

Groupe spécifique PRÉPARATION DU FUTUR

Céline Angélélis, Aurore Dupuis, Frédéric Estève, Corentin Laroche,
Véronique Pascal, Aurélie Strzepek

Introduction

Le périmètre considéré, **continuum** des activités de **préparation du futur** permet :

- d'englober à la fois les **développements technologiques** à différent niveaux de maturité, **les études systèmes**, ainsi que d'autres **objets plus hybrides**
- une **approche globale** qui reflète celle adoptée par le CNES depuis 2019 dans la conduite de la préparation du futur, c'est-à-dire la construction d'un ensemble couvrant la **diversité des besoins et des acteurs**

Cette **approche adaptative** permet par ailleurs :

- de proposer des **processus couvrants** pour capter et consolider l'**innovation** (rupture ou incrémentale) à travers les **différents niveaux de TRL**.
- une **adaptation rapide et "fast-track"** pour saisir des **opportunités technologiques** ou **conceptuelles** en réponse à un secteur spatial en **constante évolution**.

A futuristic space scene featuring a large, textured planet on the left, a full moon in the center, and a starry sky with a nebula on the right. A semi-transparent grey box contains the text "Dispositifs de préparation du Futur".

Dispositifs de préparation du Futur

Périmètre de la préparation du futur du CNES

Dispositifs génériques de la préparation du futur

- R&T
- Démonstrateurs transverses
- PeX (projet exploratoire)
- Avant-projets (phase 0)
- POC (preuve de concept)

Cet ensemble est conçu pour s'adapter à la diversité des besoins, et permettre de porter les sujets sur l'ensemble de leurs composantes.



Exemples d'articulations entre dispositifs

R&T – Recherche et Technologie

Accompagne les développements techniques et technologiques dans les bas TRL

- Appel à idées permanent de R&T : plusieurs points de sélection par an
- Challenge de R&T : stimulation de l'innovation et accès à de nouveaux acteurs, potentiellement hors du domaine spatial
- Appel à idées thématique

Budget total de R&T de 2019 à 2023 sur les thématiques d'Observation de la Terre et de Sciences de l'Univers :

19 M€ (respectivement 10M€ et 9M€)

Environ 4 M€ / an



Somme des contrats de R&T passés sur la période 2017-2023 par laboratoire

Démonstrateurs transverses

Elève le niveau de maturité technique à l'issue de la R&T pour favoriser l'emport sur un véhicule spatial

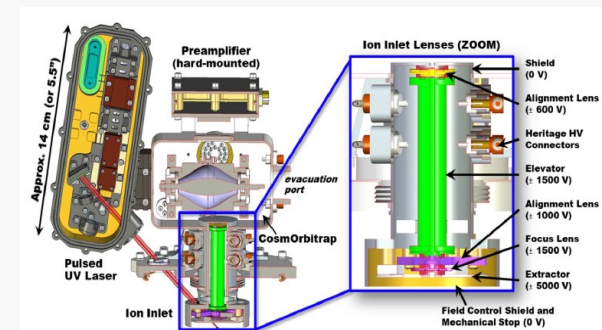
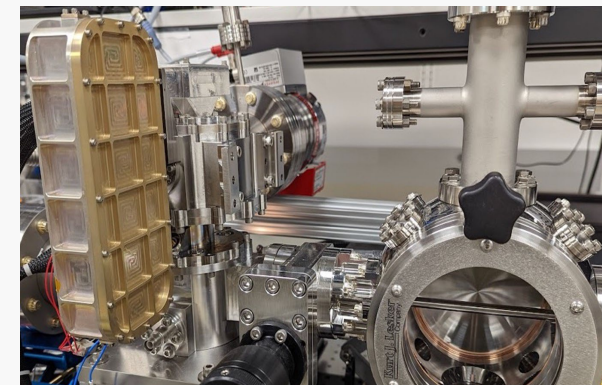
Répartition :

- Montée TRL équipement (70%)
- Consolidation de charge utile instrumentale (17%)
- Activité système (12%)
- Expérimentation en orbite
- Développement des usages du spatial

2 M€/an au global
 soit une moyenne de 340 k€/an
 pour la consolidation de CU instrumentales

Exemple de CU instrumentale : Cosmorbitrap

Le cœur analytique spectromètre de masse haute résolution (HRMS) CosmOrbitrap a été élevé jusqu'à un TRL6 dans le contexte du développement de deux instruments **CORALS** et **CRATER**



Configuration CORALS incluant le CosmoOrbitrap
(document NASA extrait FPP V7 CORALS)

Partenariat :
NASA/Godard

PeX – Projets Exploratoires

Dispositif introduit en 2020, qui permet de **valider des concepts**, de mener des démonstrations pour atteindre de nouvelles perspectives, de réaliser des prototypages...

8 PeX en cours - Environ 1,5 M€ / an



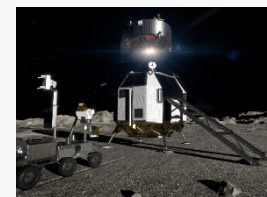
Lidar à μ -peignes
de fréquences



Système de pointage
ultra fin



Digital Twin Factory



Banc stéréo à très large
champ de vue pour
rovers d'exploration

PoC – Preuve de Concept

Dispositif revisité en 2021 pour le positionner sur l'appui à l'émergence de futures missions d'envergure.



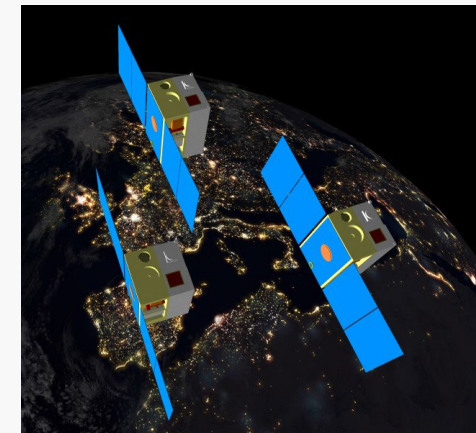
démontrer la faisabilité en vol de futurs concepts système, en amont d'un besoin mission

Toutes thématiques couvertes

Non destiné à la seule validation en vol d'un équipement ou d'une technologie (IOD/IOV)

PoC TRISKEL

Démonstrateur du concept de mesure en essaim, dans une approche multi-thématique, en intégrant des briques technologiques essentielles



Préparation aux futures missions basées sur le principe des Essaims

Autonomie bord

Techniques et technologies pour systèmes communicants

Segment sol adapté aux Essaims

Vol en formation avec contrôle autonome

Localisation relative (bord & restitution sol)

Liens inter-satellites

Protocole de Routage

Synchronisation

CCC adapté aux Essaims & nouveaux concepts opérationnels

Simulateur satellite adapté au contexte multi-satellites

Réseau stations sol mini-Mum

Phases 0 – Etudes Système

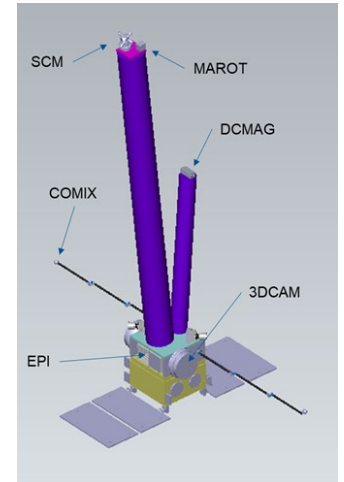
Explorer les besoins, identifier les scénarios mission, examiner les points de faisabilité et concevoir les futures missions spatiales.

20 études concernant les sciences de l'Univers et l'observation de la Terre ont été menées sur la période, également réparties entre les deux thèmes

Point notable, la moitié des études ont concerné des missions à base de nanosatellites, alors que ce sujet était marginal précédemment

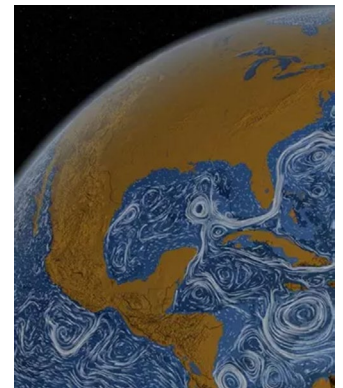
Speed

Démonstrateur d'un nanosatellite SHM pour des missions multi points, et recommandée lors du SPS2019



Odysea

Mesurer le courant de surface total sur l'océan global qui a été soumise à l'appel Earth System Explorer Opportunity de la Nasa en 2023 et acceptée pour une phase A





Bilan Synthétique

Technologies Instrumentales – Soutien technologique

- **Accompagnement des filières d'excellence :**

Senseurs quantiques, lidars, détections IR, cryogénie, altimétrie et sondage passif, dans l'objectif d'accroître le niveau de maturité, et de positionner certains sujets sur des avant-projets .

- **Maturation de technos innovantes :**

ex : Concept instrumental innovant et compact (Scale : short comb atmospheric lidar experiment) pouvant s'appuyer sur les technologies fibrées mises au point dans le domaine des télécommunications. La physique de la mesure est intrinsèquement mieux maîtrisée et plus robuste aux perturbations (instrumentales et environnementales) que les lidars classiques ; applications prometteuses pour mesurer les gaz à effet de serre.



PeX SCALE

- **Approche système :**

Capteurs plus petits, moins chers et moins performants unitairement, mais associés à des concepts de mesures multipoints, en lien avec l'essor du newspace et la miniaturisation des équipements.

Technologies Génériques

Côté Equipement

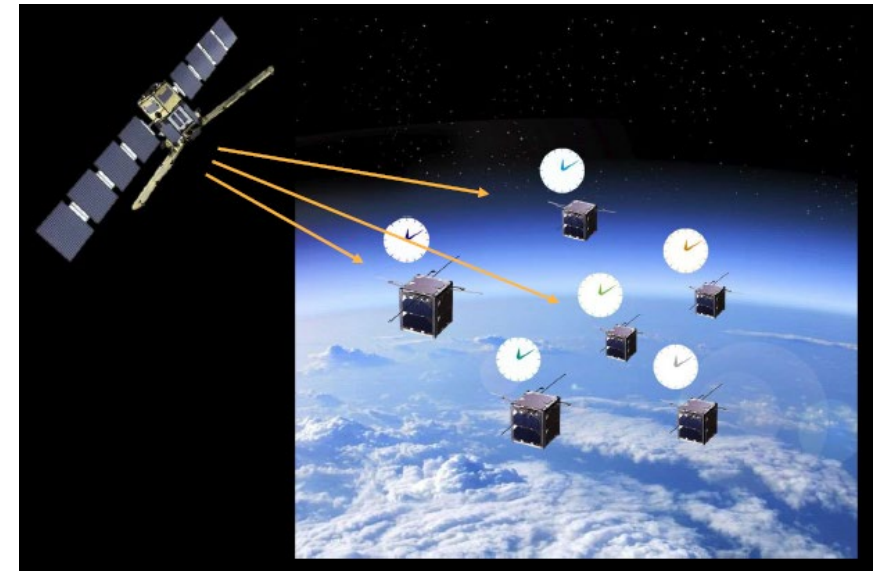
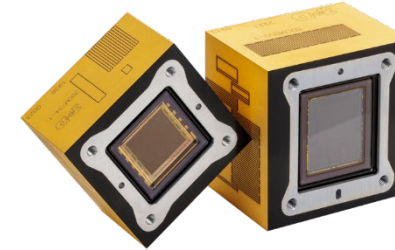
Poursuite du phénomène de **miniaturisation** avec une accélération sur les 10 dernières années, liée aux capacités et performances offertes par l'électronique et la numérisation qui l'ont accompagnée.

Côté Instrument

La miniaturisation mène à l'évaluation de l'apport d'une mesure de moins bonne qualité que celle obtenue avec un instrument de plus grande taille mais offrant des performances à l'état de l'art :

- problématique système pour déterminer la configuration optimale sur les aspects multi-points, multi-temporels et revisite
- plusieurs études menées ou en cours dans le programme R&T visant la levée de verrous techniques tant sur les instruments que sur les sous-systèmes plate-forme.

CASPEX 12Mpx Space Camera Head - 3D PLUS



Synchronisation dans un essaim de satellites

Technologies Génériques

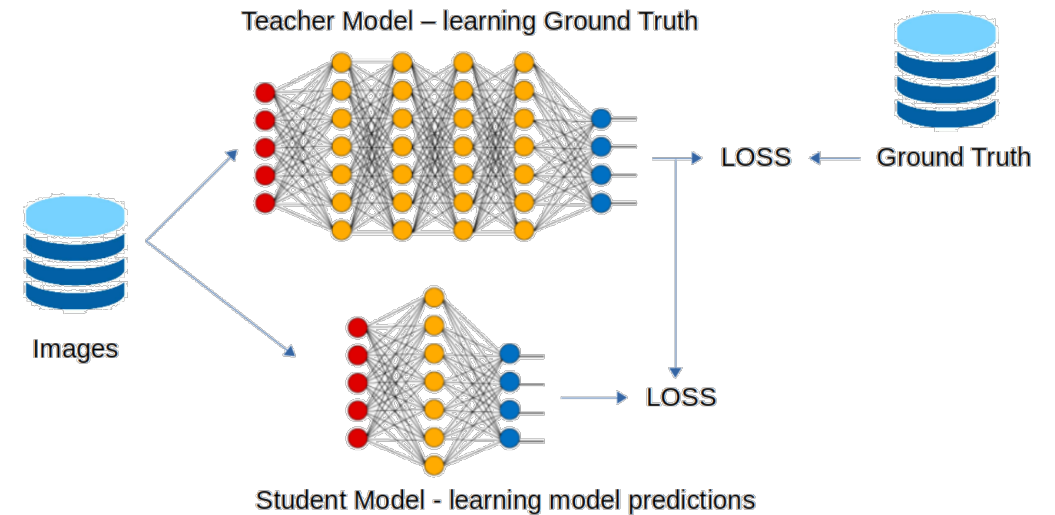
Les techniques d'IA bord, rendues accessibles par :

- les capacités d'hébergement de traitements à bord
- les capacités de compression de réseaux,

ouvrent les champs suivants :

- détection d'anomalie à bord
- optimisation du lien bord sol
- gain en réactivité
- gain en autonomie

Compression de réseau par distillation



Calculateur embarqué
(FPGA ou System-on-Chip
ou CPU embarqué ou ...)

Données

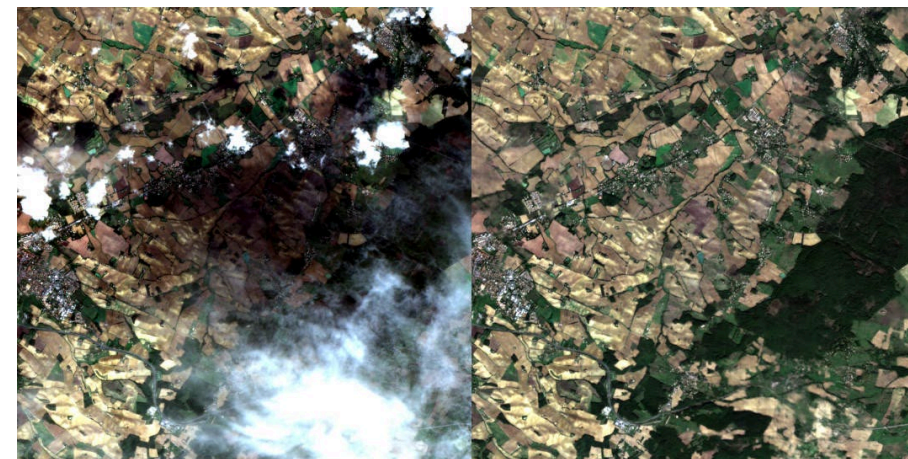
Les traitements algorithmiques sont au cœur de la maîtrise de la performance de la chaîne de mesure :

- amélioration des images
- amélioration des algorithmes d'inversion
- modélisation physique

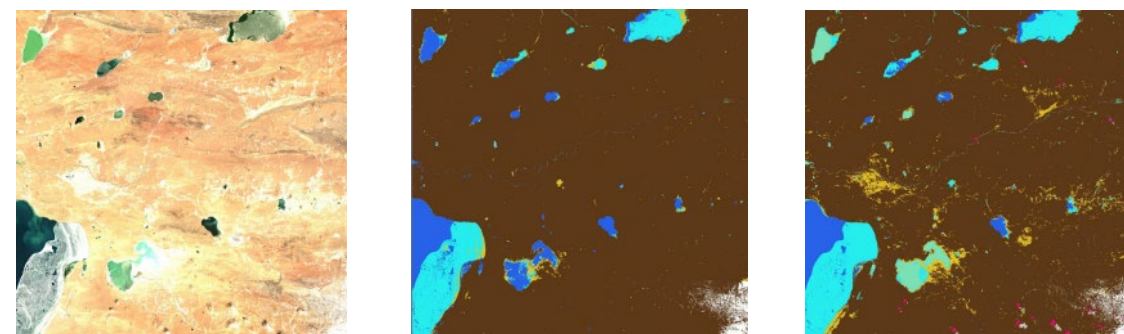
Soutien à l'élargissement de l'usage des données d'origine spatiale, notamment via le développement de nouveaux traitements :

- restitution 3D, MNT, MNS
- détection de changements ou d'anomalies
- hydrologie, océanographie, bathymétrie
- croisement de sources

Soutien aux traitements et à la valorisation des données SUE (ex. données manquantes)



R&T Decloud avec Rémi Cresson INRAE
https://gitlab.irstea.fr/umr-tetis/rt_decloud



TCI

Prédiction du meilleur réseau

Vérité terrain

R&T classification de surfaces hydrologiques
avec Agenium Space et le CESBIO



Vision Prospective

Vision Prospective – Instrumentation

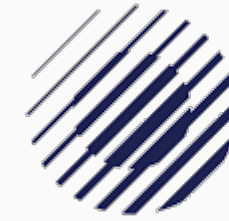
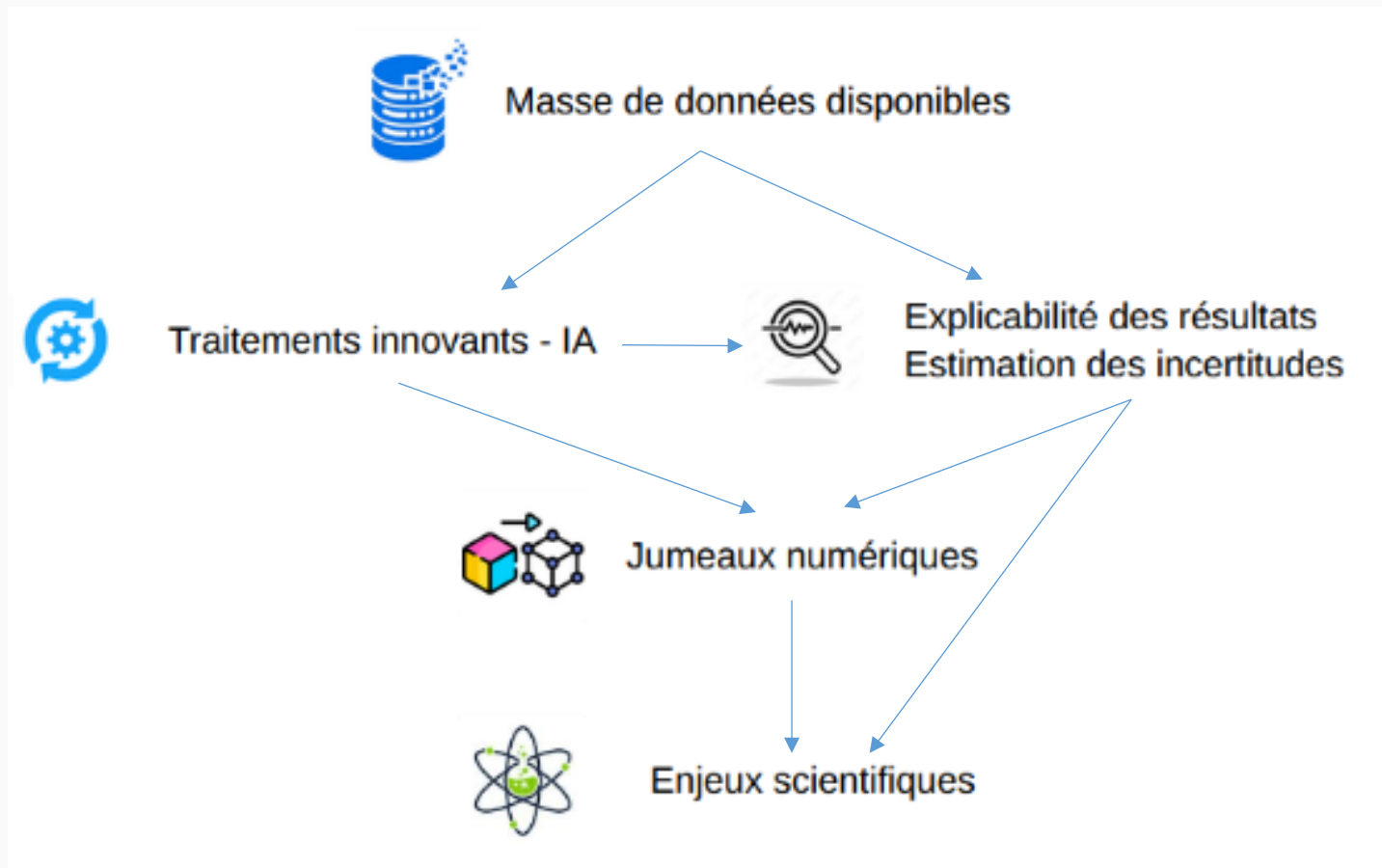
L'entretien de filières d'excellence

- l'amélioration continue
- le transfert vers l'industrie lorsque c'est possible
- l'entretien et le développement de la maîtrise de la physique de la mesure, brique fondamentale dans la maîtrise d'une performance « end-to-end », essentielle à la réussite des programmes scientifiques

Le développement de nouvelles capacités

- investir les nouvelles technologies ou les innovations dans la chaîne de la mesure : « game changers » ou concepts de mesure innovants
- accélérer l'usage des données spatiales, de rajouter des nouveaux observables ou de mixer différents observables
- adapter les efforts consentis au risque pris : c'est le rôle du continuum de la préparation du futur
- conserver une R&T couvrant un large domaine technologique pour ne pas se fermer de porte à priori

Vision Prospective – Traitement des données



DATA
TERRA



Urban heat islands, thermal IR

Enjeux Climatiques – Impact environnemental

Quelle qu'en soit notre perception, les enjeux climatiques vont à court terme se traduire par des contraintes fortes sur nos activités.

- améliorer notre connaissance de l'impact du secteur spatial sur l'environnement
- intégrer des contraintes fortes en termes de matériaux et d'énergie disponible dans la conception des systèmes spatiaux
- systématiser l'éco-conception et le « design-for-demise »
- limiter l'empreinte numérique liée à la masse de données stockées et aux traitements associés
- encourager la réutilisation à tous les niveaux

Vision Prospective

Développer les compétences instrumentales et technologiques françaises en préparation des futurs programmes

Valoriser les missions existantes en tirant le meilleur parti des données recueillies et en soutenant leur création de valeur au sens large

Prendre en compte les enjeux liés au développement durable et à la transition écologique



Axes de Travail et Recommandations

Maturation des concepts instrumentaux scientifiques

Problématique

Poursuivre les travaux à l'issue d'une phase 0 scientifique jugée pertinente, mais non éligible directement à une phase A « mission » à même de la financer, quelle qu'en soit la raison.

Parmi les causes

Instruments complexes dont la montée en maturité se fait sur un temps long, souvent développés par des laboratoires avec parfois des problématiques RH associées pour lesquelles il n'existe aujourd'hui que peu de soutien du CNES

Thématiques sur lesquelles le CNES est peu présent, sans réel relais (ou alors limité) coté services techniques de la DTN

Réponses possibles

S'appuyer sur la diversité des dispositifs pour apporter une réponse adaptée à chaque besoin :

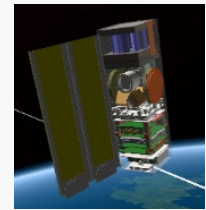
- Poursuivre la montée en maturité technologique en s'appuyant sur des R&T ou des démonstrateurs, à l'issue ou en parallèle de la phase 0
- Envisager l'ouverture des PeX aux concepts labos pour une maturation dépassant les seules briques technologiques
- Réfléchir à des « Phases A instrument » pour couvrir à la fois la composante système, et éventuellement la cohérence de plusieurs R&T et/ou Démonstrateurs

Quelques Exemples - Science de l'Univers et Exploration (SUE)

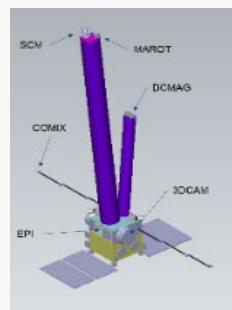
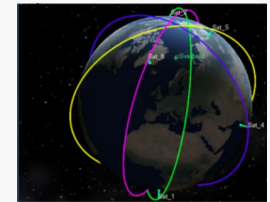
Phase 0 (thème SUE)



NanoMagSat (2016)
 => Plan maturation R&T
 Note : poursuite dans cadre ESA SCOUT



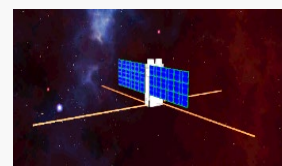
3UTRANSAT (2022)
 => Proposé ϕ A & PoC
 => Nouvelle R&T



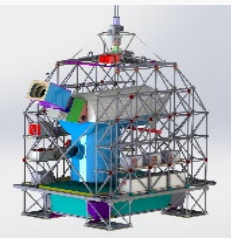
SPEED (2022)
 Objectif : suite instrumentale pour mission d'opportunité
 => R&T en cours de finalisation



CASSTOR (2023)
 => Proposé ϕ A
 => R&T en cours de finalisation



DROID (2022)
 => Pré-Phase A



BISOU (2023)
 => Phase A

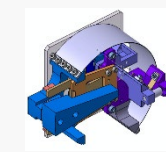


FRESH (2024)
 => Proposition EE12
 => Non retenu

Démonstrateurs transverses (thème SUE)



CosmOrbitrap
 Objectif : préparation pour propositions AO NASA



SISO (Sismomètre)
 Démonstrateur arrêté suite à désengagement iXBlue



SCALE (Peigne de fréquence)

PeX (hors SUE)

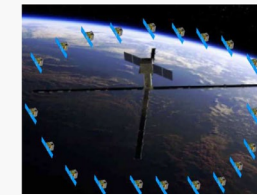
Phase A SUE « Instrument »

XGRE-NG / TARANIS2

Montée en maturité XGRE (TRL 5-6)
 Mission TARANIS2 non poursuivie

CRYO/PIXIE

Montée en maturité système cryo à dilution en boucle fermée (TRL 6)
 Mission PIXIE non sélectionnée par NASA



SMOS Next
 Essaim de nanosatellites.
 Porteur de type SMOS-HR

Maturation Technologique – Hauts TRL

Démonstrateurs transverses

Accompagnent les développements prometteurs du TRL 5 au TRL 7, couvrent :

- le soutien aux instruments scientifiques,
- le soutien aux équipements industriels
- les développements en lien avec les données spatiales.

Depuis 2019, accent mis sur le soutien à la compétitivité du secteur industriel, phénomène accentué par un dispositif BPI PIA, puis par les AAP F2030

Ce segment de la préparation du futur pourrait jouer un rôle plus important dans l'accompagnement de la maturation technologique des instruments scientifiques.

Maturation Technologique – Hauts TRL

Service d'IOD/IOV

Expérimentations en vol pour des charges scientifiques issues de laboratoires.

Début d'un service en 2024 dans le cadre de France 2030.

Vif succès auprès des industriels, mais manque de propositions des laboratoires.

Nécessité de réfléchir à une intégration plus forte des concepts instrumentaux scientifiques.

Développement de l'écosystème spatial

Intégration des Nouveaux Acteurs dans les Programmes Scientifiques

État actuel :

- Faible intégration des nouveaux venus dans les projets scientifiques (moins de 2% contre un objectif de 10% dans France 2030)
- Les sciences de l'univers attirent peu d'acteurs privés en raison de l'absence de marché direct

Opportunités :

- Utilisation des solutions newspace pour des missions scientifiques (démonstration ou missions multipoints)
- Observation de la Terre : nouveaux acteurs privés, producteurs de données/services, nécessitant une évaluation de la qualité des mesures

Axes de réflexion :

- Aide active pour créer des synergies entre la science et le newspace

Merci pour votre attention.