

## AVANT-PROJET D'OBSERVATION DE LA TERRE

### HYPXIM : UN SPECTRO-IMAGEUR INNOVANT POUR LES BESOINS SCIENTIFIQUES, LA SECURITE ET LA DEFENSE

Marie-José LEFEVRE-FONOLLOSA <sup>(1)</sup>, Mioara MANDEA <sup>(2)</sup>, Isabelle FRATTER <sup>(1)</sup>

(1) CNES, 18, avenue Edouard Belin 31401 Toulouse Cedex 9

(2) CNES, 2 Place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01

#### RESUME

HYPXIM est un avant-projet du CNES portant sur l'étude d'un système innovant d'imagerie hyperspectrale (250 bandes spectrales dans les domaines allant de 0,4 à 2,5 microns) à haute résolution spatiale (autour de 10m). L'avant-projet (phase 0) a été mené par le CNES entre 2009 et 2012 en collaboration avec un groupe de mission dual et le support industriel de Thales Alenia Space (<http://www.thalesgroup.fr/espace/>) et d'ASTRIUM (<http://www.astrium.eads.fr/>). Une phase A a été décidée en juillet 2012. Elle a été arrêtée mi-2013 pour des raisons budgétaires.

#### HISTORIQUE

**2004 : Recommandation du Séminaire de Prospective Scientifique du CNES.** Le Comité TOSCA a recommandé au CNES d'étudier l'intérêt à long terme de l'hyperspectral pour le spatial.

**2007-2008 : Groupe de Synthèse sur l'Hyperspectral (GSH).** Suite à la recommandation du TOSCA, la DSP du CNES a lancé un large appel à la communauté scientifique et, vu son succès (50 laboratoires présents), il a été décidé de créer un groupe de travail chapeauté par le CEA auquel s'est associé la Défense afin d'analyser l'intérêt d'une mission hyperspectrale spatiale. Le Groupe de Synthèse sur l'Hyperspectral (GSH) a recommandé au CNES d'étudier en phase 0 un système dual répondant aux besoins de hautes résolutions spatiale et spectrale.

**2008 : Inscription au Plan des Avant-Projets du CNES** pour une étude de phase 0 d'une durée de 2 ans.

**2009 : Etudes de phase 0.1 d'HYPXIM.** Un groupe de mission ciblé est constitué avec le CEA, l'ONERA, l'IPGP, l'Université de Nantes et le BRGM, avec Véronique Carrère comme PI. Des études industrielles sont lancées sur deux « scénarios système » : un concept sur microsatellite (Myriade) à la résolution de 15m et un système sur minisatellite répondant à un besoin plus exigeant constitué par un spectro-imageur hyperspectral à 8m, un canal panchromatique autour de 2m et un spectro-imageur thermique.

**2010 : Earth Explorer 8.** Fin de l'étude de faisabilité (phase 0.1) le 26 mars. Les 2 industriels et le consortium scientifique répondent en juin à l'AO Earth Explorer 8 de l'ESA. Compte-tenu des exigences de l'AO (projet à moins de 100K€), seul le concept sur microsatellite est proposé. Il ne sera pas retenu car l'ESA estime que le gap de performances entre ce concept et le satellite EnMAP (30m de résolution) n'est pas démontré. Lancement par le CNES de la phase 0.2 centrée sur la consolidation des besoins et sur l'optimisation de l'architecture satellite. Cela conduit au lancement de 2 nouvelles études industrielles avec TAS et ASTRIUM.

**2011 : Etudes de phase 0.2 d'HYPXIM.** Fin de la phase 0.2 le 1<sup>er</sup> juillet 2011 (PK2). Lancement d'un complément d'études de validation expérimentale sur la base de simulations et de modélisations (ETS). Les résultats des études réalisées avec les scientifiques et la Défense montrent qu'un seuil de résolution est situé entre 5m et 10m et confirment le compromis à 8m. Mi-2012, décision de ne pas continuer sur le concept microsatellite car la résolution de 15m ne présente pas un seuil de performances significatif. Décision de ne pas embarquer la CU thermique qui manque de maturité.

**2012 : RDM (11 juin) et Comité Directeur (4 juillet).** Passage en phase A du système HYPXIM à 8m très compact (~500kg) ; le système proposé est 2 fois moins lourd que le système allemand EnMAP et 4 fois plus performant en termes de résolution et de revisite.

**2012 (octobre) : Démarrage de la phase A** autour des activités d'un Groupe de Mission Scientifique HYPXIM plus étoffé (GMS). Démarrage en parallèle du CdR HYPEX de la DGA qui accompagne le projet sur les aspects Défense.

**2013 (janvier) : Limitation du budget,** avec une perspective d'arrêt de la phase A.

**2013 (juin) : Arrêt du projet pour des raisons budgétaires.** Le projet a été soumis au Séminaire de Prospective Scientifique du CNES de mars 2014.

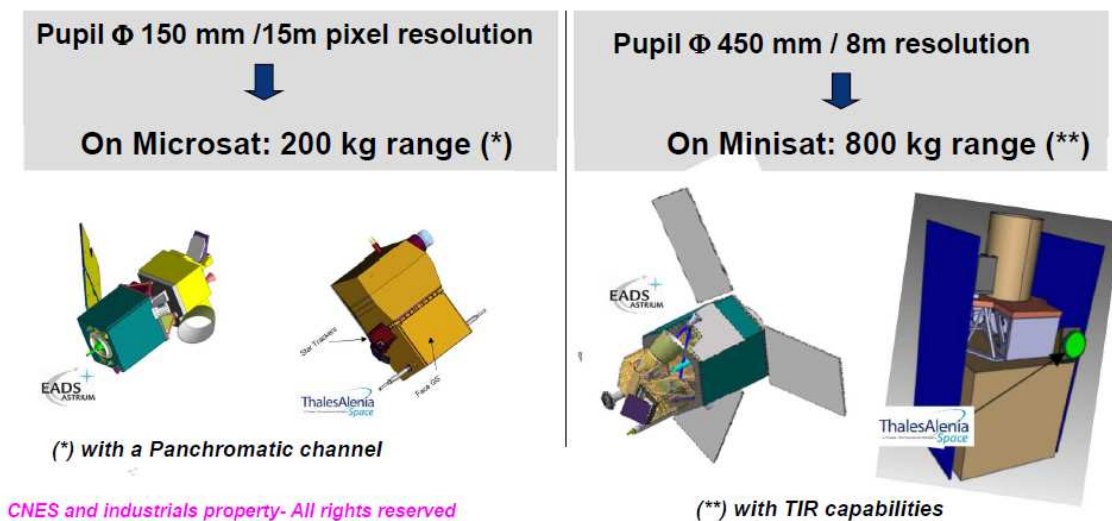
## AVANT-PROJET HYPXIM (PHASE 0)

Le Groupe de Mission HYPXIM a collégialement défini les exigences techniques claires et détaillées pour une mission spatiale de haute résolution en hyperspectral répondant aux besoins des thèmes suivants : la végétation naturelle et agricole, les écosystèmes aquatiques côtiers et lacustres, les géosciences, l'environnement urbain, l'atmosphère, la sécurité et la défense. La synthèse de ces exigences a permis de décrire les spécifications d'un satellite très innovant en termes de domaine spectral, de résolution spectrale, de rapport signal à bruit, de résolution spatiale, de fauchée et de répétitivité.

Les principaux points étudiés dans la phase 0 (pré-phase A) menée par le CNES avec ses partenaires industriels (EADS-Astrium et Thales Alenia Space) sont les suivants :

- le continuum spectral dans le domaine optique allant du visible (VIS) à l'infrarouge ondes courtes (SWIR),
- une résolution spatiale inférieure à 15m avec une fauchée compatible de Pléiades (20km),
- un canal panchromatique (PAN) quatre fois mieux résolu,
- une revisite fréquente lors de crises (jusqu'à 3 jours) pour les acteurs de la sécurité et de la Défense,
- la miniaturisation des technologies qui permet de réaliser des microsattellites à haute résolution spectrale à faible coût, pour une démonstration autour de 2020,
- une capacité innovante en Infrarouge Thermique hyperspectral (TIR),
- des produits de fusion multi-senseur utilisant le PAN combiné aux données hyperspectrales (HX).

Lors de la première étape, deux concepts de satellites ont été étudiés (voir figure). Le premier scénario de cette mission, appelé **HYPXIM-C** comme *Challenging*, vise à obtenir le niveau de résolution le plus élevé possible (15m) réalisable en utilisant une plateforme de microsattellite (<200kg). Les objectifs du deuxième scénario, appelé **HYPXIM-P** comme *Performance*, sont d'atteindre une résolution spatiale supérieure d'un facteur 2 en hyperspectral (7-8m), un canal panchromatique (2m) et de fournir une capacité en infrarouge hyperspectral (100m) sur un minisatellite (<1 tonne).



Au cours de la deuxième étape, les performances des deux concepts ont été comparées expérimentalement à travers des simulations d'images totalement représentatives d'une observation satellitaire à des résolutions spatiales allant de 4m à 30m. Ces études paramétriques ont porté sur quatre applications thématiques (cartographie des minéraux, plan d'occupation des sols et humidité des sols, anomalies liées à des objets camouflés) réalisées dans des milieux variés (zone désertique, paysages européens). En fonction des applications, des algorithmes classiques ou spécifiques ont été mis en œuvre et les résultats comparés statistiquement (coefficient de Kappa et courbes COR).

Les expérimentations faites sur ces quatre sites ont démontré l'apport très significatif de la solution HYPXIM à haute performance sur minisatellite (8m). L'apport serait plus limité avec la version sur microsattellite (15m) qui présenterait par ailleurs un intérêt applicatif marginal par rapport à d'autres projets tels qu'EnMAP et PRISMA, satellites hyperspectraux respectivement allemand et italien en cours de développement pour un lancement en 2015-2017.

## DESCRIPTION DU CONCEPT HYPXIM RETENU EN PHASE A

La phase A d'HYPXIM a été décidée en juillet 2012. Son objectif était centré sur le concept **le plus performant**, sur minisatellite, allégé de la charge utile TIR (voir tableau). Le défi pour la mission HYPXIM est de concevoir un spectro-imageur à haute résolution spatiale et spectrale, sur satellite agile et compact à moindre coût.

Les principales performances de la mission HYPXIM sont données ci-dessous :

- Résolution spatiale : (i) 8m en mode hyperspectral (HX) ; (ii) 1,85m en mode panchromatique (PAN),
- Domaine spectral continu : 0,4 – 2,5 $\mu$ m (VIS-to-SWIR) avec une résolution spectrale de 10 nm,
- Qualité Image : le rapport signal à bruit (SNR) à la luminance moyenne ( $L_2$ ) varie spectralement ; 250:1 (VIS) ; 208:1 (NIR) et 133:1 (SWIR).

Le segment spatial d'HYPXIM est composé d'un satellite de la classe 650kg au lancement placé en orbite héliosynchrone à une altitude de 660km (heure locale de passage 10:30 à 11:00 heure). La masse de l'instrument est estimée à 115kg avec un diamètre de télescope de 45cm, et une puissance de 150W. La capacité d'acquisition du système est de plus de 250 images carrées par jour, téléchargées par le biais de bandes X à 620Mbps, soit vers les stations fixes au sol, soit des stations mobiles. La forte capacité manœuvrante du satellite est principalement limitée par le besoin de flux dû à la haute résolution spatiale et spectrale qui oblige le satellite à un fort ralenti lors de la prise d'images.

Ces études préliminaires ouvrent des perspectives pour un lancement possible en 2020-2022 en fonction du développement des technologies critiques (comme des détecteurs HgCdTe à 2000 pixels, très innovants). La durée de vie en orbite prévue est de 10 ans, avec la prise en compte des contraintes de désorbitation.

ALTITUDE	660km
PAYLOAD	TMA or Korsch telescope, diameter: 450mm, prism-based spectrometer, dedicated panchromatic channel Detector VNIR-SWIR 2000x360 pixels (to be developed)
HX RESOLUTION / SWATH	8m / 16km
PANCHROMATIC CHANNEL / SWATH	1.85m / 16km
SPECTRAL BANDWIDTH / RESOLUTION	400 – 2500nm / 10nm
PAYLOAD BUDGET	Mass~115kg Power 150W (imaging)
SATELLITE	650kg (at launch)
REVISIT PERIOD	With +/-20° across-track imaging: 15 days With +/-35° across-track imaging: 3 days
IMAGING CAPACITY	>100 000km <sup>2</sup> per day (~450 images)
GROUND-TO-SPACE LINK	X-band link at 620Mbps (with ground or mobile stations)
LAUNCHER COMPATIBILITY	Soyuz, Vega, Ariane 5
EXPECTED LIFETIME	10 years (incl. end-of-life operations)

## STATUT ACTUEL

Depuis mi-2013, l'avant-projet est gelé pour des raisons budgétaires. Il sera présenté au Séminaire de Prospective Scientifique (SPS) du CNES qui se tiendra en mars 2014 à La Rochelle. Il pourrait redémarrer en 2015 selon les contraintes programmatiques.