

Chaîne de fusion P+XS des images Pléiades-HR

CHRISTOPHE LATRY¹, GWENDOLINE BLANCHET¹, SEBASTIEN FOUREST¹

¹ Centre National d'Etudes Spatiales

18, avenue Edouard Belin. 31055. Toulouse. France

¹Christophe.Latry@cnes.fr; Gwendoline.Blanchet@cnes.fr; Sebastien.Fourest@cnes.fr

Résumé – Comme la plupart des satellites d'observation optique haute résolution, les satellites Pléiades-1A et Pléiades-1B acquièrent des images panchromatiques à haute résolution (0.7 m) et des images multispectrales dans les bandes rouge, verte, bleue et proche infrarouge avec une résolution moindre (2.8 m). Un produit couleur échantillonné à 70cm est généré au sol par technique de fusion des images panchromatiques et multispectrales. L'algorithme de fusion prévu avant tir et déjà utilisé dans la chaîne opérationnelle SPOT5 s'est avéré extrêmement sensible au fort niveau d'aliasing des images multispectrales et au fait que cet aliasing diffère selon les bandes spectrales, en raison de l'acquisition des bandes couleurs par des barrettes CCD décalées dans le plan focal. L'analyse des défauts a conduit à une modification de la méthode au cours de la recette en vol du satellite Pléiades-1A, validée au cours d'une expérimentation impliquant un ensemble représentatif d'utilisateurs d'images Pléiades du monde civil et militaire. L'objectif de ce papier est de décrire la méthode initiale, les artefacts induits dans le contexte Pléiades, les modifications apportées et les améliorations sur les produits.

Abstract - Like most high resolution optical satellites, Pléiades-1A and Pléiades-1B satellites acquire high resolution panchromatic images (0.7 m) and lower resolution multispectral images (2.8 m). A high resolution 0.7 m multispectral image is then produced within the ground segment thanks to a Pan-sharpening technique. The initially planned algorithm, similar to SPOT5 fusion one, proved to be sensitive to the multispectral aliasing and to the on board misregistration of multispectral bands, due to the staggered multispectral CCD arrays configuration within the focal plane. Artifacts analysis led to significantly modify the fusion method during the Pleiades-1A in flight commissioning period. It was validated through an experiment which involved a set of Pleiades users, representative of both civilian and military applications. This paper aims to describe the initial algorithm and its odds within the Pleiades framework, the modifications that were carried on and the improvements it brought on the Pan-sharpened product.

1 Introduction

Les satellites PHR (Pléiades Haute Résolution) 1A et 1B sont le résultat d'un développement mené par le CNES sur la décennie 2000-2010 et marquent une rupture technologique par rapport à la filière SPOT.

Ces satellites, lancés depuis la base guyanaise de Kourou respectivement les 17 Décembre 2011 et 1^{er} décembre 2012, permettent d'atteindre une résolution de 70cm en bande panchromatique large et 2.8m en couleurs (bleu, rouge, vert et proche infra rouge). A la différence des satellites SPOT, ils incluent notamment une bande bleue qui permet de produire des images en couleurs naturelles.

Un algorithme de fusion panchromatique/multispectral permet de générer au sol une image multispectrale à la résolution de la bande panchromatique.

La méthode initialement prévue pour les images Pléiades était identique à celle implémentée pour la fusion des images SPOT5.

Cependant, il est rapidement apparu que le fort repliement de spectres contenu dans les images multispectrales Pléiades et leur non registration à bord entraînaient des artefacts sur le produit fusionné.

Il était donc nécessaire de modifier cette méthode de fusion et d'en mettre au point les paramètres via une campagne de photo-interprétation.

L'objet de ce papier est de rappeler le contexte Pléiades, de décrire la méthode initiale de fusion panchromatique/multispectral et les artefacts induits. On aborde ensuite les modifications apportées dans la chaîne ainsi que les améliorations induites sur la qualité du produit fusionné final.

2 Le contexte PLEIADES

2.1.1 L'instrument Pléiades

Les différentes bandes spectrales sont acquises selon le principe Push-Broom : des barrettes CCD, placées dans le plan focal d'un télescope, imagent, à un instant donné une ligne au sol, et le déplacement du satellite perpendiculairement à la direction des barrettes permet l'acquisition des lignes successives.

Le champ de 20km est réalisée, dans chacune des 5 bandes multispectrales, par 5 barrettes comportant chacune 6000 pixels en panchromatique et 1500 pixels en multispectral. La sélection des bandes spectrales bleue, verte, rouge et proche infrarouge est réalisée par des filtres allumettes déposés sur les barrettes CCD.

Les détecteurs correspondant aux différentes bandes spectrales sont également décalés, au sein du plan focal,

dans le sens du défilement du satellite, le décalage entre détecteurs multispectraux étant nettement plus faible que celui existant entre voie panchromatique et voies multispectrales.

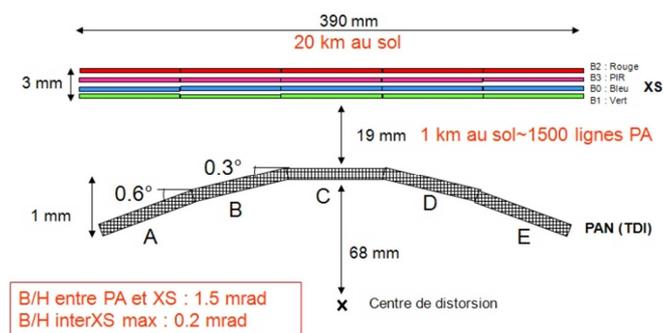


Figure 1 Plan focal Pléiades

Du fait de ce décalage physique, un même point au sol n'est pas imagé aux mêmes instants par les différentes voies ni rigoureusement sous le même angle; les éventuels effets de déregression non modélisés demeurant faibles.

2.2 Pourquoi un algorithme de fusion

Comme l'ensemble des imageurs civils à haute résolution, Pléiades ne produit pas nativement des images multispectrales mais réalise un produit couleur à haute résolution au sol, en appliquant un algorithme de fusion panchromatique/multispectral sur des données panchromatiques à haute résolution et multispectrales à plus basse résolution.

Deux raisons essentielles empêchent d'acquérir directement une image multispectrale à haute résolution :

. Rapport S/B : le signal étant proportionnel à la largeur de la bande spectrale, une image multispectrale aurait à iso résolution, un signal beaucoup plus faible que celui de la bande panchromatique.

. Débit en sortie instrument : le nombre de bits produit évoluant comme le carré de la résolution, produire nativement une image multispectrale à haute résolution ferait exploser le débit et serait incompatible des capacités de stockage et surtout de transmission bord/sol, malgré le recours à un algorithme de compression bord.

2.3 Technique initiale de fusion

La méthode de fusion panchromatique/multispectrale implantée dans le segment sol avant le tir de Pleiades-1A était directement issue des études comparatives menées en 2003, et qui avaient abouti à proposer l'algorithme suivant, partant des images panchromatiques et multispectrales radiométriquement corrigées

. Génération d'une image panchromatique dans la géométrie cible (PAN cible): cette géométrie est celle d'un capteur parfait virtuel, composé d'une seule barrette couvrant la fauchée entière acquérant à un pas

zoomé d'un facteur 7/5 par rapport au pas réel d'acquisition, ou bien d'une orthoimage à un pas fixe de 50cm.

. Création d'une image panchromatique basse fréquence (PAN BF) : par convolution, on élimine les fréquences spatiales vues par l'échantillonnage panchromatique, mais situées au-delà de la fréquence de Nyquist de l'échantillonnage multispectral.

. Rééchantillonnage de l'ensemble des données multispectrales dans la géométrie panchromatique cible : cette étape fait intervenir la modélisation géométrique de l'ensemble des voies panchromatiques et multispectrales ainsi qu'un Modèle Numérique de Terrain pour limiter l'effet du faible angle stéréoscopique entre voies panchromatiques et multispectrales. Cette étape correspond à un zoom significatif de $4 \times 7/5 = 5.6$ en capteur parfait mais il peut être beaucoup plus important pour une orthoimage en cas de forts dépointages, puisque le pas réel d'acquisition multispectral est alors très supérieur à 2.8m pour un pas cible toujours égal à 50cm.

. Multiplication des voies multispectrales rééchantillonnées par le rapport PAN cible/PAN BF : cette étape de modulation introduit les détails haute fréquence contenus dans la bande panchromatique. Lorsque l'image panchromatique n'apporte aucune information, le rapport de modulation est proche de 1 et l'image fusionnée se confond alors localement avec l'image multispectrale zoomée. On notera qu'un tel algorithme préserve intrinsèquement les caractéristiques statistiques des images multispectrales.

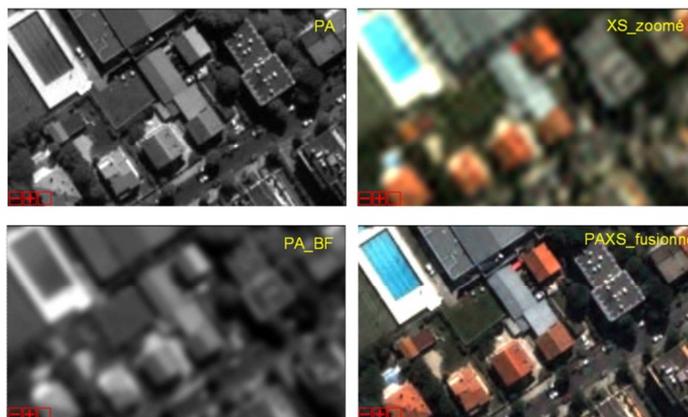


Figure 2 Principe de la méthode fusion initiale panchromatique/multispectrale Pléiades

2.4 Artefacts constatés et origines

Cette méthode de fusion, abondamment testée dans le cadre de simulations avant tir mais aussi opérationnellement dans le segment sol SPOT5 (produit THX), s'est avérée introduire des artefacts significatifs lors des premières fusions réalisées sur les images de recette en vol Pléiades-1A.

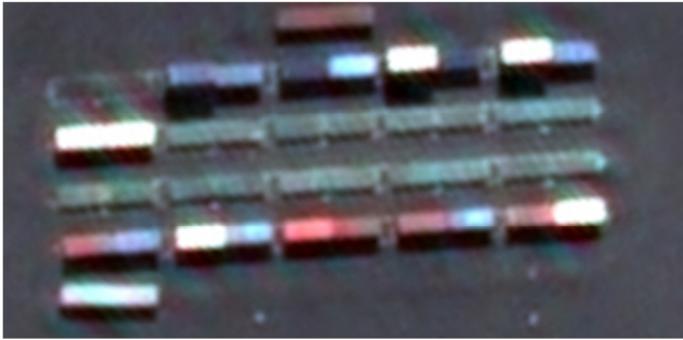


Figure 3 Exemple d'artefacts d'aliasing

Ces artefacts, illustrés par la figure 3, se produisent principalement au voisinage de fortes transitions et se traduisent par des irisations : la couleur basse fréquence apparaît avec un décalage par rapport aux contours fins présents dans la bande panchromatique.

Ces défauts ont pour origine le très fort repliement de spectres présent dans les images multispectrales, lié au rapport de résolution panchromatique/multispectral.

Le haut niveau d'aliasing dans les images multispectrales est une conséquence du rapport de résolution entre voies multispectrales et panchromatique : la fréquence de coupure optique du télescope Pléiades vaut le double de la fréquence de Nyquist panchromatique, soit 8 fois celle des voies multispectrales. Cela se traduit par une valeur de Fonction de Transfert de Modulation (FTM) très élevée à la fréquence de Nyquist multispectrale, supérieure à 0.3 au lieu de 0.15 pour la voie panchromatique.

Le repliement de spectres multispectral est en outre différent pour chacune des bandes spectrales du fait de la non registration à bord engendré par le décalage physique des barrettes entre elles. Ce n'était pas le cas du SPOT5 qui disposait d'un dispositif optique (éclateur spectral) assurant une registration native des bandes multispectrales.

L'image PAN_BF, par contre, est sans repliement puisque obtenue par simple filtrage BF de l'image panchromatique, sans sous échantillonnage..

Le principe de base de la technique de fusion est une forte ressemblance du contenu fréquentiel de l'image PAN_BF avec les images XS rééchantillonnées, ce qui n'est manifestement pas le cas en raison des problèmes d'aliasing. Cette différence est très perceptible sur la figure 2 : les éléments linéaires apparaissent sans défauts sur l'image PAN_BF mais fortement altérés sur l'image XS_ZOOMEE.

3 Amélioration de la chaîne de fusion

3.1 Les modifications de la chaîne

Les modifications de la chaîne ont porté sur deux points :

Modification 1 : Application d'un filtre basse fréquence sur les images multispectrales : ce traitement réalisé avant tout rééchantillonnage des voies multispectrales, permet de diminuer l'impact du repliement de spectres qui perturbe avant tout les fréquences proches de la fréquence de Nyquist.

Une coupe de la réponse fréquentielle du filtre anti aliasing appliqué est représentée figure 4 : ce filtre atténue d'un facteur 20 la valeur de la FTM multispectrale à la fréquence de Nyquist.

On notera qu'en toute rigueur, l'ensemble des fréquences spatiales accessibles par l'échantillonnage des voies multispectrales est pollué par le repliement de spectres : la plus basse fréquence d'annulation de la FTM multispectrale est en effet égale à la fréquence d'échantillonnage.

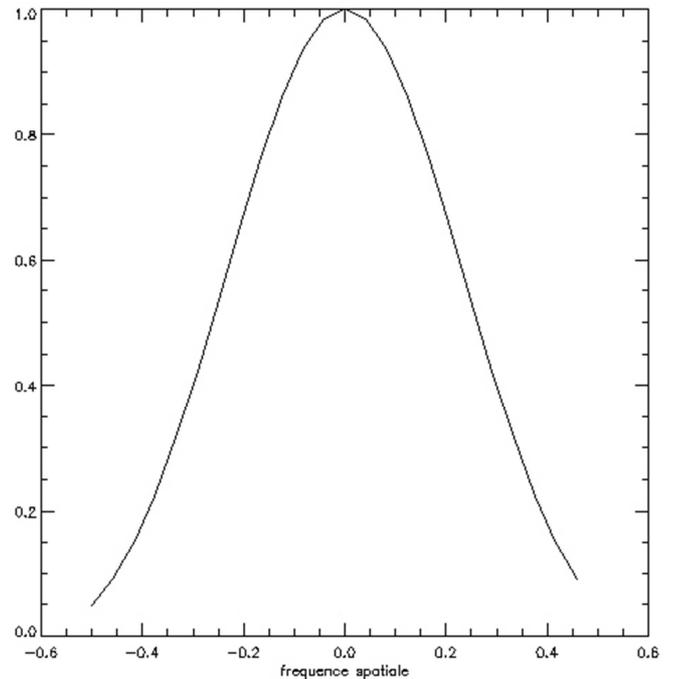


Figure 4 Coupe de la réponse fréquentielle du filtre anti repliement multispectral

Modification 2 : Génération d'images PAN_BF superposables aux images XS natives et possédant un aliasing semblable : plutôt que de créer une unique image PAN_BF dans la géométrie cible, on va générer

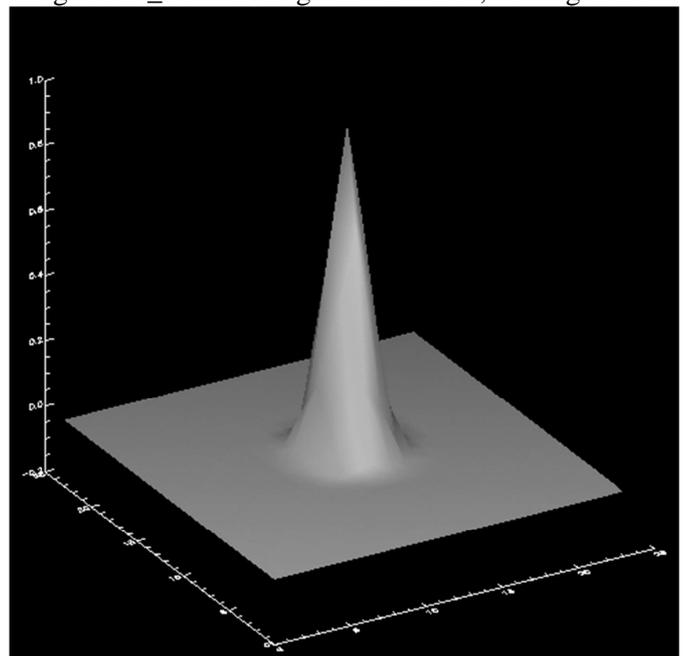


Figure 5 Réponse fréquentielle du filtre PAN_BF

autant d'images PAN_BF que d'images multispectrales, dans la géométrie d'acquisition de chacune de ces images. Ces quatre images PAN_BF ont ainsi un repliement proche de celui des voies multispectrales.

On effectuera alors le calcul des quatre rapports $\text{image_multispectrale/PAN_BF}$.

Ces quatre rapports sont ensuite rééchantillonnés dans la géométrie PAN_cible et multipliés par l'image PAN_cible.

Les filtres BF (cf. Figure 5), permettant de passer de l'image panchromatique aux images PAN_BF, tiennent compte à la fois du filtre anti aliasing appliqué sur les voies multispectrales et des FTM panchromatiques et multispectrales. Les FTM XS étant proches, il n'est pas nécessaire de différencier ces filtres selon la bande multispectrale.

3.2 Evaluation des performances

Ces modifications ont été maquettées et leur apport mesuré au cours de la recette en vol Pléiades-1A, grâce à une campagne d'interprétation, impliquant des interprètes images utilisateurs de données Pléiades, issus de monde civil et militaire. Il s'agissait notamment de savoir si la seule introduction de flou dans les images multispectrales pouvait suffire, ainsi que d'optimiser les divers filtres intervenant dans le traitement.

L'étude a conclu au fort intérêt des deux modifications conjointes et abouti à une nouvelle chaîne de fusion au sein du segment sol Pléiades.

De façon opérationnelle, l'introduction du filtre anti aliasing a pu être réalisée avant la fin de la recette en vol Pléiades 1A car elle ne nécessitait aucune modification du segment sol, mais simplement l'envoi d'un paramètre ad hoc.

La modification 2, qui impliquait une évolution significative de la chaîne de traitement, est opérationnelle depuis le 24 Janvier 2013.

L'amélioration de la qualité des produits fusionnés apparaît nettement sur la Figure 6.



Figure 6 Différence entre ancienne (gauche) et nouvelle (droite) chaîne de fusion

4 Conclusion et perspectives

Les plans focaux, traditionnellement utilisés pour l'observation satellitaire optique haute résolution, impliquent un repliement de spectres significatif des voies multispectrales, du fait du rapport de résolution panchromatique/multispectral, susceptible d'introduire des artefacts lors de la fusion panchromatique/multispectral.

Ceci a conduit à adapter, avec succès, la chaîne de fusion initialement prévue lors de la recette en vol du satellite Pléiades-1A.

Pour les développements futurs, une solution alternative doit conduire à diminuer le repliement des voies multispectrales à l'acquisition, ce qui peut être atteint en défocalisant volontairement les voies multispectrales ou par une technique de suréchantillonnage, par exemple de type Supermode SPOT5.

5 Bibliographie

[1] L. Lebègue & al, «Pleiades-HR Image Quality Commissioning », ISPRS Melbourne 2012

[2] C Latry, « La chaîne de Fusion de données SPOT5 », Méthodes de fusion multi-résolution pour la synthèse d'images, Séminaire CNES, Toulouse, Décembre 2002