



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

HYPXIM – SATELLITE HYPERSPECTRAL DUAL

Avancement des études de phase 0

Marie-José Lefèvre-Fonollosa*, Sylvain Michel*,

*** CNES (Centre National d'Études Spatiales), Toulouse, France**

PASO (Plateforme d'Architecture des Systèmes Orbitaux)

■ Notre mission

- ◆ Mener des études de faisabilité des missions spatiales
- ◆ Analyser les systèmes spatiaux du futur en termes :
 - Technique
 - Calendaire
 - Coût
 - Organisation du développement (partenariat, ...)

■ Comment ?

- ◆ Une organisation transverse :
 - Bureau de 12 ingénieurs à temps plein.
 - Un groupe de 60 spécialistes appartenant aux structures techniques et au bureau d'estimation des coûts.

- ◆ Centre d'Ingénierie Concourante **20 - 25 études menées
chaque année**

LES GRANDS ENJEUX SCIENTIFIQUES DE DEMAIN

(SEMINAIRE SCIENTIFIQUE DE BIARRITZ –CNES 2008)

- La Terre est un système complexe au sein duquel les espèces régulant le système, les processus agissant sont complexes et les paramètres impliqués sont très nombreux -> **Comment mieux appréhender cette diversité?**
 - Les différentes échelles de temps et d'espace couvrent des domaines très larges (respectivement de quelques secondes à plusieurs dizaines de milliers d'années et de la parcelle à l'ensemble de la planète); ces échelles sont en interactions -> **Comment mieux maîtriser la complexité des interactions?**
 - Les activités humaines, au travers des rejets qu'elles produisent, des modifications de paysage qu'elles engendrent, de l'exploitation intensive de ressources non renouvelables qu'elles génèrent, sont responsables de changements profonds de notre environnement, changements peut-être irréversibles et souvent catastrophiques-> **Comment mieux analyser l'impact anthropique ?**
- > VERS DE NOUVEAUX TYPES DE MESURES :QUID DE L'HYPERSPECTRAL?

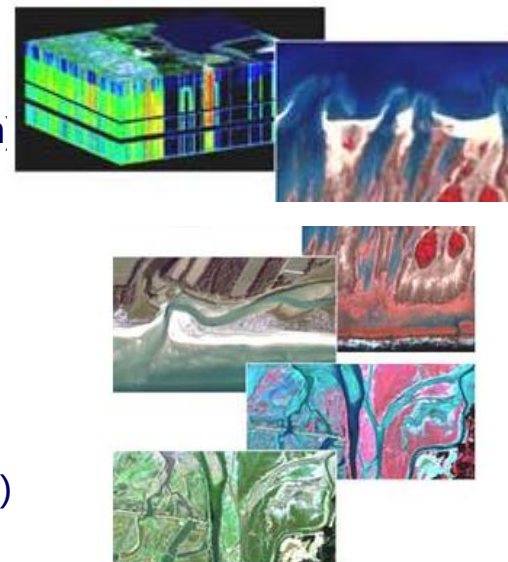
HISTORIQUE

- HYPXIM est un avant-projet (i.e. phase 0) débuté mi-2009, mené et financé par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales).
 - Les besoins de la mission ont été définis grâce à une forte implication de la communauté française hyperspectrale issue des domaines suivants : étude de la végétation, écosystèmes côtiers et lacustres, géosciences, environnement urbain, étude de l'atmosphère, Sécurité et Défense (GHS actuel SFTH)
 - La synthèse des besoins exprimés a permis de définir des spécifications en termes de :
 - domaine et résolution spectrale (continuum entre 400-2500nm)
 - rapport signal-à-bruit selon le « juste besoin »
 - résolution spatiale jamais atteinte dans le civil en hyperspectral (rapport 2 à 4 par rapport à Hyperion, Enmap et Prisma)
 - champ (10 à 30km) et revisite répondant au besoin de crise (1à 3j).
- > ELEMENTS TRES DIMENSIONNANTS VIS-À-VIS D'UN SATELLITE

HYPXIM: UNE REPONSE NOUVELLE

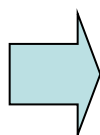
LES SATELLITES
HYPERSPÉCTRAUX ACTUELS
& À VENIR ONT UNE
RÉSOLUTION $\geq 30\text{m}$
C'EST SOUVENT
INSUFFISANT NOTAMMENT
POUR LES MILIEUX
D'INTERFACES & FORTEMENT
ANTHROPISÉS

HYPXIM COMBINE:
LA FINESSE SPECTRALE (10nm)
+
LA RÉSOLUTION SPATIALE
(8 à 15m)
+
L'ACCÈS GLOBAL
+
UNE RÉVISITE RÉGULIÈRE
15j (vertical) à 3j (débattement 35°)



LES DONNÉES HYPXIM PROCHES DES MESURES IN SITU & AVION, PERMETTENT:

- 1- L'ACCÈS À DE NOUVEAUX OBSERVABLES DEPUIS L'ESPACE
- 2- LA MESURE PRÉCISE DE CERTAINS PHÉNOMÈNES MAL PERÇUS À MOYENNE & BASSE RÉSOLUTION
- 3- LA CARACTÉRISATION FINE DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR L'ENVIRONNEMENT

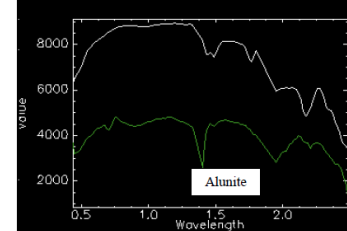
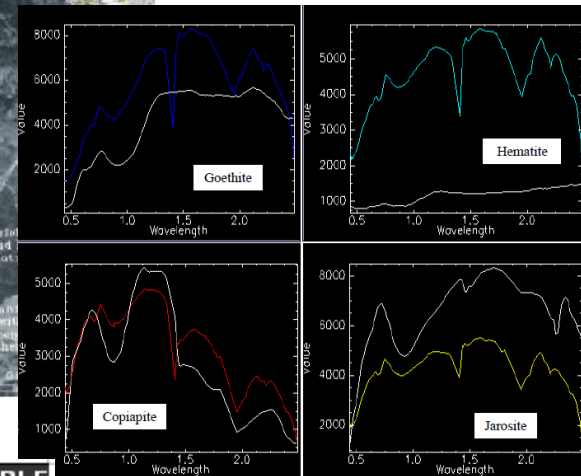
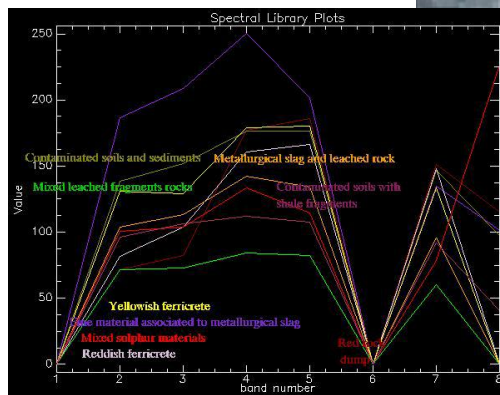
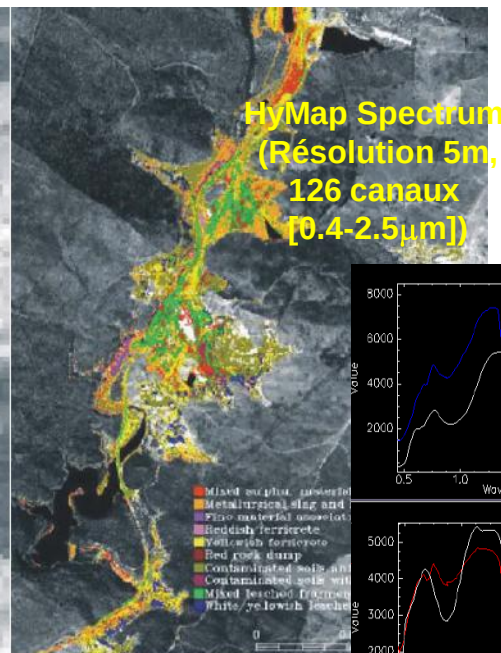
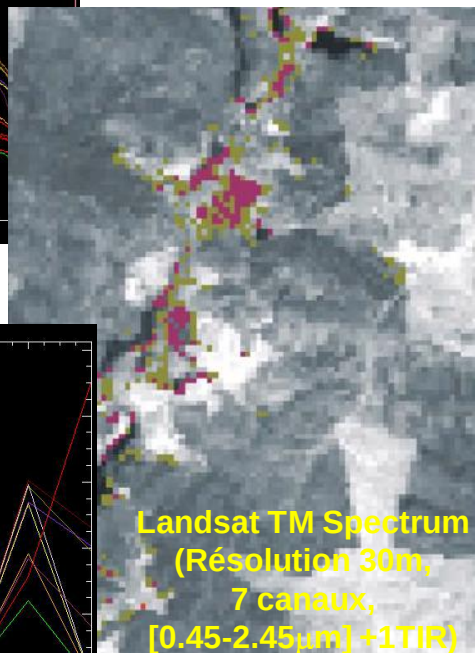
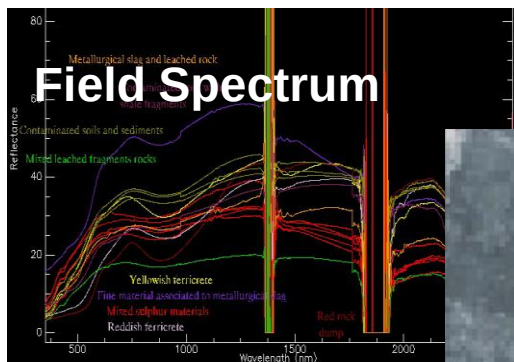


- MIEUX MAÎTRISER LES ÉCHELLES
- MIEUX EXPLORER LES ZONES D'INTERFACES
- ALLER VERS DES MODÈLES INTÉGRÉS
- ACCÉDER À DE NOUVEAUX OBSERVABLES

ENVIRONNEMENT: DIAGNOSTIC DE POLLUTION & REABILITATION MINIERE

(BRGM- Ref. Mineo report. IST-1999-103376)

- MIEUX MAITRISER LES ECHELLES
- EXPLORER LES ZONES D'INTERFACES
- ALLER VERS DES MODELES INTEGRES
- ACCEDER A DE NOUVEAUX OBSERVABLES

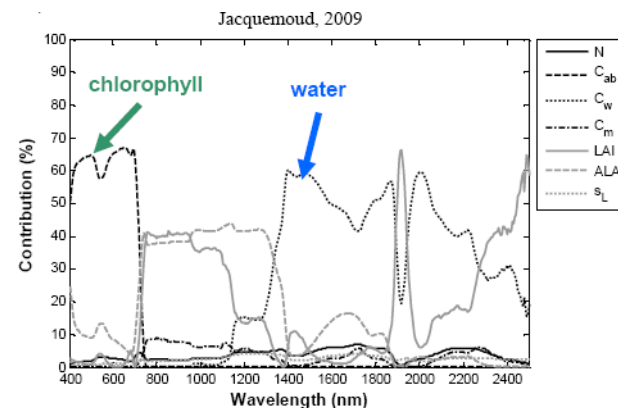
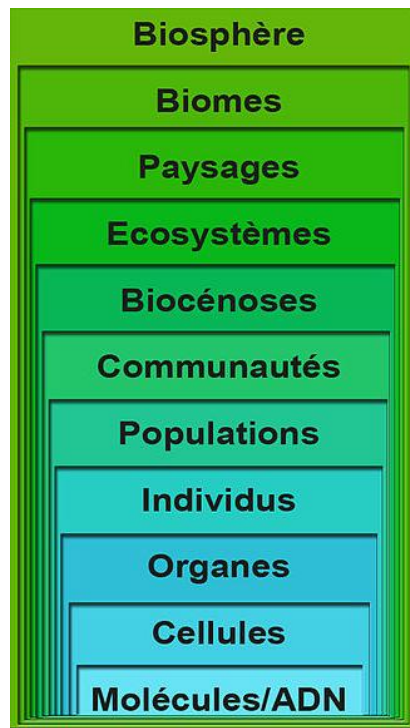
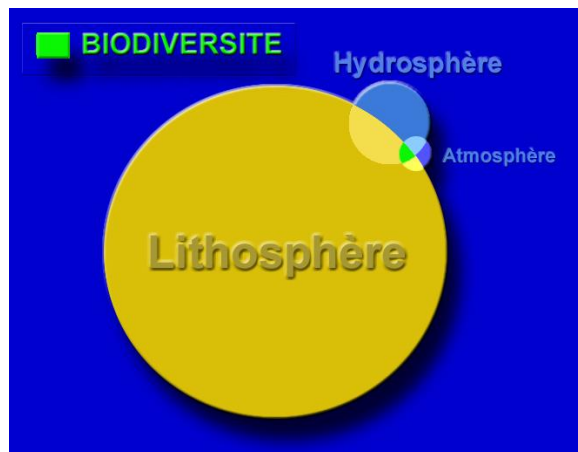


	OBJECTIF	ACCEPTABLE
RESOLUTION SPATIALE (m)	5	10
RESOLUTION SPECTRALE (nm)	10	15
NOMBRE DE BANDES SPEC.	250	125
CHAMP (km)	~20*20	~ 10*10
COUVERTURE	MONDIALE	EUROPE
FREQUENCE TEMPORELLE DE REVISITE	-	1 an
EN CAS DE CRISE	1 jour	3-5j

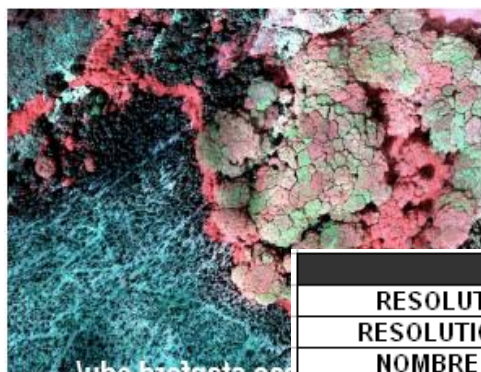
BIODIVERSITE VEGETALE

La pression humaine (urbanisation, déforestation, agriculture intensive...) dégrade l'environnement donc l'habitat naturel de nombreuses espèces, à l'interface entre la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère.

- MIEUX MAITRISER LES ECHELLES
- EXPLORER LES ZONES D'INTERFACES
- ALLER VERS DES MODELES INTEGRES
- ACCEDER A DE NOUVEAUX OBSERVABLES

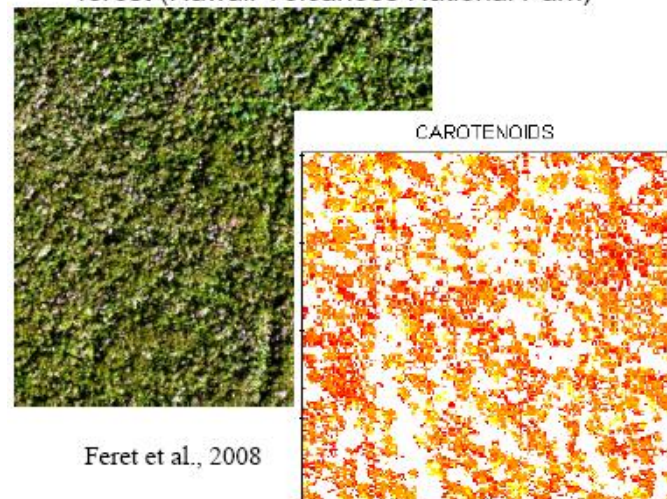


Ex: Cartography of pigment content, tropical forest (Hawaii Volcanoes National Park)



<http://cao.stanford.edu>

	OBJECTIF	ACCEPTABLE
RESOLUTION SPATIALE (m)	5	10
RESOLUTION SPECTRALE (nm)	1nm (fluorescence)	10
NOMBRE DE BANDES SPEC.	250	-
CHAMP (km)	Variable	~ 10*10
COUVERTURE	MONDIALE	EUROPE
FREQUENCE TEMPORELLE DE REVISITE	5	10j



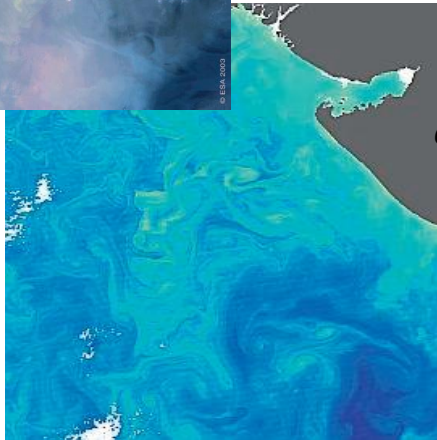
Feret et al., 2008

ECOSYSTEME CÔTIER

Domaine à forte variabilité spatio-temporelle des processus, -> les moyens d'observation actuels sont inadaptées (+spectral, + spatial & +revisite).



Des bandes spectrales étroites spécifiques (UV et NIR), car les eaux côtières sont souvent turbides et l'atmosphère potentiellement polluée par la présence d'aérosols absorbants de diverses origines (urbaines, desertiques).é



Modélisations des champs de chlorophylle par un couplage physico-biologie à méso échelle.

Les éléments nutritifs présents dans les eaux sub-superficielles peuvent ainsi atteindre les couches éclairées, stimulant la photosynthese et la fixation du carbone par le phytoplancton.

(source: M. Levyet K. Takahashi)

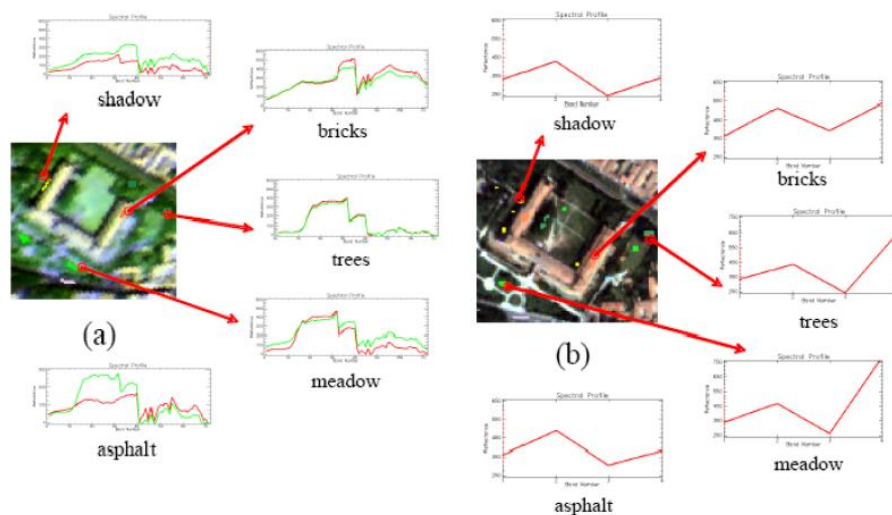
- MIEUX MAITRISER LES ECHELLES
- EXPLORER LES ZONES D'INTERFACES
- ALLER VERS DES MODELES INTEGRES
- ACCEDER A DE NOUVEAUX OBSERVABLES

Les données Hyperspectrales à l'échelle locale (~10m) permettent de documenter et mieux comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes complexes.

L'échelle locale permet de fiabiliser et enrichir les modèles à méso-échelle, étape indispensable pour établir le diagnostic global de l'état de la planète

	OBJECTIF	ACCEPTABLE
RESOLUTION SPATIALE (m)	5	10
RESOLUTION SPECTRALE (nm)	10	15
NOMBRE DE BANDES SPEC.	210	125
CHAMP (km)	Variable	~ 10*10
COUVERTURE	MONDIALE	EUROPE
FREQUENCE TEMPORELLE DE REVISITE	Dépend des marées	

ECOSYSTEME URBAIN



Spectra of some covers in DAIS data (a) and in Quickbird data (b), from Dell'Acqua et al., 2006.

Class	30 m	10 m	5 m	2.5 m	1 m
Trees	Group				
Grass					
Park					
Dense buildings					
High buildings					
Road	Except motorway				
Railways			area		
Water	river				
Shadow					

Puissant A., Hirsch J., 2004, Télédétection urbaine et résolution spatiale optimale : intérêt pour les utilisateurs et aide pour les classifications, *Revue Internationale de Géomatique*, 14(3-4), 403-415.

- MIEUX MAITRISER LES ECHELLES
- EXPLORER LES ZONES D'INTERFACES
- ALLER VERS DES MODELES INTEGRES
- ACCEDER A DE NOUVEAUX OBSERVABLES

L'hyperspectral HR permet l'accès à de nouveaux observables notamment en milieu urbain comme les surfaces anthropiques (cartographie des surfaces anthropiques, bilan thermique, vieillissement des matériaux, hydrologie, correction des ombres...)

...

-> Ces problématiques sont en prise directe avec les politiques publiques et les grands enjeux sociétaux de ce siècle

HYPXIM UNE MISSION DUALE MULTITHEMATIQUE

VEGETATION

Biodiversity
Water leaf contents
Biochemistry spectroscopy

GEOSCIENCES

Mineralogy
Cartography
Soils degradation
Environmental Risks

SECURITY & DEFENSE

Traficability
Target detections, identif.
Landscape anomalies

COASTAL ECOSYSTEMS:

Biometry, red tide, blooming
Bathymetry, sedimentology
Effluents, water quality
Intertidal cartography

URBAN APPLICATIONS

Materials and their variability
Non pure pixels
Hidden pixels
Shadow effects

ATMOSPHERE

Black Carbon maps
Gazes
Aerosols
Air Pollution

Map of r_{sp} (μm)

Map of BC (%)

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU BESOIN (1/4)

Radiometry

Spectral continuum is required from VIS to SWIR optical domain with a spectral resolution of 10 nanometers. Spectral continuum is also required for TIR with a spectral resolution of 100 nm.

The panchromatic image can be combined with the hyperspectral image so as to enhance spatial resolution.

Spectral requirements for HYPXIM mission

Domain	Spectrum (nm)	Bandwidth $\delta\lambda$ (nm)	SNR
VIS	400-700	10	$\geq 250:1$
NIR	700-1100	10	$\geq 200:1$
SWIR	1100-2500	10	$\geq 100:1$
PAN	400-800	400	$\geq 90:1$
TIR	8000-12000	100	$> 100:1$

SNR = Signal-to-Noise Ratio

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU BESOIN (2/4)

Ground Spatial Resolution (GSR)

3 classes of needs are identified for VNIR-SWIR domain (0.4 - 2.5 μm) :

- 20 meters and larger => covered by EnMAP and PRISMA missions,
- 10 to 15 meters,
- 5 to 10 meters.

GSR : 50 to 100 meters is required for TIR (8 to 12 μm).

Swath

15 km minimum, up to 30 km.

Revisit period

Daily revisit required for applications (e.g. security & defence) but 3-day revisit period acceptable.

Non critical for many other application in geosciences, urban env., etc...).

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU BESOIN (3/4)

At-sensor radiances

At-sensor radiances are defined by the scientific and defence mission group [1]. For a better understanding, the at-sensor radiances specifications are converted into observable ground reflectances, according to the observation latitude and the sun-zenithal angle.

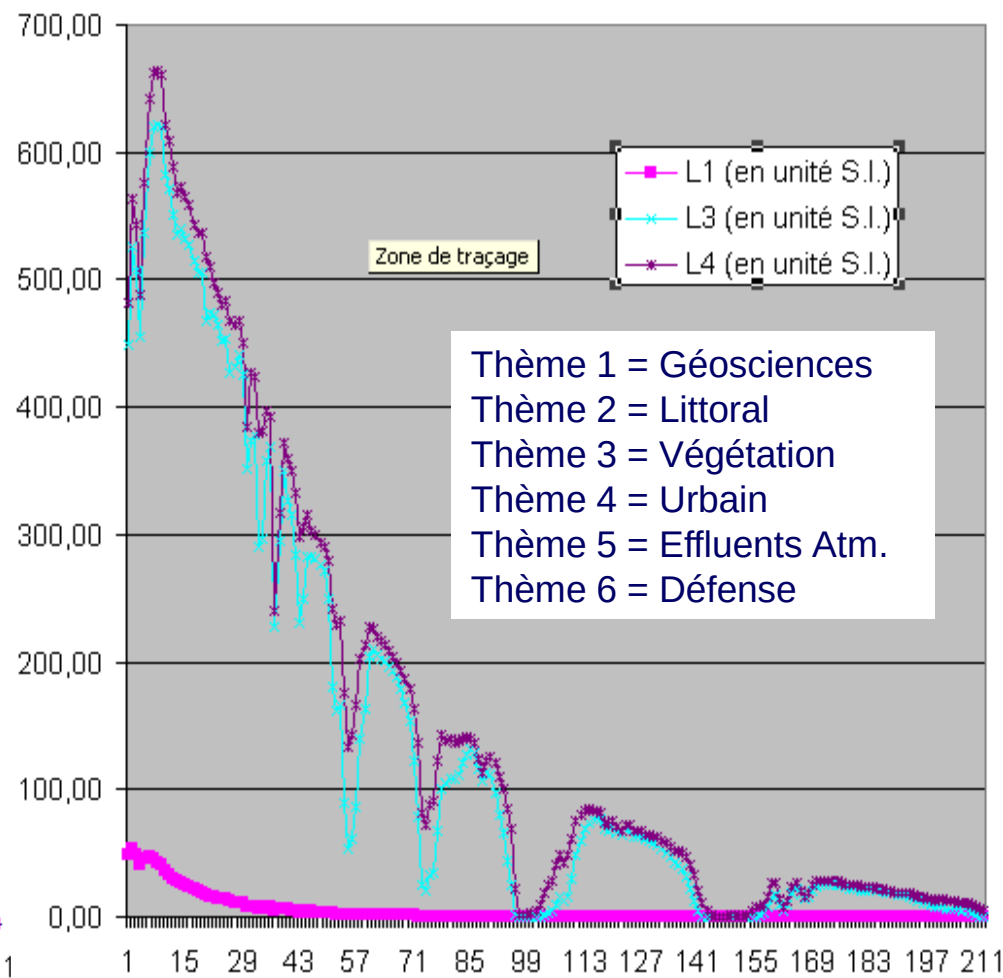
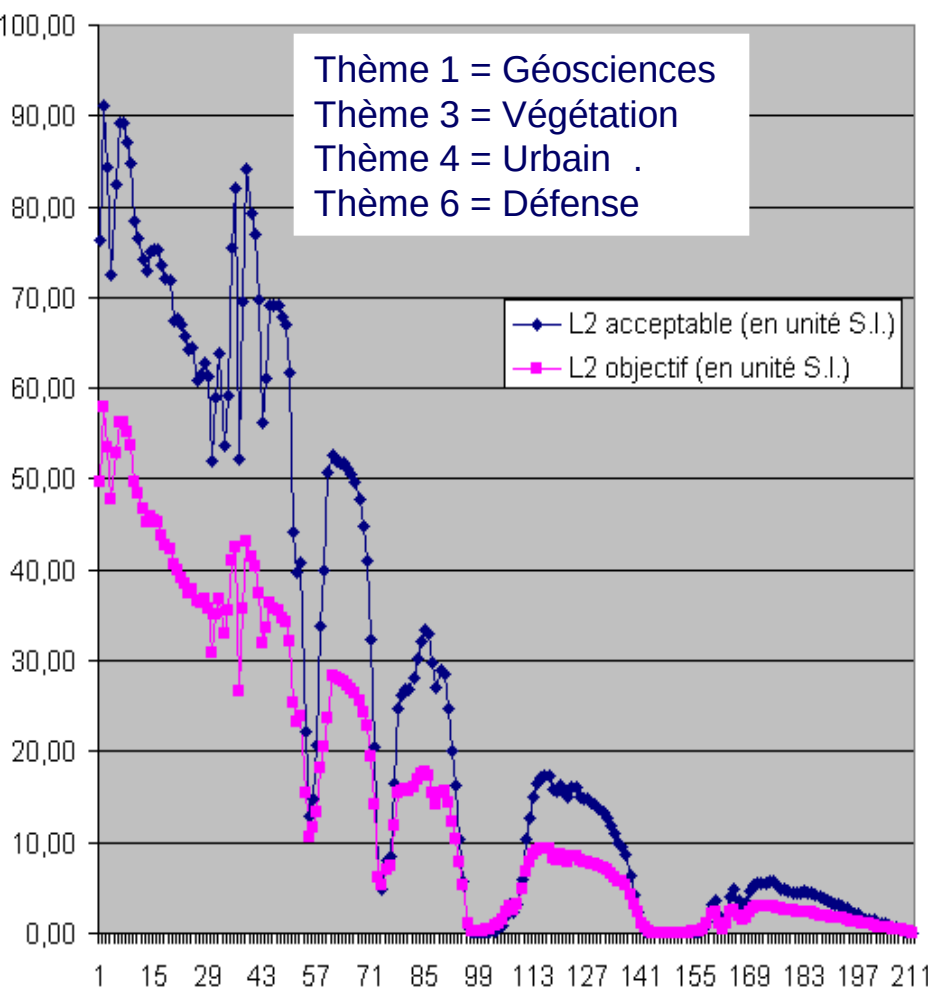
□	L1·(min)□	L3·(max)□	L4·(nuages)□	L2 "cas moyen favorable" : atmosphère sèche	L2 "cas moyen défavorable" : atmosphère humide et turbide
RHO□	0□	0,98□	1□	Rho moyen de la thématique	
SZA ^a □	60°□	15°□	0°□	4 valeurs : 0° / 15° / 30° / 60°	
Modèle· atmosphérique□	Tropical□	Mid-Latitude· Summer□	Sub-Artic·Winter□	Mid-latitude winter	Mid-latitude summer
H ₂ O□	D'après·modèle· (4,12g/cm ²)□	Fixé·à·2g/cm ² ·□	D'après·modèle· (0,42g/cm ²)□	0,8 g/cm ²	2 g/cm ²
Modèle·d'aérosols□	Rural□	Rural□	Rural□	Rural	Rural
VIS ^b □	23km□	50km□	50km□	50 km	23 km

^a·Angle·zénithal·solaire, ^b·Visibilité¶

[1] X. Briottet, et al. : « HYPXIM : a new hyperspectral sensor combining science/defence applications », Proc. 3rd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing : Evolution in Remote Sensing, Lisbon, Portugal, 2011.

pour HYPXIM-C : L2 « acceptable » : SZA 30°, atmosphère moyenne défavorable avec réflectance sol moyenne des 4 thèmes prioritaires

pour HYPXIM-P : L2 « objectif » : SZA 60°, atmosphère moyenne favorable avec réflectance sol moyenne des 6 thèmes



PHASE 0 HYPXIM : Etude de 2 concepts satellites

■ HYPXIM-Challenging

- ♦ Le défi pour la conception d'HYPXIM-C est de respecter deux contraintes quasiment antinomiques : un microsatellite (< 200 kg) et un instrument hyperspectral de haute résolution (15 mètres).
- ♦ Les études préliminaires menées par le CNES (avec supports des industriels) montrent qu'une mission HYPXIM-C "Advanced" (HYPXIM-CA) pourrait être mise en orbite en 2020-22, et qu'une mission HYPXIM-C "Basic" (HYPXIM-CB) - encore à l'étude - pourrait suivre un calendrier plus proche encore.

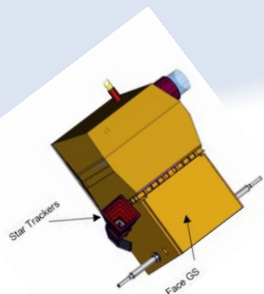
■ HYPXIM-Performance

- ♦ Le challenge de la mission HYPXIM-P est de concevoir et d'aménager un instrument hyperspectral à très haute résolution (8 mètres) ainsi qu'un spectromètre IRT sur un mini-satellite (500 kg – 1 t).
- ♦ Les études préliminaires montrent qu'une mission HYPXIM-P pourrait être mise en orbite d'ici 2020-22.

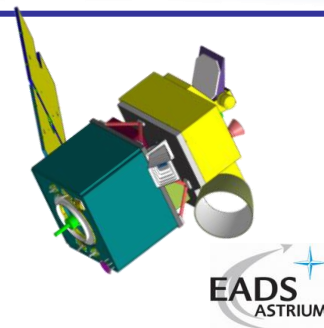
HYPXIM-C : CHALLENGING ON MICROSAT

Altitude	650 km
Payload	TMA telescope F150 mm with a dedicated panchromatic channel (PAN), prism-based spectrometer Detector VNIR-SWIR 1000 x 256 pixels (off-the-shelf)
Resolution/Swath	Option A: 15 m / 30 km (without PAN) or OptionB: 15 m / 15km (With PAN: 3,7m)
Spectral bandwidth / resolution	400 – 2500 nm / < 14 nm
Payload budget	Mass 70 kg, Power 110 W (imaging), Dim. 590 x 640 x 500 mm
Satellite	Myriade NG 195 kg (at launch)
Revisit period	Access to any zone within +/-60° in latitude within 30 days, with a roll less than 10° Allowing roll angles up to 40°, revisit time decreases to 3 days (with GSR increased by 50%)
Imaging slow-down	5-6
Imaging capacity	280 square images per day for one satellite
Ground-to-space link	X-band link at 160 Mbps (with ground or mobile stations)
Launcher compatibility	Soyuz
Expected lifetime	5 years (incl. end-of-life operations)

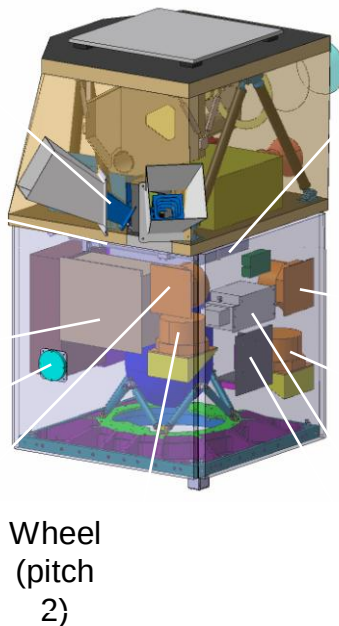
HYPXIM-C 2018 TIMEFRAME



ThalesAlenia
Space



Stellar sensor
s
Magneto-
torque
PCDU
GPS anten
Wheel
(yaw)



Wheel
(pitch
2)

GPS receive
r

Wheel
(roll)
Wheel
(pitch
HDTM

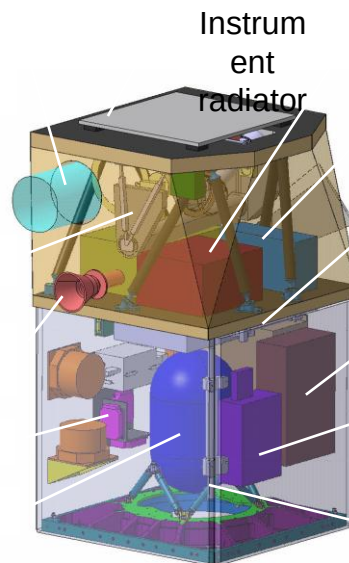
Gyros
x3



Instrum
ent
FoV

Telesco
pe
X-band
antenn

Gyros
x3
10 kg
tank



Instrum
ent
radiator

Video
chains

Cryogenic
device

Magneto-
torquer
(yaw)
Battery

Electronic
s

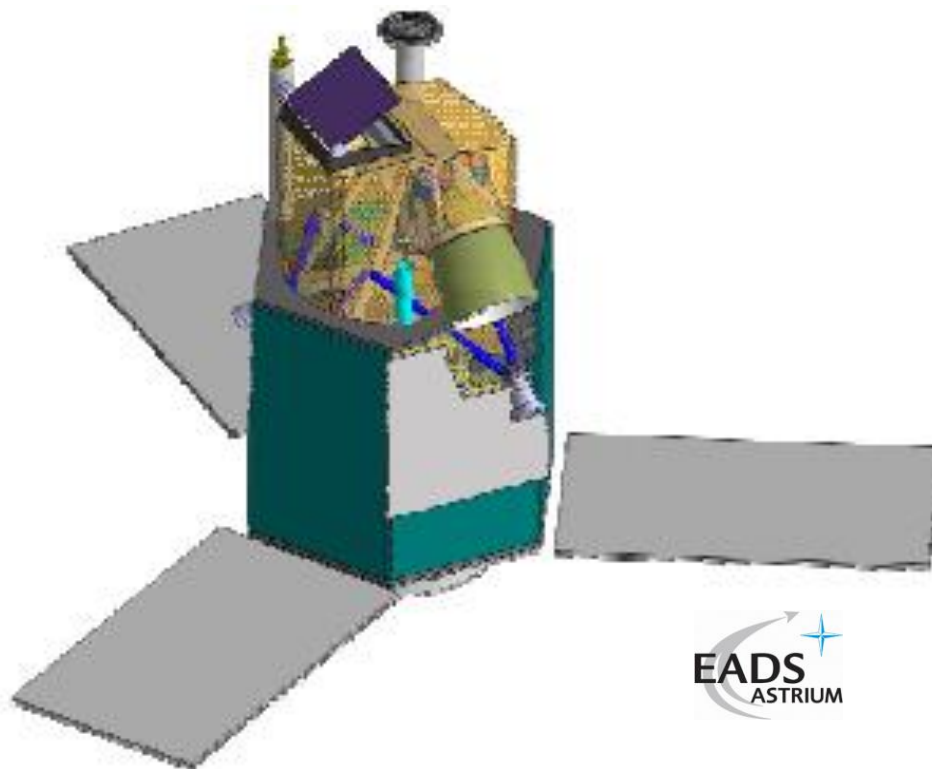
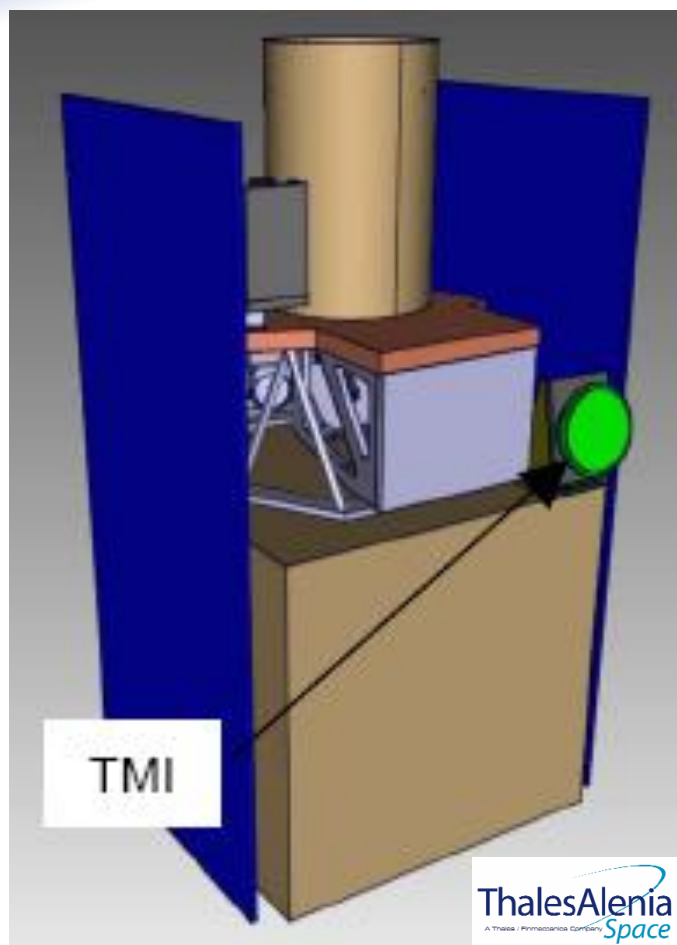
Magnetor
quer
(pitch)

HYPXIM-CB satellite overview [CNES and industrial property - all rights reserved]

HYPXIM-P LIKE PERFORMANCE ON MINISAT

Altitude	660 km
Payload	Korsch telescope $\Phi 430$ mm with dedicated panchromatic channel, prism-based spectrometer Detector VNIR-SWIR 2000 x 360 pixels (to be developed) For TIR : telescope $\Phi 60$ mm, prism-based spectrometer Detector 160x35 pixels
Spatial resolution / Swath	Vis-to-SWIR: 8 m / 16 km; For TIR : 100 m / 16 km
Spectral bandwidth / resolution	400 – 2500 nm / 10 nm For TIR : 8 -12 μm / 100-150 nm
Payload budget	Mass <150 kg, Power (imaging) <350 W
Satellite	1-ton range
Revisit period	With +/-20° across-track imaging : 15 days With +/-40° across-track imaging : 3 days
Imaging Slow down	5-6 (until 10 in hivernal conditions)
Imaging capacity	200 square images per day (for one satellite)
Ground-to-space link	X-band link at 270 Mbps (with ground or mobile stations)
Launcher compatibility	Soyuz, Vega
Expected lifetime	10 years (incl. end-of-life operations)

HYPXIM-P 2021 TIMEFRAME

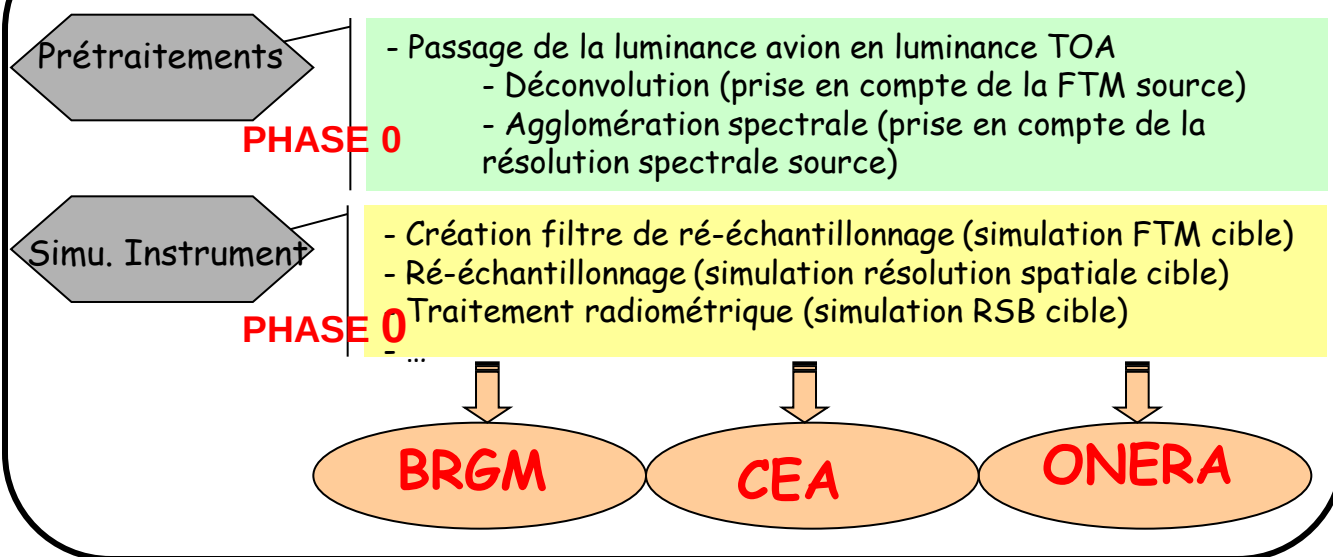


Propriété CNES et industriels - all rights reserved

Données Source

- Données aéroportées existantes HX (4-6 m) et PAN (< 2m)-AC
- Capteurs HyMap (Aisa, Mivis, Aviris, HySpex non adaptés)
- Vérités terrain existantes
- Algorithme ayant fait leur preuve en HX aérien

Chaîne de simulation HYPXIM



Données HYPXIM Simulées

- Traitements thématiques par algos déjà validés
- Comparaison quantitative des traitements vs données de référence à ~4m de résolution
- Comparaison en « aveugle »

SIMULATIONS HYPXIM: 23 CAS

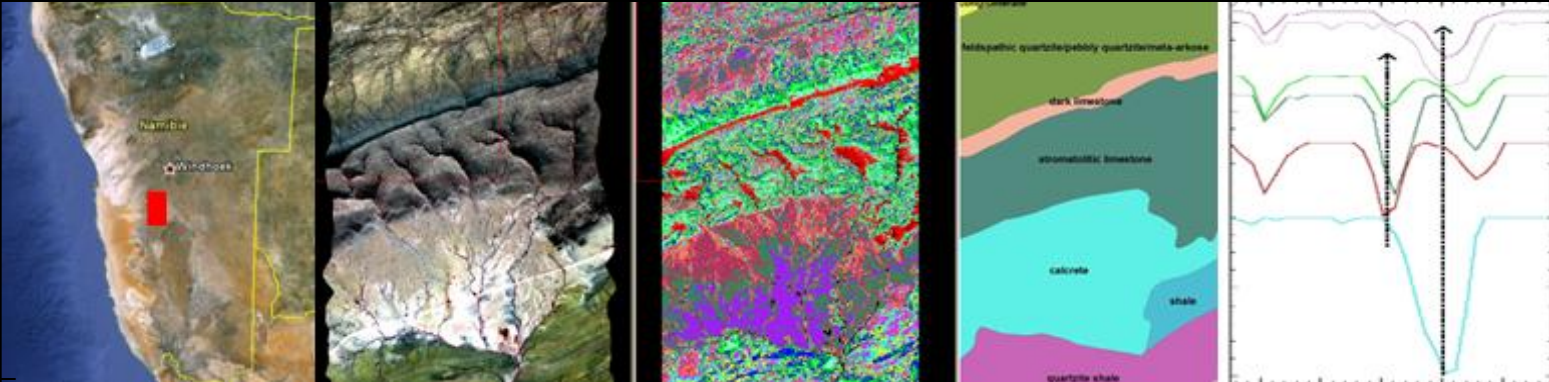
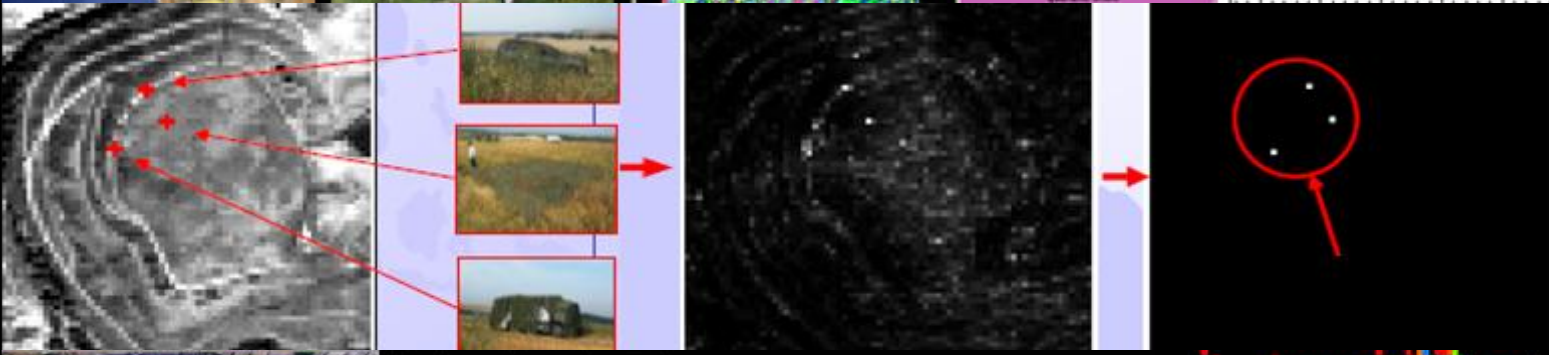
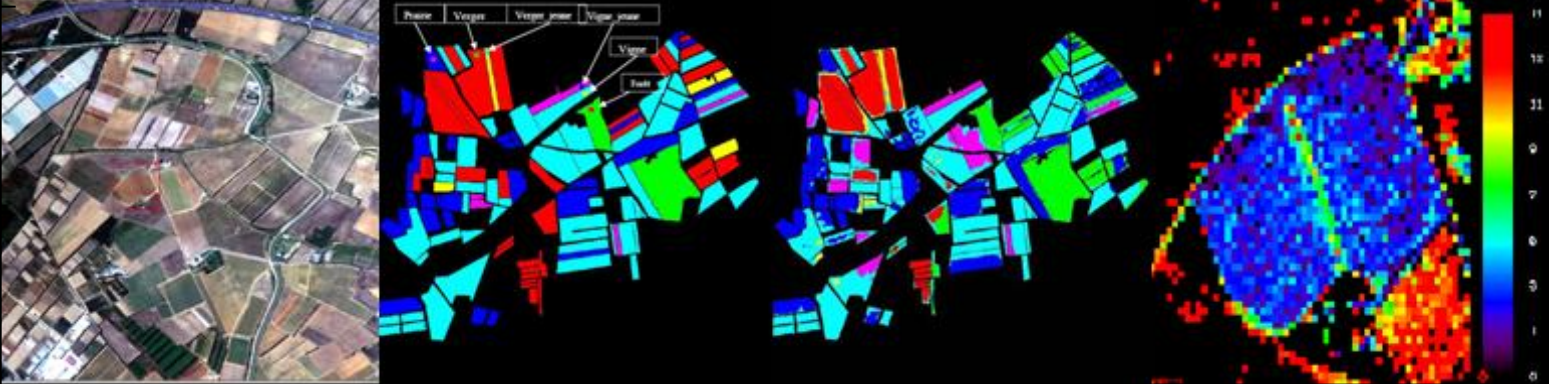
	Rés. spatiale	FTM	SNR	Lum	Mission
Vert-le-Grand 2003	6,2	Réf	Réf	Obj	P
	12,4	Réf	Réf	Obj	P + C
	18,6	Réf	Réf	Obj	C
	18,6	Réf	Réf	Acc	C
	18,6	Réf	Réf+50%	Acc	C
	24,8	Réf	Réf	Obj	C
	31	EnMAP	EnMAP	Obj	EnMAP
Namibie 2009	4,8	Réf	Réf	Obj	P
	9,6	Réf	Réf	Obj	P
	14,4	Réf	Réf	Obj	C
	19,2	Réf	Réf	Obj	C
	19,2	Réf	Réf	Acc	C
	19,2	Réf	Réf+50%	Acc	C
	24	Réf	Réf	Obj	C
Camargue 2009	28,8	EnMAP	EnMAP	Obj	EnMAP
	4	Réf	Réf	Obj	P
	8	Réf	Réf	Obj	P
	12	Réf	Réf	Obj	P + C
	16	Réf	Réf	Obj	C
	16	Réf	Réf	Acc	C
	16	Réf	Réf+50%	Acc	C
	20	Réf	Réf	Obj	C
	28	EnMAP	EnMAP	Obj	EnMAP

OBJECTIF PRINCIPAL:

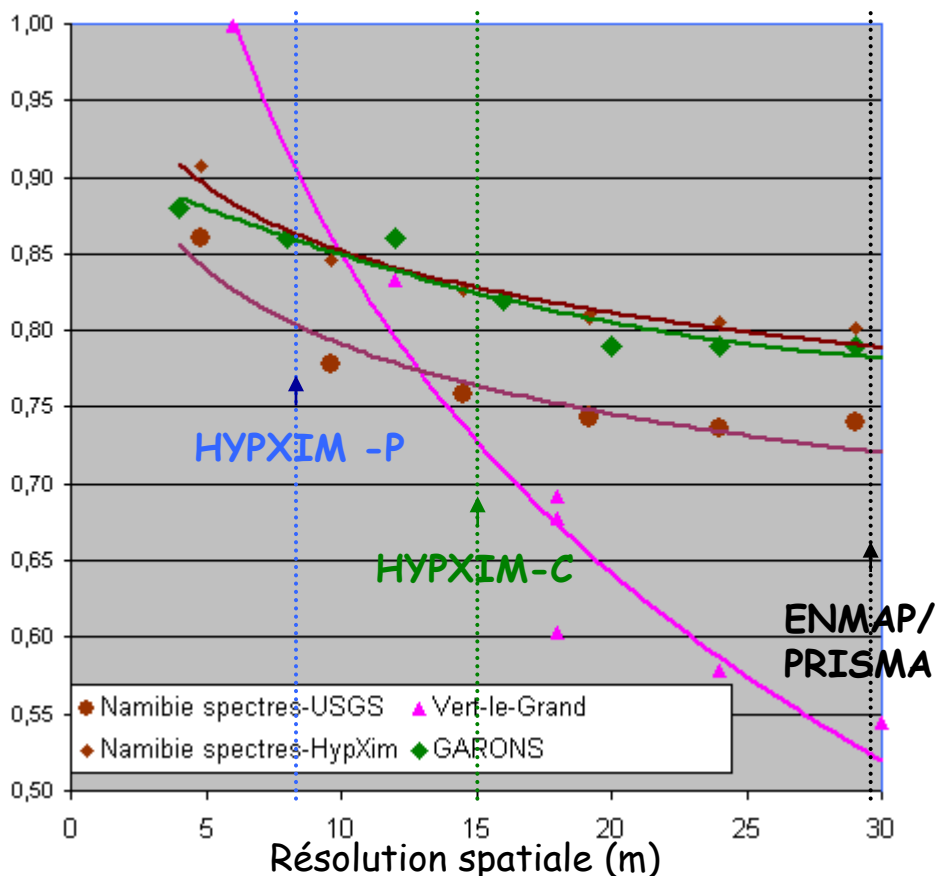
**VALIDER LA RESOLUTION
SPATIALE**

**VALIDER LES SNR
REALISTES**

3 SITES-> 4 THEMES

NAMIBIE		BRGM
VERT-LE-GRAND		CEA/DAM
GARONS		OLNERA/DOTA

RESULTATS DES EXPERIMENTATIONS



☐ APPORT NON SIGNIFICATIF DU CONCEPT HYPXIM-C SUR MICROSAT PAR RAPPORT A ENMAP (OU PRISMA)

☐ LECONCEPT HYPXIM-P REpond BIEN AUX BESOINS DEFENSE IL PRESENTE UN GAP SIGNIFICATIF POUR DES THEMATIQUES TELLES QUE MINERALOGIE, HUMIDITE INTRAPARCELLAIRE, CLASSIFICATIONS AGRICOLES

☐ LA FUSION AVEC LE PANCHRO N'A PU ETRE TESTEE MAIS DEVRAIT FAIRE FRANCHIR UN NOUVEAU SEUIL DE PERFORMANCES

1- Mission Hyperspectrale Vis-to-Swir à 15m (HYPXIM-CB)

- Le besoin scientifique a largement été étudié aux USA (AVIRIS), en Allemagne (via ENMAP) et en Italie (via PRISMA). A cette résolution spatiale, l'intérêt pour certaines applications de la Défense est marginal ;
- Sur le plan technique, la mission HX avec PAN est très mature et peut être embarquée sur un microsat à moindre coût (TRL > 6-7)
- Sur un plan programmatique et stratégique, cette mission est un plus vis-à-vis d'ENMAP mais ne fait pas franchir un Gap significatif. Elle prend son importance en cas d'échec au lancement de la mission ENMAP en 2015.

- > MISSION NON PRIORITAIRE

2- Mission Hyperspectrale Vis-to-Swir à 6-8m (HYPXIM-P)

- Le besoin scientifique est identifié car étudié via des données aériennes. L'intérêt pour des applications de la Défense est démontré (ETS) mais doit être consolidé via le CDR – HYPEX et des ETO-AC;
- Sur le plan technique, la mission HX avec PAN est mature et peut être réalisée sur un minisat – Une optimisation système reste à faire afin d'améliorer la résolution sans rupture technologique (si la CU IRT n'est pas confirmée)
- Sur un plan programmatique, cette mission présente un gap majeur et innovant par rapport à ENMAP (et les autres satellites planifiés) et doit se considérer comme une nouvelle génération qui prendra sa place en fin de vie d'ENMAP.

-> LA RDM DU 11 JUIN RECOMMANDE DE LANCER UNE PHASE A MI-2012 PERMETTANT DE CONSOLIDER EXPERIMENTALEMENT LE CHOIX DE RESOLUTION vs SNR SUR PLUS DE THEMATIQUES + DEMENER LES R&T INDISPENSABLES (LANCEMENT MI-2021)

3- Mission Hyperspectrale Vis-to-Swir < 5m

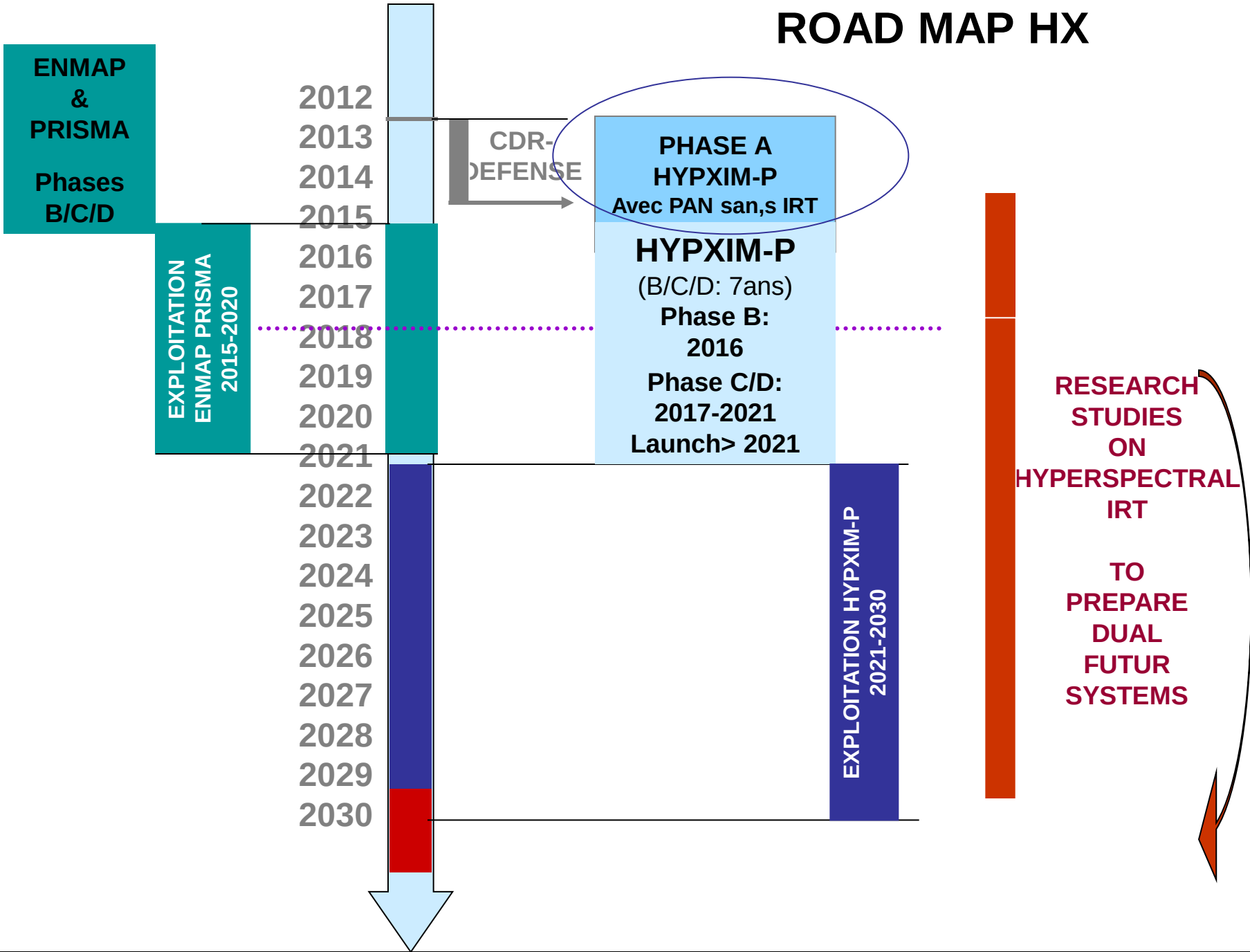
- Quelques éléments de réponses devraient émerger du CDR-HYPEX en 2014 (si les données permettent de la simuler).
- Sur le plan technique, la faisabilité d'un instrument permettant de réaliser cette mission à coût raisonnable n'est pas acquise -> rupture technologique à identifier.

4- Mission Hyperspectrale IRT

- Le besoin d'une mission de spectro-imagerie IRT n'est pas consolidé . Quelques éléments de réponse devraient émerger des campagnes Sisyphe à partir de 2016
- Sur le plan technique, la faisabilité d'un spectro @ 100m de résolution est acquise, mais les concepts instrumentaux sont à consolider. La faisabilité d'un système Hyper-IRT à plus haute résolution et à coût raisonnable n'est pas acquise -> ruptures technologiques

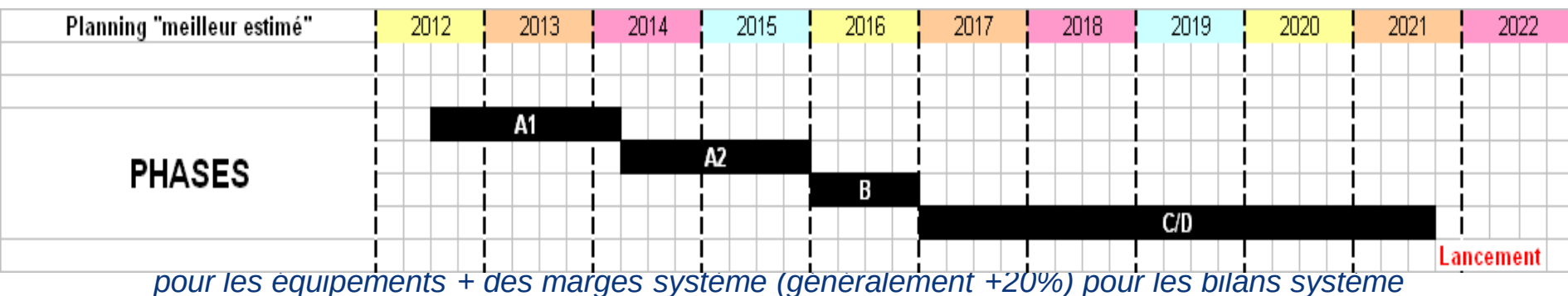
**-> MISSIONS PLUS FUTURISTES A ENVISAGER A PARTIR
DE 2027/2028 (AU MIEUX: 2017+10 ans)**

ROAD MAP HX

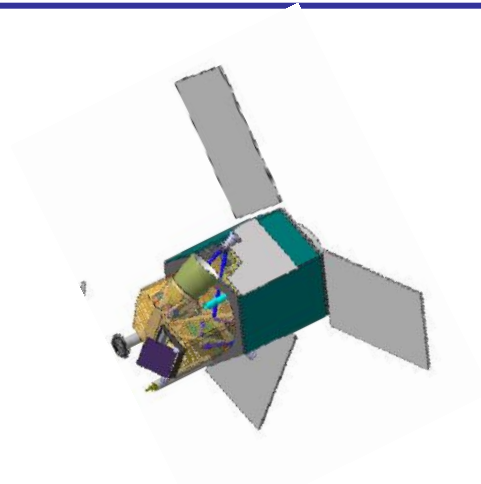
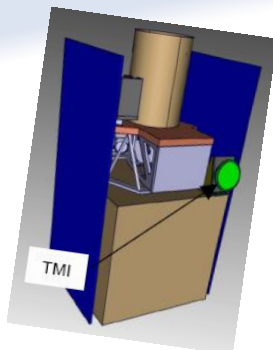


HYPXIM-P : valeurs clés pour un système $\leq 8m$

- Masse* au lancement (hors adaptateur) ~ 890 kg
- Masse charge utile ~ 115 kg (HX & PAN sans TIR)
- Puissance* charge utile (en prise de vue) : 150 W
- Puissance générateurs solaires EOL : 1500 W
- Lanceur Vega ou Soyuz (en position de lancement double)
- Durée de vie 10 ans



DECISION EN JUILLET ... A SUIVRE !



Merci pour votre attention

