



7^{ème} colloque scientifique du groupe SFPT-GH 9-10 juillet 2019

Mission Hyperspectrale HR

Historique et synthèse des études système menées au CNES

*Marie-José Lefèvre-Fonollosa ,
Adrien Deschamps, Vincent Lonjou ,
Jean-Luc Legal*

- Après quasiment 20 ans de stagnation, le contexte international de l'hyperspectral spatial est en pleine évolution avec 4 nouvelles missions lancées en 2018 et 2019:

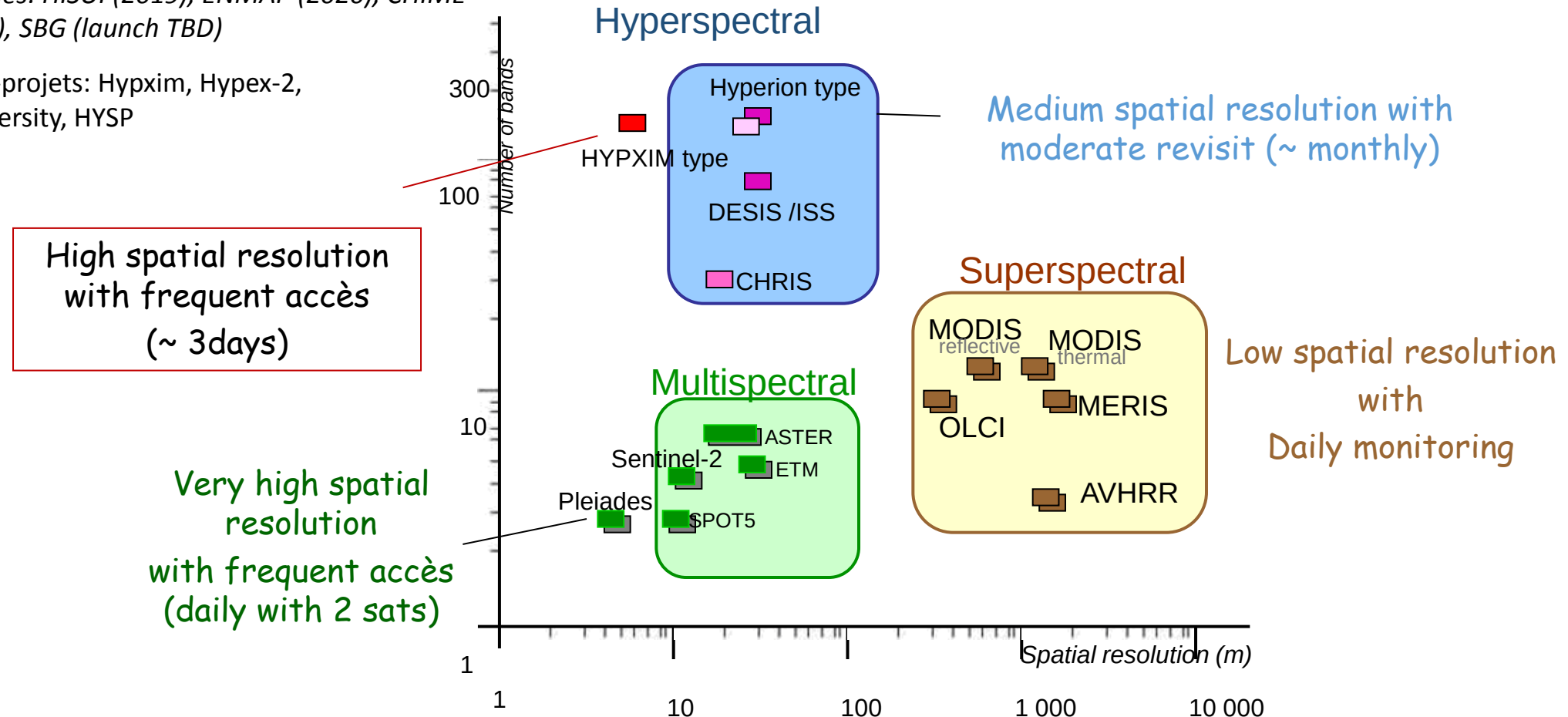
- HyperScout, nanosatellite des Pays-Bas/Belgique/ESA (Février 2018)
- GaoFen-5, de l'agence Chinoise (Mars 2018)
- l'instrument DESIS du DLR sur l'ISS (Juin 2018)
- le satellite PRISMA, de l'Agence Spatiale Italienne (mars 2019)
- ENMAP, du DLR fin 2019 -AC



- Par ailleurs la NASA avec SBG et l'ESA avec CHIME ont programmé des missions Sciences et Applications à couverture globale à moyen terme [à partir de 2028].
- Dans ce contexte, le CNES, répondant aux besoins exprimés par la communauté nationale de l'hyperspectral, a toujours privilégié un axe peu exploré qui est celui de la haute résolution spatiale hyperspectrale ($< 15\text{m}$), afin de ***combler le gap existant entre les mesures in situ et aéroportées et les mesures spatiales à moyenne résolution*** ($\sim 30\text{m}$).

MISSION SPATIALES EN HYPERSPECTRAL

- *En Orbite: Hyperion (2000), GaoFen-5 (2018), PRISMA (2019)*
- *Planifiés: HISUI (2019), ENMAP (2020), CHIME (2028), SBG (launch TBD)*
- *Avant-projets: Hypxim, Hypex-2, Biodiversity, HYSB*



- **2004: Séminaire de Paris**, évaluer pour le Long Terme les besoins pour une mission Hyperspectrale

⇒ Mise en place par le CNES d'un Groupe de Travail chapeauté par le CEA

- **2009: Séminaire de Biarritz**, consolider les besoins d'une mission hyperspectrale

⇒ Recommandation : Mener une étude de Phase 0

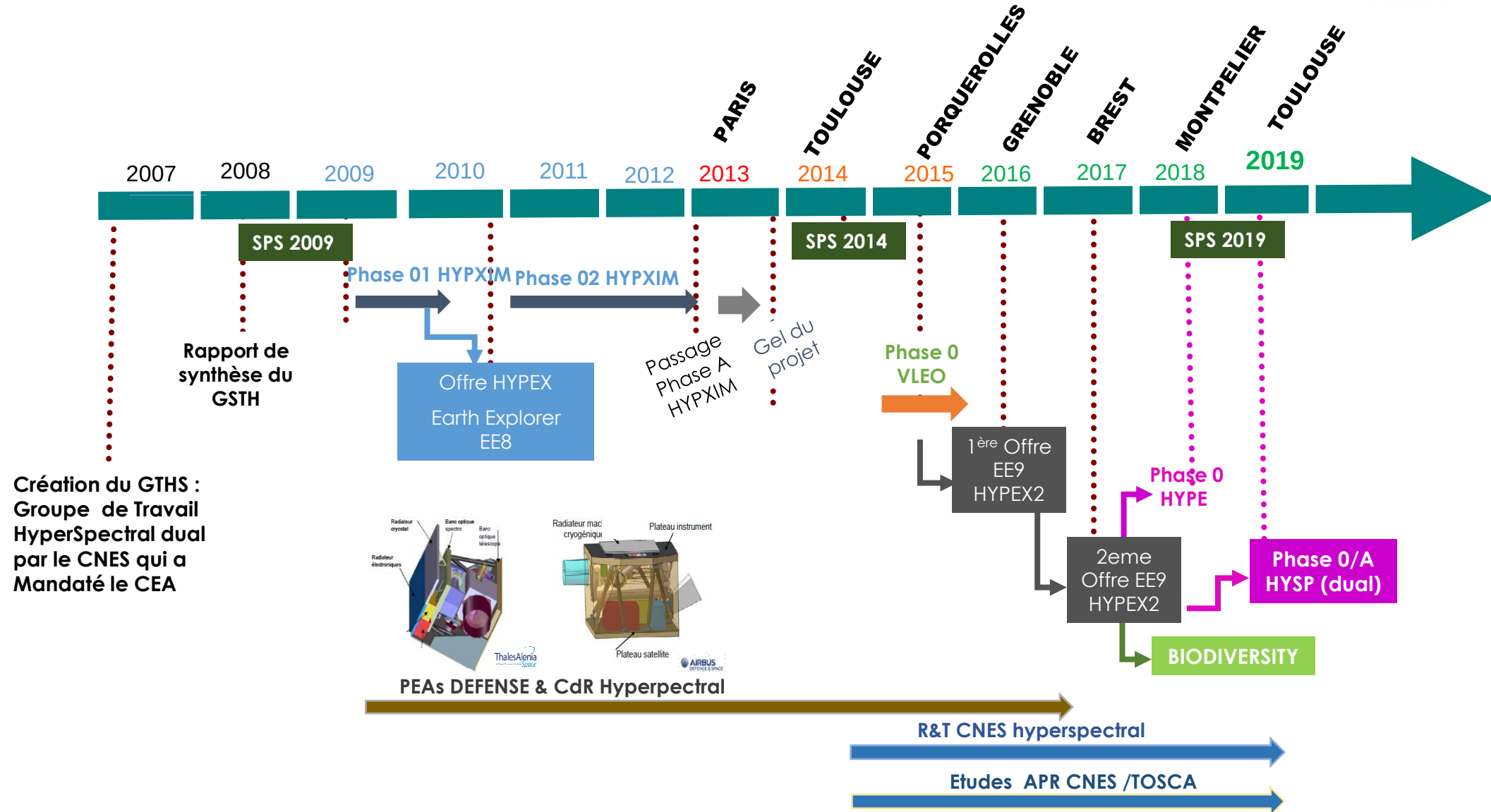
- **2014 : Séminaire de la Rochelle**, la mission Hypxim pour de l'hyperspectrale HR ressort comme une priorité moyen-terme pour la communauté scientifique

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

- Soutien à des activités concernant la préparation d'une mission d'imagerie hyperspectrale dans les laboratoires français via l'APR- TOSCA (12 projets retenus sur 5 ans)
- Maintien d'une activité de R&D sur l'imagerie hyperspectrale via la R&T CNES

- **2019 : Séminaire du Havre** , le concept BIODIVERSITY (issue de l'avant-projet HYPEX-2) fait partie des 4 missions recommandées par la communauté scientifique,

HISTORIQUE & SYNTHÈSE



Très fort support de la Défense via le CdR Hypex (consolidation des besoins Défense)

- 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 qui utilise les données hyperspectrales à haute résolution (principalement aéroportées) pour des études environnementales et cherche à explorer les diverses zones critiques de la planète;
 - La Défense, en complément de l'imagerie THR, essentiellement pour du renseignement.
- Différents concepts (mini & micro satellites) ont été étudiés, avec le support industriel d'Airbus Defense & Space (ADS) et Thales Alenia Space (TAS).

HYPXIM : UNE RENCONTRE FRUCTUEUSE ENTRE DES BESOINS & LES AVANCÉES TECHNOS

LES BESOINS DE LA COMMUNAUTE NATIONALE, SCIENTIFIQUE & DEFENSE

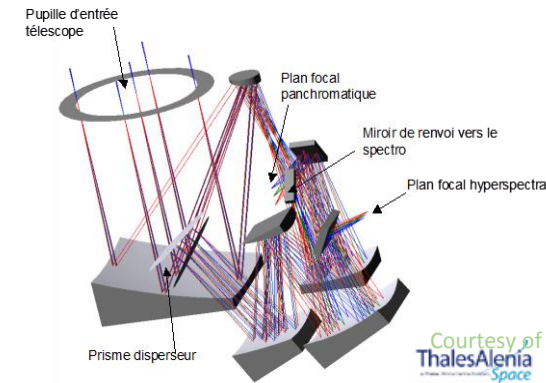
- ❖ **Continuum spectral** entre (0.4 - 2.5 μm)
- ❖ **Résolution spectrale** : entre 10 et 15 nm
- ❖ **Résolution spatiale** : autour de 10m
(nota: 20m et au-delà sont couverts par les missions Hyperion, Chris/Proba, ENMAP, PRISMA, etc..)
- ❖ **Fauchée** : a minima autour de 10km
- ❖ **SNR** à la luminance de référence (L_{ref}) vs GSD vs $\Delta\lambda \Rightarrow$ ont fait l'objet d'études spécifiques



- ❖ **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

UN CONCEPT INSTRUMENTAL PERFORMANT & COMPACT

- **Télescope TMA** léger en SIC
- **Spectromètre** à prisme très compact (double passage)
- **Plan focal unique** couvrant l'ensemble de la plage allant de 0,4 à 2,5 microns
- **Détecteurs HgCdTe** (Sofradir): SATURN puis NGP
- **Plan focal refroidi** à 170° ou 150° K avec le MPTC
- **TMI performante** (antenne Myriade @160 Mbps) $\Rightarrow$ pas de compression à ce stade



Courtesy of
ThalesAlenia
Space

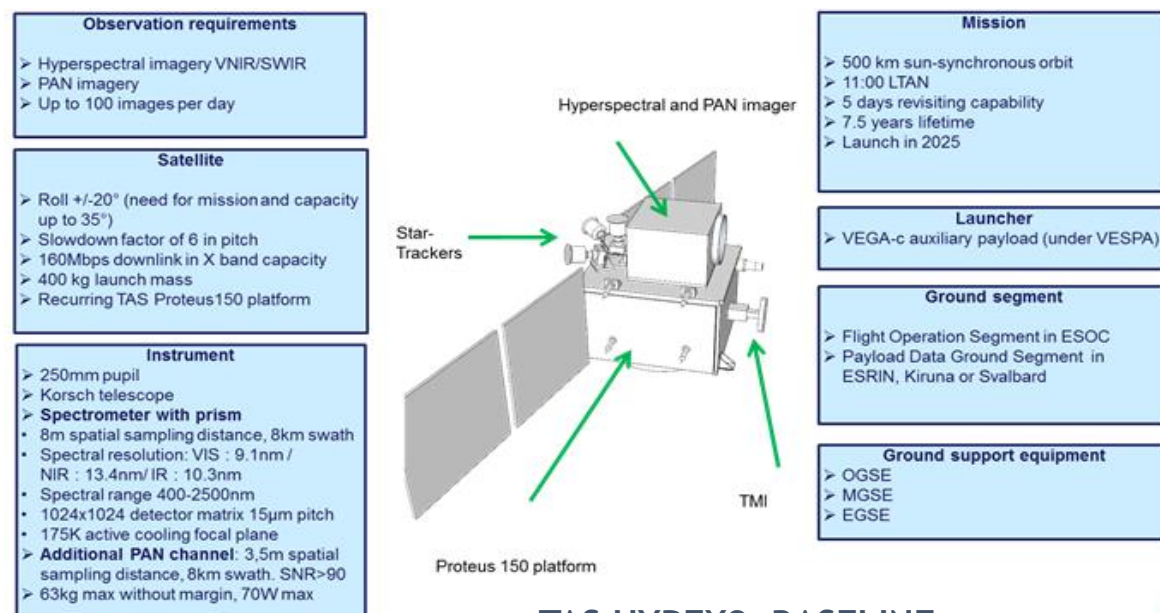
HISTORIQUE & SYNTHÈSE

	HX-Challenging	HX-Performance	HX- Demonstrators	
CONCEPT	HYPXIM - C	HYPXIM - P	HYPERIUM	HYPEX-2
Altitude	650 km	660 km	360 km	500 km
Payload	TMA telescope $\Phi 150$ mm	TMA or Korsch telescope $\Phi 450$ mm,	TMA telescope $\Phi 150$ mm	Korsch telescope $\Phi 200$ 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 (pitch 30 μ m)	Detector VNIR-SWIR 1000 x 1000 pixels (pitch 15 μ m)
Resolution/Swath	15 m / 15 km	8 m / 16 km	8 m / 8 km	8 m / 8 km
Panchromatic band	Resolution: 3.75m	Resolution: 1.85m	Resolution: 1.85m	Resolution: 3.5 m
Spectral bandwidth	400 – 2500 nm / < 14 nm	400 – 2500 nm / 10 nm	400 – 2500 nm / < 14 nm	400 – 2500 nm / < 14 nm
SNR		VNIR: 250 ; NIR: 200; SWIR: 100 [$@ \delta \lambda$, $@GSD$, $@L_{ref}$]		
Lref [400-700nm]	moy= 73 W/m ² /sr/ μ m	moy= 45 W/m ² /sr/ μ m	moy= 45 W/m ² /sr/ μ m	moy= 82 W/m ² /sr/ μ m
	6	6	11	5-6
Payload budget	Mass 70 kg	Mass ~115 kg	Mass 70- 90 kg (*)	Mass 60 kg
	Power 110 W (imaging),	Power < 150 W (imaging)	Power 110 W (TBC)	Power 70 W
Satellite	195 kg (at launch)	600 kg (at launch)	350 kg (with election propulsion) -500kg(if chemical propulsion)	400 kg (at launch)
Revisit period	+/-20° across-track imaging : 15 days (global)	+/-20° across-track imaging : 15 days (global)	+/-20° across-track imaging : 3 days (théâtre)	+/-20° across-track imaging : 5 days (global)
Imaging capacity (for one satellite)	~ 63 000 km ² per day (280 images/day)	~100 000 km ² per day (270-450 images)	~7000 km ² per day (~110 images)	~12000 km ² per days (200 sites)
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)	X-band link at 160 Mbps (with ground or mobile stations)
Launcher compatib.	Soyuz, Vega, Ariane 5	Soyuz, Vega, Ariane 5	Half Vega	Half Vega
Expected lifetime	5 years (incl. end-of-life operations)	10 years (incl. end-of-life operations)	5 years (incl. end-of-life operations)	7,5 years (incl. end-of-life operations)

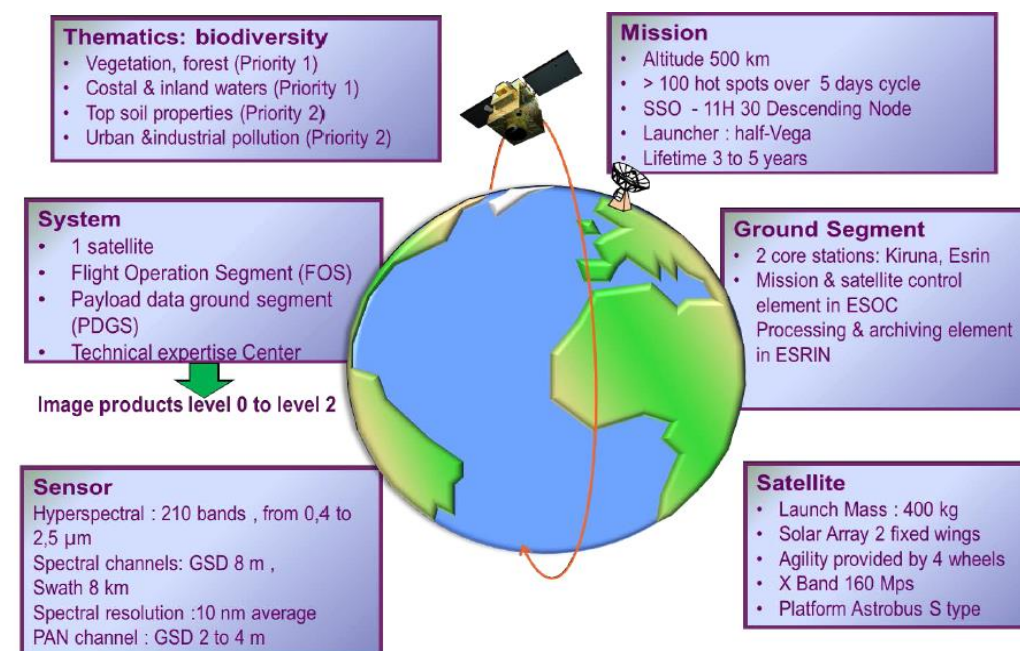


MISSION SCIENTIFIQUE HYPERX-2 POUR L'ETUDE DE LA BIODIVERSITE

Le concept de mesure d'HYPERX2 est un Spectro-imageur couvrant le domaine 0,4-2,5 microns, à haute résolution spectrale (10nm), spatiale (8m) et temporelle (5j)



TAS HYPERX2 BASELINE



ADS HYPERX2 BASELINE

PRINCIPAL INVESTIGATOR: X. BRIOTTET (ONERA)

SUPPORTS INDUSTRIEL: TAS et ADS

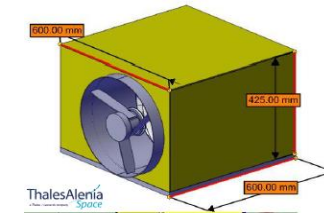
SUPPORTS CNES : DIA/PA, DSO/DV/IF, DSO/SI/IN, DNO/OT/IS, DAJ//EF



Fin 2016, 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.

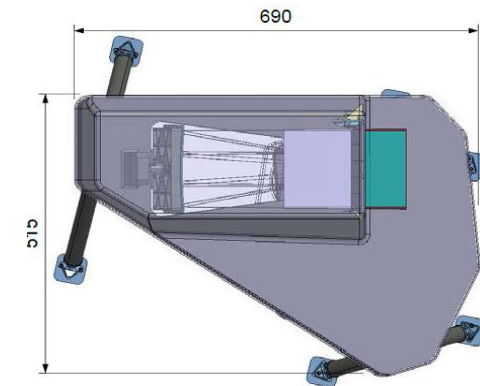
OPTION TAS: Détecteur NGP + spectro double passage.

- 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 150
- Satellite : 398 Kg (wet), 300W , Mass memory: 2Tbits, TMI 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 3,6 Gbits, TMI X-band: 180Mb/s



OPPORTUNITE DE COOPERATIONS INTERNATIONALES: sur des missions plus ciblées certes moins ambitieuses mais répondant à des contraintes de coût et de masse sévères.

Dans ce contexte, le CNES explore des concepts de mission en phase 0/A:

1/ avec des objectifs de masse de 50kg ou 100-150 kg en coopération avec les **Emirats Arabe Unie (EAU)**, études préliminaires d'architectures système en 2018 - positionnement de la coopération (TBD)

2/ dans la continuité d'HYPEX-2 avec **Singapour** (phase 0/A 2019-2020)

=> En parallèle, des études de support ont été mise en place (**Etude CHIMERE**) afin de revisiter les besoins mission à la baisse pour un satellite hyperspectral compact .

ETUDES D'ARCHITECTURE SYSTÈME (1/2)

Physical principle: Spectral signature measurements of the landscape, lets access to its physical and chemical components in the field of 0,4 to 2,4 μm

■ SCENARIO n°1 [HX_{VNIR-SWIR}] / MICROSAT TYPE [OPTION MYRIADE]

APPLICATION

Support for new and enhanced services in the fields of environment, agriculture, and coastal monitoring

MISSION - SYSTEM

- 1 micro satellite up to 150kg class
- Altitude: 500 km
- SSO- 11H30 Descending Node
- 100 sites / day -TBC
- 5 days revisiting capability
- Launcher: Half Vega –TBC
- Launch: 2026-
- Lifetime: 5 years

GROUND SEGMENT

- 3 stations: Kiruna, Toulouse, Abu Dhabi
- Flight Operation Center
- Payload data Ground Segment
- Technical expertise Center

INSTRUMENT

- Pushbroom Instrument
- TMA telescope -Pupill: 74 mm
- Dispersion: Grating or Prism
- Swath 30 km
- Hyperspectral:
 - 0,4-2,5 μm
 - 210 bands
 - GSD: 30m@Nadir
 - 150°K active cooling focal plane
 - Codage 14 bits
- PAN channel in option GSD:7-8m
- 40 kg/ **68W**/ 3,5 Gbits per Image

SATELLITE

- Launch Mass: 150 kg
- Bus: Myriade type
- Solar Array 1 fixed wing
- Roll +/- 30° capability-
- Agility: 4 wheels
- X bands 160 Mbps
- 146 Kg / 100 W /350 Gbits per day



POWER AVAILABILITY IS DIMENSIONNING BECAUSE ACTIVE COOLING (OPTION WITH PASSIVE COOLING TBD)

ETUDES D'ARCHITECTURE SYSTÈME (2/2)

Physical principle: Spectral signature measurements of the landscape in the field of 0,4 to 1 μm

■ SCENARIO n°2 [HX_{VNIR}] + HOSTED PAYLOAD / ~32U TYPE [OPTION μ -Light]

APPLICATION

Support for new services in the fields of environment, agriculture, and coastal monitoring. Atmospheric studies

MISSION - SYSTEM

- 1 micro satellite up to 75 kg class
- Altitude: 498 km
- SSO- 11H30 Descending Node
- **10 sites / day -TBC**
- 5 days revisiting capability
- **Launcher:--TBD**
- Launch: 2023-2024
- Lifetime: 3 years

GROUND SEGMENT

- **3 stations: Kiruna, Abu Dhabi, Toulouse**
- Flight Operation Center
- Payload data Ground Segment
- Technical expertise Center



PAYLOAD

HX-VNIR Instrument

- Swath 60 km
- TMA telescope -Pupill: 37 mm
- Domain: 0,47-0,9 μm
- Nb bands: 154 bands
- GSD: 15m
- Codage 10 bits
- 8 Kg / 24 W (pike)/ **19 Gbits per Image**

MX_SWIR1 Instrument (option)

- Swath 60 km
- Dioptic camera
- Domain: 0,9-1,6 μm
- Nb bands: 3 or 4 bands []
- GSD: 100 m
- 5,5 Kg/ 15W (marged)

SATELLITE

- Bus: MicroLight with 2 instruments
- Solar Array 3 fixed wing
- Nadir viewing
- Agility (manoeuvres): 3 wheels
- X bands 100 Mbps
- 50 Kg / 68 W moy / 460 Gbits per day (after compresion)

VOLUME OF DATA IS THE MOST DIMENSIONNING

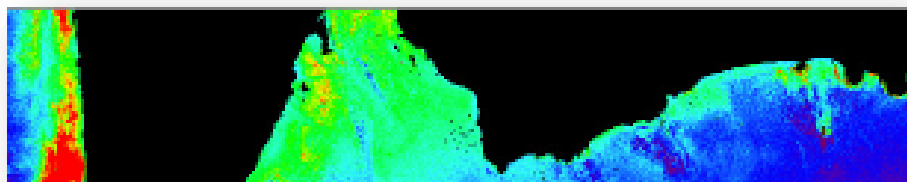
Phase 0-A HYSP Hyperspectral Singapour – 2019/2020



- Objectif : Définir une mission hyperspectrale conjointe entre la France et Singapour
- De manière générale, les spécifications sont héritées de précédentes études CNES HYPXIM (de l'ordre de 10m / 10nm dans le domaine réflectif)
- Spécifications détaillées **Diffusion Restreinte**
- => Rupture de GSD par rapport à PRISMA et ENMAP
- Fin de la phase 0-A prévue au 1er semestre 2020

CHIMERE Milieu Côtier

2 R&Ts, Adrien Deschamps, Vincent Lonjou, DSO/SI/SA-MO



R-S15/OT-0006-033 Apport des images HR multi et hyperspectrales pour des applications « couleur de l'eau »

Période 2016-2017, titulaire : Hytech Imaging, **terminée**

Principales conclusions :

- ❖ **L'inversion Ch-a et des matières en suspension par modèle de transfert radiatif fonctionne avec un capteur de type Hypxim**
- ❖ **L'inversion de Ch-a par modèle de transfert radiatif est impossible avec Sentinel-2 et encore moins avec Pléiades**
- ❖ Résolution spectrale de 10nm suffisante
- ❖ Les verrous de premier ordre dans l'inversion de la colonne d'eau sont la réflectance du fond et la qualité radiométrique des données : **l'instrument et corrections atmosphériques.**



- R-S18/OT-0006-033 Apport des images hyperspectrales aux applications couleur de l'eau
- Période 2018-2019 : Hytech Imaging, **Fin automne 2019**
- ❖ Algorithme de corrections atmosphériques hyperspectral optimisé pour le milieu côtier.
- ❖ Algorithme d'inversion de la colonne d'eau
- ❖ Détermination du point de fonctionnement instrumental optimal pour l'inversion de la colonne d'eau en milieu côtier.

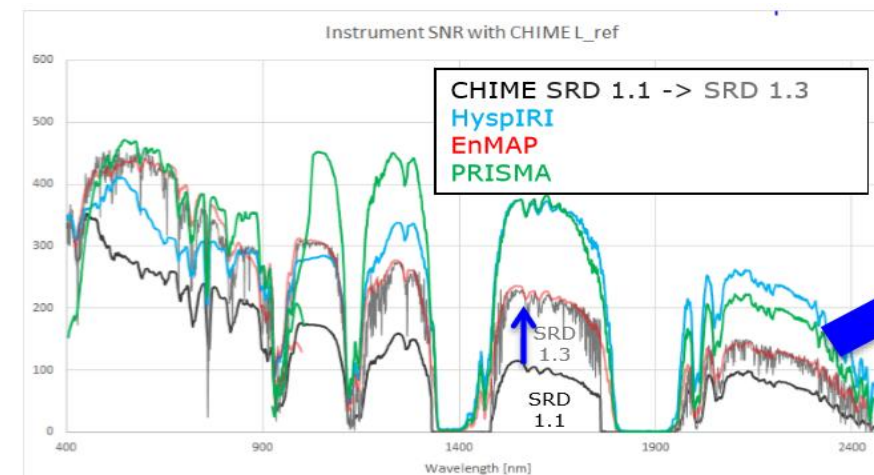
Sentinel expansion **CHIME**, est une mission hyperspectrale de 2 satellites dans le cadre de la phase d'expansion des sentinelles .

Status des Etudes industrielles

- Phase A/B1 menée en parallèle par 2 consortiums – terminée
- ITT prévus 2eme semestre 2019 – Choix d'un consortium
- Démarrage phases B2/C/D/E1 2020 – Revue de fin de phase B2 décisionnelle prévue mi-2021

Points durs:

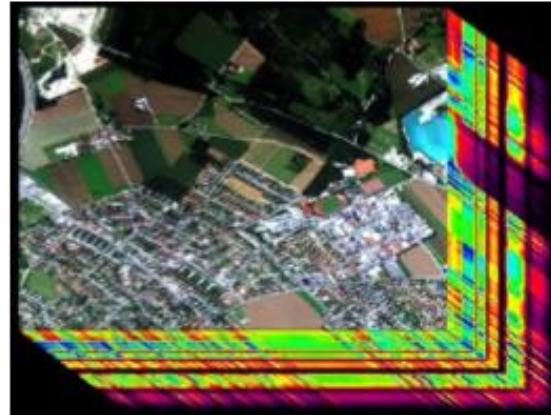
- Développement du détecteur MCT
- Ajustement de NEDL et
- Augmentation du SNR – nouvelle spec



Hyperspectral Imaging Mission(CHIME)



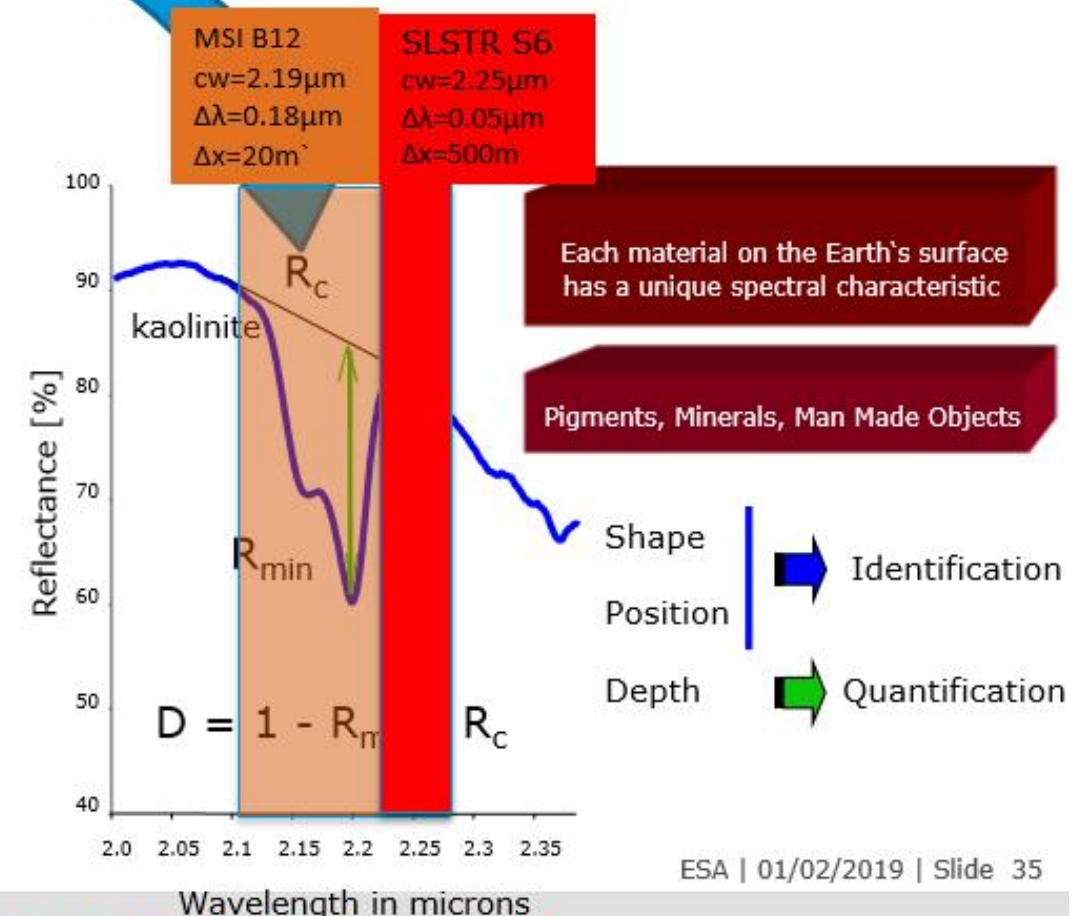
Hyperspectral data cube
(courtesy DLR)
Knowledge: location of absorption
processes in the 400 – 2500nm
region



Identification / Quantification => Diagnosis

Key requirements:

- a. Routine hyperspectral observations
- b. Sun synchronous orbit (LTDN 10:30 – 11:30)
- c. Revisit 10-15 days
- d. Nadir view covering land surfaces, inland- and coastal waters
- e. Pushbroom Imaging Spectrometer
- f. Spectral range: 400 – 2500 nm, bandwidth $\leq 10\text{nm}$
- g. SSD: 20-30m
- h. High radiometric accuracy, low spectral/spatial mis-registration.



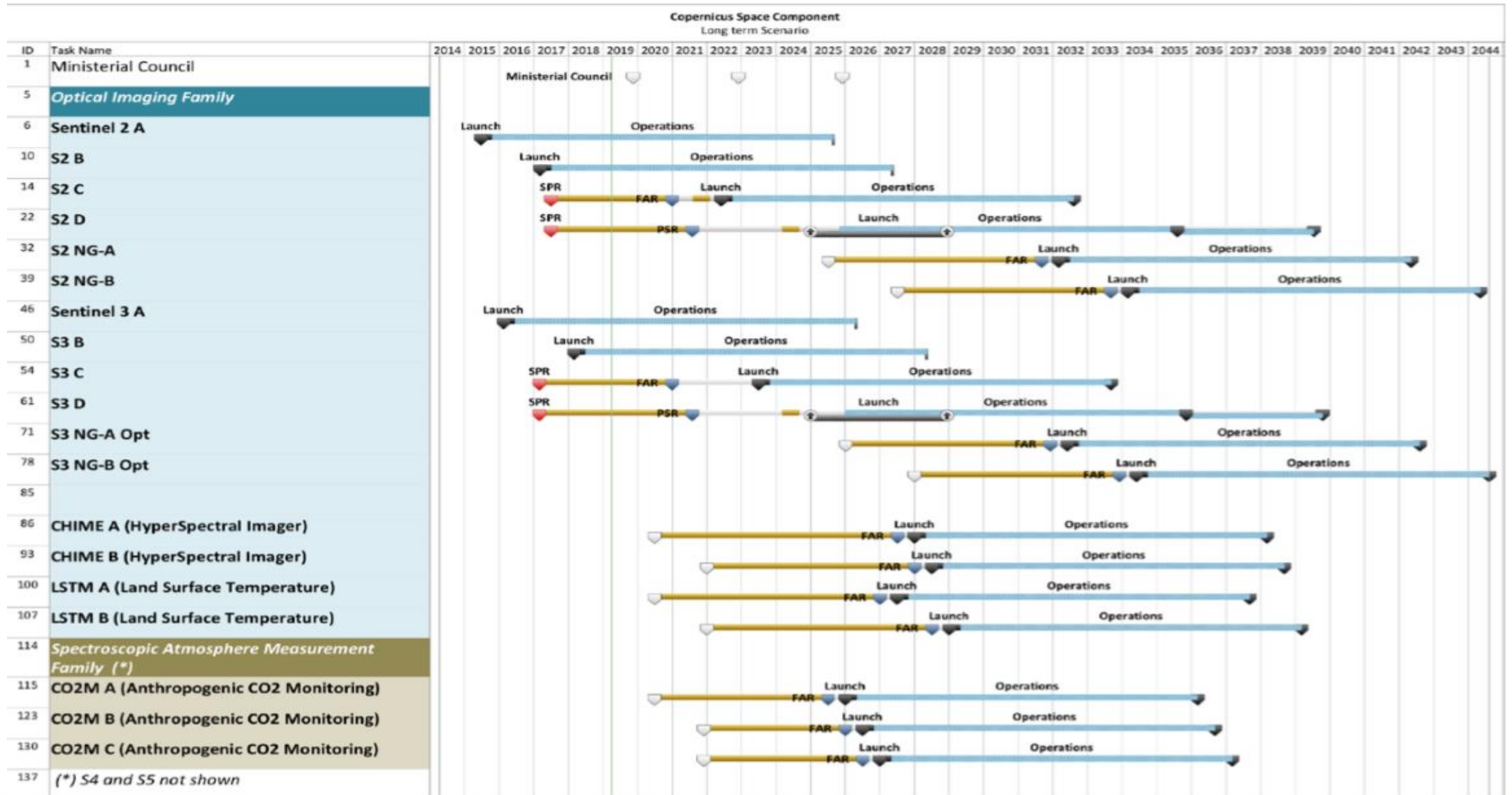
ESA UNCLASSIFIED - For Official Use

ESA | 01/02/2019 | Slide 35



European Space Agency

PERSPECTIVES COPERNICUS



- MERCI POUR VOTRE ATTENTION

