



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

HYPXIM – SATELLITE HYPERSPPECTRAL DUAL

Résultats préliminaires des études

Sylvain Michel*, Marie-José Lefevre-Fonollosa*

**** CNES (Centre National d'Etudes 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**

Avant-projet HYPXIM : présentation

- 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.
- La synthèse des besoins exprimés a permis de définir des spécifications en termes de : domaine et résolution spectrale, rapport signal-à-bruit, résolution spatiale, champ et revisite. Ces éléments sont très dimensionnants vis-à-vis de l'instrument spatial.

HYPXIM : spécifications de mission (1/2)

Domaine	Spectre (nm)	Rés. spectrale $d\lambda$ (nm)	Rapport Signal-à-Bruit
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	$\geq 90:1$
IRT	8000-12000	100	$\geq 100:1$

} @ L2
(cf. + loin)

=> Le continuum spectral est requis en VIS et en SWIR, avec une résolution spectrale de 10 nanomètres.

=> Le continuum spectral est aussi requis pour l'IRT, avec $d\lambda$ de 100 nm.

=> L'image hyperspectrale peut être « combinée » avec l'image panchromatique.

HYPXIM : spécifications de mission (2/2)

- Résolution spatiale : 3 classes de besoin sont identifiées pour le domaine VNIR-SWIR (0.4 - 2.5 μm) :
 - ◆ 30 mètres => sera couvert par les missions EnMAP et PRISMA.
 - ◆ 15-20 mètres
 - ◆ 5-10 mètres } => Cibles pour HYPXIM

- Résolution spatiale de 100 mètres requise pour l'IRT (8 - 12 μm).

- Champ : 15 km (minimum).

- Période de revisite du satellite :
 - ◆ Revisite journalière requise pour certaines applications Sécurité & Défense, mais revisite à 3 jours acceptable.
 - ◆ Non critique pour un certain nombre d'applications (exemple : géosciences, environnement urbain).

HYPXIM : 2 concepts satellites différents

- Pour satisfaire ces besoins, 2 concepts de satellite sont étudiés avec le support industriel de Thales Alenia Space et d'EADS-Astrium :
 - HYPXIM-Challenging (HYPXIM-C), et
 - HYPXIM-Performance (HYPXIM-P).

- 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 d'ici 2020, 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.

a) Recueil des réflectances sol min / max / moy pour chaque thème

Thème 1 = Géosciences

Thème 2 = Littoral

Thème 3 = Végétation

Thème 4 = Urbain

Thème 5 = Effluents Atm.

Thème 6 = Défense

b) Calcul des luminances TOA (Top Of Atmosphere) à partir des réflectances sol

L1 = luminance minimale mesurée au capteur

L2 = luminance moyenne mesurée au capteur => luminance servant de référence pour le dimensionnement de l'instrument (notamment performance de RSB)

L3 = luminance maximale mesurée au capteur

L4 = limite de la saturation

Paramètres principaux :

-> réflectance du sol (rho)

-> SZA (Angle Zénithal Solaire)

-> modèle atmosphérique

-> teneur en eau

-> aérosols

-> niveau de visibilité

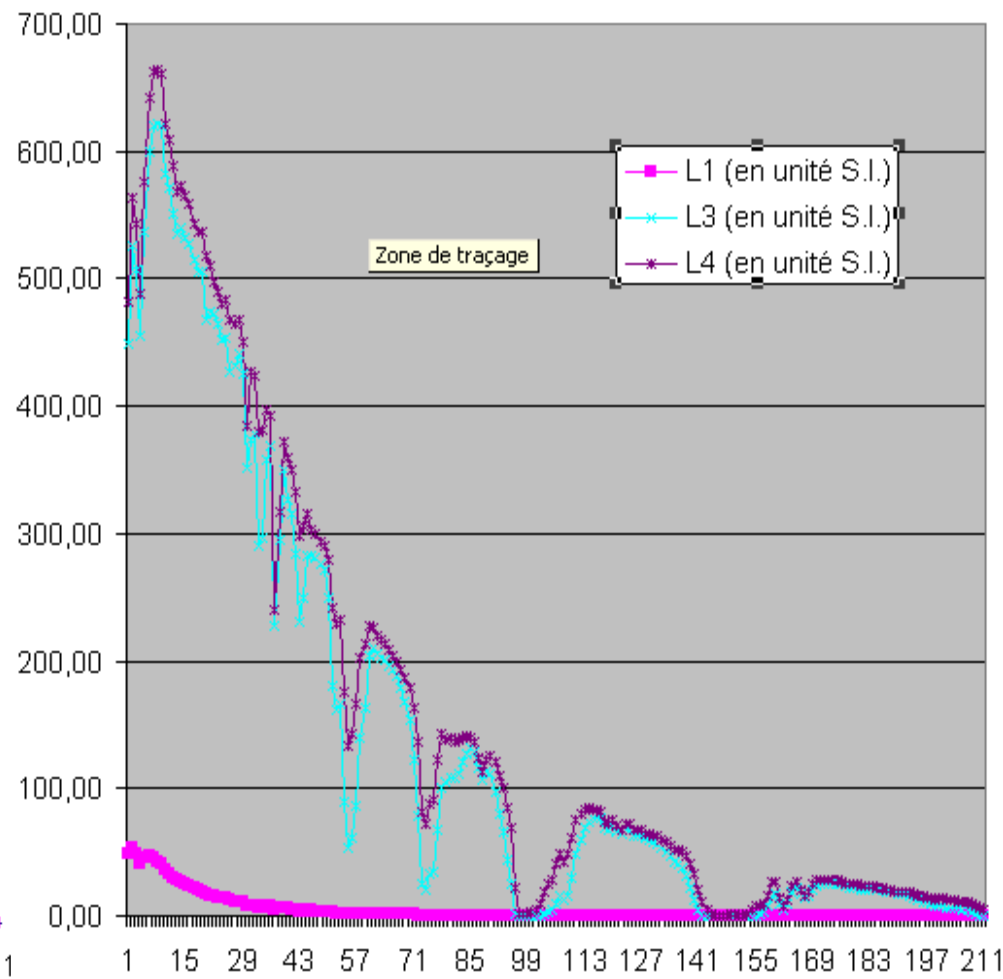
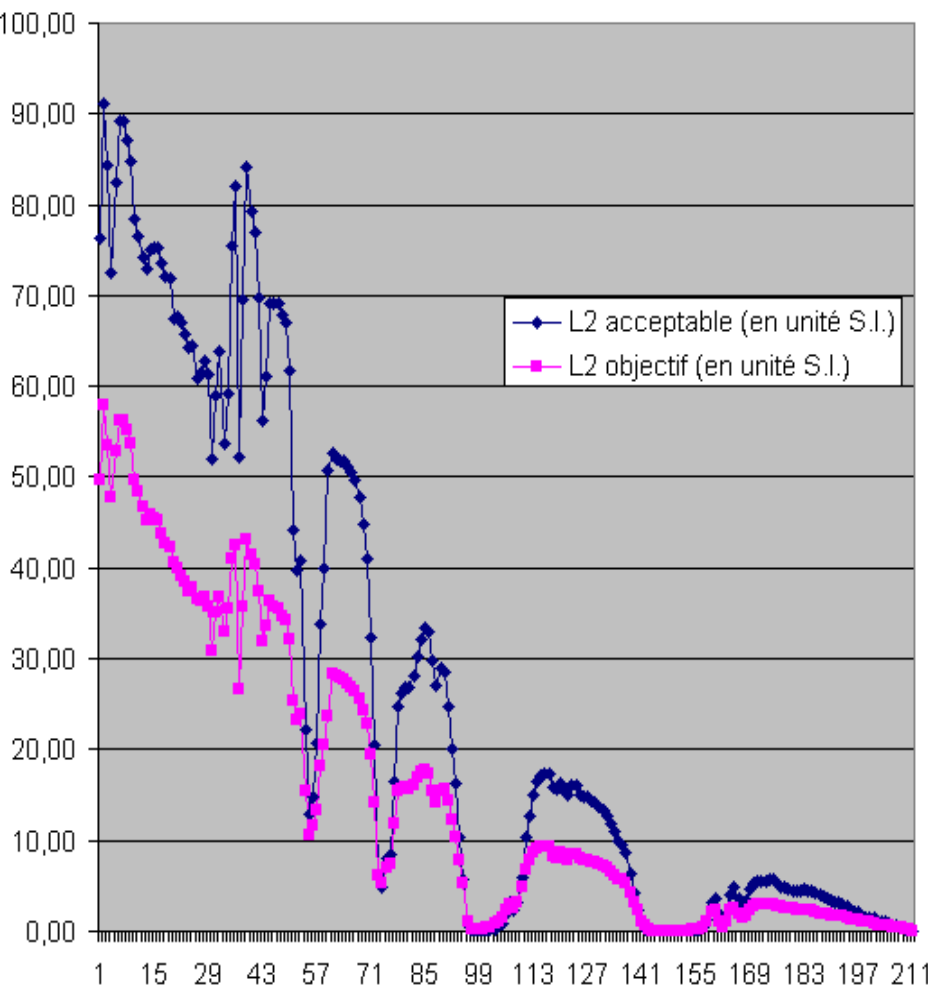
□	L1·(min)□	L3·(max)□	L4·(nuages)□
RHO□	0□	0,98□	1□
SZA ^a □	60°□	15°□	0°□
Modèle atmosphérique□	Tropical□	Mid-Latitude Summer□	Sub-Artic-Winter□
H ₂ O□	D'après modèle (4,12g/cm ²)□	Fixé à 2g/cm ² □	D'après modèle (0,42g/cm ²)□
Modèle d'aérosols□	Rural□	Rural□	Rural□
VIS ^b □	23km□	50km□	50km□

^a·Angle zénithal solaire, ^b·Visibilité

	L2 "cas moyen favorable" : atmosphère sèche	L2 "cas moyen défavorable" : atmosphère humide et turbide
RHO	Rho moyen de la thématique	
SZA ^a	4 valeurs : 0° / 15° / 30° / 60°	
Modèle atmosphérique	Mid-latitude winter	Mid-latitude summer
H ₂ O	0,8 g/cm ²	2 g/cm ²
Modèle d'aérosols	Rural	Rural
Visibilité ^b	50 km	23 km

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 (hors littoral au-delà de 1 micron).



HYPXIM-CA : description de la charge utile

- **Télescope TMA (Trois Miroirs Astigmaté) :**
 - ◆ Champ de 30 km.
 - ◆ Diamètre pupillaire de 170 mm environ.
 - ◆ Nombre d'ouverture (f/D) de 5 environ.

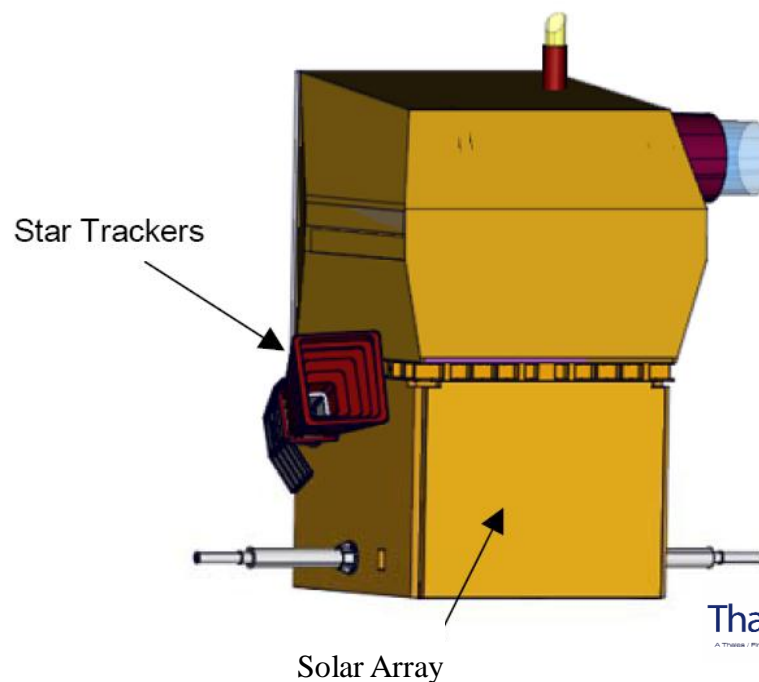
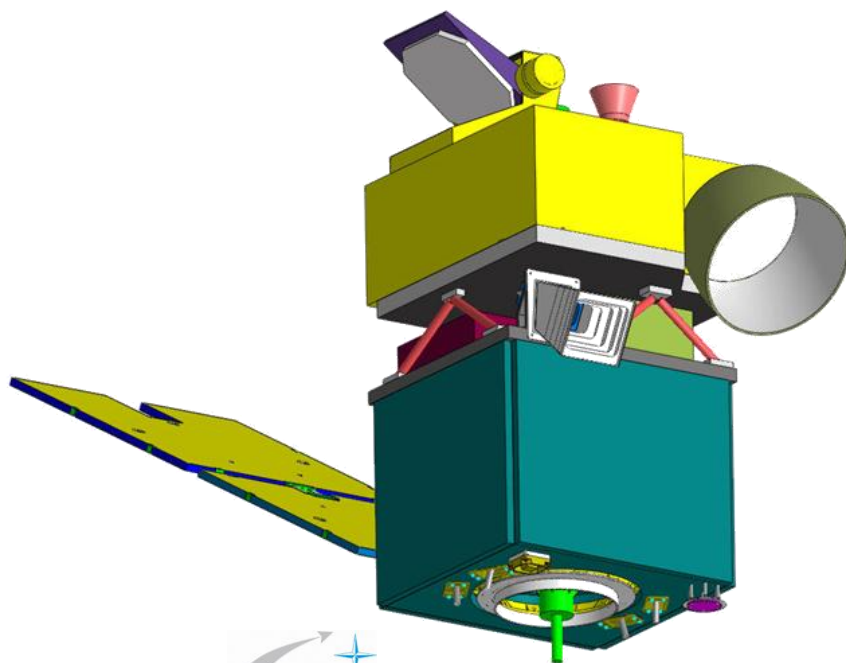
- **Spectromètre compact à prisme :**
 - ◆ Résolution spatiale de 15 mètres.
 - ◆ Résolution spectrale de 10 nm => 210 bandes (toutes téléchargées).
 - ◆ Détecteur VNIR-SWIR 2000 x 360 pixels (à développer en Europe).
 - ◆ Machine cryogénique pour maintenir la température des détecteurs à 175 K.

- **La charge utile a une masse de 60 kg et une dimension enveloppe de 600 x 600 x 750 mm. La puissance requise en prise de vue est de 50 W environ.**

HYPXIM-CA : description du satellite (1/2)

Altitude	Autour de 650 km
Période de revisite	<ul style="list-style-type: none"> • En mode « routine » (i.e. au nadir du satellite) : 90 jours avec un satellite / 45 jours avec 2 satellites • En mode « événement » : 3 jours
Capacité de prise de vue (pour un satellite)	<ul style="list-style-type: none"> • 100 images carrées (30x30 km) par jour (~ 100 000 km² / jour) • 800 km entre 2 images carrées consécutives • Image de longueur maximum = 500 km
Lien bord-sol	Bande X à 150 Mbps (avec stations sol ou stations mobiles)
Masse du satellite	195 kg (au lancement)
Dimensions enveloppe	600 x 600 x 1 350 mm
Lanceurs possibles	Soyouz, Vega, ...
Durée de vie	5 ans (y.c. opérations de fin de vie)

HYPXIM-CA : description du satellite (2/2)



Propriété CNES et industriels - all rights reserved

HYPXIM-CB : aperçu de l'étude en cours

- Principales contraintes de conception :
 - ◆ Masse du satellite < 250 kg au lancement.
 - ◆ Détecteur VNIR-SWIR 1000 x 256 pixels (« sur étagère »).
 - ◆ Champ de 15 km.
 - ◆ Résolution spatiale de 15 mètres.
 - ◆ Résolution spectrale de 10 nm => 210 bandes (toutes downloadées).

- Ajout d'un canal panchromatique à 3,75 mètres de résolution.

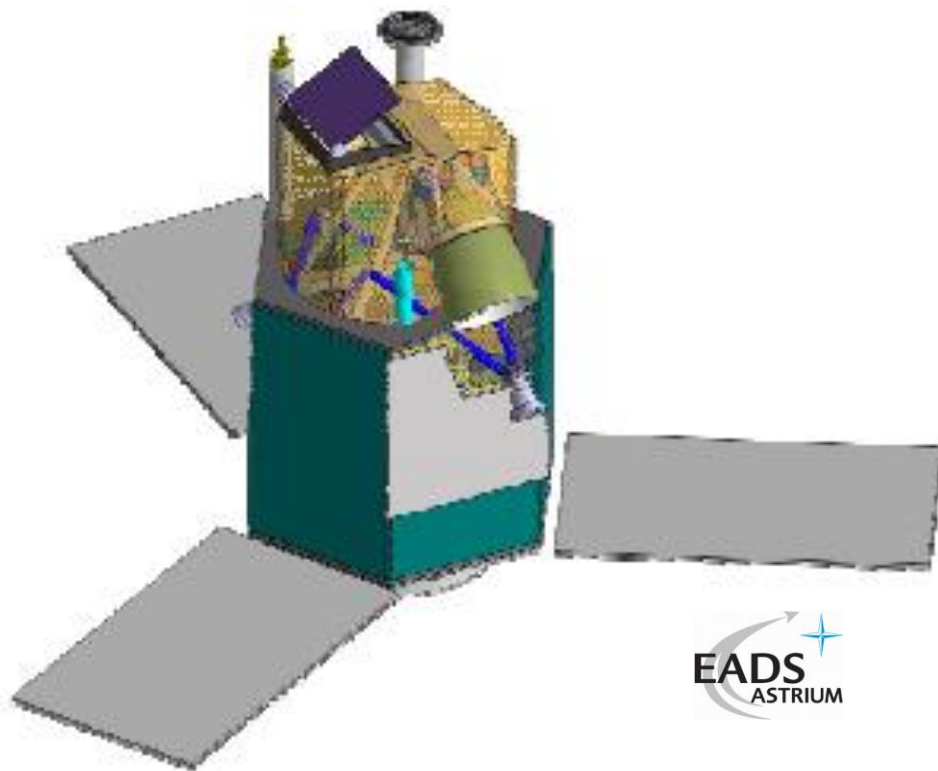
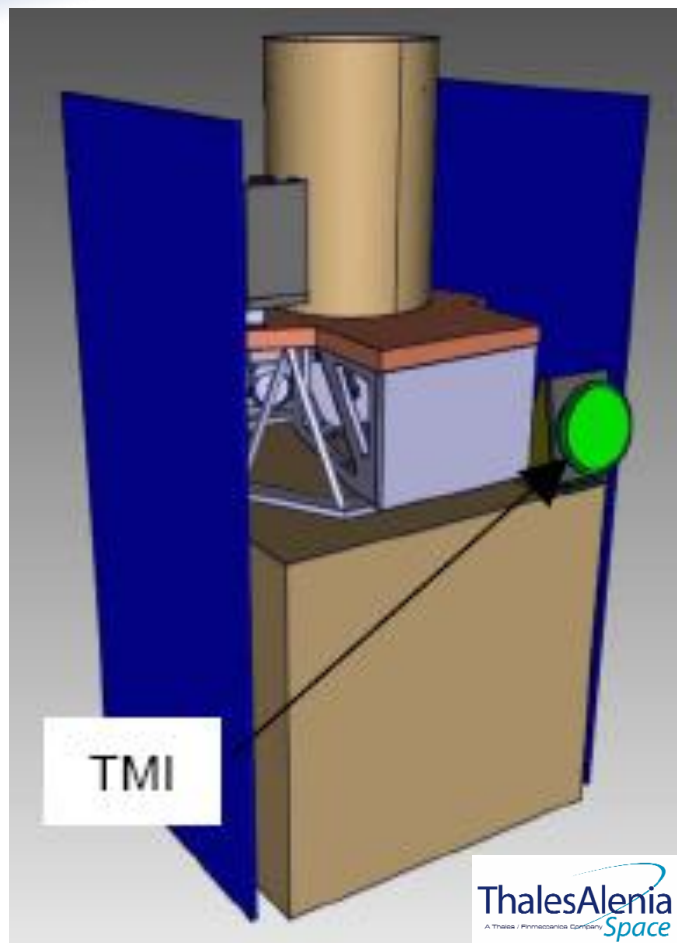
HYPXIM-P : description de la charge utile

- Instrument hyperspectral (0.4 - 2.5 μm) composé d'un télescope et d'un spectromètre :
 - ◆ Champ de 16 km.
 - ◆ Diamètre pupillaire de 430 mm environ.
 - ◆ Nombre d'ouverture (f/D) de 4 environ.
 - ◆ Spectromètre compact à prisme (même concept que HYPXIM-C) : résolution spatiale de 8 m, résolution spectrale de 10 nm.
- Canal panchromatique à 2 m, utilisant le même télescope, avec séparation du signal géométrique ou radiométrique.
- Instrument hyperspectral IRT (8 - 12 μm), avec télescope et spectromètre dédiés :
 - ◆ Résolution spatiale de 100 m, résolution spectrale de 100 nm.
 - ◆ Machine cryogénique pour maintenir la température des détecteurs à 55 K.
- La charge utile a une masse de 105 kg. La puissance requise en prise de vue est de 300 W environ.

HYPXIM-P : description du satellite (1/2)

Altitude	Autour de 660 km
Période de revisite	<ul style="list-style-type: none"> • En mode « routine » (nadir +/- 6°) : 19 jours • En mode « événement » : 3 jours
Capacité de prise de vue	<ul style="list-style-type: none"> • 150-200 images carrées (16x16 km) par jour (~ 50 000 km² / jour) • 230 km entre 2 images carrées consécutives
Lien bord-sol	Bande X à 270 Mbps (avec stations sol ou stations mobiles)
Masse du satellite	605 kg (au lancement)
Dimension enveloppe	1 400 x 1 200 x 2 600 mm
Lanceurs possibles	Soyouz, Vega, ...
Durée de vie	10 ans (y.c. opérations de fin de vie)

HYPXIM-P : description du satellite (2/2)



Propriété CNES et industriels - all rights reserved

Etapes suivantes pour HYPXIM

- **Poursuite du plan de Recherche & Développement préparatoire aux missions HYPXIM dans les axes suivants :**
 - ♦ **Activités « système » : consolidation des spécifications du signal d'entrée (RSB, luminances, CAL/VAL, etc.), validation des concepts et performances instrument via bancs de test au sol, simulations de données HYPXIM (à partir d'images aéroportées), etc.**
 - ♦ **Activités « techniques » : développement d'un détecteur VNIR-SWIR 2000 pixels, développement de la plateforme microsatellite Myriade NG, de nouveaux algorithmes de compression, etc.**
 - ♦ **Activités « produit » : fusion multi-senseurs (hyperspectral + panchromatique), nouveaux algorithmes d'identification, etc.**

- **Phase A prévue à partir du 4^{ème} trimestre 2011, menée par le CNES.**

Données Source

- Campagnes aéroportées HR (4 à 20 m), THR (< 2 m)
- Capteurs HyMap, Aisa, Mivis, Aviris, HySpex
- Vérités terrain
- Corrections géom. (ortho) et radiométriques (lum. avion)

Chaîne de simulation HYPXIM

Prétraitements

CNES

- Passage de la luminance avion en luminance TOA
- Déconvolution (prise en compte de la FTM source)
- Agglomération spectrale (prise en compte de la résolution spectrale source)

Simu. Instrument

CNES

- Création filtre de ré-échantillonnage (simulation FTM cible)
- Ré-échantillonnage (simulation résolution spatiale cible)
- Traitement radiométrique (simulation RSB cible)
- ...

Simu. Système-Bord

Phase A

- Dépointage
- Compression
- Déregistration PAN/HX

Phase 0 : thématiques d'intérêt Défense (BRGM, CEA, ONERA)

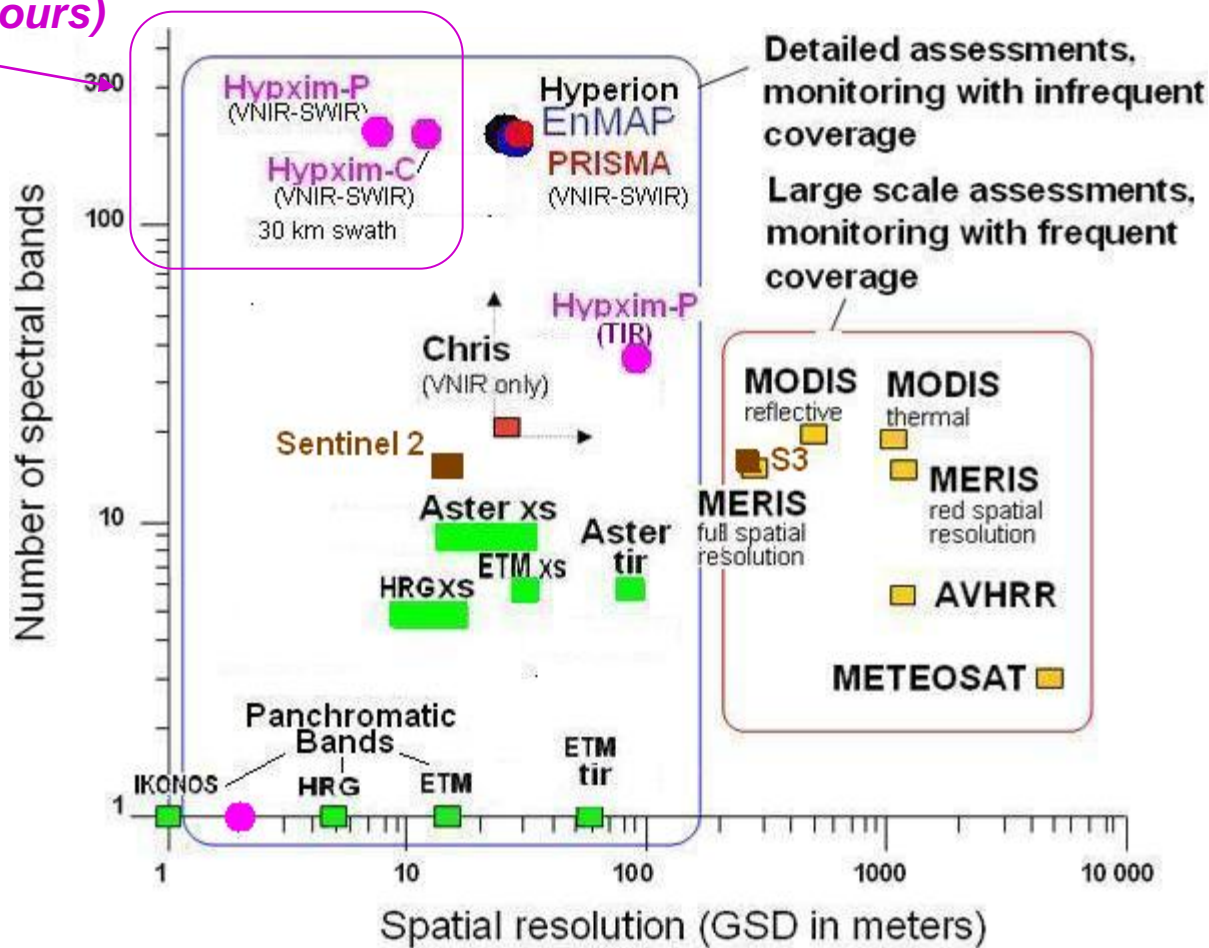
Phase A : autres thématiques (laboratoires AD)

Données HYPXIM Simulées

- Traitements thématiques par algos spécifiques
- Comparaison quantitative des traitements vs données de référence à 4 m de résolution spatialisées
- Expertise

Position HYPXIM vis-à-vis des autres systèmes spatiaux Super-Hyperspectraux

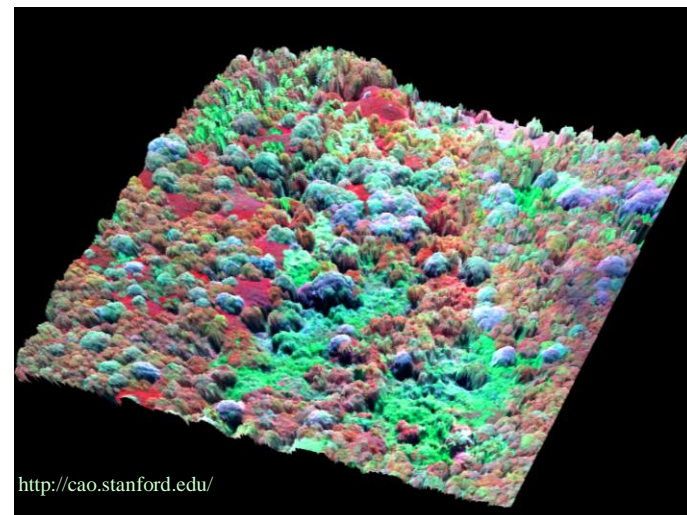
L'agilité améliore la revisite (3 jours)



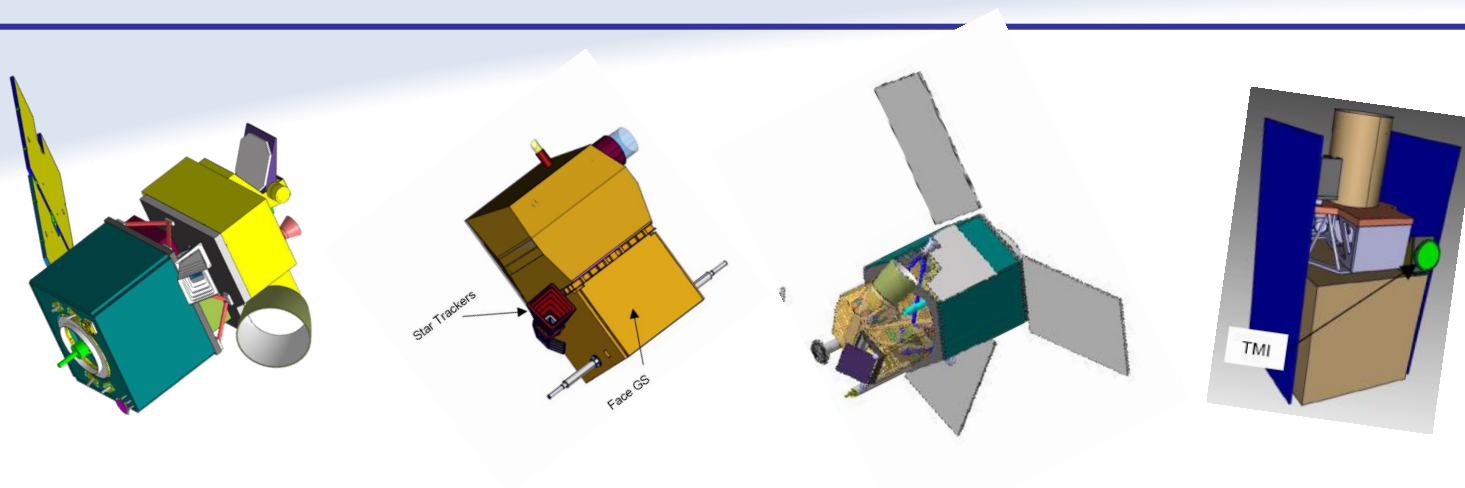
■ Le concept HYPXIM représente une nouvelle génération d'instruments hyperspectraux avec :

- ◆ Résolution spatiale améliorée à 15 mètres sans réduction de champ (30 km), ou à 8 mètres avec champ de 16 km.
- ◆ Fréquence de revisite en mode « routine » plus élevée, pour les besoins des acteurs Sécurité et Défense.
- ◆ Miniaturisation permettant à un microsatellite d'effectuer avant 2020 une mission hyperspectrale à haute résolution à bas coût.
- ◆ Capacité hyperspectrale inédite en IRT.
- ◆ Des produits multi-senseurs.

■ HYPXIM satisfait les besoins d'une large communauté d'utilisateurs utilisant pour l'instant des images hyperspectrales aéroportées



<http://cao.stanford.edu/>



Merci pour votre attention

