programmes de l'ESA.

Les orientations techniques du plan R&T 2021, s'inscrivent dans la vision programmatique et les orientations scientifiques émises lors du séminaire de prospective scientifique du CNES (Le Havre – 2019).

La participation au programme scientifique obligatoire de l'ESA « Cosmic Vision », reste la priorité nationale dans le domaine des sciences de l'Univers, complété par le programme d'exploration robotique de l'ESA et des contributions à des missions d'opportunité.

En partenariat étroit avec le CNES, la communauté scientifique spatiale française, mais également l'industrie sont impliquées dans le développement des instruments embarqués et des technologies pour un large champ de recherches couvrant :

- La physique fondamentale,
- L'astrophysique,
- L'exploration des planètes et de leurs lunes, ainsi que des petits corps du système solaire,
- L'étude du Soleil, de l'héliosphère et des magnétosphères,
- Les sciences en micropesanteur (sciences de la matière et sciences de la vie),
- L'exobiologie, les exoplanètes,
- L'exploration et vol habité.

Pour cela, les axes privilégiés cette année adresseront :

- Système solaire : instrumentation miniaturisée et d'analyse in situ, en particulier en évaluant l'apport des techniques de spectro-polarimétrie visible et proche infrarouge,
- Astronomie et Exoplanètes : spectroscopie et polarimétrie à diverses longueurs d'onde, spectromètre à transformée de Fourier adapté à l'étude du fond diffus cosmologique, coronographie,
- Solaire Héliosphère Magnétosphères : Effort de miniaturisation pour l'accommodation d'instruments plasma et mesures de champs sur nanosatellites, incluant les systèmes de déploiement,
- Physique fondamentale : interféromètre atomique et les liens optiques en espace libre,
- Exobiologie : détection et analyse in situ de molécules organiques, protection planétaire,
- Sciences en micropesanteur : miniaturisation et modularité des expériences embarquées ainsi que le recyclage par oxydation supercritique ou l'étude de la combustion,
- Exploration et vol habité : support vie, gestion énergétique.

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 15/25
--	--	---

## **4.7. SYSTEME BORD-SOL (BS)**

### **4.7.1. GENERALITES**

Les activités R&T de l'Objectif Système Bord/Sol ont pour but de faire évoluer les fonctions du système bord/sol afin de répondre aux nouveaux besoins et de préparer les missions futures et de répondre exigences de compétitivité.

Elles visent à faire émerger les techniques et les technologies nécessaires et à développer les compétences métiers nationales.

Pour les technologies critiques elles recherchent également une indépendance européenne, tout en favorisant des solutions compétitives.

L'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.

### **4.7.2. COMMUNICATIONS BORD/SOL, SEGMENTS SOL DE CONTRÔLE ET OPERATIONS**

L'Axe Communications bord/sol, Segments sol de contrôle et Opérations a pour objet le développement de nouvelles technologies et de nouveaux concepts applicables aux communications bord/sol (interface bord/sol, équipements bord), aux segments sol et aux opérations.

Les évolutions portent sur un accroissement des performances et la réduction des coûts des équipements bord de communication. L'arrivée de SoC (System on Chip) très performants par exemple, permet une intégration plus poussée des fonctions de communication bord/sol et un accroissement inédit des capacités de traitements à bord. Les techniques SDR (Software Defined Radio) transforment aussi notablement le développement des équipements de communication.

Les évolutions portent également sur l'interopérabilité entre systèmes en accord avec les préconisations et travaux au sein des organismes de normalisation (ECSS, CCSDS), l'amélioration des services et de la QoS (Quality of Service).

On recherche de nouvelles approches en termes d'opérations et de commande/contrôle, pour optimiser la conduite des opérations et réduire les coûts. On peut noter la percée des méthodes issues de l'IA, notamment pour améliorer la surveillance des systèmes bord et sol (diagnostic et prévention) facilitant ainsi les opérations.

Les projets de grandes constellations de télécommunications ou d'observation qui voient le jour ou sont en développement représentent un réel défi en termes d'optimisation des opérations et de l'exploitation de la ressource spatiale, en requérant une plus grande autonomie bord et une automatisation sol. Le concept d'essai de satellites comporte ses propres atouts et problématiques.

L'approche nanosats quant à elle, pousse à développer des solutions adaptées en ce qui concerne le segment sol, les opérations et l'interface bord/sol associée.

### **4.7.3. INGENIERIE SYSTEME, SIMULATION SYSTEME ET LOGICIEL DE VOL**

L'Axe Ingénierie système, Simulation système et Logiciel de vol a pour objet :

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 16/25
--	--	---

- L'étude de nouvelles techniques et architectures système,
- Le développement des méthodes pour modéliser, simuler et valider les systèmes,
- L'étude de nouvelles approches en matière de développement et de validation de logiciel de vol.

Les évolutions portent sur l'optimisation de la ressource satellitaire par un accroissement de l'intelligence système spécialement dans le cadre des constellations.

Elles portent également sur de nouvelles solutions d'ingénierie de développement et de validation des logiciels de vol permettant de réduire la durée du cycle de développement/validation. L'arrivée des SoC (System on Chip) très performants et multi-cœurs entraînent des modifications importantes de la conception des logiciels de vol et nécessitent la mise en place d'un écosystème de développement.

Un autre volet vise à prendre en compte les nouveaux systèmes d'exploitation ou protocoles bord. La standardisation est un aspect important également, permettant in fine des gains de coûts.

Dans le domaine de la simulation, les nouveaux processeurs beaucoup plus rapides d'un côté et les constellations de l'autre posent la problématique des capacités de simulation.

Dans le contexte de la transition numérique enfin, on assiste à une utilisation croissante de modèles, en support aux différentes phases du cycle de développement des satellites (approche Model-Based Systems Engineering), simplifiant les échanges d'informations.

#### **4.7.4. NAVIGATION, GUIDAGE, PILOTAGE**

L'Axe Navigation, Guidage, Pilotage regroupe les activités concernant :

- Le développement des méthodes et algorithmes pour des missions exigeant un fort degré d'autonomie en termes de navigation, guidage et pilotage, aussi bien pour des satellites (rendez-vous en orbite, opérations de proximité) que pour des rovers (navigation autonome),
- La modélisation et l'optimisation de trajectoires,
- Le développement de nouvelles architectures et algorithmes SCAO.

La propulsion électrique amène à repenser les algorithmes, que ce soit dans le cadre de l'autonomie, de l'optimisation des trajectoires ou de l'architecture SCAO.

Les projets de constellations de satellites en propulsion électrique poussent à un plus haut degré encore la problématique de la gestion des risques de collision. Compte-tenu du nombre croissant de satellites et des débris leur catalogage devient une réelle priorité.

La préparation de projets futurs de missions interplanétaires telles que MMX (Martian Moons eXploration) et l'émergence d'un nouveau type de véhicule qui a pour objectif d'offrir des services aux satellites dans l'espace, génèrent également de nouveaux besoins en termes d'algorithmes de Navigation, Guidage et Pilotage.

A noter enfin un investissement du champ Navigation, Guidage et Pilotage par les techniques d'IA.

#### **4.7.5. SYNTHÈSE SYSTÈME BORD / SOL**

En synthèse, le plan R&T 2021 pour l'Objectif Système Bord/Sol met l'accent sur les points ci-dessous :

- ❖ Recherche de solutions technologiques en rupture amenant à l'augmentation des performances et à la réduction des coûts des équipements bord de communication, de la masse, de la



<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	<p>Réf : DIA/PF-2020.0030498  Date : 03/07/2020  Edition : 1  Page : 17/25</p>
--	--	--

consommation électrique et du volume. Prise en compte des nouveaux composants COTS et des plates-formes SDR (Software Defined Radio).

- ❖ Recherche de nouvelles approches en matière de communication bord/sol, d'architectures et de technologies associées (communication par transfert de fichiers ; problématique de fermeture de la boucle de vidage des données missions ; authentification des liaisons bord/sol et acquittement du bon traitement de la données transférée).
- ❖ Application des nouvelles technologies liées à l'internet dans la conception des réseaux de stations sol.
- ❖ Interopérabilité des systèmes en accord avec les préconisations et travaux au sein des organismes de normalisation (ECSS, CCSDS).
- ❖ Recherche de nouvelles approches en termes d'opérations et de commande/contrôle, pour optimiser la conduite des opérations et réduire les coûts.
- ❖ Concernant les constellations ou les essaims de satellites une approche adaptée doit être étudiée, en ce qui concerne le segment sol, les opérations et l'interface bord/sol associée. En particulier, une automatisation poussée et une maintenance simplifiée.
- ❖ Recherche de solutions d'observabilité des systèmes bord et sol, à des fins de diagnostic et de prévention (data mining, health monitoring...).
- ❖ Recherche de nouvelles techniques et architectures système pour optimiser la ressource satellitaire notamment par un accroissement de l'intelligence système (mise en réseau, mutualisation des ressources, etc.), en particulier pour les constellations ou essaims. Recherche de solutions optimales de programmation de mission (autonomie décisionnelle bord, etc.).
- ❖ Prise en compte des nouvelles solutions d'ingénierie de développement et de validation des logiciels de vol permettant de réduire la durée du cycle de développement/validation. Prise en compte des standards de développement.
- ❖ Prise en compte des nouveaux processeurs COTS performants et multi-cœurs permettant de découpler les capacités de traitement bord. Stratégies de traitement des fautes de ces processeurs partiellement spatialisés.
- ❖ Définition et validation système basée sur des modèles numériques.
- ❖ Ouverture des moyens de simulation aux standards non spatiaux (ex : Functional Mock-up Interface) et à la co-simulation. De plus l'émergence des Digital Twin peut constituer un axe privilégié d'étude.
- ❖ Recherche de solutions innovantes, pouvant être transverses, pour lever les verrous technologiques liés aux activités de servicing, d'un point de vue GNC.

#### **4.8. TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES GENERIQUES (TG)**

L'objectif « Techniques et Technologies génériques » regroupe toutes les actions qui concourent à atteindre des compétences métiers de développement, d'analyse et d'expertise ainsi que les actions transverses aux différents objectifs thématiques. Ces actions doivent permettre l'amélioration des performances des charges utiles, des plates-formes des véhicules spatiaux mais peuvent aussi concerner des points critiques du segment sol et des terminaux.

Les domaines techniques abordés sont les techniques radiofréquences, l'optique, les techniques véhicules, les matériaux, la contamination.

Les activités du PPRT 2021 seront en continuité avec celles initiées dans les différents métiers lors des plans précédents, les efforts seront poursuivis sur les technologies permettant de franchir certains verrous :

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 18/25
--	--	---

- Technologies de fabrications (Additive Layer Manufacturing, Additivation, Technologies d'assemblage optique, mécanique...).
- Nouveaux matériaux et procédés que ce soit pour offrir de nouvelles fonctionnalités, améliorer les propriétés, améliorer la durée de vie, réduire ou mesurer la contamination ou pour assurer une conformité aux nouvelles réglementations REACH, LOS... (thermoplastiques, nouveaux matériaux thermo-durcissables, revêtements thermiques, capteurs de contamination moléculaire ou particulaire...). Ce en particulier pour les équipements RF et Optiques intégrant notamment de la co-ingénierie et une approche multi-physique.
- Nouvelles architectures que ce soit dans le domaine mécanique/thermique (structures multifonctionnelles) ou dans le domaine électronique et/ou Radio Fréquence, en particulier grâce à l'utilisation de composants plus intégrés : GaN, SoC, ASIC mixtes, MEMS, ainsi que les FPGA européens très capacitifs (large et ultra) qui nécessiteront des actions d'accompagnement sur les méthodes et l'environnement de programmation VHDL, sur les nouvelles cartes électroniques supportant ces composants, sur le traitement des problèmes de connectique, de report et de dissipation associés.
- Usine du futur (nouvelles méthodes AIT/AIV) et fabrication en orbite.
- Equipements électroniques bas coût (utilisation de COTs...).

#### 4.9. TELECOMMUNICATIONS (TC)

Le domaine « Télécommunications » a pour objectif d'améliorer l'utilisation et le positionnement concurrentiel en Europe des Télécommunications spatiales. Il s'inscrit dans un contexte d'évolution des systèmes et charges utiles de télécommunications vers des architectures offrant de plus en plus de services et de flexibilité afin de répondre à des besoins en évolution constante. Le PPRT a donc pour objectif de développer des techniques, technologies et méthodologies innovantes de façon à accroître l'offre et la compétitivité des industriels sur les marchés actuels et futurs qu'ils soient commerciaux ou institutionnels tant au niveau du segment spatial (GEO ou constellation MEO/LEO) qu'au niveau des segments sol utilisateur et opérateur. De plus l'émergence d'une nouvelle génération de plateformes nécessitera de poursuivre les évolutions en cours sur les équipements de la charge utile. Les activités du PPRT 2021 se positionneront en complément des programmes CNES et activités ARTES de l'ESA. Cela se traduit par :

- La réduction de la masse, de l'encombrement, de la consommation et du coût des équipements de la charge utile.
- L'amélioration de la maturité des antennes à agilité de faisceaux et de leurs briques élémentaires.
- L'évaluation des technologies semi-conductrices à faible maturité et fort potentiel pour les fonctions/briques de base hyperfréquence.
- La réduction du coût du bit transmis, l'amélioration de l'efficacité des systèmes.
- Le développement efficace de l'interface numérique/analogique au cœur des charges utiles.
- Le développement des transmissions en espace libre sur porteuses optiques (autour de 1550 nm)
- L'amélioration des fonctionnalités et coûts des segments sol utilisateur (briques de base des terminaux) et opérateur pour améliorer les services offerts par les télécommunications par satellite, sur les couches hautes ou physiques.

On exploitera les synergies entre activités civiles et de défense.

Dans le domaine des services d'accès internet et de diffusion haut débit, l'utilisation de la bande Ka connaît maintenant une nette croissance. L'association avec les bandes Q/V, qui permet de soulager la bande utilisateur en bande Ka dans les systèmes commerciaux, est aussi maintenant d'actualité. De nouvelles réflexions sont donc à envisager visant le développement de technologies encore plus capacitantes, faisant appel par exemple, à des bandes de fréquence plus élevées allant jusqu'aux fréquences optiques.

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 19/25
---	---	---

Pour atteindre ces objectifs l'appel à idées R&T 2021 est organisé sur les trois thématiques ayant chacune leurs propres priorités :

1- Les télécommunications pour les services fixes :

- L'optimisation système et l'allocation dynamique de la capacité.
- L'accélération de la miniaturisation, de la réduction de masse et de coût des équipements des charges utiles complexes.
- L'utilisation des techniques et technologies optiques, numériques et l'amélioration de l'interface numérique/analogique dans les missions, favorisant la compétitivité et la flexibilité des satellites quelle que soit la bande envisagée.
- L'amélioration des composants des segments sol en termes de fonctionnalités / ergonomie, de performances et de coût.

2- Les télécommunications pour les services mobiles :

- Les nouveaux concepts d'architecture de charges utiles de Télécommunications pour les services mobiles.
- Les solutions pour le maintien de la liaison pour un terminal mobile dans un système.
- Les architectures et équipements des segments sol mobile, y compris les antennes utilisateur en bande Ka.

3- Combinaison des infrastructures terrestres et satellitaire et convergence :

- L'optimisation des convergences (plans de management, de contrôle et d'usager) des infrastructures de télécommunication pour faciliter l'intégration du segment sol satellite dans les réseaux terrestres de nouvelle génération (virtualisation, centralisation et programmation des réseaux, « Cloudification/Softwarization », « Integrated Fixed-Mobile », ...). Ceci afin d'assurer une cohérence « de bout en bout » facilitant la stratégie de gestion unifiée souhaitée par l'opérateur et apporter plus de flexibilité dans le « provisioning » des services de communications.
- L'adaptation et l'optimisation des protocoles de « transport », sécurisé et non sécurisé, pour en améliorer les performances bout en bout (latence, taux de perte, gigue, débit).
- Faire du terminal satellite un point d'accès simplifié, intégré, personnalisable et transparent pour l'utilisateur final.
- Les adaptations et optimisations des technologies des infrastructures du système satellite et des systèmes sol nécessaires à l'émergence de nouveaux usages, applications et services.
- L'amélioration de la qualité d'expérience (QoE) pour les utilisateurs, et de la qualité de service (QoS) pour les réseaux.
- Les nouvelles possibilités offertes sur la gestion des ressources de communications par satellite par l'internet quantique ou l'intelligence artificielle.

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 20/25
---	---	---

## 5. ANNEXE 1

### 5.1. ANNEXE 1.A : RUPTURE TECHNIQUE/INNOVATION

Afin de préparer les futurs programmes spatiaux, que ce soit dans le domaine du grand public, de Terre/Environnement/Climat, des sciences spatiales, le CNES souhaite mener un effort particulier sur des techniques en rupture par rapport à celles actuellement utilisées ou en cours de développement dans le spatial.

Cette rupture peut être :

- Soit une rupture technique, technologique ou système, propre au spatial (niveau de maturité technologique relativement faible, TRL « Technology Readiness Level » de 3 à 4 max atteint en fin d'activité),
- Soit une rupture applicative (**spin-in**), c'est-à-dire une technique utilisée dans d'autres domaines que le spatial et que l'on transposerait au spatial, pour un gain de performance, de fiabilité ou de réduction de coût.

Pour les propositions d'idées reconnues comme ruptures par le CNES l'activité R&T sera confiée, si l'idée est retenue dans le Plan de R&T, à l'organisme proposant l'idée (contrats en négociation directe sans consultation préalable).

Comme condition nécessaire, mais non suffisante, à cette reconnaissance, l'idée doit être totalement originale dans le sens où elle n'aura pas fait précédemment l'objet de financements institutionnels dans le domaine spatial en Europe, ni fait l'objet d'une quelconque publication. Au-delà de ce critère d'originalité, le caractère de rupture devra être entériné par l'entité technique du CNES dont elle relève<sup>2</sup>.

**Les proposant pourront indiquer dans le titre de l'action entre parenthèses leur proposition de classement en rupture : « titre (RUPTURE) ».**

Le processus de sélection de ces actions sera identique à celui des autres actions de R&T et prendra donc en compte leur intérêt vis-à-vis des objectifs techniques que nous avons fixés pour les Systèmes Orbitaux.

La diffusion d'informations plus détaillées que celles présentées dans une fiche de proposition d'idées, si nécessaire, pourra se faire avec signature, par les responsables techniques CNES, d'un « Accord de confidentialité ».

### 5.2. ANNEXE 1.B : PROCEDURE DE SOUMISSION DES ACTIONS A CARACTERE CONFIDENTIEL

Le site de soumission est normalement sécurisé, mais pour des fiches comportant des informations nécessitant une protection particulière, la procédure est :

- Entrer sur le site une fiche avec **un titre** volontairement peu explicite (ceci permet le référencement de l'idée) **mais se terminant par « (CONFIDENTIEL) ».**
- Remplir tous les champs obligatoires (contexte, étapes, clés...) avec la mention « dossier transmis par courrier ou en message crypté ».

---

<sup>2</sup> Le CNES ne décide pas unilatéralement de déclasser une idée proposée en rupture. En cas de désaccord du CNES vis-à-vis du caractère « rupture » mis en avant par le proposant, celui-ci est contacté afin de traiter le cas de figure et décider d'un commun accord de la suite à donner. Une confirmation écrite de la décision agréée vers le point de contact R&T de DIA/PF sera demandée au proposant.

<b>CNES</b> Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA) Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)	<b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 21/25
--	---	---

- Envoyer la fiche complète par courrier ou en **message crypté** (service FileSender de Renater par exemple) à [technologie@cnes.fr](mailto:technologie@cnes.fr) avec, pour les envois électroniques cryptés, copie à Sylvie Jeanront-Linckenhely ([sylvie.jeanront@cnes.fr](mailto:sylvie.jeanront@cnes.fr))

Adresse postale :

**CNES  
DIA/PF  
A l'attention de l'équipe R&T  
BPI 223  
18, Avenue Edouard Belin  
31401 TOULOUSE CEDEX 9**

Il convient de noter que le site externe fermant le 14 septembre au soir, **les fiches devront être créées en conformité avec cette date limite** et les **documents complets devront parvenir au CNES à cette même date.**

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 22/25
---	---	---

## 6. ANNEXE 2

**Informations qui vous seront demandées lors de la soumission de votre proposition d'idées R&T 2021 sur le serveur.**

### TITRE DE LA PROPOSITION :

Votre proposition répond-elle aux conditions ci-dessous :

- **Type d'activité n'ayant jamais fait l'objet de financements institutionnels dans le domaine spatial en Europe : oui/non.**
- **Activité susceptible de conduire à des dépôts de brevet : oui/non.**

### DESCRIPTIF DE L'ACTION :

L'objet de l'étude et les résultats attendus :

Le contexte (état de l'art, positionnement vis-à-vis R&T externe (ESA, UE, DGA, autres )) :

Les activités envisagées et les étapes clés :

Le titulaire proposé et les partenaires impliqués :

### NIVEAU DE TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL) SI IDENTIFIE ET APPLICABLE

TRL avant démarrage de l'action (1 à 9) :

TRL à la fin de l'action (1 à 9) :

### PLAN DE PAIEMENT POUR LA REALISATION DE L'ACTION EN K€

Il convient de rappeler que les propositions d'actions de R&T doivent généralement faire l'objet d'une **proposition de co-financement** de la part du proposant.

Le plan de paiement ci-dessous, dont la somme représente la demande budgétaire pour mener les activités envisagées, correspond à **la part de financement CNES demandée**. Le proposant précisera également le montant du co-financement proposé.

Montant 2021 – part CNES - **(en K€)** :

Montant 2022 – part CNES - **(en K€)** :

Montant 2023 – part CNES - **(en K€)** :

### Co-financement envisagé :

Il s'agit du taux de co-financement du **cout total** de l'activité, i.e. 50% veut dire que le cofinancement du titulaire représente 50% du coût complet, les 50% restants correspondant à la part de financement CNES.

Co-financement 2021 **(en %)** :

Co-financement 2022 **(en %)** :

Co-financement 2023 **(en %)** :

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 23/25
--	--	---

## **7. ANNEXE 3 : ECHELLE TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL – ISO 16290:2013)**

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 vol")

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

NA : Non Applicable

<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p align="center"><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 24/25
---	---	---

## 8. ANNEXE 4 : CONTACTS TECHNIQUES CNES (Mis à jour le 01/07/2020)

<b>Direction des Systèmes Orbitaux (DSO)</b>		
<b>Sous-Direction Assurance Qualité</b>		
Service Politique Composants et Qualification	DSO/AQ/CQ	François Vacher
Service Environnement et Composants nouveaux	DSO/AQ/EC	Pierre Mekki
Service Laboratoires et Expertises	DSO/AQ/LE	Olivier Puig
Service Technologies Matériaux et Procédés	DSO/AQ/MP	Christian Durin
Service Sûreté de Fonctionnement, sauvegarde et sécurité	DSO/AQ/SF	Anne Cadiou (provisoire)
<b>Sous-Direction Ballons</b>		
Service Technique Nacelles Ballons	DSO/BL/NB	Frédéric Mirc
Service Technique Véhicules Porteurs	DSO/BL/VP	Erwan Quevarec
<b>Sous-Direction Navigation Télécom</b>		
Service Missions et Services de Navigation	DSO/NT/SN	Nadia Karouche
Service Systèmes de Télécommunications, performances et préparation du futur	DSO/NT/ST	Valérie Foix
<b>Sous-Direction Radiofréquences</b>		
Service Antennes	DSO/RF/AN	Anthony Bellion
Service Hyperfréquences Numérique et Optique	DSO/RF/HNO	Geoffroy Soubercaze-Pun
Service Instrumentation radiofréquences, radio logicielle, TMTC et Propagation	DSO/RF/ITP	Gabriel Liabeuf
Service Signaux Temps / fréquence et Radionavigation / Radiolocalisation	DSO/RF/STR	Thierry Robert
<b>Sous-Direction Dynamique du Vol</b>		
Service Mécanique Spatiale Système	DSO/DV/MS	Géraldine Constant-Filaire
Service Programmation Mission et guidage en attitude	DSO/DV/MP	Nicolas Bataille
Service Orbitographie	DSO/DV/OR	Pascal Perrachon
Service Architecture SCAO	DSO/DV/AS	Jean-Louis Dulot
Service Géodésie Spatiale	DSO/DV/GS	Sean Bruinsma
Service Ingénierie du vol pour les missions Futures	DSO/DV/IF	Régis Bertrand
Service Ingénierie pour la Surveillance de l'espace et la LOS	DSO/DV/ISL	Juan Carlos Dolado Perez
<b>Sous-Direction Systèmes Instrumentaux</b>		
Service Analyse et Algorithmie	DSO/SI/2A	Vincent Martin
Equipe CESBIO/CNES	DSO/SI/CB	Olivier Hagolle
Service Chaîne Détection	DSO/SI/CD	Alain Bardoux
Service Instruments	DSO/SI/IN	Frédéric Bernard
Service Instrumentation radar et Performances	DSO/SI/IP	Alain Mallet
Equipe LEGOS/CNES	DSO/SI/LG	Benoît Meysignac
Service Physique de la Mesure Optique	DSO/SI/MO	Aimé Meygret
Service Optique	DSO/SI/OP	Jacques Berthon
Service Qualité Image	DSO/SI/QI	Nicolas Theret
Service Sondage Atmosphérique	DSO/SI/SA	Clémence Pierangelo
Service Algorithmie, Traitements et produits Radar	DSO/SI/TR	Céline Tison



<p align="center"><b>CNES</b>  Direction de l'Innovation, des Applications et de la Science (DIA)  Sous-Direction Préparation du Futur (DIA/PF)</p>	<p><b>APPEL A IDEES EXTERNE R&amp;T SYSTEMES ORBITAUX 2021</b></p>	Réf : DIA/PF-2020.0030498 Date : 03/07/2020 Edition : 1 Page : 25/25
---	--	---

<b>Direction des Systèmes Orbitaux (DSO)</b>		
<b>Sous-Direction Architecture, Validation et Intégration</b>		
Service Architecture Mécanique et Thermique	DSO/AVI/MT	Kilian Pfaab
Service Ingénierie Intégration	DSO/AVI/2I	Annie Bourdette
Service Réalisation Intégration	DSO/AVI/RI	Florent Canourgues
Service Architecture Avionique et électrique	DSO/AVI/AV	François Bonnet
Service Commande Contrôle	DSO/AVI/CC	Nathalie Corcoral
Service Validation et moyens Système	DSO/AVI/VS	Patrick Landrodie
<b>Sous-Direction Technique Bord</b>		
Service Alimentation bord et Equipements Electriques	DSO/TB/EL	Christian Elisabelar
Service Electronique numérique et Traitements bord	DSO/TB/ET	Roland Laulheret
Service Logiciels de Vol	DSO/TB/LV	Benoît Frezouls
Service Mécanismes et équipements SCAO	DSO/TB/MS	Frédéric Courtade
Service Propulsion, Pyrotechnie et aérothermodynamique	DSO/TB/PR	Thomas Lienart
Service Structure et Mécanique	DSO/TB/SM	Pierre-Yves Tourneau
Service Thermique	DSO/TB/TH	Stéphanie Remaury
<b>Direction du Numérique, de l'Exploitation et des Opérations (DNO)</b>		
<b>Sous-Direction Adjointe</b>		
Service Assurance Qualité	DNO/DA/AQ	Sylvain Teodomante
<b>Sous-Direction Observation de la Terre</b>		
Service Développement segment sol Imagerie et Sondage	DNO/OT/IS	Simon Baillarin
Service Laboratoire Observation de la Terre	DNO/OT/LOT	Jean-Marc Delvit
Service Développement segment sol Altimétrie et Radar	DNO/OT/AR	Frédéric Menot
<b>Sous-Direction Infrastructures Numériques, SI Scientifique et Applicatif</b>		
Service Ingénierie et exploitation des Réseaux, Infrastructures et Outils transverses	DNO/ISA/RIO	Laurent Tessariol
Service Ingénierie logicielle et valorisation des Données	DNO/ISA/CID	Eric Morand
<b>Sous-Direction Opérations</b>		
Correspondant R&T	DNO/OP	Hubert Fraysse
Service Développements des Segments Sol d'Opérations	DNO/OP/SSO	Christophe Hugonnet
<b>Sous-Direction Sciences et Exploration</b>		
Service Développement des Segments Sol Scientifiques	DNO/SC/3S	Véronique Valette
Service projet CADMOS National	DNO/SC/CDN	Rémi Canton

♦♦♦♦ FIN DU DOCUMENT ♦♦♦♦