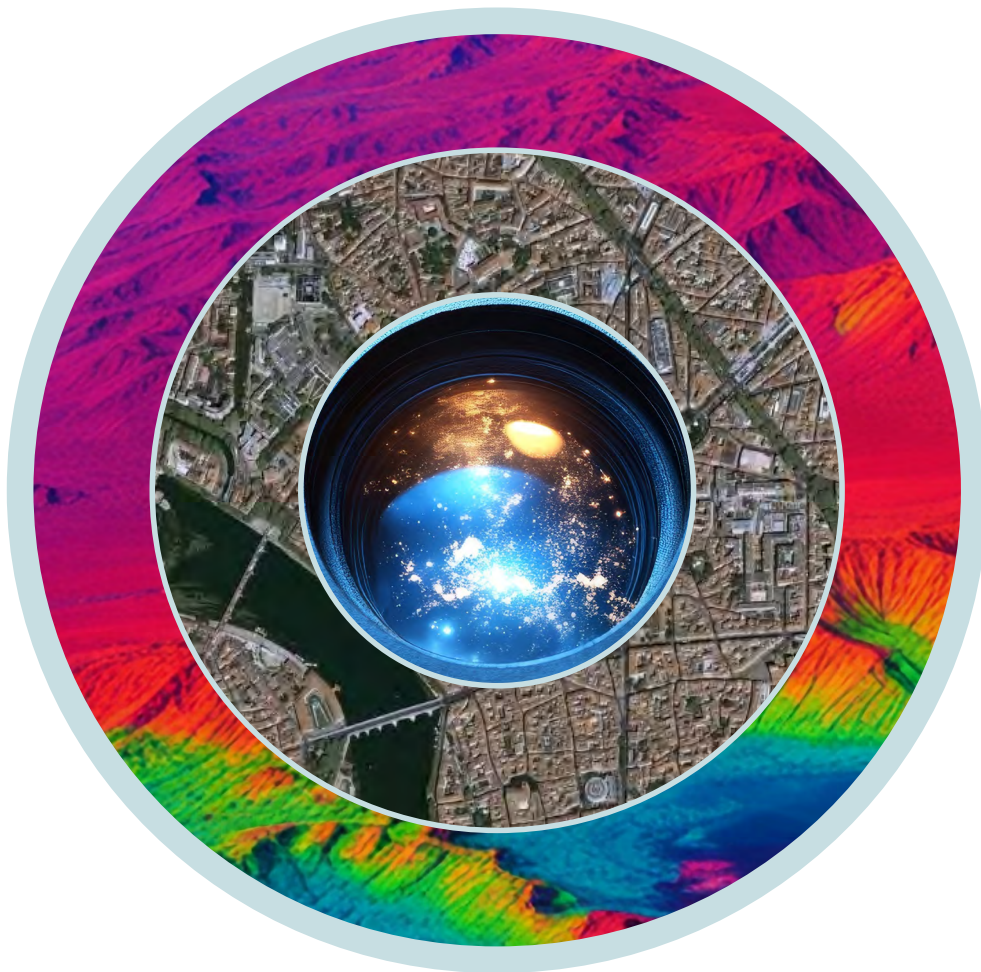


FEUILLES DE ROUTE TECHNIQUES DU CNES

SYSTÈMES INSTRUMENTAUX IMAGERIE OPTIQUE

NOUVELLES OBSERVATIONS DE LA TERRE



NOVEMBRE **'24**

Le contexte

Le domaine de l'imagerie optique est une filière d'excellence française particulièrement représentative de l'implication du CNES dans le développement des systèmes spatiaux de bout en bout.

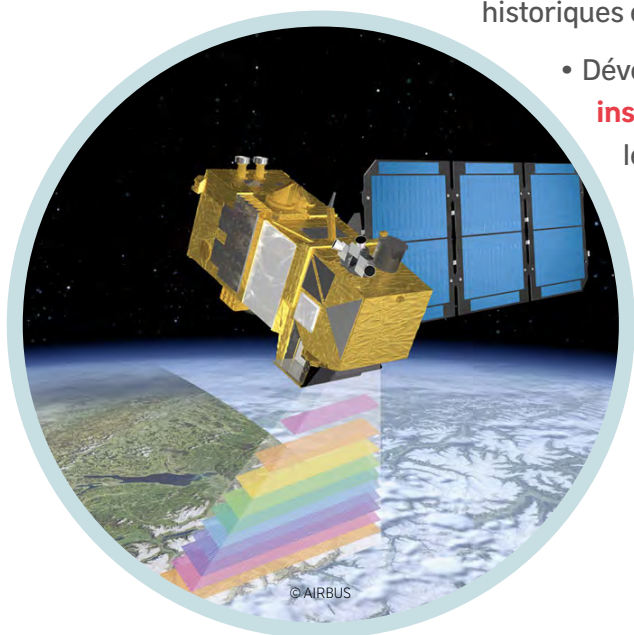
Depuis la maîtrise d'œuvre des systèmes SPOT et Pléiades jusqu'à l'achat de service CO3D et le soutien à PleiadesNeo, en passant par la filière défense Hélios/CSO, les modes d'intervention et le positionnement du CNES et de ses partenaires ont évolué et se sont adaptés à l'évolution de l'écosystème mondial.

Deux facteurs principaux restent porteurs de ces évolutions :

- L'arrivée à maturité et le positionnement à l'état de l'art mondial des acteurs majeurs du spatial Français dans le domaine de l'imagerie optique,
- La montée en puissance d'acteurs plus récents issus du monde du NewSpace qui, en s'appuyant sur les AAPs et AOs du plan France 2030, développent des systèmes d'imagerie aux performances adaptées à un marché en forte croissance.

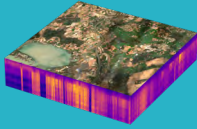

Les objectifs poursuivis dans ce domaine restent intacts :

- **Rester force de proposition** dans toute la chaîne instrumentale optique, tout en apportant **expertise et accompagnement aux partenaires** et donneurs d'ordre étatique, comme aux acteurs historiques et plus récents ayant des projets crédibles,
 - Développer l'expertise dans le domaine des **systèmes instrumentaux optiques de nouvelle génération** pour atteindre les performances des besoins futurs en résolution spatiale, spectrale, radiométrique et de revisite dans les différents domaines spectraux d'observation,
 - Ouvrir la voie à la consolidation et à l'élargissement du périmètre de **compétences de l'écosystème Français** en s'appuyant sur les activités pilotées en amont par le CNES pour mieux le préparer aux marchés futurs,
 - Consolider la position de référence mondiale sur les activités d'**étalonnage en vol** (radiométrique et géométrique) et de **traitement image** et accompagner efficacement la montée en compétence des acteurs externes en ouvrant les outils développés et validés dans ce périmètre de compétence,
- Améliorer la traçabilité de toute la chaîne de performance et son **rattachement au standard international métrologique**.



En un coup d'œil

Accompagner les missions optiques sur les 3 piliers d'intervention du CNES :
Support aux projets, préparation du futur, support à l'écosystème Français.

Imagerie haute et très haute résolution	Imagerie moyenne résolution et radiomètres (y compris les polarimètres)	Imagerie hyperspectrale	Imagerie infra rouge (IR)
			

APPORT

Observer la terre avec le maximum de détails dans le domaine visible	Garantir la meilleure performance possible de la donnée image	Surveiller l'environnement, la végétation, la qualité de l'eau et apporter une identification précise des matières au sol pour des besoins duaux	Apporter des réponses concrètes à l'analyse des changements climatiques en étudiant l'évolution des températures à l'échelle des océans, des continents ou des îlots urbains, avec un accent particulier mis sur la mesure de l'évapotranspiration.
--	---	--	---

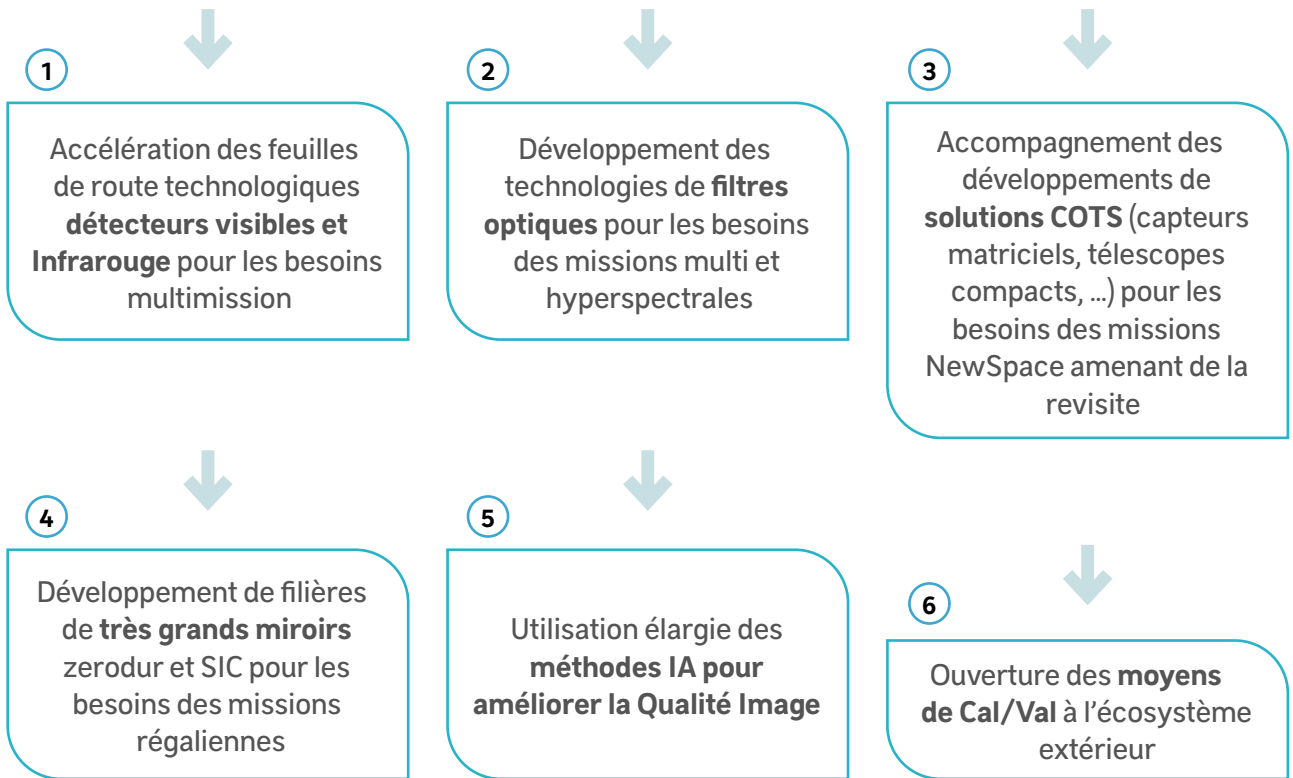
OBJECTIFS TECHNIQUES

<p>Maîtriser, supporter les technologies et en garantir les performances pour les besoins des programmes défense CSO et IRIS</p> <p>Innover avec l'imagerie très haute résolution « low cost » en VLEO</p> <p>Accompagner les acteurs du marché New Space pour des applications Haute Résolution à forte revisite HR2</p> <p>Développer la compétence de l'écosystème Français sur les missions 3D</p>	<p>Assurer un support aux programmes CNES, ESA, Eumetsat et issus de partenaires privés.</p> <p>Rester la référence européenne dans le domaine de la calibration vol radiométrique et géométrique.</p>	<p>Participer à la Cal/Val de missions d'envergures dans le cadre de collaborations Européennes (Enmap et Prisma)</p>	<p>Supporter les développements du programme infrarouge défense IRIS</p> <p>Accompagner la collaboration Franco-Indienne du Projet TRISHNA</p>
--	--	---	--

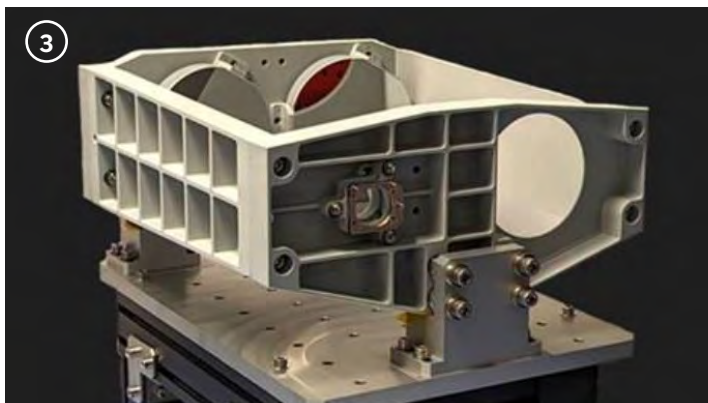
MISSIONS À L'ÉTUDE OU EN DÉVELOPPEMENT

<p>CO3D : Constellation de satellite haute résolution centrés sur la réalisation de Modèles Numériques de Surface 3D sur la Terre entière</p> <p>C3ie! : Satellites pour la reconstruction 3D des formes de nuages convectifs</p>	<p>Support entre autres aux programmes Sentinel 2, Sentinel 3 couleur de l'eau et 3MI</p>	<p>Préparer et mettre en place les travaux préparatoires d'une mission haute performance et soutenir les initiatives privées</p>	<p>IRIS : future génération de satellites de reconnaissance</p> <p>TRISHNA : satellite pour le suivi de l'état hydrique et du stress des écosystèmes continentaux</p> <p>Préparer le futur d'un système de surveillance des îlots de chaleur urbains avec une Phase 0</p>
---	--	--	--

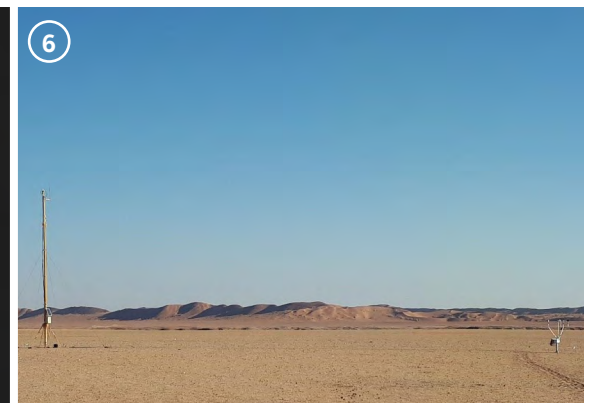
Les axes techniques



Télescope compact
© Bertin Winlight



Gobabeb
© CNES



Grand miroir
© ADS



Grand miroir
© TAS-F



Les enjeux

Accompagner le développement des systèmes instrumentaux de l'imagerie optique d'aujourd'hui et de demain au profit de l'écosystème Français du domaine

Imagerie haute et très haute résolution :

- Accompagner les acteurs industriels majeurs dans l'amélioration de leur compétitivité sur les marchés mondiaux
- Maîtriser la technologie à l'état de l'art,
- Améliorer la performance radiométrique et géométrique de bout en bout (de la conception à la calibration et au suivi des performances en vol, en passant par la calibration sol)
- Proposer des technologies et/ou des concepts systèmes innovants et risqués sur lesquels les industriels ne peuvent pas s'aventurer.



Toulouse vu par Pleiades
© CNES

Imagerie moyenne résolution et radiomètres (y compris les polarimètres)

- Accompagner les acteurs du New Space crédibles dans leur montée en compétence
- Maintenir une compétence élargie du CNES dans le domaine de la Cal/Val appuyée sur l'ensemble des outils d'étalonnage, de type SADE/MUSCLE
- S'appuyer sur les sites instrumentés du réseau RADCALNET, incluant les deux sites instrumentés gérés par le CNES (en France et en Namibie).
- Ouvrir les outils d'étalonnage à l'écosystème Français

SADE/MUSCLE un outil décisif dans les activités d'étalonnage utilisant des cibles naturelles et des sites instrumentés

- Atelier de traitement
- Base intégrant plusieurs dizaines de millions de données



SADE/MUSCLE system

ASTERIX

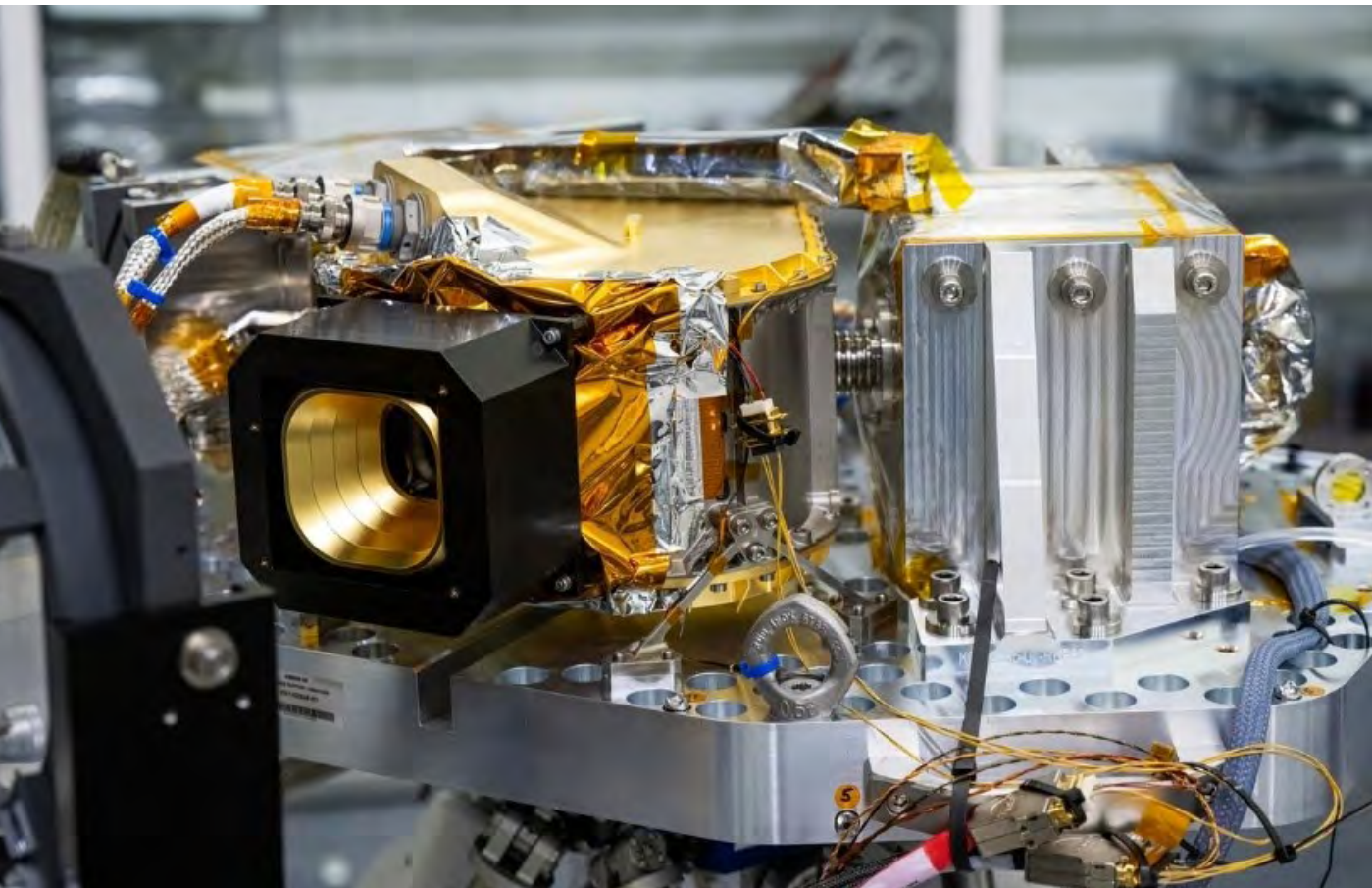
ROSAS

Imagerie hyperspectrale

- Anticiper le développement des technologies nécessaires à une mission haute performance (essentiellement détecteurs et filtres)
- Proposer une architecture répondant à ce profil de mission
- Développer la compétence CAL/VAL du domaine en collaboration avec nos partenaires
- Faire progresser la maîtrise de la performance du système instrumental bout en bout associant les compétences des instrumentistes et des responsables des traitements
- Accompagner les développements du marché New Space

Imagerie infra rouge (IR)

- Améliorer la performance des imageurs IR (détection, filtres spectraux, produit image de qualité) et la Cal/Val associée
- Optimiser la performance bout en bout et développer les activités de préparation du futur dans les domaines technologiques, algorithmiques, physique de la mesure

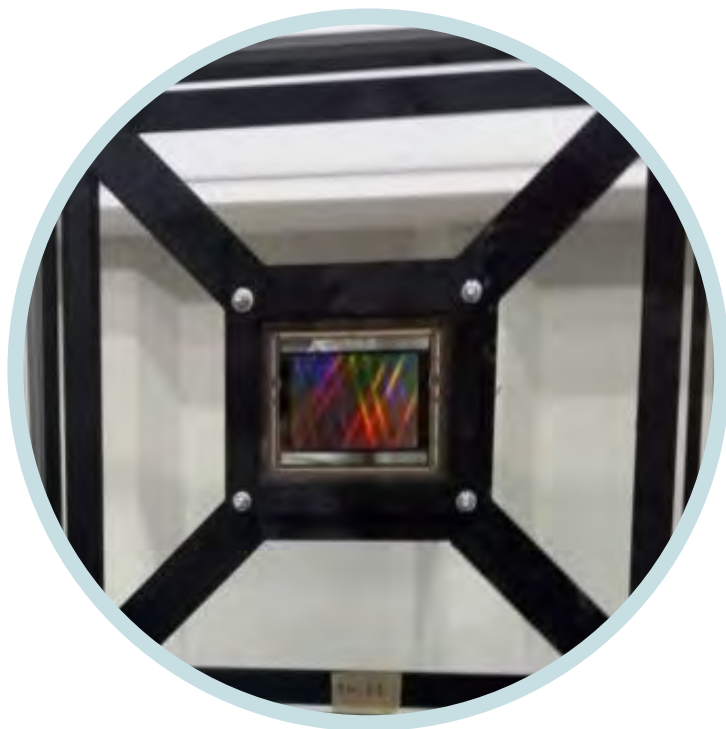


Les axes techniques

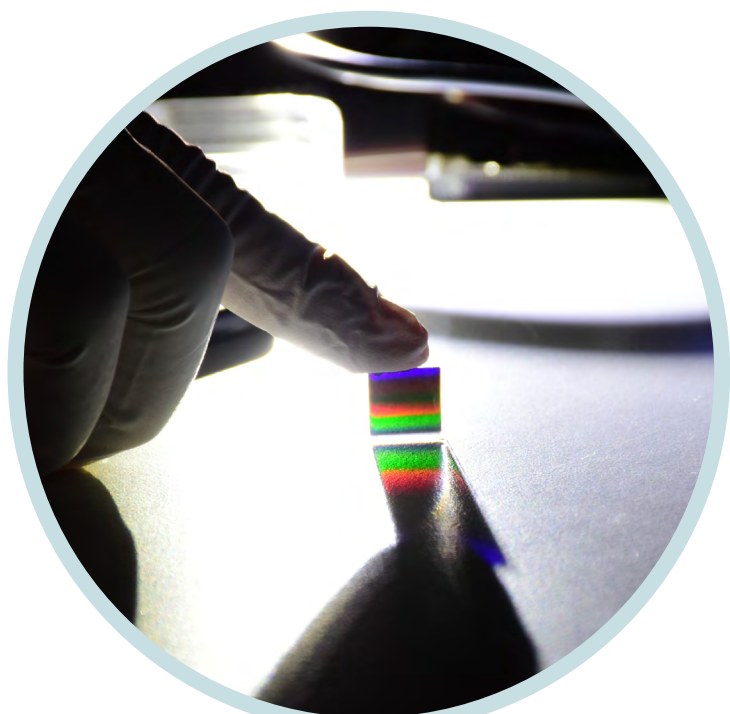
Un panel d'innovations en développement pour la préparation du futur

• Les développements technologiques dans le domaine des détecteurs

- Rupture technique utilisant la technologie CMOS pour le visible et développement de composants à sorties numériques pour les besoins infrarouges,
- Étude de capteurs matriciels CMOS sur étagère
- Évaluation de nouvelles technologies de détecteur « quanta image sensor » pouvant détecter un seul photon grâce à son niveau de bruit sub-electron.



Capteur matriciel
© Sony



Filtre linéairement variable
© Institut Fresnel

• Les développements technologiques et besoins de métrologie fine du domaine optique

- Très grands miroirs spatiaux pour l'imagerie EHR
- Amélioration des filières Zérodur et SiC,
- Télescopes plus compacts, à base de miroirs freeforms
- Développement de nouvelles technologies de filtrage et de moyens métrologiques pour leur caractérisation (missions hyperspectrales et Infra Rouge Thermique).

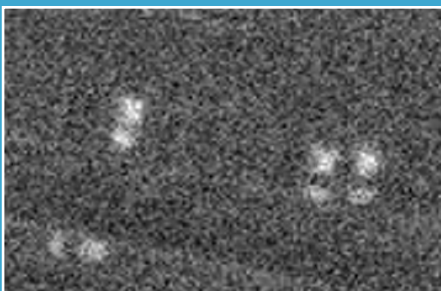
• Les Techniques d'optimisation

- Techniques d'IA pour l'amélioration de la Qualité Image (débruitage, correction de biais, 3D, ...),
- Optimisation système de chaîne image bord/sol pour l'imagerie HR (compression, sommation et recalage bord, restauration, ...)
- Optimisation système de chaîne image bord/sol pour l'imagerie hyperspectrale (correction réjections hors bande des filtres, recalage géométrique des bandes ...)
- Nouvelles techniques pour la restitution 3D (appui projets C3iel et CO3D)
- Optique active pour l'imagerie EHR

• Le domaine de l'étalonnage

- Nouvelles méthodes d'étalonnage vol pour l'hyperspectral et IRT
- Activités préparatoires de calibration fine en termes géométrique et radiométrique pour l'hyperspectral et l'IRT
- Fabrication puis installation et utilisation d'un radiomètre sol dans le domaine de l'infrarouge pour compléter les moyens de calibration sol (pour hyperspectral et IRT)

1 - FRAME INDIVIDUELLE



2 - RECALAGE/SOMMATION



Qualité image / © CNES

3 - DÉBRUITAGE NL-BAYES



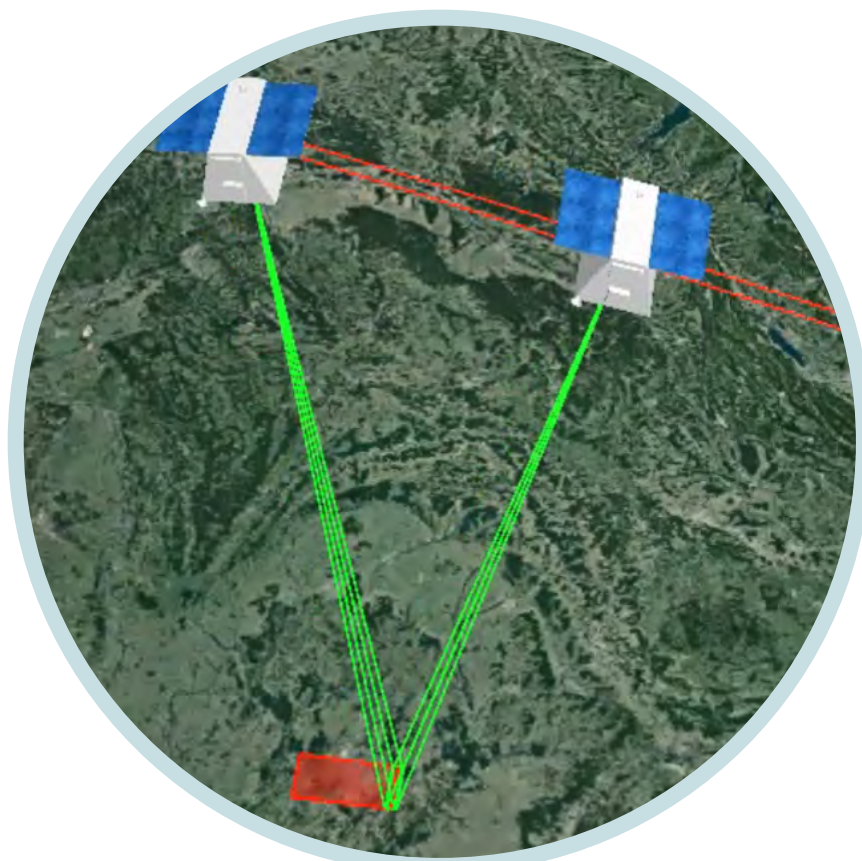
4- DÉCONVOLUTION



Études en cours

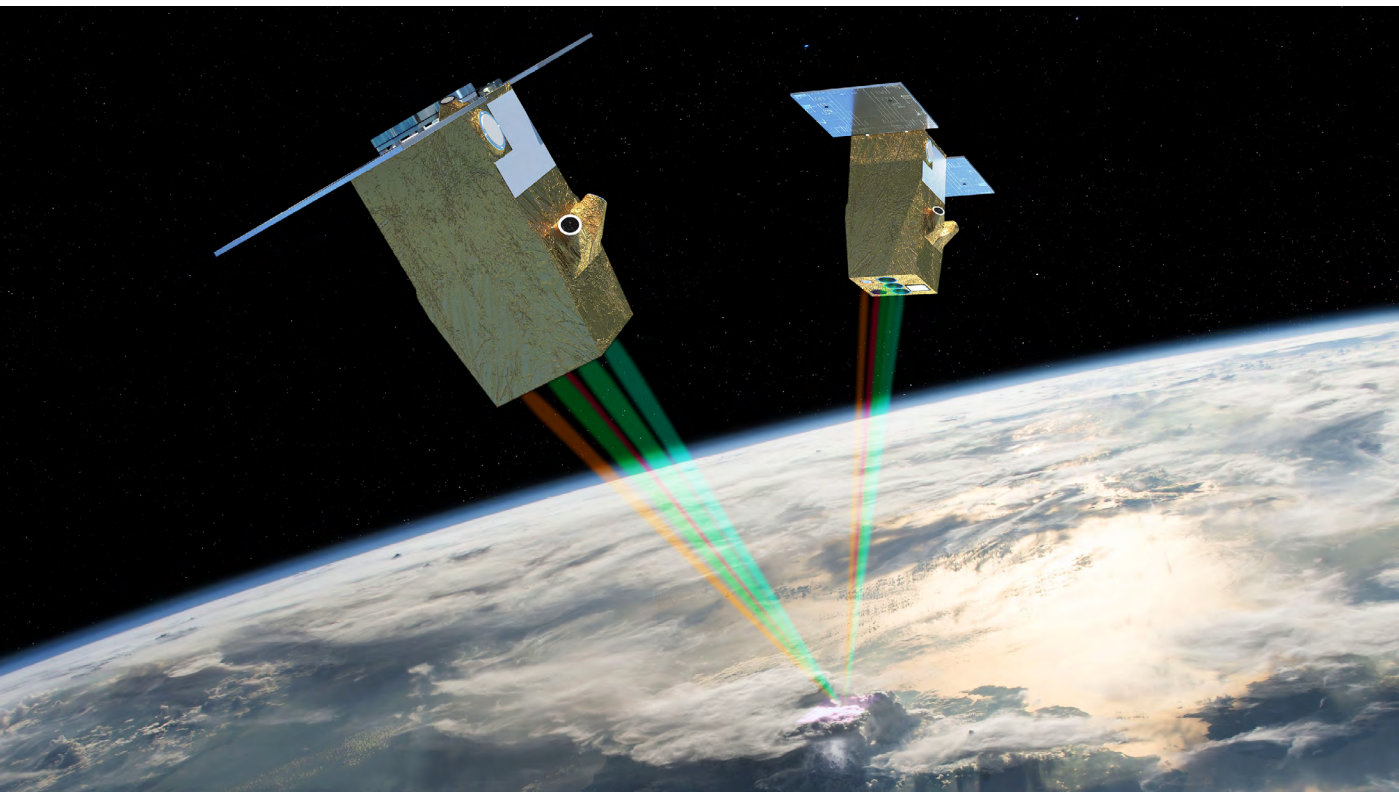
Les études actuelles se concentrent sur :

- L'accompagnement des projets en cours de développement CNES (IRIS, TRISHNA, CO3D ...) et de ses partenaires ESA, Eumetsat et privés (Sentinelle 2 et 3, 3MI, Pléiades Néo ...)
- L'étude système et technologique d'un système EHR « low cost » dans le cadre d'une phase 0
- La réflexion et la mise en place de travaux préparatoires visant le développement d'un système hyperspectral hautes performances post 2030. Ces travaux s'appuient sur une logique de déploiement d'une Feuille de route Court, Moyen et Long termes impliquant une large partie de l'écosystème spatial du domaine et incluant les aspects technologiques, traitement et optimisation de la performance du système instrumental de bout en bout



CO3D
© CNES

Vue d'artiste des satellites C3iel
© CNES

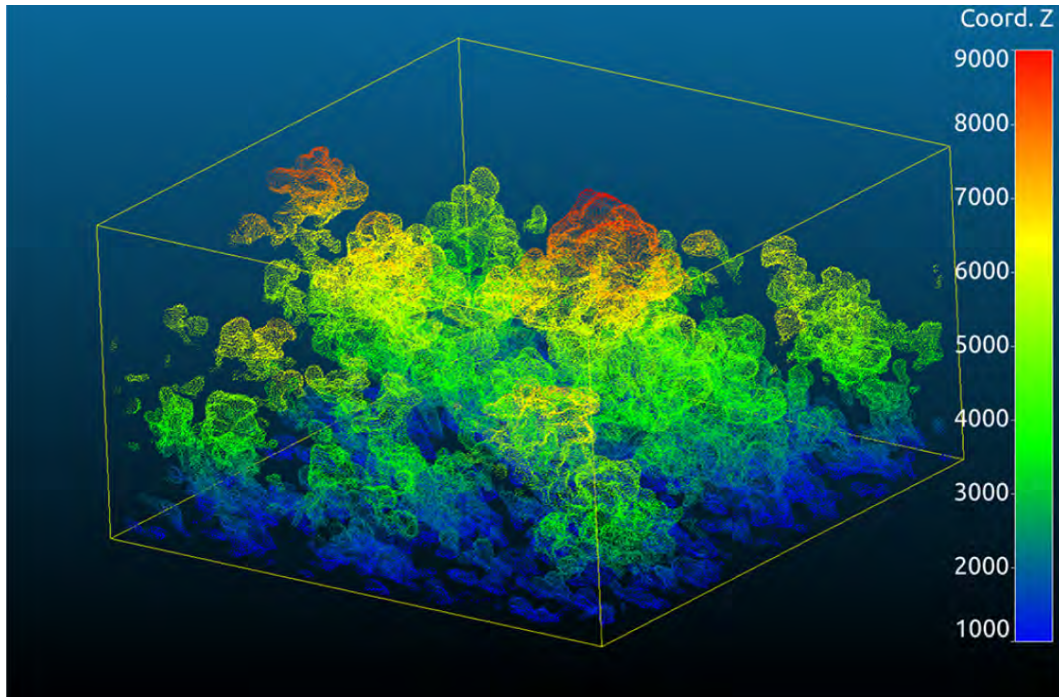


- Les études de Qualité Image et physique de la mesure qu'impliquent l'utilisation de matrices CCD commerciales
- Le support aux activités du domaine d'imagerie 3D qui bénéficient directement aux projets :
 - C3iel avec la nécessité de calculer une image 3D sur les nuages donc sans référence sol,
 - CO3D pour la production automatique d'un modèle de surface 3D de la surface du globe
- L'extension des moyens du site de calibration sol de La Crau dans le domaine de l'IRT
- La mise à niveau de l'outil de calibration radiométrique SADE/MUSCLE



La Crau - Station d'étalonnage
© CNES

Prochaines étapes



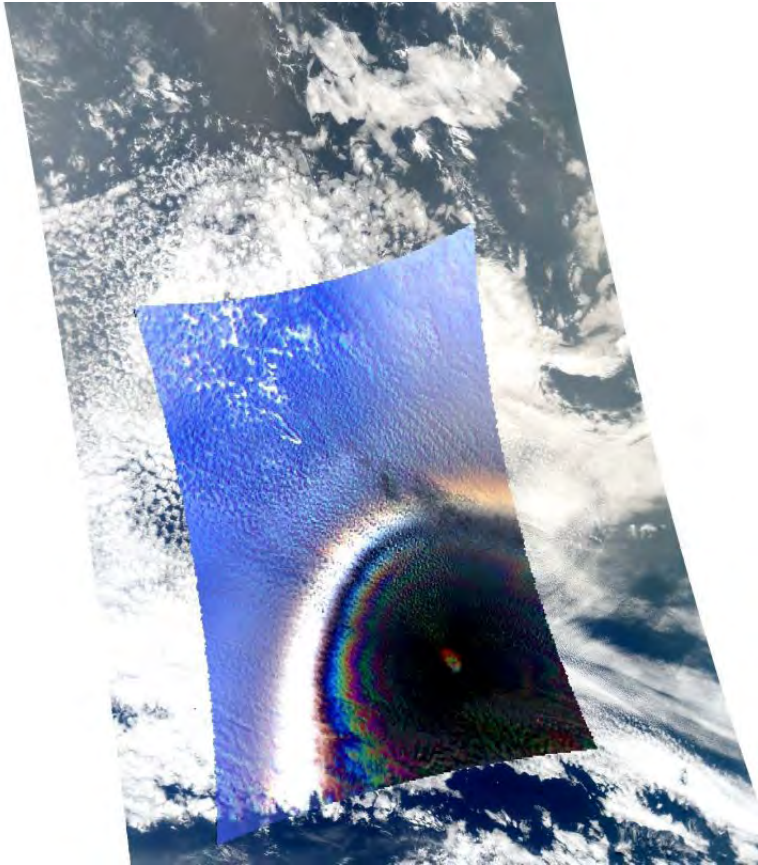
C3iel2 - Analyse de la présence nuageuse en fonction de l'altitude pour la mission C3iel
© CNES

> Pour l'imagerie haute résolution et la 3D

- Finaliser l'étude système de phase 0 EHR et mettre en place la feuille de route visant la réalisation d'une constellation d'imagerie EHR en s'appuyant sur un partenariat public/privé,
- Poursuivre les études technologiques et la maîtrise d'œuvre sur les systèmes défense très hautes performances en soutien au MinArm,
- Maintenir l'effort sur la montée en compétence dans le périmètre de l'imagerie 3D, spécifiquement dans le cadre C3iel et CO3D

> Pour la radiométrie et la polarimétrie

- Finaliser la mise en place d'une base de données et d'outils SADE/MUSCLE accessibles directement par nos partenaires, et continuer à faire progresser les méthodes d'étalonnage radiométrique vol à la pointe de la connaissance,
- Poursuivre l'effort d'expertise en polarimétrie avec le support à 3MI (avec Eumetsat) et aux missions NewSpace d'intérêt,
- Explorer l'apport de la polarimétrie sur une mission Haute Résolution spatiale
- Maintenir le rôle central national et international du CNES avec les proposant en consolidant des coopérations avec l'ESA, Eumetsat et des partenaires privées
- Développer et exploiter l'instrumentations du site de la Crau pour les besoins radiométriques et polarimétriques étendus.



Polder - Lumière totale et polarisée
© LOA/CNES

> Pour le domaine Hyperspectral :

- Développer une feuille de route Court, Moyen et Long terme permettant d'aboutir à un système instrumental complet (instrument, traitement, cal/val, performance système, ...) de très haute performance à l'horizon post 2030,
- Rester acteur et force de proposition dans le périmètre de la Cal/Val dans le cadre de collaborations Européennes et internationales (Future mission Sentinel ESA CHIME, missions NASA, ...)

> Pour le domaine IRT :

- Assurer la maîtrise d'œuvre sur les missions haute performance défense,
- Consolidation des collaborations avec l'ESA et le JPL pour l'harmonisation des produits des missions TRISHNA, LSTM (Sentinel) et SBG (NASA) (Cal/Val et comparaisons d'algorithmes de traitement de niveau 1 et 2),
- Pilotage d'un groupe de travail CEOS sur la mise en place d'un réseau mondial de sites instrumentés dans l'IRT,

Initiative ayant un impact sur l'ensemble du périmètre d'expertise

- Proposer la mise en place d'un centre d'expertise imagerie pour réaliser des analyses de qualité image ciblées sur des missions externes, (Newspace, scientifiques ou non coopératives...). Ce bureau pourra s'appuyer sur des outils d'expertise image existants ou en développer de nouveaux (outils radiométrique, géométrique, et résolution). Il pourra aussi utiliser des moyens d'inter-comparaison de produits à valeur ajoutée pour réaliser ces analyses qui doivent permettre de mieux positionner l'état de l'art mondial dans les différents domaines d'imagerie.

ACRONYMES

AAP : Appel à Projets

AO : Appel d'Offre

CAL/VAL : Calibration/validation

CEOS : Committee on Earth Observation Satellites

CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor

COTS : Commercial Off The Shelf

EHR : Extrêmement Haute Résolution (en dessous de 25 cm)

HR : Haute Résolution (en dessous de 1.5 m)

IA : Intelligence ArtificielleIR - InfraRouge

IRT : Infra Rouge Thermique (2,5 à 12 μm)

JPL : Jet Propulsion Laboratory (NASA)

MIR : Moyen Infra-Rouge (1,2 à 2,5 μm)

PIR : Proche Infrarouge (0,7 à 1,2 μm)

QI : Qualité Image

THR : Très Haute Résolution (en dessous de 50 cm)

VLEO : Very Low Earth Orbit

LIENS :

CNES

www.cnes.fr

ConnectByCNES

<https://www.connectbycnes.fr>

Comet Optique et Opto-électronique

<https://www.comet-cnes.fr/index.php/ooe>

Comet Traitement du signal et des images

<https://www.comet-cnes.fr/index.php/tsi>

Appel à idées préparation du futur du CNES

<https://rd-cnes.wiin.io>

DES QUESTIONS, DES COMMENTAIRES ? VOTRE AVIS NOUS INTERESSE

courriel : fdr-techniques@cnes.fr

