



6ème colloque scientifique du groupe SFPT-GH 17-18 mai 2018

Etudes préparatoires à une mission hyperspectrale spatiale au CNES

Marie-José Lefèvre-Fonollosa

Adrien Deschamps

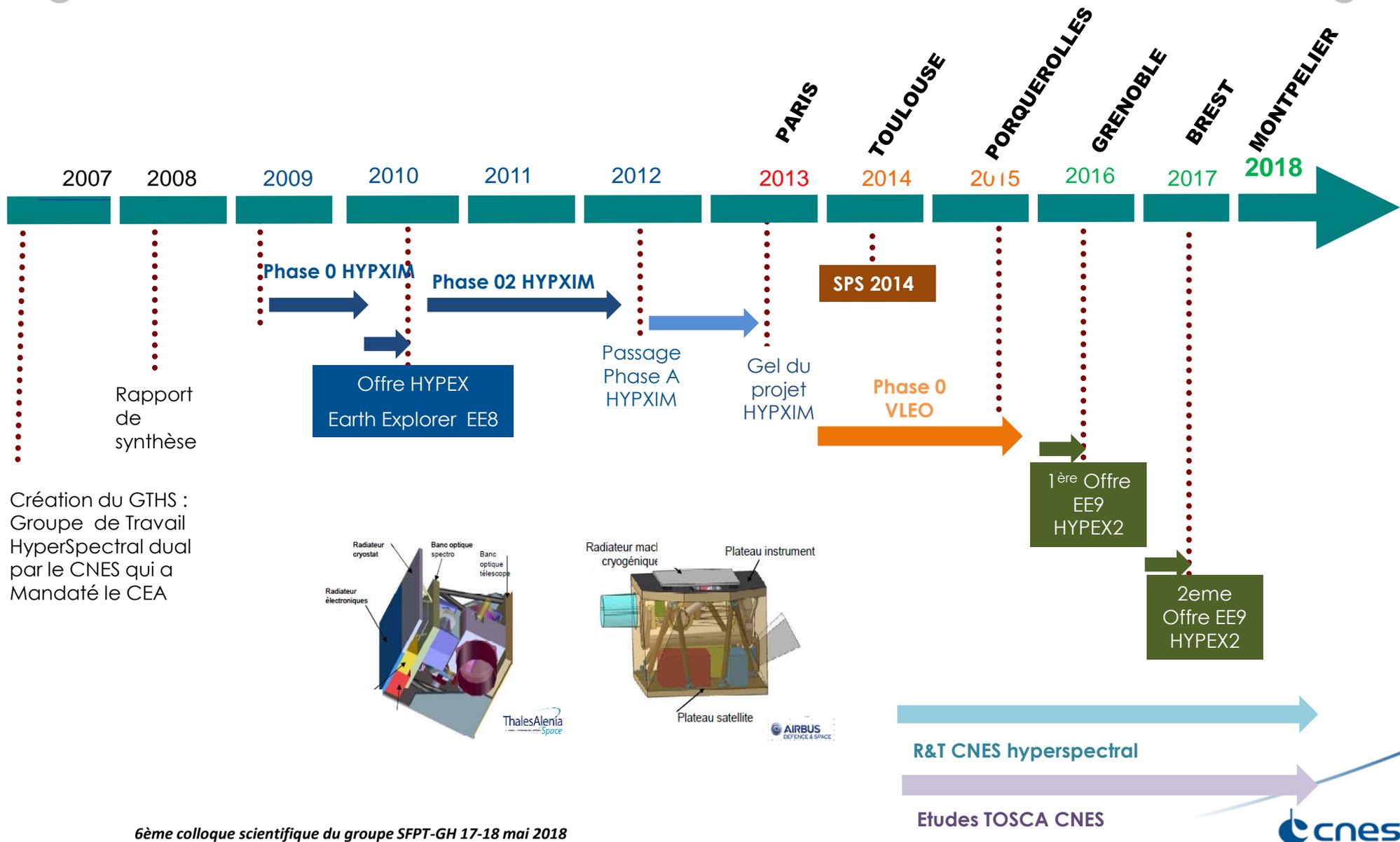
Vincent Lonjou

Gwendoline Blanchet

Stephane May,

Thierry Bret-Dibat

Synthèse des études sur un capteur hyperspectral spatial français



Création du GTHS :
Groupe de Travail
HyperSpectral dual
par le CNES qui a
Mandaté le CEA

Retour sur le projet HYPXIM

HYPXIM est une étude préliminaire (phase 0) qui a débuté en 2009, suite aux recommandations du Groupe Hyperspectral dual, conduite et financée par le CNES. Une phase A a été décidée en 2012 et gelée en 2013 pour des raisons budgétaires.

Les objectifs de la mission HYPXIM devaient répondre aux besoins exprimés par :

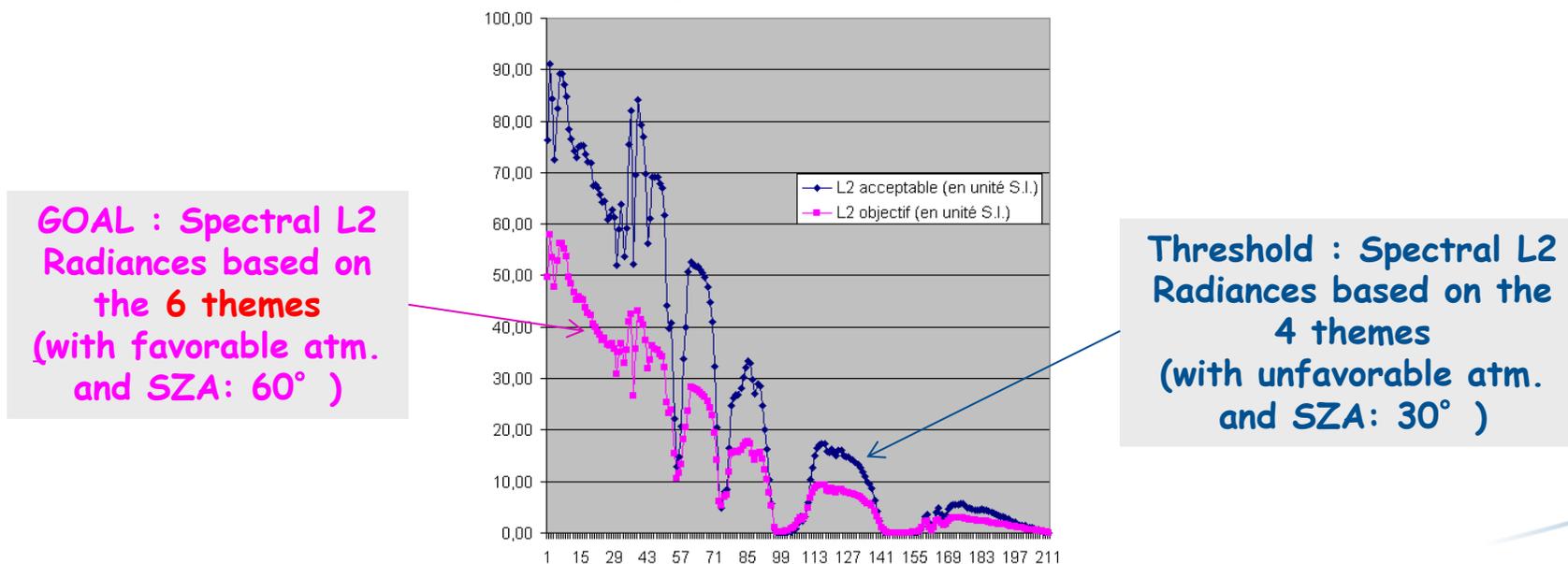
- La communauté scientifique nationale utilisant les données hyperspectrales à haute résolution (principalement aéroportées) pour de la recherche
- La Défense, en complément de l'imagerie THR, essentiellement pour du renseignement

Deux concepts (mini & micro satellites) ont été étudiés, avec le support industriel de Airbus Defense & Space (ADS) et Thales Alenia Space (TAS) .

Retour sur le projet HYPXIM

Les objectifs de la mission spatiale HYPXIM devaient répondre aux besoins duaux exprimés, d'une part, par la communauté scientifique nationale utilisant les données hyperspectrales à haute résolution (principalement aéroportées) pour de la recherche, et, d'autre part, La Défense, en complément de l'imagerie THR, sur des thèmes ciblés.

Pour répondre aux exigences du groupe de mission plusieurs classes de besoins ont été identifiées, qui présentent en commun, un **échantillonnage spectral de 10nm sur l'ensemble du domaine 400-2400nm** et un **SNR @L2 [VIS :250, PIR :200 et SWIR :150]** pour une **résolution spatiale variant entre 8 et 15m**.



Retour sur le projet HYPXIM

Principales spécifications :

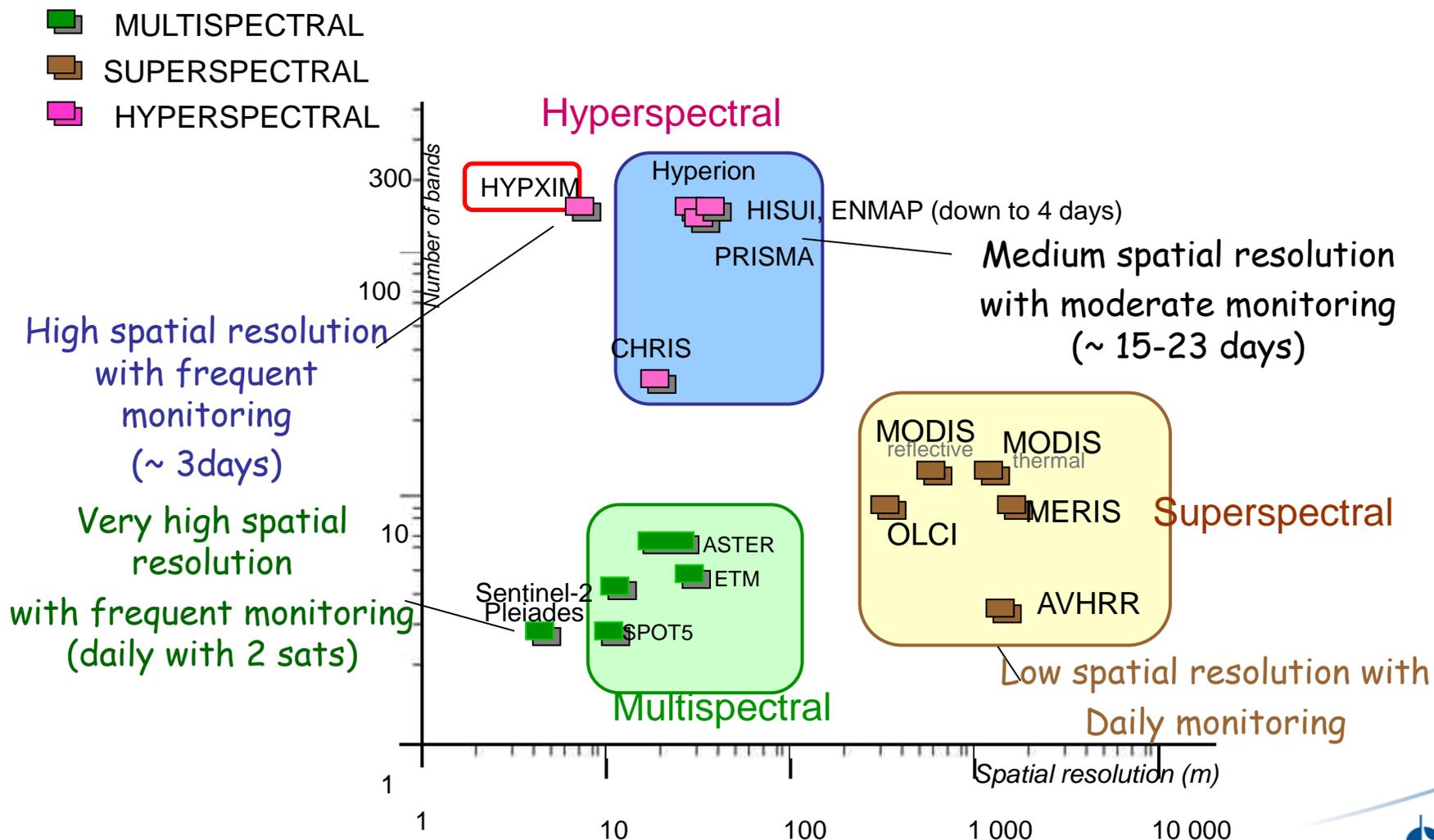
- **Résolution spectrale** : objectif = 10nm, seuil = 15nm
- **Résolution spatiale** - 3 classes ont été identifiées pour le domaine spectral VNIR-SWIR (0.4 - 2.5 μm) :
 - 20 mètres et au-delà => couvert par les missions EnMAP et PRISMA.
 - 10 to 15 mètres
 - 5 to 10 mètres } Objectif HYPXIM

Une image panchromatique peut être combinée avec l'image hyperspectrale pour augmenter la résolution spatiale (fusion)

- **Fauchée** : objectif = jusqu'à 30km; seuil = 15km, minimum = 8km
- **Période de revisite** : une revisite quotidienne est demandée pour certaines applications (notamment pour la Défense) mais une période de revisite de 3- 5 jours est acceptable.

Retour sur le projet HYPXIM

Panorama des missions spatiales multi et hyperspectrales

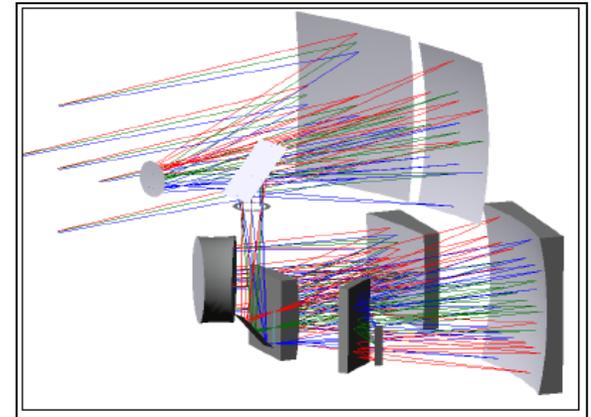


Retour sur le projet HYPXIM

Some key technologies miniaturization has allowed to achieve a compact high-resolution hyperspectral instrument :

- An unique and mature compact instrument design:
 - Forefront TMA (Three-Mirror Astigmatic) telescope
 - A very compact prism spectrometer (new concept)
 - Unique focal plane covering the whole range from 0.4 to 2.5 microns thanks HgCdTe detectors (Sofradir)
 - focal plane cooled down to 150 K with Mini Pulse Tube Cooler

- PAN channel shares forefront telescope with the spectrometer
 - 12000 pixel, 6 μm linear detector at the focal plane, ambient T°
 - Low impact on instrument volume & mass



Retour sur le projet HYPXIM

Entre 2009 et 2015, le CNES avec le soutien industriel d'Airbus Defence & Space (ADS) et de Thales Alenia Space (TAS). a conçu trois principaux scénarios de mission:

HYPXIM-C (C pour Challenging), répond au besoin de résolution spatiale à 15m en hyperspectral pour un champ de 30km. Il s'agit d'un « micro-satellite » de 200 kg placé sur une orbite héliosynchrone à 650 km, acceptant une charge utile de **80Kg / 110w**.

⇒ *Concept **HYPEX** proposé en 2010 à l'appel d'offre de l'ESA Earth Explorer 8 (EE8)*

HYPXIM-P (P pour Performance), permet d'atteindre une résolution spatiale de 8m en hyperspectral, 1,8m en Panchromatique pour un champ de 15km avec un « mini satellite de 600 kg au lancement; sa charge utile (**115 kg / 150w**) est composée d'un instrument hyperspectral et d'un canal panchromatique (PAN), utilisant le même télescope.

⇒ *Concept, **HYPXIM** décidé pour une phase A en 2012 (gelé en 2013)*

HYPXIM-D (D pour Démonstrateur) accueille le même instrument que HYPXIM-C (**80kg / 110w**) mais sa performance de résolution spatiale est identique à celle d' HYPXIM-P mais pour un champ limité à de 8- 10 km en raison de son orbite basse (360 ou 500 km).

⇒ *Concept **HYPEX 2** sur une orbite à 350 km proposé à l'appel d'offre de l'ESA EE9 de 2016 .*

⇒ *Concept **HYPEX 2** instrument revisité pour 'appel d'offre EE9 de 2017 sur une orbite à 500km*

Etude d'un concept très basse orbite (2014-2015)

Etude VLEO: Phase 0 portant sur un satellite très basse orbite (entre 250 et 400km) pour l'Observation de la Terre pour les besoins de la Défense.

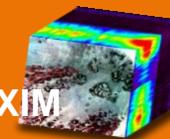
- Parmi les hypothèses envisagées, l'une concernait un satellite hyperspectral

Idée : reprendre le concept instrument HYPXIM compact de l'option micro-sat et profiter de l'orbite basse pour atteindre les 8m de résolution spatiale

- Pourrait convenir pour un démonstrateur de **1ere capacité opérationnelle Défense** : quelques sites tests (besoin spécifié ~50 mais capacité de plus de 100 sites sans modification du design) + capacité de changer d'orbite 2 fois par an grâce à la propulsion électrique (**option TAS**);
- Problème (entre autre) : **si l'on n'optimise pas le design de l'instrument**, la capacité de prise de vue est très réduite (à cause du fort ralenti nécessaire pour l'obtention d'un rapport signal à bruit correct)- **Si le besoin de couverture augmente un Trade off taille de la pupille (15 cm pour l'option ADS) vs ralenti (~10) est à faire.**

HYPXIM MISSION: 3 DESIGNS POUR REpondre AUX BESOINS

HYPXIM



	HX-Challenging	HX-Performance	HX-Demonstrator
Altitude	650 km	660 km	360 km
Payload	TMA telescope Φ 150 mm	TMA or Korsch telescope Φ 450 mm,	TMA telescope Φ 150 mm
	Detector VNIR-SWIR 1000 x 256 pixels (off-the-shelf)	Detector HgCdTe 2000 x 360 pixels (to be developed)	Detector VNIR-SWIR 1000 x 256 pixels (off-the-shelf)
Resolution/Swath	15 m / 15 km	8 m / 16 km	8 m / 8 km
Panchromatic band	Resolution: 3.75m	Resolution: 1.85m	Resolution: 1.85m
Spectral bandwidth	400 – 2500 nm / < 14 nm	400 – 2500 nm / 10 nm	400 – 2500 nm / < 14 nm
Payload budget	Mass 70 kg	Mass ~115 kg	Mass 70- 90 kg (*)
	Power 110 W (imaging),	Power < 150 W (imaging)	Power 110 W (TBC)
Satellite	195 kg (at launch)	600 kg (at launch)	350 kg (with election propulsion) -500kg(if chemical propulsion)
Revisit period	+/-20° across-track imaging : 15 days	+/-20° across-track imaging : 15 days	+/-20° across-track imaging : 15 days
(+/-60° in latitude)	+/-35° across-track imaging: 3 days (2 satellites)	+/-35° across-track imaging: 3 days (1 satellite)	+/-35° across-track imaging: 3 days/5 days <i>with some coverage options</i> (1 satellite)
Imaging capacity (for one satellite)	~ 63 000km² per day (280 images/day)	~100 000 km ² per day (270-450 images)	~ 7000 km² per day (~110 images)
Link to Ground	X-band link at 160 Mbps (with ground or mobile stations)	X-band link at 620 Mbps (with ground or mobile stations)	X-band link at 160 Mbps (with ground or mobile stations)
Launcher compatib.	Soyuz, Vega, Ariane 5	Soyuz, Vega, Ariane 5	Vega
Expected lifetime	5 years (incl. end-of-life operations)	10 years (incl. end-of-life operations)	5 years (incl. end-of-life operations)

HYPEX-2 pour Earth Explorer 9 (2016)

Réponse à l'appel à projets Earth Explorer 9 de l'ESA :

Proposition Hypex-2, qui reprend le concept de satellite à orbite basse (360km) étudié au CNES, mais en proposant une mission exclusivement scientifique avec les thématiques suivantes :

- Végétation
- Sols nus
- Zones urbaines
- Littoral et eaux intérieures

Proposition dont le PI est français (X. Briottet, ONERA), soutenue par le CNES.

Soumission de la proposition : le 24/06/2016

Evaluations de l'ESA : décembre 2016

HYPEX-2 pré-retenu dans un premier temps, puis AO déclaré infructueux

HYPEX-2 pour Earth Explorer 9 (2017)

Nouvelle Réponse à l'appel d'offre Earth Explorer 9 de l'ESA :

Proposition Hypex-2 2017, prise en compte des recommandations de l'ESA avec un concept de satellite à orbite basse (550km) et un nouveau design d'instrument qui intègre un détecteur plus performant notamment

Etudié par TAS et ADS sous maîtrise d'oeuvre CNES, avec un recentrage sur le Monitoring des zones critiques sous contrainte anthropologique et climatique:

- Vegetation: Impact biodiversité
- Littoral et qualité des eaux intérieures
- Impact des pratiques agricoles sur les sols
- Environnement urbain et pollution industrielle

Proposition dont le PI est français (X. Briottet, ONERA) un groupe de scientifiques européens

Soumission de la proposition le 24/06/2016

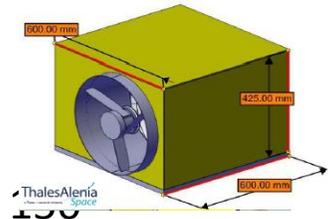
Evaluations de l'ESA : décembre 2017 => mission non retenue



Suite aux recommandations de l'ESA, rebouclage avec les scientifiques et modification de l'orbite qui passe de 360km à 500 km à performances identiques et accès global. Cela a conduit à revoir complètement le concept instrumental et l'emport sur P/F.

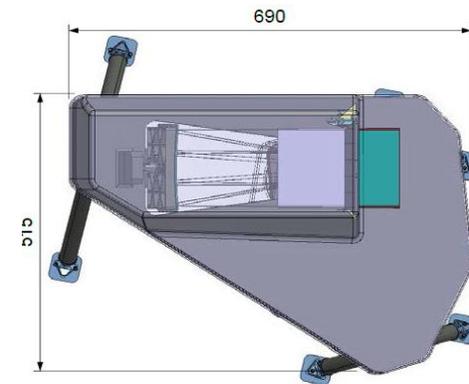
OPTION TAS: Détecteur NGP + spectro double passage.

- Télescope type Korsch avec pupille 247mm, focale 938mm et ouverture 3,8
- Ralenti P/F : 6 (pour 8 km). Voie Panchro. 3,5m (SNR >90)
- Instrument compact (60*60*45cm), 70kg (marged)/60W, compatible Proteus
- Satellite : 398 Kg (wet), 300W , Mass memory: 2Tbits, X-Band: 160Mb/s



OPTION ADS: Détecteur NGP + spectro 4 fentes optimise les 1000 lignes du NGP

- Télescope type TMA avec pupille 150mm, focale 938mm.
- Ralenti p/F ou miroir : 5-6 . Voie Panchro.
- Instrument compact (69*52*44cm), 63kg (marged)/70-130 W (imaging), compatible Astrobus-S
- Satellite: 366 Kg (wet), 300 W. Vol image 400 Gbits, X-band 180Mb/s



Segment Sol (DNO/OT/IS): Conception, description, calendrier, chiffrage.

Séminaire de Prospective Scientifique du CNES

Tous les 5 ans, le CNES organise le **Séminaire de Prospective Scientifique** pour discuter des besoins des communautés scientifiques en termes de futures missions spatiales

En 2009: Séminaire de Biarritz : consolider le besoin d'une mission hyperspectrale

En 2014 : Séminaire de la Rochelle

→ La mission Hypxim de satellite hyperspectrale français ressort comme une **priorité moyen-terme** pour la communauté scientifique

Recommandation consolider les besoins mission et avancer sur les algorithmes de traitements de données

- Soutien des activités concernant l'imagerie hyperspectrale dans les laboratoires français (projets TOSCA)
- Maintien d'une activité de R&D sur l'imagerie hyperspectrale => R&T CNES

Pour mention : consolidation des besoins Défense via le CdR HYPEX

Etudes TOSCA 2014-2016 : 6 Projets

Ces projets couvrent les principaux objectifs mission d'HYPXIM. Ils reposent sur des études terrain, de la modélisation physique et des campagnes aéroportées. Ils visent particulièrement à consolider les besoins en terme de résolution spatiale et de rapport signal à bruit.

NAME	TOPICS	MAIN OBJECTIVES	LABORATORIES
HYPERTROPIK	FOREST BIODIVERSITY	Consolidation of Hypxim mission for the theme "Biodiversity of Tropical Forests' contribution of 3D radiative transfer model (DART).	CESBIO, CIRAD, AMAP/IRD, ECO&SOL/INRA, TETIS/Irstea et ESE/Paris Sud
SAMSAT2	RIVER SEDIMENTOLOGY	Bio-optical properties analysis of Amazona delta water from hyperspectral data, in order to modelize the signal of the matters in suspension (MES).	GET (Geoscience & Environment lab of Toulouse)
HUMPER	SOILS DEGRADATION	Spatial resolution needs for the study of soil texture. Setting up a complete simulation chain to compare with different hyperspectral cameras.	ONERA, LISAH/IRD, CESBIO
MiHySpecSol		Impact of Spectral resolution for perennial properties of Mediterranean soils mapping	LISAH/IRD, ITAP/IRSTEA
HYPERCORAL	COASTAL BIOTOPES	Physical environmental parameters extracted from airborne hyperspectral images for mapping and monitoring of fragil habitats reef (Coral reef area -Reunion Island)	LDO, IFREMER, LETG, LPG, SEAS-OI, ESPACE-DEV, ECOMAR
URBHYP	URBAN PLANIFICATION	Hypxim requirements, to provide relevant information with the complexity of the environment for urban development and planning	LIVE, ONERA, in coordination with ANR project HYPEP

Etudes TOSCA 2017-2019: 6 nouveaux projets

Le projet **HyperBIO** (IRSTEA, INRA, ONERA) vise à préciser les besoins mission (largeur de bande, résolution radiométrique spectrale, résolution spatiale) sur la base d'images aéroportées pour l'identification des espèces d'arbre et l'estimation de variables de Biodiversité sur des zones forestières.



Le projet **HyperMED** (ONERA, CESBIO, Universities of California Davis et Berkeley) a pour but de
★ montrer l'apport de l'imagerie hyperspectrale pour les missions HYPXIM-CNES et HYSPIRI-NASA pour la caractérisation de l'état de santé des arbres pour des forêts clairsemées de type méditerranéennes.



Le projet **BIOHERM** (Biodiversité Hyperspectrale et Etat des Récifs d'herMelles, IFREMER,
★ ONERA, GIPSA-Lab, TELECOM) a pour but de discriminer les bio-constructions d'hermelles (*Sabellaria alveolata*) du substrat (rocheux, meuble ou mixte) et d'évaluer leur état de santé.



Le projet **HypCoLac** (LSIS, LATMOS, Institut Fresnel) cartographie la composition de l'eau (en chlorophylle, matières en suspension et matières organiques dissoutes), la bathymétrie et la composition des fonds aquatiques à partir d'images simulées au-dessus des surfaces d'eau continentales et en zone littorale

Le projet **MOLIERE** (MOdeLing soIl rEfectance as a function of water content, IPGP, ONERA,
★ LPGN, CEA) a pour but d'améliorer modèle de sol MARMIT capable de simuler la réflectance spectrale et directionnelle de sols "rugueux" à différents états d'humidité. Elle impliquera des mesures de laboratoire et de terrain, de la modélisation informatique, et de l'imagerie aéroportée ou satellite.



Le projet **IMHYS** (Apport de l'IMagerie HyperspectralE satellite pour le suivi des sources d'aérosols
★ anthropiques, ONERA, OMP/LA) a pour but la caractérisation des sources d'aérosols locales d'origine anthropique

★ Nouvelle proposition,

Etudes Amont et R&T CNES 2014-2018

Modélisation et Optimisation système spatial:

- *Modélisation 3D du transfert radiatif en milieu forestier tropical via le modèle DART maquettage de placettes forestières réalistes par lidar terrestre et aéroportés (Cadre TOSCA) - Validation via des campagnes aéroportées et in situ sur la Guyane ((Etude Expe-Val CNES/PASO)*
- *Apport de l'hyperspectral à la thématique côtière et sur l'étude d'impact des corrections atmosphériques et des performances instrumentales*
- *Reprise les points de fonctionnement en partant des besoins mission de trois applications ciblées afin d'évaluer quel est le juste besoin au regard des utilisateurs finaux (Etude CHIMERE CNES/PASO)*

Radiométrie :

- Analyse de la polarisation du signal hyperspectral et développement d'un simulateur « end-to-end »;
- Débruitage hyperspectral

Etudes amont et R&T CNES 2014-2018

Fusion Panchromatique/Hyperspectrale :

- Etat de l'art des algorithmes de fusion et comparaison
- Approches joignant la fusion et le démixage
- Démixage d'images hyperspectrales notamment en s'appuyant sur les informations contenues dans une voie panchromatique mieux résolue à haute ou très haute résolution (thèses- CNES/ONERA /IRAP/INP-TOULOUSE)

Classifications :

- Comparaison d'algorithmes : hyper vs multi-spectral
- Construire un modèle statistique en tenant compte des aspects fonctionnels, spatiaux et temporels.

Perspectives

COPERNICUS EVOLUTION DES SENTINELS:

- CHIME, Précurseur d'une mission hyperspectrale de 2 satellites dans le cadre de la phase d'expansion des sentinelles (2029-2031) - Etudes industrielles en cours
- Sentinel 2 de Nouvelle Génération (à partir de 2030): intégrer l'hyperspectral et l'infrarouge thermique sur la même plateforme -AC

OPPORTUNITES DE COOPERATIONS INTERNATIONALES

- Coopérations sur des missions plus ciblées peut-être moins ambitieuses mais répondant à des contraintes de coûts et de masse sévères.

Dans ce contexte, le CNES explore des concepts résolument innovants de la classe de satellite autour de 50-100 kg.

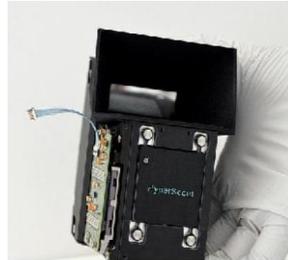
Pour cela, une étude a été récemment mise en place afin de revisiter les besoins mission pour un satellite d'Observation de la Terre embarquant un imageur hyperspectral compact.

Perspectives

Cubsat GomX-4B (lancé le 2 fev 2018)

Principales caractéristiques des satellites GOMX-4

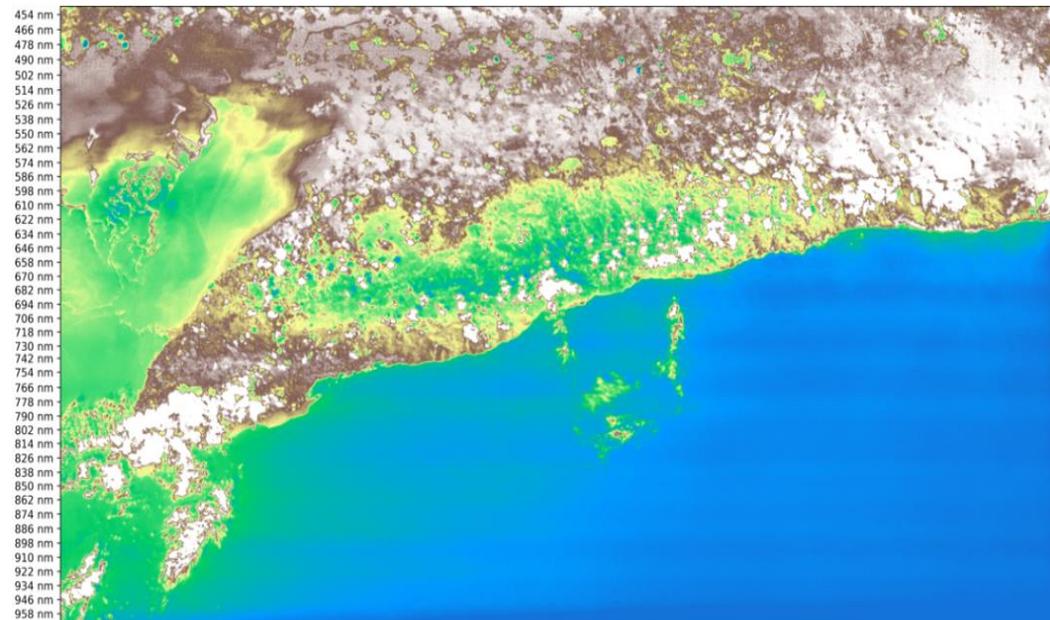
GOMX-4	<ul style="list-style-type: none"> • 2x 6U platforms • AIS, ADS-B tracking • Visual & hyperspectral camera • Inter satellite linking • Propulsion for station keeping
---------------	--



Principales caractéristiques de la camera

<u>Spectre</u>	<u>Nombre de bandes</u>	<u>Resolution</u>	<u>Fauchée</u>	<u>Dimensions</u>
400- 1000 nm	45	40 m	164 km2	1U

HYPER SCOUT FIRST LIGHT



<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/gomx-4>



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

