LABVIEW PILOTE MICROMEGA : LE MICROSCOPE HYPERSPECTRAL INFRAROUGE DU ROVER DE LA MISSION EXOMARS (MISSION ESA 2016)

Corinne EVESQUE, Ludovic GONNOD, Vincent LAPEYRERE

Institut d'Astrophysique Spatiale. CNRS UMR 8617 Université de Paris Sud, Bâtiment 121 91405 Orsay Cedex corinne.evesque@ias.fr

Résumé : Ce document décrit la maquette de MicrOméga IR tant du point de vue de ses spécificités techniques de conception que des instruments virtuels LabVIEW développés pour démontrer sa faisabilité. Les résultats obtenus répondent aux besoins scientifiques et permettent de concevoir le modèle de vol.

Mots clés : instrumentation, microscope hyper spectral infrarouge

1 INTRODUCTION

Exomars est une mission du programme d'exploration AURORA de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) qui prépare à moyen et long terme l'exploration automatique et habitée du système solaire. Un Rover, équipé de 12 instruments se déplacera pendant un ¹/₄ d'année martienne sur la planète rouge dont il prélèvera des échantillons de roche du sous-sol et les analysera in situ.

MicrOméga est l'instrument développé sous la responsabilité de l'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS) d'Orsay. Cet instrument doit faire l'analyse spectrale, visible et proche infrarouge, des échantillons dont on identifiera ainsi la composition grâce à la signature spectrale de chaque minéral [BB06].

En 2008, l'IAS a conçu et réalisé la maquette d'un microscope hyper spectral infrarouge afin de démontrer la faisabilité d'un tel instrument dans les conditions atmosphériques et thermiques de la planète mars. Le fonctionnement, totalement nominal, de la maquette décrite dans ce document a permis de démontrer la faisabilité de notre instrument lors de la PDR (Preliminary Design Review) de l'Agence Spatiale Européenne (ESA).

2 CONTRAINTES SCIENTIFIQUES & CHOIX TECHNIQUES

2.1 Contraintes scientifiques

L'objectif est de faire des cubes images (x, y, λ) de 320 x 256 pixels (9,6 x 7,68 mm) pour $\lambda = 0,85$ à 2,5 µm par pas de 2 à 15 nm (500 images max.). L'analyse spectrale peut être effectuée sur chaque pixel. Le cube image est réalisé à 200K pour diminuer le courant d'obscurité des pixels et ne dure pas plus de 5 mn pour assurer la stabilité des conditions d'acquisitions des données. Il faut atteindre un rapport signal à bruit supérieur à 100 sur tout le domaine spectral.

D'autres contraintes sont imposées par le caractère spatial de la mission, à savoir puissance consommée, pilotage par fichiers de télécommande, volume et format des données, standards

de communications. De même, l'encombrement et le poids de l'instrument sont strictement limités et les conditions de propreté sont très contraignantes. La maquette est donc un outil de tests suffisamment évolutif pour mettre au point et caractériser chacun des sous systèmes.

2.2 Choix techniques

La maquette du microscope hyper spectral infrarouge, *figure 1*, est composée d'une chaîne de détection (un dispositif d'illumination monochromatique réglable, une optique d'imagerie infrarouge et un plan focal constitué d'un détecteur matriciel infrarouge) ainsi que des simulateurs du système de préparation et distribution des échantillons et du doigt froid à 250K dont seront équipés le Rover.



Figure 1 : Maquette du microscope IR MicrOméga

Le dispositif d'illumination (AOTF : acousto optical tunable filter) est constitué d'une lampe Gilway, source de lumière blanche alimentée sous 5V, qui éclaire un cristal de Te02, auquel on applique, par l'intermédiaire d'un module synthétiseur-amplificateur RF, une fréquence réglable f = 33 à 105 MHz. Il en résulte une illumination monochromatique dont la longueur d'onde est obtenue par la relation λ [µm] = 84.0571/f [MHz] + 0.0943.

Le détecteur est un dispositif photovoltaïque HgCdTe associé à un circuit d'intégration. Pendant le temps d'intégration, les charges sont stockées dans une capacité d'entrée. La charge maximum est de 0.20pC - 1,25 Me⁻ correspondant à un signal de sortie de 2.08V. Une carte électronique SOFRADIR lui est associée. Elle délivre les signaux des 81920 pixels sur 14 bits à 3 MHz sur 4 voies. Cette carte contient un FPGA (Field-Programmable Gate Array) qui génère les signaux de commande et de temps d'intégration, accessibles à l'opérateur par des registres programmables. Le détecteur comprend aussi le dispositif de refroidissement actif par effet thermoélectrique (TEC) auquel on applique une puissance limitée à 5W pour maintenir le plan focal à 200±0,1 K. Enfin, le plan focal du détecteur est équipé d'un capteur de température : une diode 2n2222 qu'il faut alimenter à 25 μ A et convertir la tension de sortie en température.

De plus, les servitudes nécessaires à la surveillance de la maquette nécessitent plusieurs capteurs : températures, humidité, oxygénomètre.....

L'AOTF est réalisé dans le cadre d'une procédure de recherche et développement avec l'institut de recherche spatiale russe (IKI) tandis que l'ensemble de détection IR est un produit commercial de la société française SOFRADIR basée à Grenoble.

3 INSTRUMENTATION & COMMUNICATION

La maquette est exclusivement commandée par une instrumentation standard via des protocoles de communication (SPI, PCI, IEEE488, USB, et port parallèle) classiques.

L'AOTF est piloté par un module synthétiseur amplificateur S/A RF qui génère une fréquence variable sur deux sorties (LF : 33-56 MHz et HF : 56,01-105 MHz). Il s'interface avec le PC par l'intermédiaire du port parallèle LPT1. La puissance de sortie programmable est variable de 22 dBm à 33 dBm.

Le détecteur est contrôlé, *figure 2*, par un module NI-USB/SPI qui permet d'accéder aux registres. Les signaux des pixels sont lus par une carte d'acquisition rapide NI-HSDIO à 50 MHz sur 32 voies.



Figure 2 : Instrumentation du détecteur IR MARS SW1 de SOFRADIR

La chaîne instrumentale et l'interfaçage des instruments avec le PC sont représentés *figure 3*. Une des difficultés a été d'éliminer les sources de bruits externes et les masses flottantes.



Figure 3 : Chaîne instrumentale de la maquette du microscope IR MicrOméga

4 CONTROLE & COMMANDE SOUS LABVIEW

4.1 Instrument Virtuel de pilotage de la maquette de MicrOméga

La maquette est pilotée avec LabVIEW 8.5 sur PC, par un instrument virtuel (VI) qui offre à l'opérateur une interface homme machine (IHM) de haut niveau tout en lui laissant le libre choix d'orchestrer son expérience et de configurer les instruments comme il le souhaite.

La *Figure 4* montre l'onglet de réglage vidéo qui permet de mettre au point une acquisition d'image. L'onglet « Configurer » initialise et configure les instruments. Les onglets « Acquisition » et « AOTF » permettent d'utiliser le détecteur ou l'AOTF, indépendamment l'un de l'autre. L'acquisition d'un cube image, c'est-à-dire la synchronisation AOTF-détecteur peut être réalisée avec l'onglet « Scan AOTF ».



Figure 4 : Instrument virtuel de pilotage de la maquette du microscope IR MicrOméga

L'AOTF est piloté par un VI de haut niveau qui permet de choisir la fréquence et la puissance de sortie. Ce VI encapsule une série de VI qui permet de communiquer avec le port parallèle et de générer les trames nécessaires au fonctionnement du module S/A RF.

Finalement, l'onglet « Microscope » est représentatif de l'IHM finale du microscope infrarouge hyperspectral. L'acquisition est configurée par un fichier de télécommande au format .ini qui envoie au microscope l'ensemble des paramètres de l'expérience, une vingtaine, conformément au protocole fixé par l'expérience. En effet, elle peut nécessiter des acquisitions variées telle que une cible de référence, une image d'obscurité, une illumination particulière,...). En fin d'acquisition, les données sont automatiquement stockées dans un fichier au format fits (flexible Image Transport System) qui permet de sauver des tableaux trois dimensions (cubes images (x, y, λ)). Le format fits gère aussi des mots clés de type numérique ou alphanumérique. De type standard tel que la date ou spécifique à l'expérience, ils permettent de créer une entête de fichier décrivant précisément l'expérience. Les dll (dynamic link library) fits labVIEW 8.5 sont disponibles sous la référence GFITSIO v4.1.1 (30 novembre 2007) sur le site <u>http://fits.gsfc.nasa.gov/fits_home.html</u> de la NASA.

Cet instrument virtuel fait appel à un grand nombre d'instruments virtuels de bas niveau. Nous donnons ci-dessous, l'exemple d'instruments virtuels liés à l'acquisition d'image et à la communication par bus SPI.

4.2 Acquisition d'images avec la carte NI HSDIO 6541

On utilise les fonctions « Dynamic & Static Acquisition » du menu « E/S mesures de la carte NI-HSDIO ». On réalise ainsi, *figure 5*, l'acquisition de N images espacées d'un temps $\Delta t(s)$ et la création d'un tableau moyenné de 320 x 256 pixels qui permet d'afficher une image avec la fonction « Tracer une table de pixels redressée » du menu « Graphisme et son ».



Figure 5 : Instrument virtuel d'acquisition d'images

Le module NI USB-SPI 8451 délivre le signal de début et fin d'acquisition d'image à l'entrée « synchronisation d'image » (FSYNCIN) de la carte SOFRADIR.

La carte NI HSDIO (Dev1) est préalablement configurée pour acquérir 94208 (320+48 x 256) pixels sur 14 bits, cadencée par l'horloge interne à 10 MHz et déclenchée sur front montant par la sortie « synchronisation de ligne » (LSYNCOUT) de la carte SOFRADIR connectée sur la ligne PFI n°1 (Programmable Function Input) de la carte d'acquisition rapide NI HSDIO.

4.3 Pilotage et programmation de registres par le bus SPI

L'écriture et la lecture des registres de la carte SOFRADIR sont réalisées par le bus de donnée série synchrone SPI (Serial Peripheral Interface) qui établit une communication maître esclave avec le module NI USB-SPI 8451 par une liaison 4 fils entre les 2 éléments. Les fonctions NI 8451, *figure 6*, du menu « E/S d'instruments », permettent le dialogue.



Figure 6 : Instrument virtuel de communication par bus de données série SPI

5 TRAITEMENT DES IMAGES & ANALYSE SPECTRALE

Les images subissent un prétraitement (moyennage, détramage, soustraction du fond, normalisation à une référence) avant affichage. Les données brutes sont stockées en format fits pour être directement traitées sous IDL (Interactice Data Language) et donner des spectres de bonne qualité c'est-à-dire présentant un rapport signal à bruit supérieur à100.

Le détramage, *figure 7*, permet d'enlever la trame verticale d'une image due au fait que les 4 sorties du détecteur n'ont pas le même offset. On décompose l'image en 4 tableaux en prenant les pixels 4n, 4n+1, 4n+2, 4n+3 (n=0..N). L'écart entre la moyenne de ces 4 tableaux et la moyenne de l'image donne une approximation de l'offset de chaque sortie que l'on corrige.



Figure 7 : Instrument virtuel de détramage

On obtient ainsi des images d'excellente qualité [LBB08] dont la figure 8 donne un exemple.



Figure 8 : Image d'un échantillon de la ceinture de roches vertes de Barberton en Afrique du sud. Le spectre révèle la présence d'Olivine.

6 EVOLUTIONS & PERSPECTIVES

La maquette est dédiée à l'optimisation des protocoles d'acquisition et des différents sous systèmes tel que l'optique d'illumination ou le contrôle thermique. Une centrale d'acquisition NI-Compact DAQ 9172, équipée de 7 modules est en cours d'intégration.

Le modèle de qualification des sous systèmes de vol, *figure 9* est à l'étude. Deux cartes qualifiées spatiales remplacent l'instrumentation, une pour le détecteur et les servitudes (ASIC, Application-Specific Integrated Circuit) et l'autre pour les alimentations. Un FPGA gère la communication avec le Rover par spacewire, liaison série rapide, 2 à 400 Mbit/s, bidirection et full-duplex (norme E50-12A, European Cooperation for Space Standardization).



Figure 9 : Architecture fonctionnelle du modèle de vol de MicrOmega

7 **BIBLIOGRAPHIE**

[BB06] M.Berthé, JP.Bibring. A NIR hyperspectral microscope for in situ compositional analyses. American Geophysical Union, Fall Meeting. 2006.

[LBB08] V.Leroi, JP.Bibring, M.Berthé. MicrOmega IR: a new infrared hyperspectral imaging microscope for in situ analysis". International Conference on Space Optics (ICSO). 2008.