



Fusion de données hyperspectrales et panchromatique par démixage spectral dans le domaine réflectif

Yohann CONSTANS^{1,2}

Doctorant 1^{ère} année

Directeurs de thèse : Xavier Briottet¹, Yannick Deville²

Encadrante ONERA : Sophie Fabre¹

Encadrants industriels : Vincent Crombez³, Michael Seymour³

Co-financement : ONERA-ADS

¹ONERA/DOTA, ²IRAP/SISU, ³Airbus/ADS



➤ I) Introduction

- 1. Contexte de la thèse
- 2. État de l'art
- 3. Problématique

➤ II) Présentation de la méthode SOSU

➤ III) Test de la méthode

- Jeux de données et démarche
- Résultats :
 - Analyses visuelle, spectrale, numérique
 - Comparaison avec les méthodes de la littérature
 - Comparaison des performances sur des milieux urbains et naturels

➤ Conclusion et perspectives

I – Contexte, problématique, objectifs

Contexte

- ▶ Besoin de résolutions **spatiale** et **spectrale** élevées pour l'observation de la Terre. Problème : résolutions non atteintes *simultanément* par les systèmes existants.
- ▶ Solution : Pansharpening (hyperspectral) ⇒ Fusion d'images panchromatique [PAN] (info spatiale) et hyperspectrale [HS] (info spectrale).

Haute rés. spatiale

Haute rés. spectrale

Hautes rés. spatiale et spectrale



Image PAN

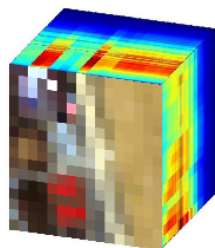


Image HS

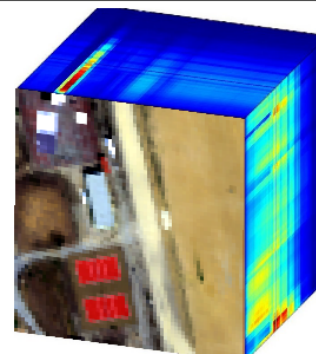
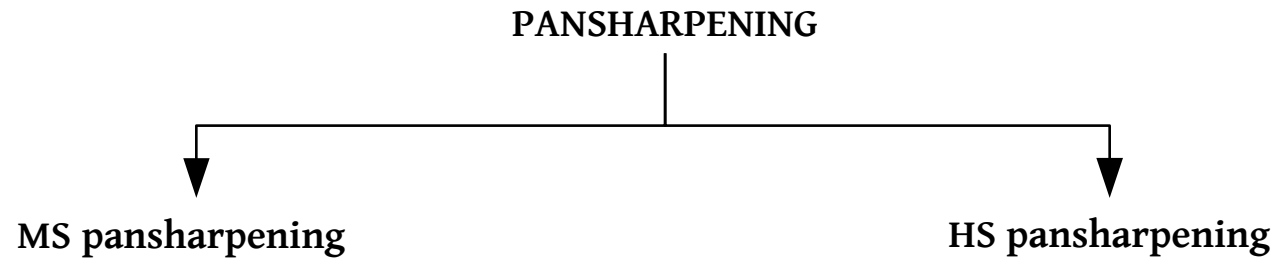


Image fusionnée

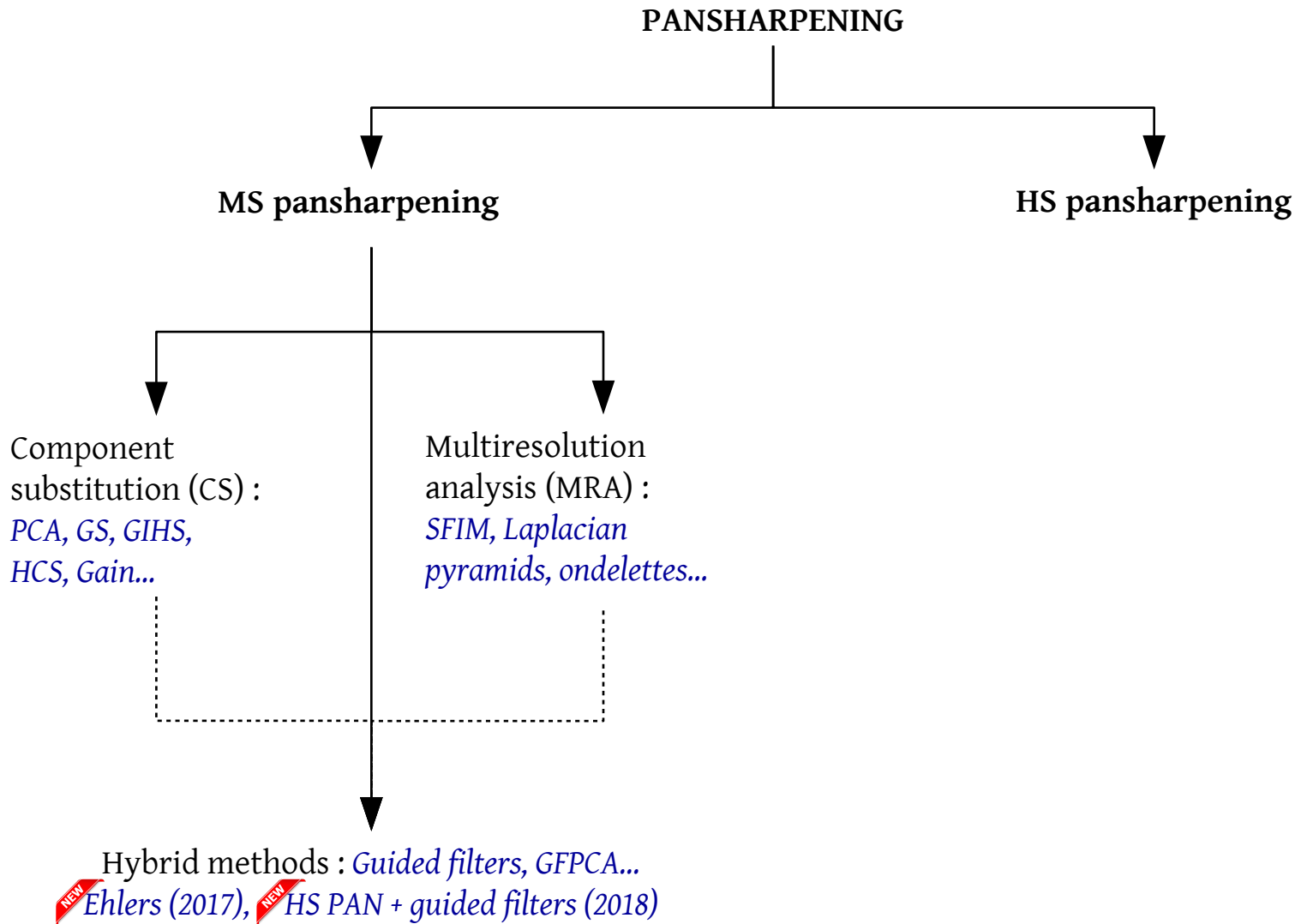


- ▶ Difficulté à appliquer méthodes de Pansharpening dans les zones de transitions (zones non homogènes)

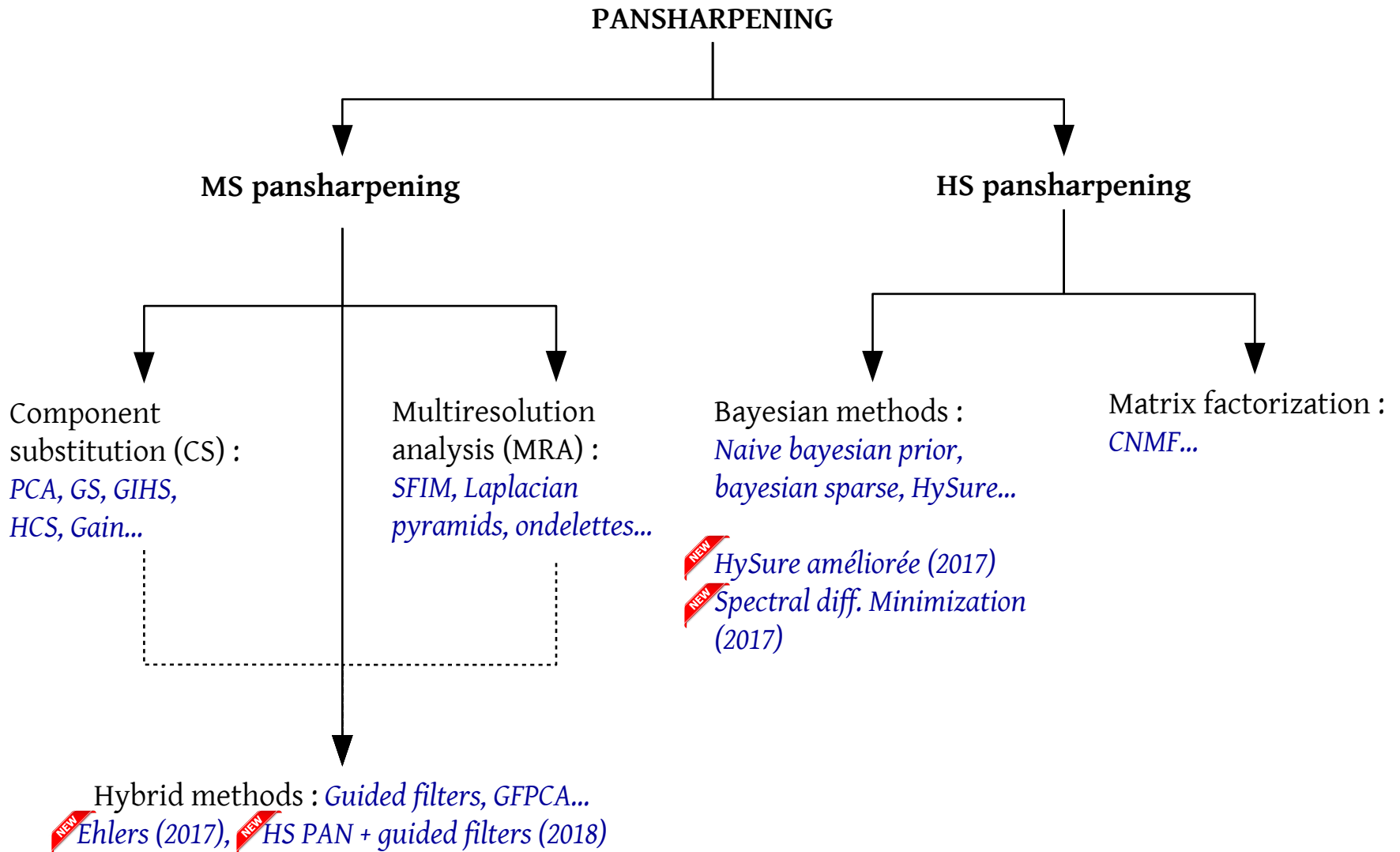
I – État de l'art



I – État de l'art



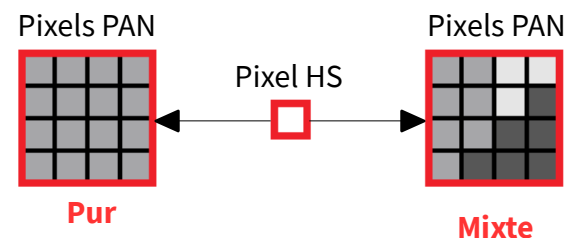
I – État de l'art



I – Problématique

Limites des méthodes actuelles (L.Loncan, 2015)

- Conservation d'une info (spatiale, spectrale) au détriment de l'autre
 - Domaines PAN et HS différents \Rightarrow distorsions spectrales
 - fortes variabilités spatiales (\Rightarrow *pixels mixtes*)
 - éclaircement non uniforme (ombres)
- } Zones urbaines

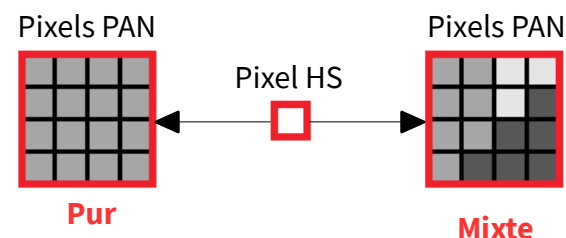


Ville : 50 % de pixels mixtes à 2 m de résolution, 74 % à 18 m (A. Okujeni et al, 2013)

I – Problématique

Limites des méthodes actuelles (L.Loncan, 2015)

- Conservation d'une info (spatiale, spectrale) au détriment de l'autre
 - Domaines PAN et HS différents \Rightarrow distorsions spectrales
 - fortes variabilités spatiales (\Rightarrow *pixels mixtes*)
 - éclaircement non uniforme (ombres)
- } Zones urbaines



Ville : 50 % de pixels mixtes à 2 m de résolution, 74 % à 18 m (A. Okujeni et al, 2013)

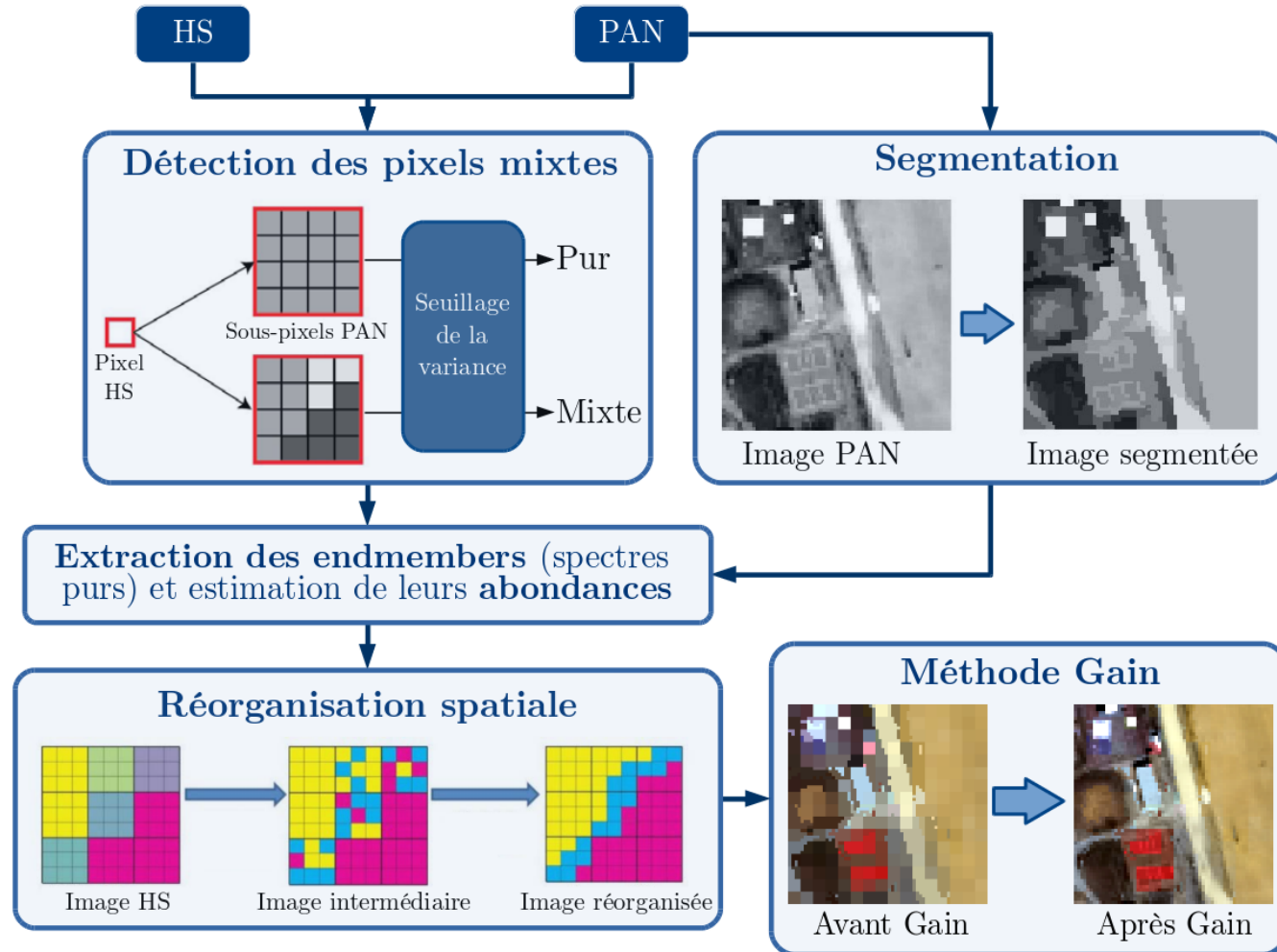
Objectif

Développement et validation d'une méthode de fusion HS-PAN sur l'ensemble du domaine optique, avec démixage des pixels mixtes et prise en compte des ombres.

Idée : Méthode Gain (conservation de l'information spatiale) + prétraitement (démixage des pixels mixtes)

II – Méthode SOSU

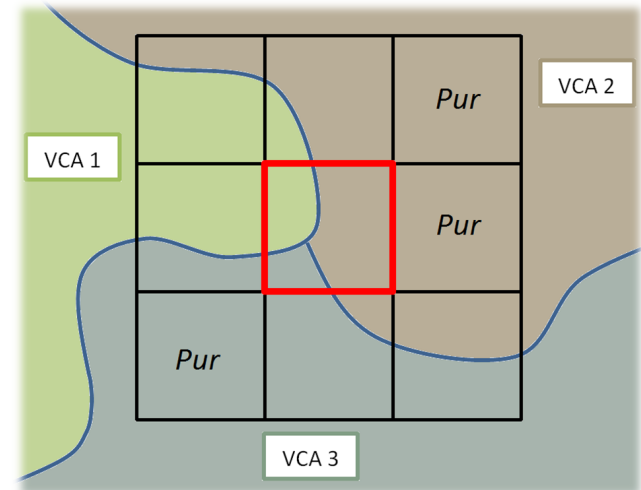
Méthode actuelle : **SOSU** (*Spatially Organized Spectral Unmixing*) = **démélange + Gain**



II – Méthode SOSU

Extraction des endmembers

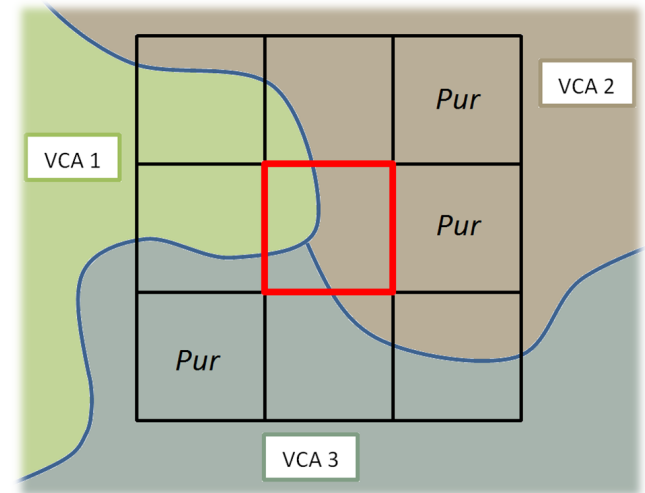
- ▶ Pour chaque pixel HS mixte, 2 moyens d'extraire les endmembers :
 - Spectres des pixels voisins purs
 - VCA appliquée à chaque région comprise dans le pixel
- ▶ Une fois la liste des endmembers possibles établie :
 - Réduction des endmembers via la corrélation (seuillage)
 - Estimation des abondances
 - Réduction des endmembers via les abondances (seuillage)



II – Méthode SOSU

Extraction des endmembers

- ▶ Pour chaque pixel HS mixte, 2 moyens d'extraire les endmembers :
 - Spectres des pixels voisins purs
 - VCA appliquée à chaque région comprise dans le pixel
- ▶ Une fois la liste des endmembers possibles établie :
 - Réduction des endmembers via la corrélation (seuillage)
 - Estimation des abondances
 - Réduction des endmembers via les abondances (seuillage)



Réorganisation spatiale

Plusieurs approches possibles :

- Favoriser une « distance PAN » minimale entre l'image PAN et l'image réorganisée ?
- Favoriser les abondances ?
- Compromis entre ces deux critères ?
- Test de toutes les combinaisons endmembers/régions segmentée dans le pixel mixte ?

⇒ On choisit l'approche minimisant le RMSE entre le pixel HS et le spectre moyenné du nouveau pixel réorganisé.

II – Méthode SOSU

Ajout de l'information spatiale (méthode Gain)

Méthode appliquée à l'image réorganisée, mais peut être appliquée comme méthode de fusion à part entière :

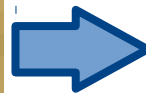
Application d'un facteur d'échelle calculé à partir de l'image PAN à toutes les bandes HS sur-échantillonnées.

$$F = \frac{P}{\text{mean}_{\lambda_{PAN}}(H_{surech})} \cdot H_{surech} = \frac{P}{P'} \cdot H_{surech}$$

L'information spatiale de l'image PAN est conservée ($\text{mean}_{\lambda_{PAN}}(F) = P$).



Avant Gain



Après Gain

III – Jeux de données et démarche

Données



À gauche : Stade – Instrument SYSPHIE (ONERA) / ODIN (FFI), Campagne Canjuers (21/08/2015) ;
à droite : Garons – HyMap (représentations RGB)

Donnée	Instrument	Milieux	Taille des imagettes	Résolution spatiale	Rapport des résolutions spatiales	Plage hyperspectrale	Nombre de bandes
Stade	SYSPHIE, ODIN	Nature, bâtiments	64 x 64	1.5 m	4	[0,4 – 2,5] μm	307
Garons	HyMap	Champs, urbain	104 x 104	4 m	4	[0,4 – 2,5] μm	115

III – Jeux de données et démarche

Protocole

Image HS de référence (REF)



Critères de qualité

Dégradation spectrale

Dégradation spatiale

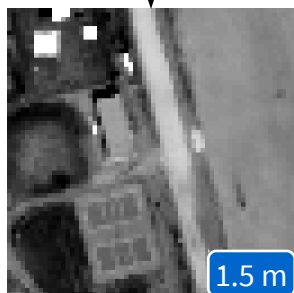


Image PAN simulée
(bandes $[0,4 \mu\text{m} - 0,8 \mu\text{m}]$
moyennées)

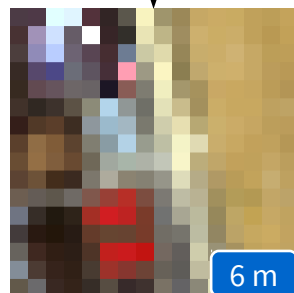


Image HS simulée
(sous-échantillonnage
spatial de 4)

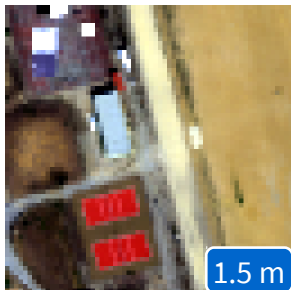
Image fusionnée

1.5 m

III – Jeux de données et démarche

Protocole

Image HS de référence (REF)



Critères de qualité

Dégradation spectrale

Dégradation spatiale

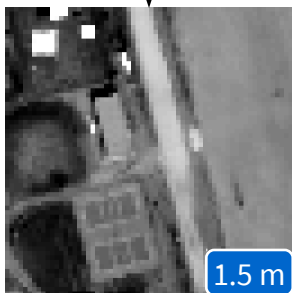


Image PAN simulée
(bandes $[0,4 \mu\text{m} - 0,8 \mu\text{m}]$
moyennées)

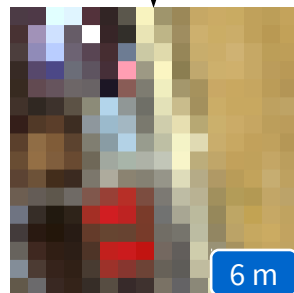


Image HS simulée
(sous-échantillonnage
spatial de 4)

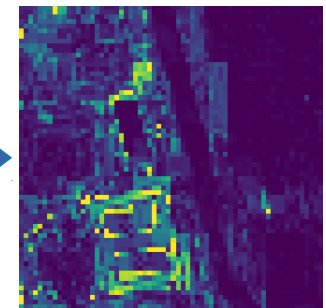
Image fusionnée

1.5 m

Critères de qualité

▶ Évaluer/comparer la qualité de l'image fusionnée (par rapport à l'image de référence): critères **spatiaux** (CC), **spectraux** (SAM) et **globaux** (ERGAS, RMSE).

▶ **Application des critères spectraux sur chaque pixel**
⇒ Cartes d'erreur
⇒ taux de réussite : pourcentage de pixels pour lesquels la méthode testée est plus performante que celle de référence, selon le critère considéré.

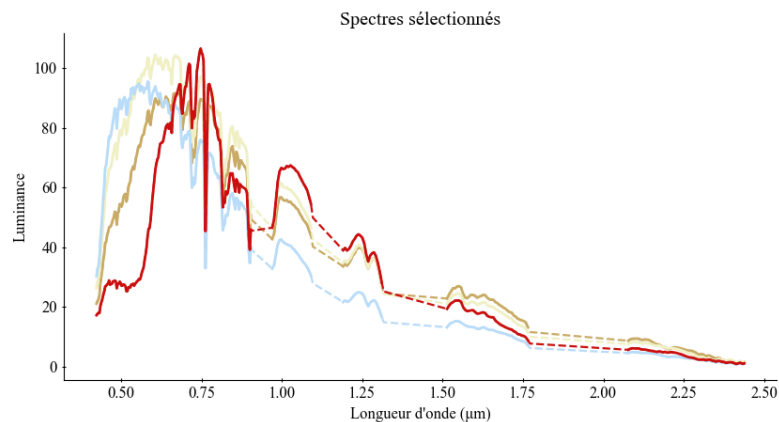
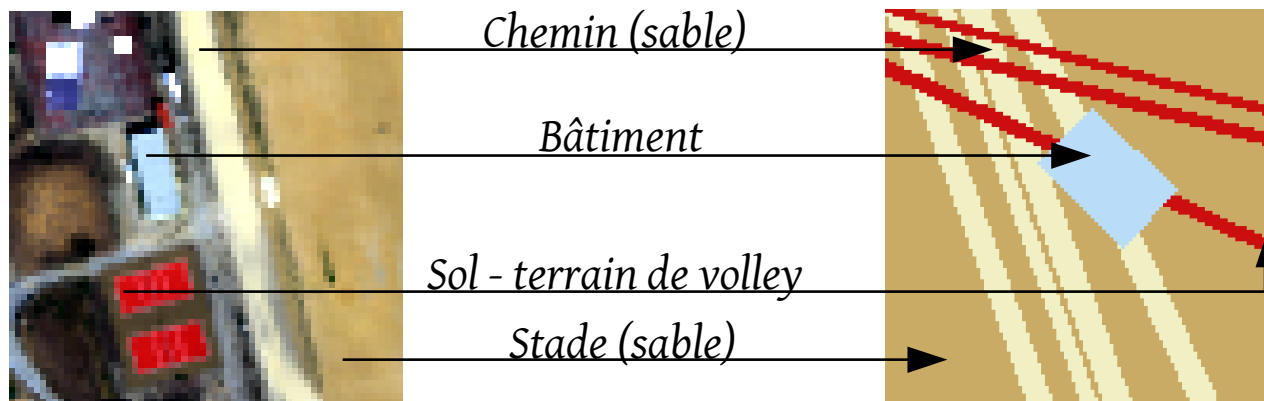


▶ **Domaines spectraux possibles :**
VNIR ($0,4 \mu\text{m} - 1,0 \mu\text{m}$), SWIR ($1,0 \mu\text{m} - 2,5 \mu\text{m}$), complet

▶ **Zones de l'image possibles :**
pixels éclairés, à l'ombre, image entière.

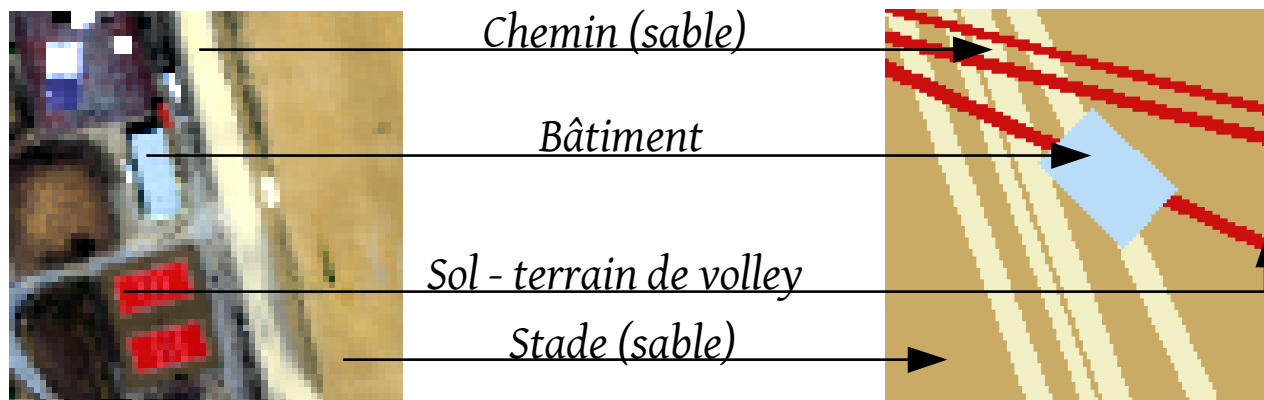
III – Test de la méthode sur une image synthétique

- Objectif : Tester les limites de la méthode et corriger les erreurs, indépendamment des défauts instrumentaux.
- Disposition de spectres existants (Stade – SYSIPHE) sur des zones homogènes



III – Test de la méthode sur une image synthétique

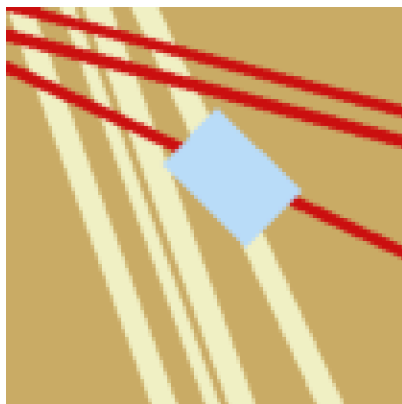
- Objectif : Tester les limites de la méthode et corriger les erreurs, indépendamment des défauts instrumentaux.
- Disposition de spectres existants (Stade – SYSIPHE) sur des zones homogènes



- Sources d'erreurs indépendantes de la méthode laissées de côté :
 - Convolution par une PSF influençant peu l'image simulée.
 - Segmentation parfaite.
- Génération des images PAN et HS (rapport de résolutions : 4).

III – Test de la méthode sur une image synthétique

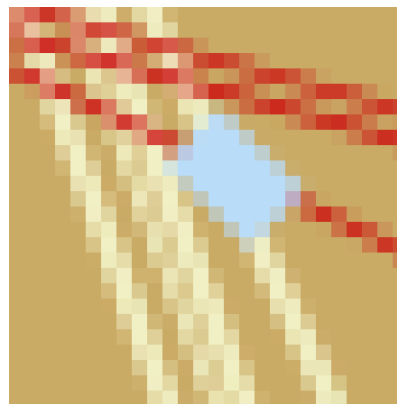
REF



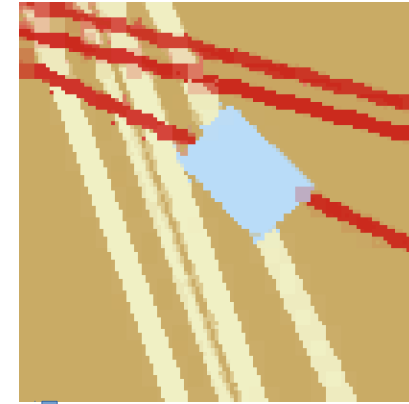
PAN



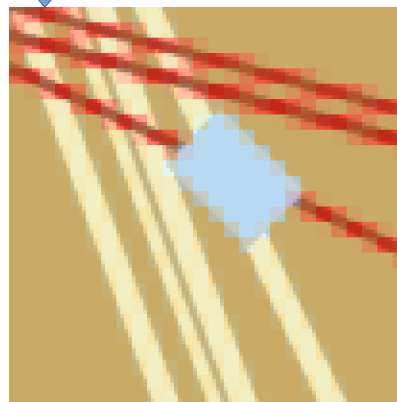
HS



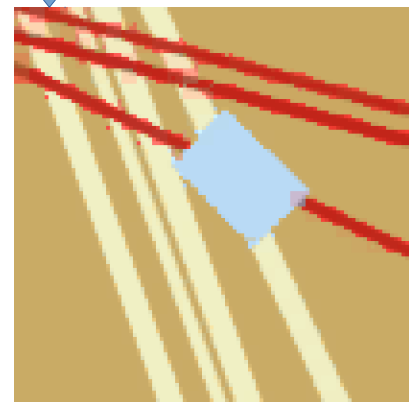
Démélange SOSU



↓ Fusion : Gain

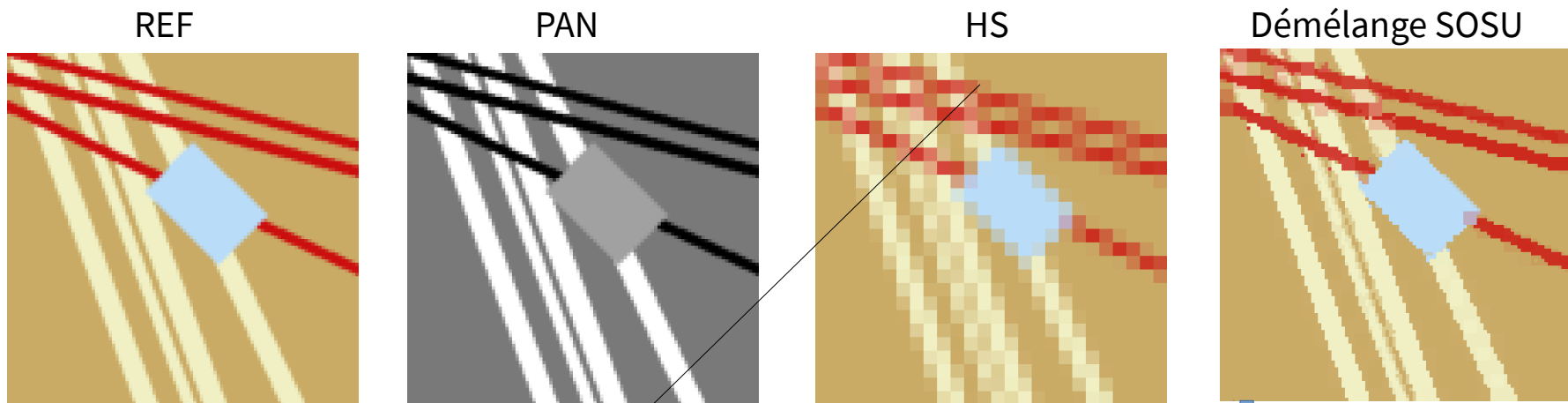


↓ Fusion : SOSU



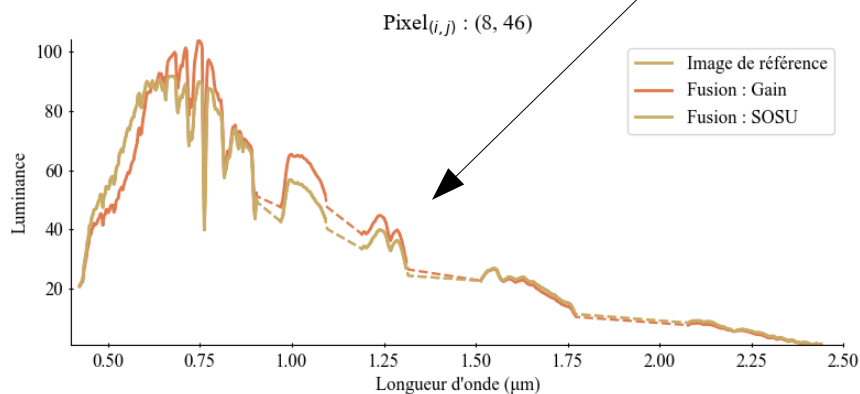
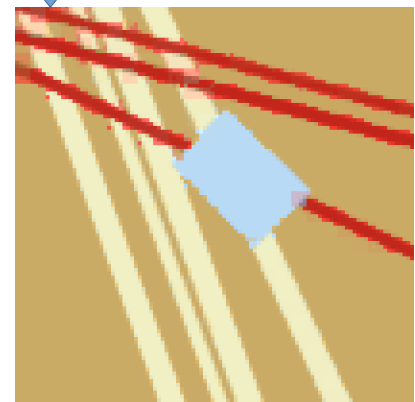
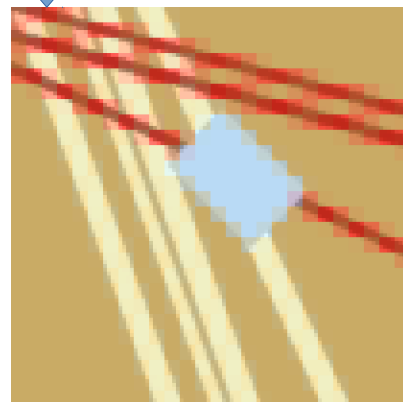
	RMSE	ERGAS	CC	SAM
Gain/ref	3.08	1.51	0.86	0.026
SOSU/ref	1.94	0.91	0.94	0.012

III – Test de la méthode sur une image synthétique



Fusion : Gain

Fusion : SOSU

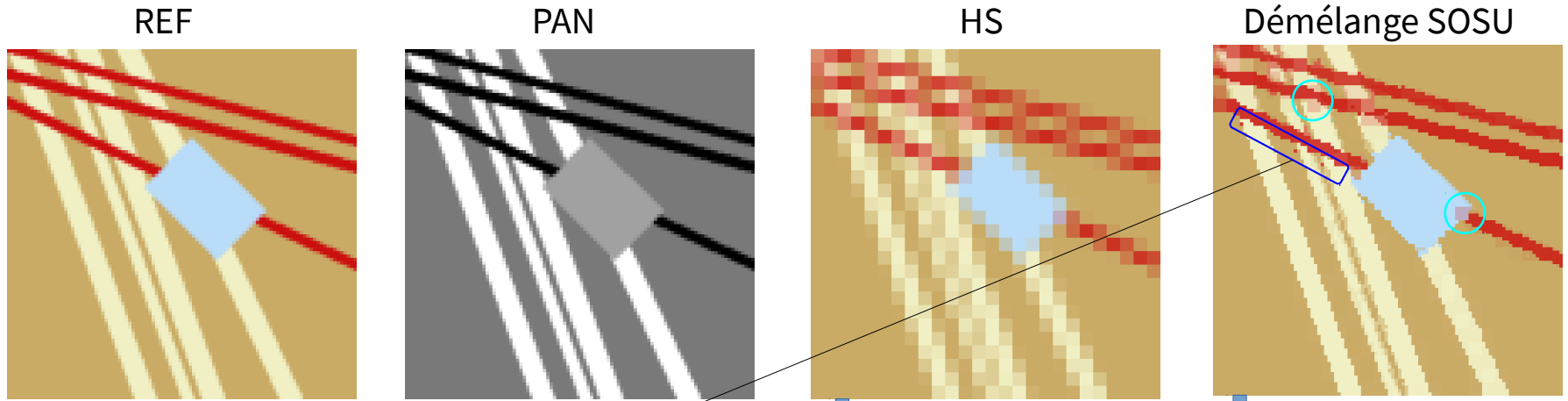


✓ Géométrie de l'image plus précise avec la méthode SOSU

Gain/ref
SOSU/ref

	RMSE	ERGAS	CC	SAM
Gain/ref	3.08	1.51	0.86	0.026
SOSU/ref	1.94	0.91	0.94	0.012

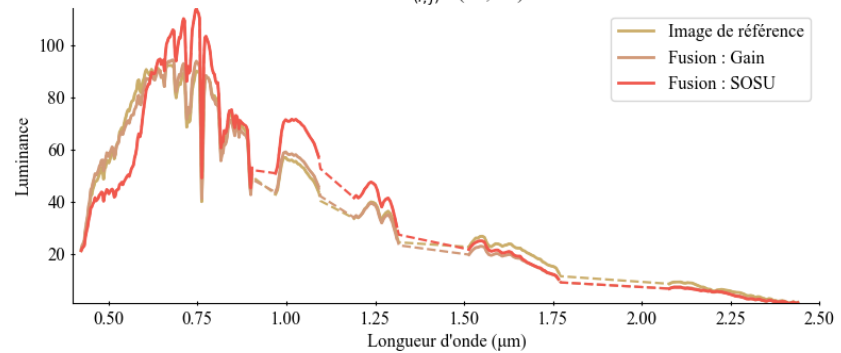
III – Test de la méthode sur une image synthétique



Fusion : Gain

Fusion : SOSU

Pixel_(i,j) : (35, 32)



x 2 sources d'erreurs : sous-pixels mal réorganisés, pixels HS mal démélangés

	RMSE	ERGAS	CC	SAM
Gain/ref	3.08	1.51	0.86	0.026
SOSU/ref	1.94	0.91	0.94	0.012

III – Stade (SYSIPHE) : Analyse visuelle

REF



PAN



HS



III – Stade (SYSIPHE) : Analyse visuelle

REF



PAN



HS



Image segmentée



Méthode : EDISON

III – Stade (SYSIPHE) : Analyse visuelle

REF



PAN



HS



Démélange SOSU



Image segmentée



III – Stade (SYSIPHE) : Analyse visuelle

REF



PAN



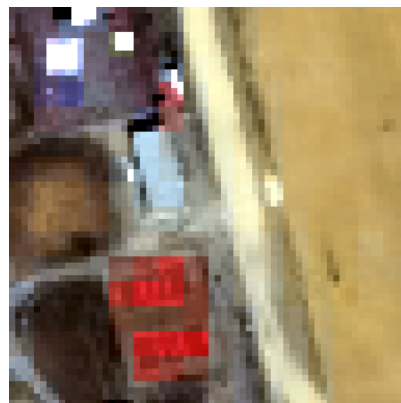
Image segmentée



HS



Fusion : Gain



Démélange SOSU



Fusion : SOSU



III – Stade (SYSIPHE) : Analyse visuelle

REF



PAN



HS



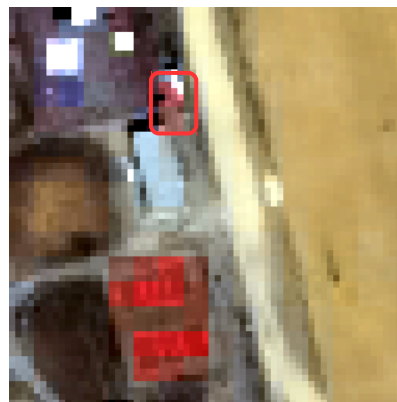
Démélange SOSU



Image segmentée



Fusion : Gain



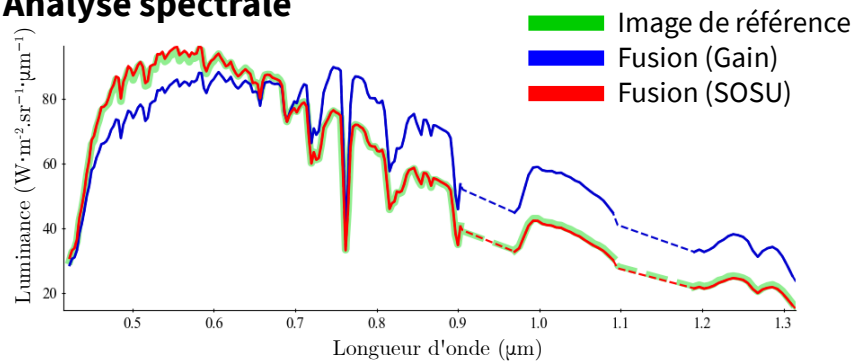
Fusion : SOSU



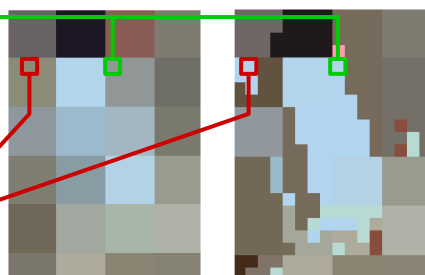
	RMSE	CC	ERGAS	SAM
Gain/ref	3.98	0.93	2.54	2.69
SOSU/ref	3.97	0.92	2.32	2.64

III – Stade (SYSIPHE) : Analyses spectrale et numérique

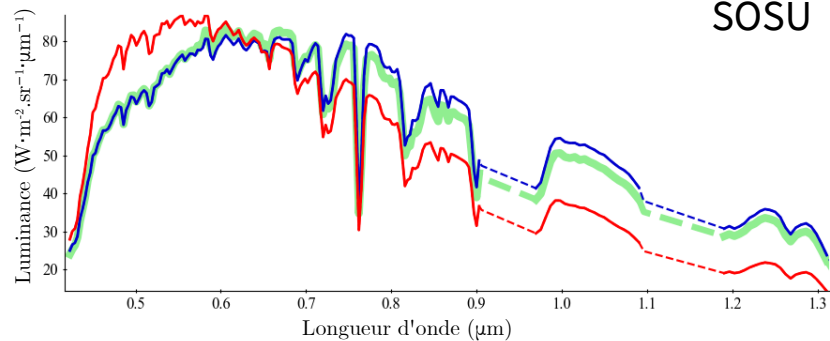
Analyse spectrale



✓ SOSU > Gain

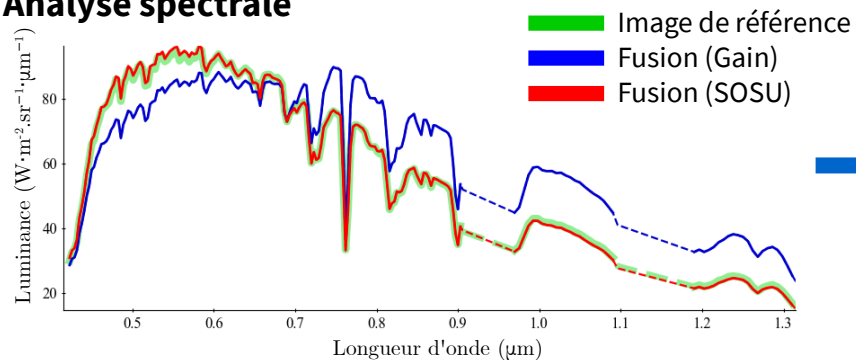


✗ SOSU < Gain



III – Stade (SYSIPHE) : Analyses spectrale et numérique

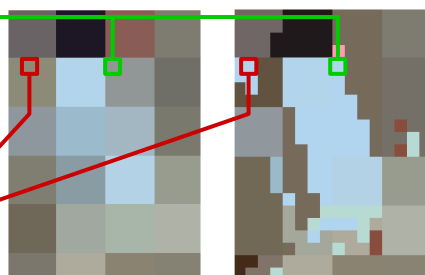
Analyse spectrale



Résultats (écart spectral moyen)

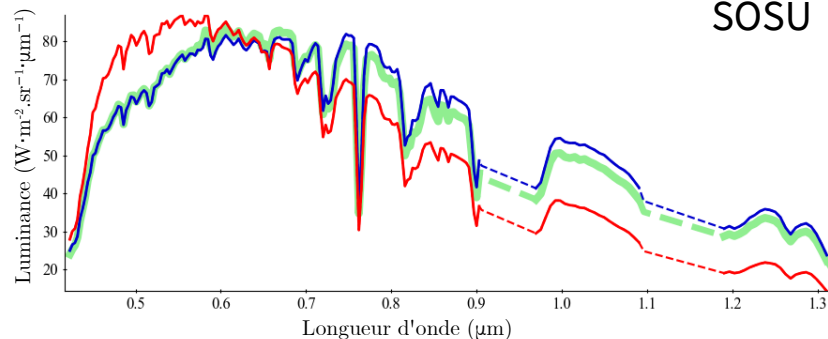
Domaine	SOSU/ref	Gain/ref
VNIR	0,8 %	15,2 %
SWIR	3,1 %	40,2 %

✓ SOSU > Gain



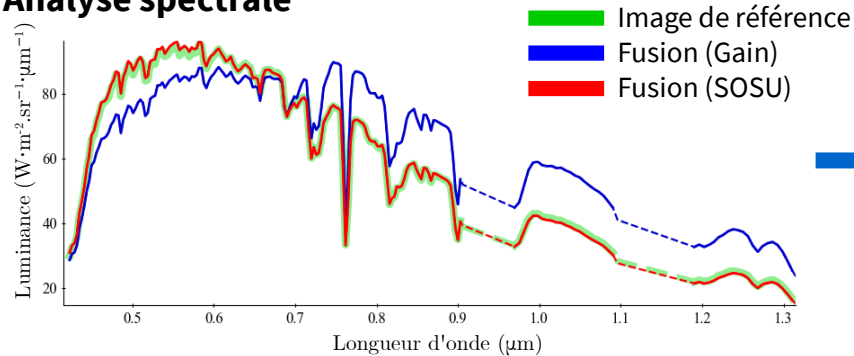
HS

démélange
SOSU



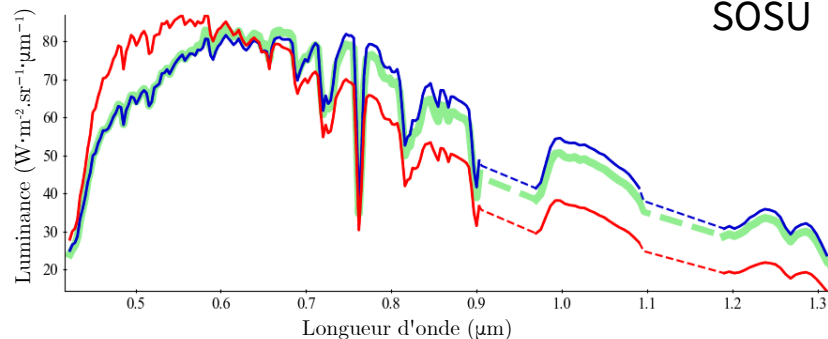
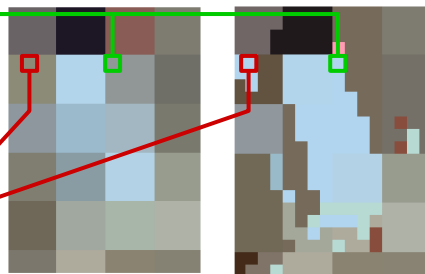
III – Stade (SYSIPHE) : Analyses spectrale et numérique

Analyse spectrale



✓ SOSU > Gain

✗ SOSU < Gain

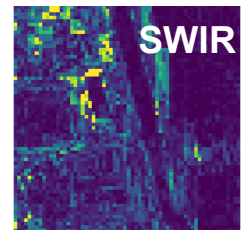
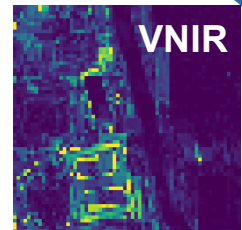


Résultats (écart spectral moyen)

Domaine	SOSU/ref	Gain/ref
VNIR	0,8 %	15,2 %
SWIR	3,1 %	40,2 %

Pourcentage de réussite de SOSU

- Cartes d'erreur de SOSU selon l'écart
- Comparaison des erreurs sur l'ensemble des pixels (domaine réflectif entier) :
 - SOSU > Gain:** 23.0 %
 - SOSU < Gain:** 25.0 %



Zones complexes à démixer :



- Segmentation : moyennes PAN des matériaux très proches
- Pixels mixtes considérés comme des endmembers

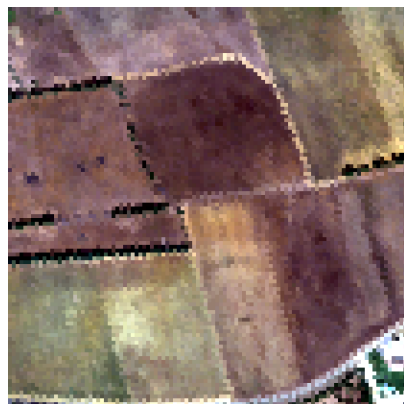
III – Stade (SYSIPHE) : comparaison numérique

Méthode	RMSE	ERGAS	SAM	CC
SFIM	4.70	2.19	2.59	0.93
MTF GLP	4.48	2.29	2.59	0.93
MTF GLP HPM	4.21	2.06	2.55	0.94
GS	5.96	2.78	2.92	0.92
GSA	5.19	2.44	2.86	0.92
PCA	5.80	2.66	3.01	0.93
CNMF	6.11	2.80	3.13	0.90
HySure	5.44	2.88	3.36	0.89
Gain	3.98	2.54	2.69	0.93
SOSU	3.97	2.32	2.64	0.92

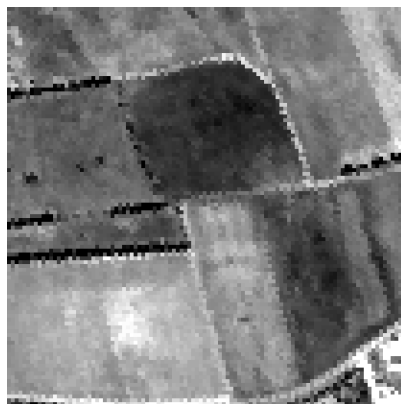
➤ Bons résultats pour SOSU, mais critères globaux peu pertinents : intérêt de SOSU dans des zones particulières de l'image (pixels mixtes, zones à l'ombre, paysages urbains, etc)

III – Champs (Garons) : analyse visuelle

REF



PAN



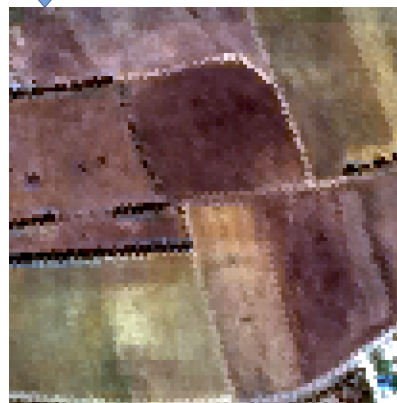
HS



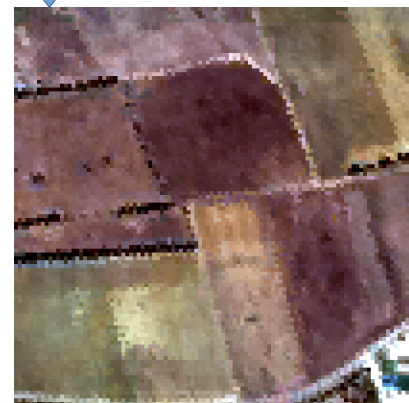
Démélange SOSU



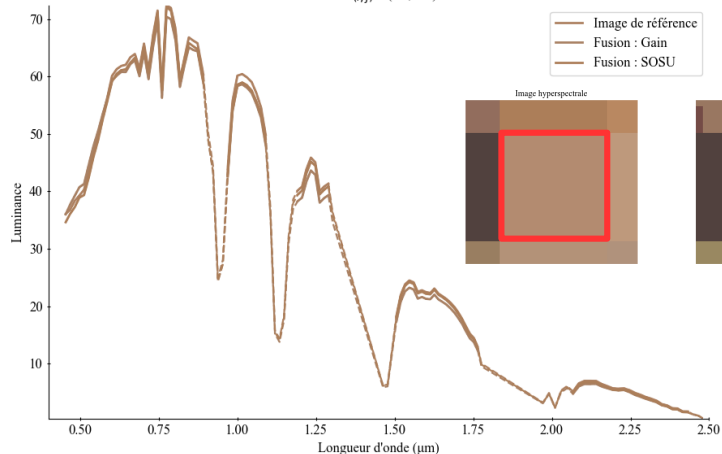
Fusion : Gain



Fusion : SOSU



Pixel_(i,j) : (60, 50)



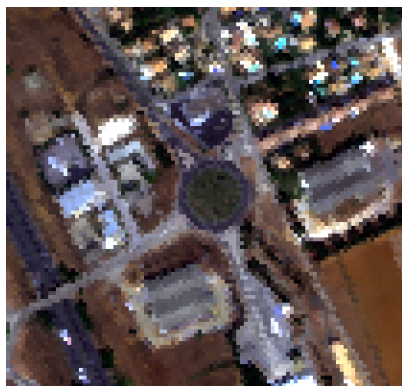
➤ Scène homogène : résultats très proches malgré les apports de SOSU

Gain/ref
SOSU/ref

	RMSE	ERGAS	CC	SAM
Gain/ref	2.39	1.82	0.94	1.72
SOSU/ref	2.46	1.91	0.93	1.89

III – paysage urbain (Garons) : analyse visuelle

REF



PAN



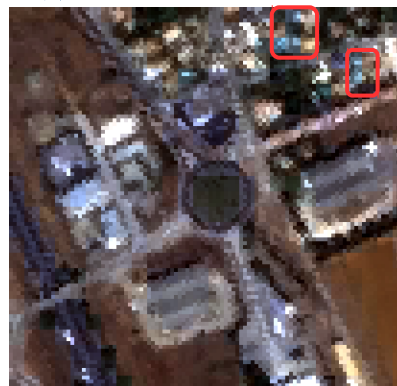
HS



Démélange SOSU



Fusion : Gain



Fusion : SOSU



➤ Zone urbaine : plus de matériaux différents \Rightarrow plus d'erreurs de démixage, mais démixage plus important dans le résultat final.

➤ Améliorations nécessaires de la méthode pour les milieux plus complexes.

	RMSE	ERGAS	CC	SAM
Gain/ref	5.29	4.42	0.89	5.16
SOSU/ref	5.61	5.16	0.86	5.56

III – Conclusion : bilan, perspectives

Limitations de la méthode SOSU actuelle

- ✗ Grand nombre de paramètres à adapter pour chaque image : seuils (variance, corrélation, abondance...), choix d'implémentation, nombre de classes VCA (⇒ HySime), segmentation...
- ✗ Erreurs constatées dans le démélange et la réorganisation spatiale

Avantages

- ✓ Spatialement : information PAN parfaitement conservée
- ✓ Spectralement : apport du démélange et de la réorganisation spatiale SOSU par rapport au Gain seul

Perspectives (2ème et 3ème année)

- Poursuite de l'amélioration de la méthode SOSU
- Adaptation de la méthode à des milieux plus complexes : milieux urbains , à l'ombre
- Évaluation de la méthode pour des rapports de résolutions allant de 2 à 10 dans le domaine réflectif
- Extension de la méthode pour des images HS couvrant le domaine optique entier
- Analyse des impacts du bruit, de la déregistration et de la compression

Merci pour votre attention !

Références :

- [1] L. Loncan et al., "Hyperspectral Pansharpening: A Review," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 3, no. 3, pp. 27-46, Sept. 2015.
- [2] L. Loncan, *Fusion of hyperspectral and panchromatic images with very high spatial resolution*, Diss., Université Grenoble Alpes, 2016.
- [3] C. Chisense, J. Engels, M. Hahn, et al., "Pansharpening of hyperspectral images in urban areas," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 39-B7, XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, pp. 387-392, Aug. 2012.
- [4] S. Xu and M. Ehlers, "Hyperspectral image sharpening based on ehlers fusion", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, 2017.
- [5] Jiahui Qu, Yunsong Li, and Wenqian Dong. Fusion of hyperspectral and panchromatic images using an average filter and a guided filter. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 52 :151–158, 2018.
- [6] Hongwen Lin and Anqing Zhang. Fusion of hyperspectral and panchromatic images using improved hysure method. In 2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC), pages 489–493. IEEE, 2017.
- [7] Zehua Huang, Qi Chen, Yonglin Shen, Qihao Chen, and Xiuguo Liu. An improved variational method for hyperspectral image pansharpening with the constraint of spectral difference minimization. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, 2017.
- [8] He, Lin, et al. "HyperPNN: Hyperspectral Pansharpening via Spectrally Predictive Convolutional Neural Networks." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* (2019).