

**Statut du projet Hyperspectral :
un satellite binational à hautes résolutions
spatiale et spectrale pour des applications
scientifiques et militaires**

8^{ème} colloque du groupe hyperspectral de la SFPT, 05/07/2023, Paris

Antoine Flipo, Camille Desjardins, Damien Rodat,
Laurie Pistre, Laure Oudda, Thierry Carlier

❖ Historique

- Études passées
- Phases A menées depuis 2019

❖ Spécifications, point de fonctionnement

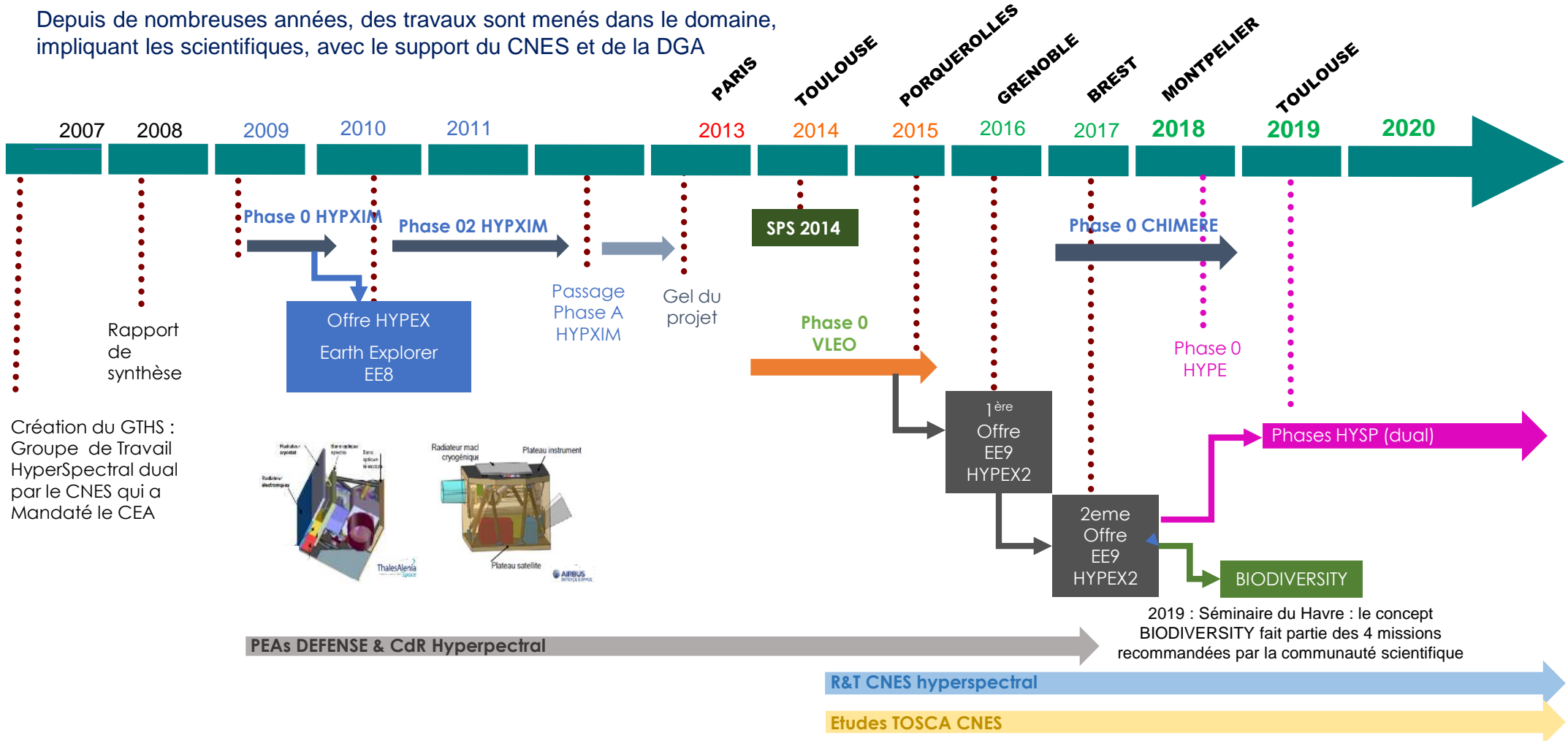
- Applications, produits, groupe mission, besoins mission
- Paramètres dimensionnants de l'instrument

❖ Etudes en cours

- Études de niveau satellite
- Études industrielles instrument
- Pré-développements technologiques filtres

❖ perspectives

Depuis de nombreuses années, des travaux sont menés dans le domaine, impliquant les scientifiques, avec le support du CNES et de la DGA



Programme de **démonstration d'un système hyperspectral dual militaire / civil**, en coopération dont les spécifications sont dérivées des études passées, avec une résolution spatiale 10 m, ce qui marque une amélioration par rapport aux systèmes existants

Phase A1 : 2019-2020

Phase d'étude système, satellite et instrument initiée par la DGA, en coopération avec un partenaire international

- ❖ Etude de multiples configurations instrument
- ❖ A l'issue de cette phase, une revue CNES / DGA / ONERA a conclu que le meilleur ratio performances/complexité-coût était obtenu par un instrument à filtres (pour la résolution spatiale recherchée).
- ❖ Le point de fonctionnement a été revu (résolution spatiale, orbite), et une étude complémentaire instrument a été décidée pour concevoir un instrument à filtre.

Phase A2 : mi 2021 - mi 2022

Etudes groupe mission vis-à-vis du point de fonctionnement instrument (SNR, précision de calibration, résolution/échantillonnage spectral)

Phase complémentaire d'étude industrielle sur l'instrument (concept à filtres) en franco-français

Recherche d'un nouveau partenaire pour monter le programme

Phase A3 : 2023

Septembre 2022 : nouveau partenaire international identifié, discussions au congrès astronautique international à Paris

Octobre 2022-décembre 2022 : discussions bilatérales sur les possibilités de partage du développement et de l'exploitation d'un système hyperspectral démonstrateur

- ❖ Le partenaire fournit une plate-forme et réalise l'intégration satellite, responsable du centre de contrôle
- ❖ La France est responsable de l'instrument et de son centre d'expertise
- ❖ Un centre utilisateur est déployé dans chaque pays pour permettre à ses utilisateurs de déposer les demandes et faire les traitements image (jusqu'au niveau 2A) sur les images transmises du satellite sur un réseau de stations.

Côté français : une phase A3 instrument est décidée et est réalisée en parallèle par les deux MOI majeurs pour concevoir un instrument à filtre répondant aux dernières évolutions de spécifications et devant s'interfacer avec la plate-forme du partenaire international.

Cette phase A3 a pour but de vérifier la faisabilité du satellite et du système et sera sanctionnée par une revue de niveau système.

VEGETATION

- Classification des espèces,
- Biodiversité
- Évolution des écosystèmes
- Forêt

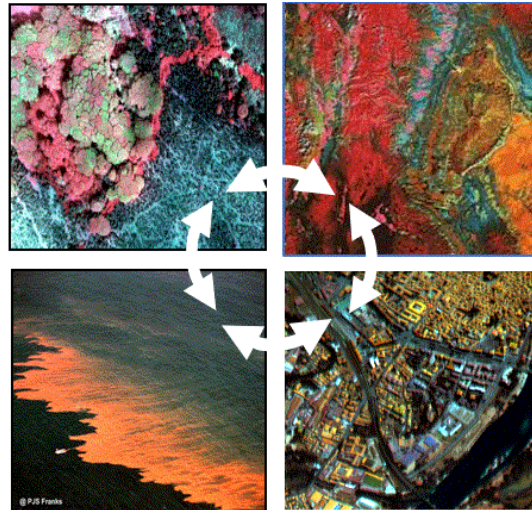
AGRICULTURE:

- Classification des espèces
- Détection des maladies et cartographie
- Indicateurs essentiels de biodiversité
- Caractéristiques et dégradation des sols

EAUX COTIERES ET CONTINENTALES

- bathymétrie
- Identification nature des (petits) fonds
- Qualité de l'eau, pollution

DEFENSE



UTILISATION DES SOLS

- Cartographie urbaine, classification
- Trafficabilité,

Géoscience

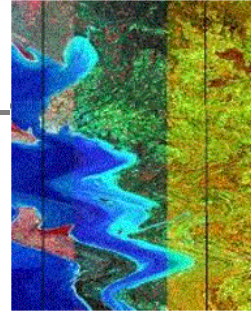
- Cartographie géologique, exploitation minière

SURVEILLANCE DES SITES INDUSTRIELS, RISQUES

- Identification des matériaux stockés en entrée/sortie des sites industriels, déchets
- Panaches des cheminées,
- Surveillance/caractérisation des risques, pollution directe/indirecte

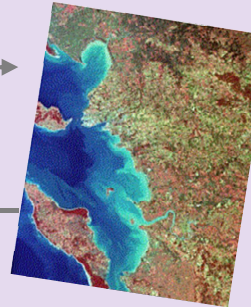
ATMOSPHERE

- Gas (H_2O , CO_2 , O_2 , NO_2), Aérosols,
- Nuages



Correction des effets instrument et satellite

- Correction radiométrique
- Correction spectrale
- Correction géométrique



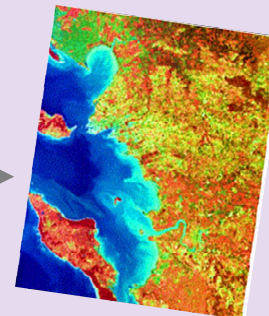
Produit niveau 1

*Réflectance sommet de l'atmosphère en coordonnées géographiques
Masques nuage, pixels défectueux...*

Produits disponibles pour les utilisateurs

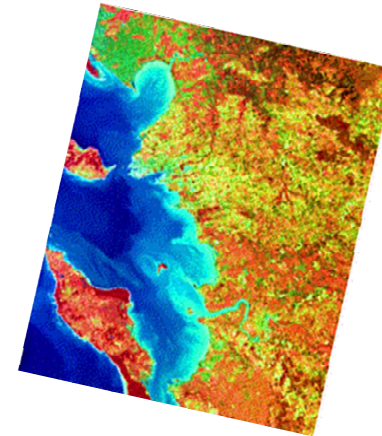
Correction atmosphérique

- TOA=>BOA
- classification



Produit niveau 2A

Réflectance sol, associée à une classification simple (nuage, mer, terre ...)

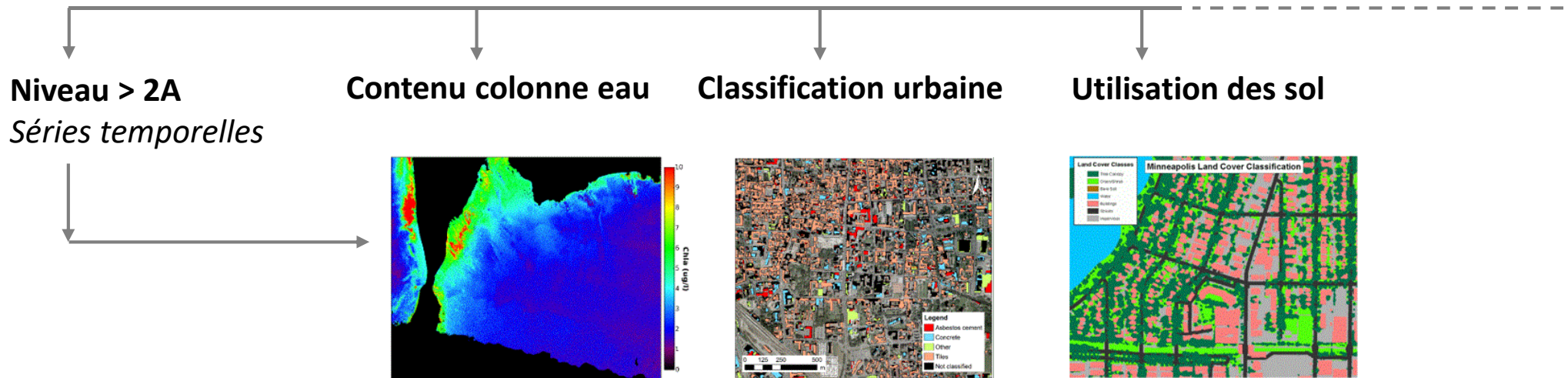


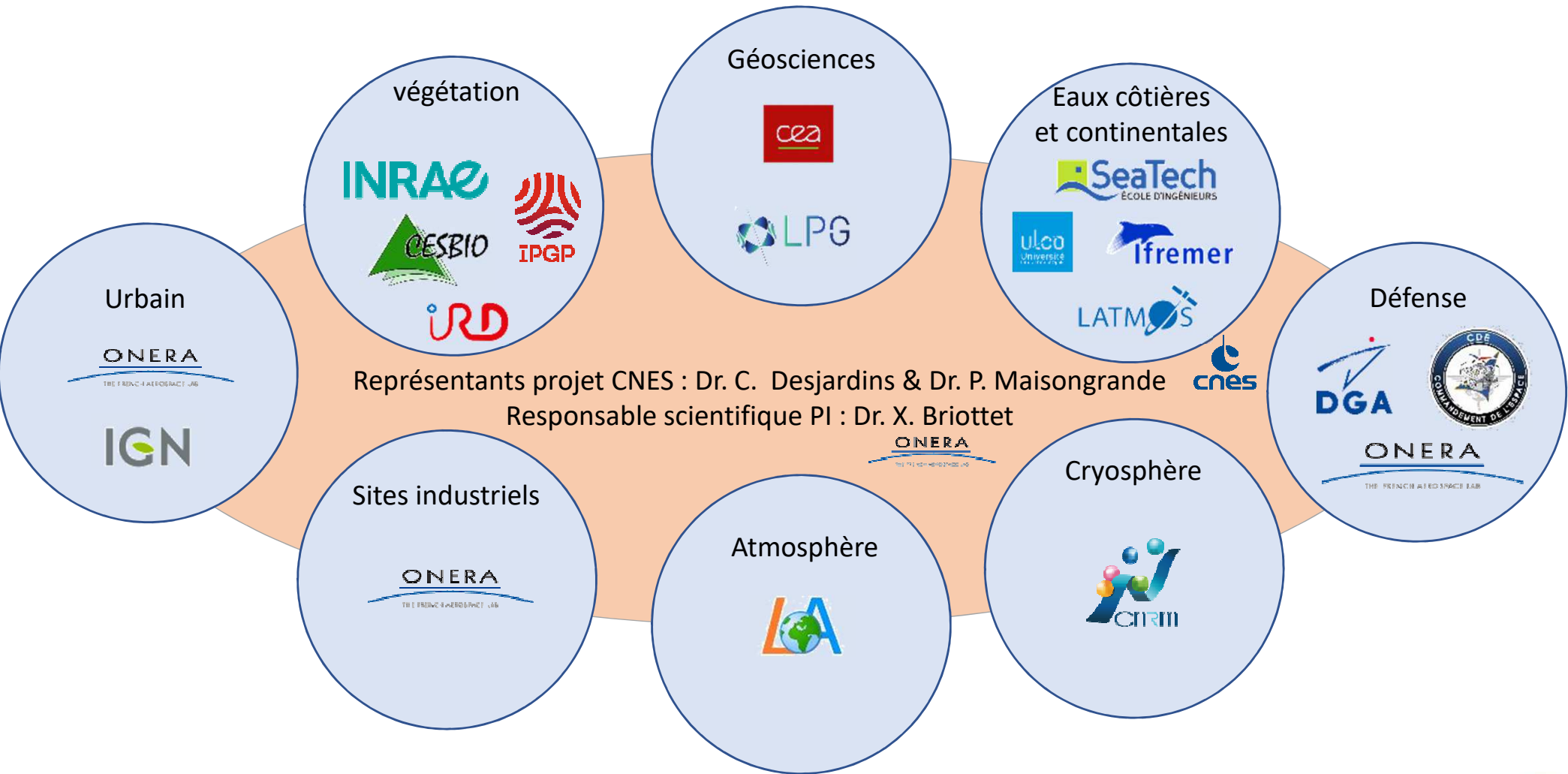
Niveau 2 A

Disponible en sortie du système

Produits aval

- Générés au niveau des utilisateurs





(extrait rapport groupe mission)

Scientific objective	Spectral range (nm)	Spectral resolution (nm)	Spatial resolution (m)	Revisit (days)	Global accessibility	Daily accessibility
Crop field monitoring	400-2400	10	< 10	5	Yes	No
Surveillance of industrial site / natural and anthropogenic hazards	450 - 2400	VNIR: 14 SWIR: 10	< 10	5	Yes	Yes
Characterization of coastal zone	410 - 800	10	< 30	15	Yes	No
Land use and urban characterization	430 - 2400	VNIR: 14 SWIR: 10	< 10	15	Yes	Yes
Defense applications	410 - 2400	10	< 5	15	Yes	Yes
Atmosphere	400 - 1600	3 - 50	60	5	Yes	Yes
Synthesis	400 – 2400	2 - 50	< 5 - 10	5	Yes	Yes

Point de fonctionnement défini en fonction des besoins exprimés par le groupe mission et les contraintes techniques et financières pour rester compatible d'un mini satellite (satellite dans gamme de masse 300-400 kg au lancement, instrument 100 à 150 kg) :

- ❖ Résolution spatiale = 10 m nadir pour voies hyperspectrales
- ❖ Résolution 2.5 m pour voies multispectrales (6 ou 7 bandes centrées sur 445 nm, 490 nm, 555 nm, 610 nm, 670 nm, 760 nm, 830 ou 865 nm)
- ❖ Fauchée = 10 km
- ❖ Domaine spectral : VNIR : [400 nm – 920 nm], SWIR : [900 nm – 1800 nm] U [1950 nm – 2400 nm]
- ❖ Résolution spectrale / échantillonnage spectral : VNIR 10 nm, SWIR 10-14 nm
 - Spécification exigeante de réjection
- ❖ Rapport Signal/Bruit @ Lref : 125 VNIR, 80-95 SWIR
- ❖ Dynamique signal : [Lmin Lsat], perfo requise pour [Lmin, Lmax]
- ❖ Très bonne performance de précision radiométrique absolue : 3% et de précision radiométrique interbande : 1%
- ❖ Co registration des bandes (après traitement) : 0.3 pixel hyperspectral
- ❖ Exigences de très bonne caractérisation au sol, et conception garantissant une excellente stabilité en vol

Les performances instrument atteignables sont principalement liées à :

- ❖ Résolution spatiale : dimensionne directement la fréquence de lecture des détecteurs (peu de détecteurs matriciels adaptés à des fréquences de lecture > 150 fps), impacte le SNR, la FTM
- ❖ Fauchée/résolution spatiale : dimensionne la taille détecteur en nb de pixels
- ❖ Diamètre pupille instrument : impacte la FTM, le SNR
- ❖ Caractéristiques détecteur : bruit de lecture détecteur qui impacte le SNR, capacité intégration qui dimensionne la dynamique
- ❖ Résolution spectrale : dimensionne le nombre de filtres, le SNR. Le nombre important de filtres en face de petits détecteurs conduit à des facteurs de forme très prononcés (largeur filtre élémentaire très faible)
- ❖ Pureté spectrale et sélectivité des filtres : bonne transmission dans la bande, excellente réjection, uniformité spatiale, défauts cosmétiques très limités en nombre et en taille
- ❖ Précision radiométrie absolue et inter-bande : besoin d'un moyen de calibration bord
- ❖ Domaine spectral jusqu'à 2.4 μm : catégorie circuit détection, voie SWIR refroidie

2 éléments clés pour la performance : détecteur et filtre.

Etude satellite pour l'accommodation de l'instrument sur la plate forme du partenaire

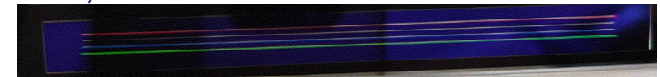
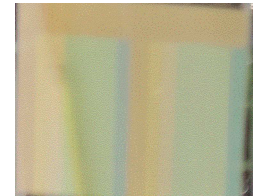
- ❖ Interfaces mécaniques, thermiques, électriques
- ❖ Contraintes d'aménagement satellite et lanceur

Etudes industrielles instrument phase A3 évoquées plus haut

Pré-développements technologiques filtres

Plusieurs types de technologie de filtres peuvent être utilisables, des actions de pré-développement sont en cours :

- ❖ Filtres linéairement variables : longueur d'onde centrale/largeur spectrale variable dans une dimension
- ❖ Filtre allumettes assemblées : chaque filtre élémentaire est réalisé sur une allumette, celles-ci sont assemblées pour constituer le filtre complet.
- ❖ Filtres patternés : plusieurs filtres élémentaires sont déposés sur un substrat, plusieurs substrats sont assemblés pour constituer le filtre complet.
- ❖ Technologies de découpe et d'assemblage
- ❖ Moyens de caractérisation



Etudes de faisabilité en cours, en parallèle au niveau plate-forme chez notre partenaire et au niveau instrument côté français.

La revue de fin de phase (fin 2023/début 2024) statuera sur la complétude des études et sur la faisabilité technique du système proposé.

Les éléments programmatiques (coût de la part française, planning de développement) seront disponibles fin octobre 2023 pour présentation au comité de pilotage décisionnaire (novembre 2023).

Si le programme est décidé fin 2023, phase B en 2024 avec un objectif d'un satellite prêt au lancement fin 2028. Durée de vie spécifiée = 5 ans.

Post Scriptum :

- ❖ Groupe mission ouvert à toute nouvelle participation
- ❖ Le vrai nom du projet reste à trouver