

**SIGNAL / IMAGE ANALYSIS:
BLIND SOURCE SEPARATION = UNSUPERVISED UNMIXING
AND
BLIND SYSTEM IDENTIFICATION**

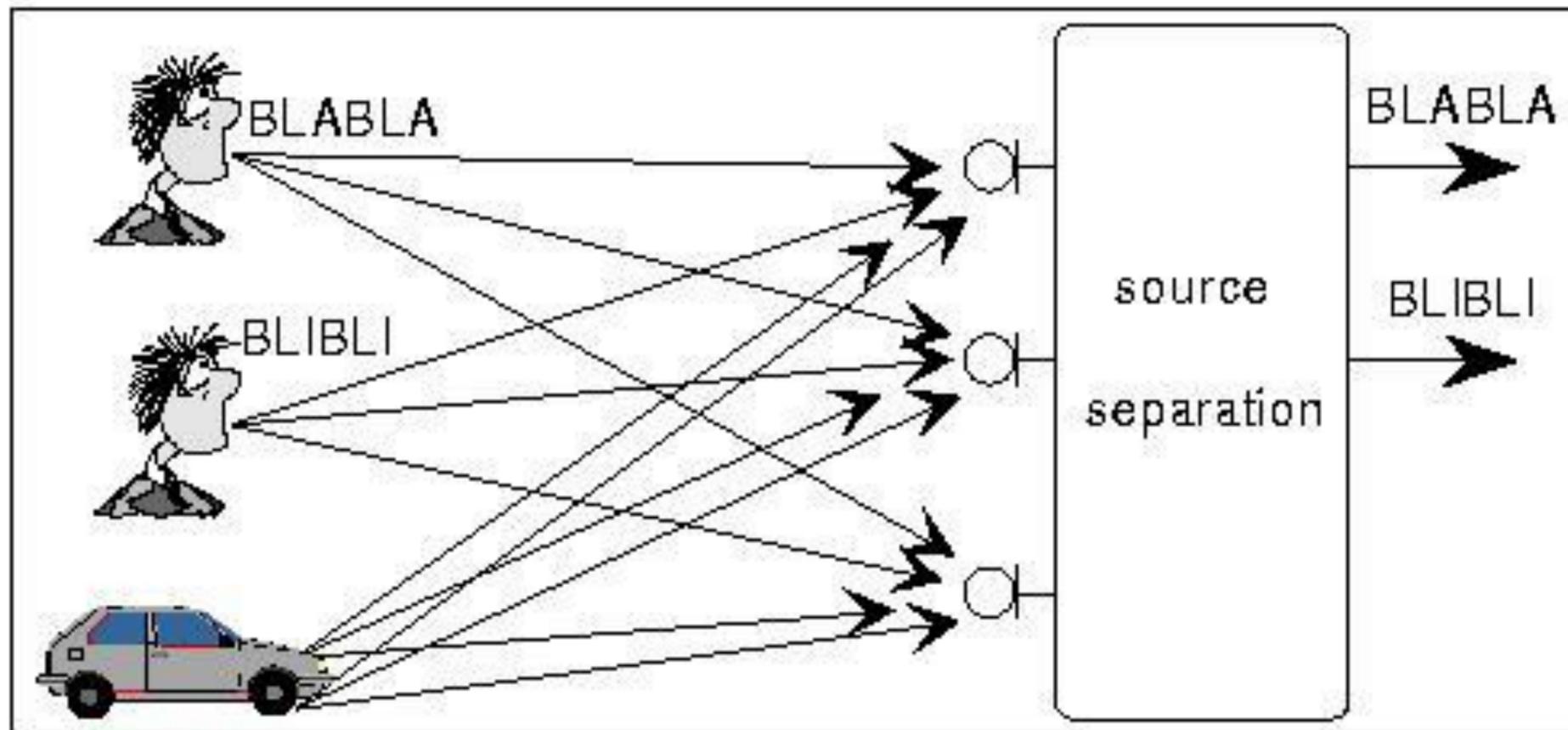
Yannick DEVILLE

IRAP / SISU

IRAP-L2IT meeting, Dec. 10, 2021

Position du problème

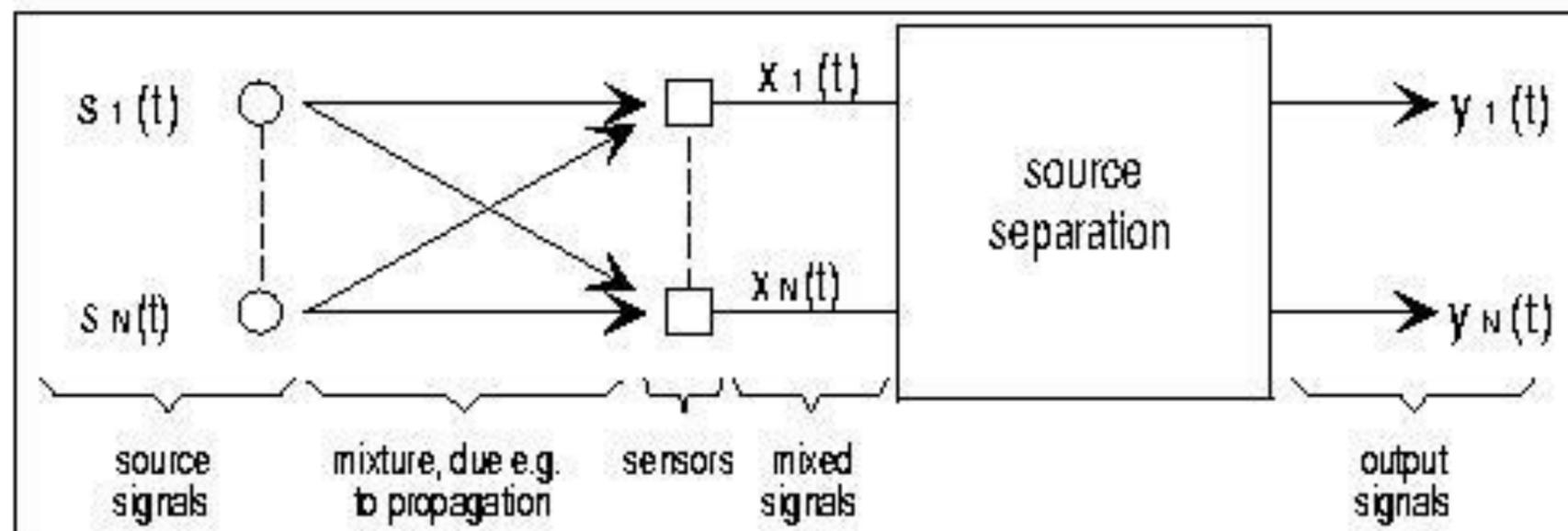
Un cas concret : séparation et débruitage de signaux de parole



Position du problème

Configuration générale pour sources = séries temporelles

- **Signaux disponibles** : N signaux mélangés $x_i(t)$
e.g. fournis par des **capteurs** (antennes RF, micro. : « cocktail party », ...)
- **Inconnues** (\Rightarrow séparation **aveugle** de sources) :
 - signaux sources $s_i(t)$
 - paramètres du mélange (type de mélange fixé)
- **But** : système qui restaure les signaux sources $s_i(t)$: sorties : $y_i(t) = s_i(t)$
(**indéterminations** : 1) permutations, 2) facteurs d'échelle ou filtres)





AN NMF-BASED UNMIXING METHOD WITH KNOWN SPECTRA OF PHOTOVOLTAIC PANELS FOR THEIR DETECTION AND AREA ESTIMATION FROM URBAN HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING DATA

Moussa Sofiane Karoui^{1, 2, 3}, *Fatima Zohra Benhalouche*^{1, 2, 3}, *Yannick Deville*², *Khelifa Djerriri*¹, *Xavier Briottet*⁴, *Thomas Houet*⁵ and *Arnaud Le Bris*⁶

¹ Centre des Techniques Spatiales, Arzew, Algeria

² IRAP, Université de Toulouse, UPS, CNRS, CNES, Toulouse, France

³ LSI, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Oran, Algeria

⁴ ONERA, The French Aerospace Lab, Toulouse, France

⁵ LETG, Université Rennes 2, Rennes, France

⁶ Univ. Paris-Est, LASTIG MATIS, IGN, ENSG, Saint-Mandé, France

{Sofiane.Karoui, Fatima.Benhalouche, Yannick.Deville}@irap.omp.eu, kdjerriri@cts.asal.dz, Xavier.Briottet@onera.fr, thomas.houet@univ-rennes2.fr, Arnaud.Le-Bris@ign.fr

Plan de la présentation

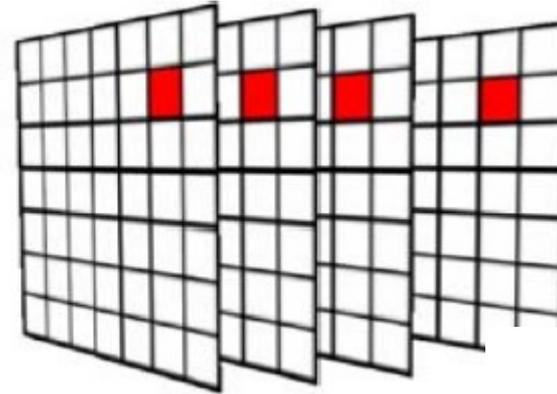
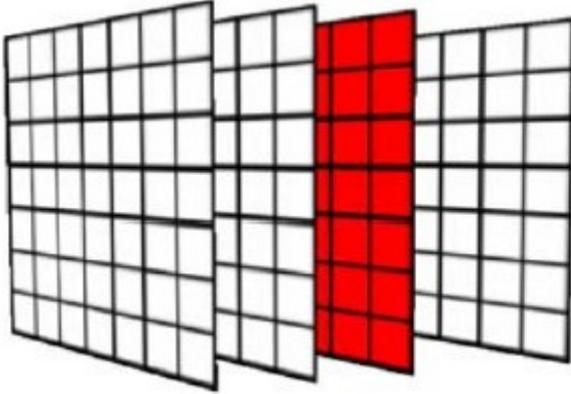
- Introduction
- Méthode proposée
- Tests et résultats
- Conclusion

Introduction



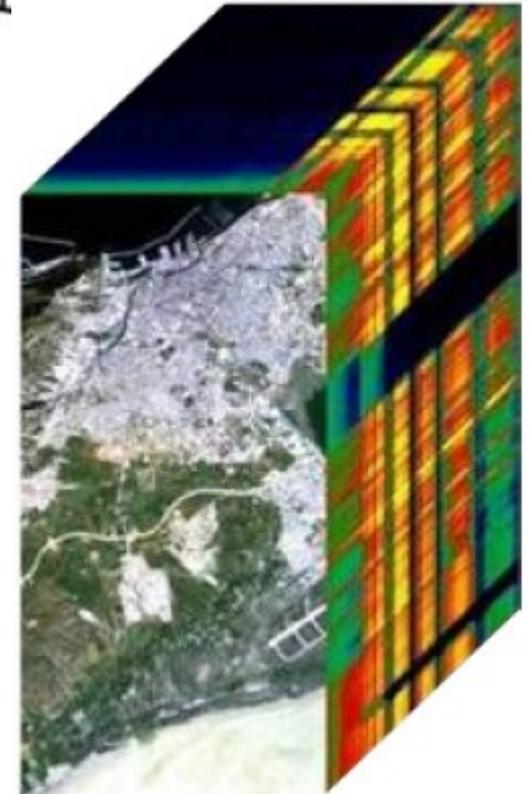
Téledétection spatiale = détermination de caractéristiques de la surface de la Terre par des mesures effectuées sans contact avec celle-ci

Introduction



Données de télédétection hyperspectrale : **cube 3D**
indexé par trois variables (x, y, λ) :

- x et y : **deux dimensions spatiales** de la scène imagée
- λ : **dimension spectrale** (couvrant certaines longueurs d'onde)



Panneaux photovoltaïques :

part importante des systèmes d'énergie **renouvelable** dans les zones urbaines des pays développés

-> énergie électrique « non polluante » à partir de la ressource solaire

-> **encouragée** par les agences gouvernementales, les gestionnaires de réseaux électriques... :

financement, avantages fiscaux

-> nécessité d'éviter les **fraudes** avec ces énergies de substitution

-> recherche d'**informations** détaillées sur ces systèmes solaires :
localisation, production d'énergie...

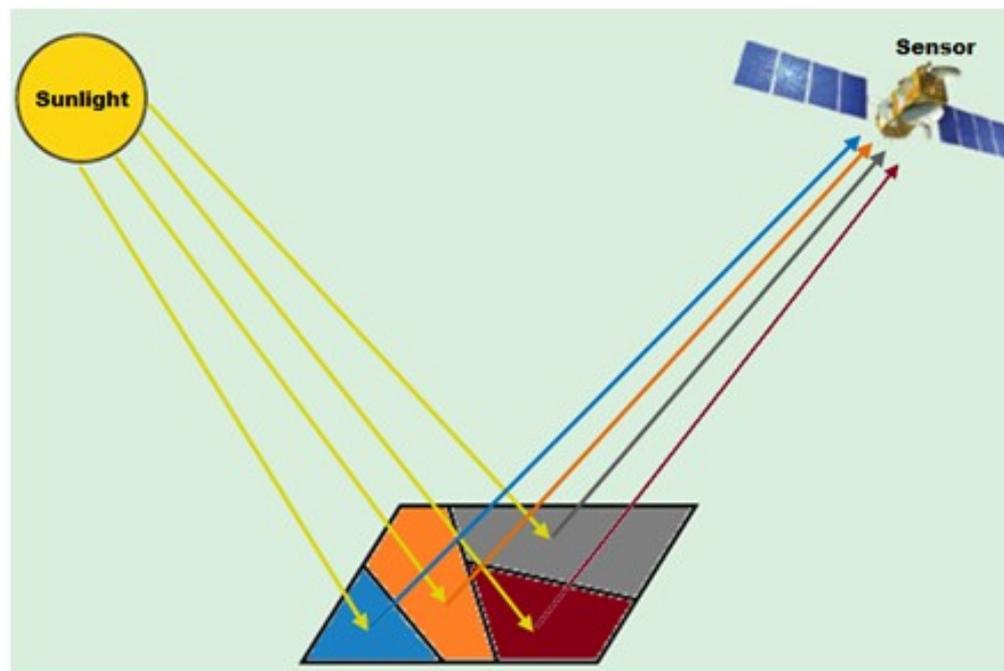
Méthodes d'obtention d'informations sur les panneaux photovoltaïques :

1. Etudes de **terrain** :
consomment beaucoup de temps et peuvent être très coûteuses
-> recherche d'approches plus rapides et moins coûteuses :
2. Intégration des données de **télé-détection** :
alternative intéressante pour la détection / localisation automatique
des installations photovoltaïques

-> **Cette étude** :
méthode pour **détection** les panneaux photovoltaïques et estimer leurs **surfaces**, en exploitant des données **hyperspectrales** en milieux urbains

-> Idée de base :
pour un **pixel pur** : le spectre de réflectance associé permet d'identifier un panneau solaire, par comparaison à un spectre de référence

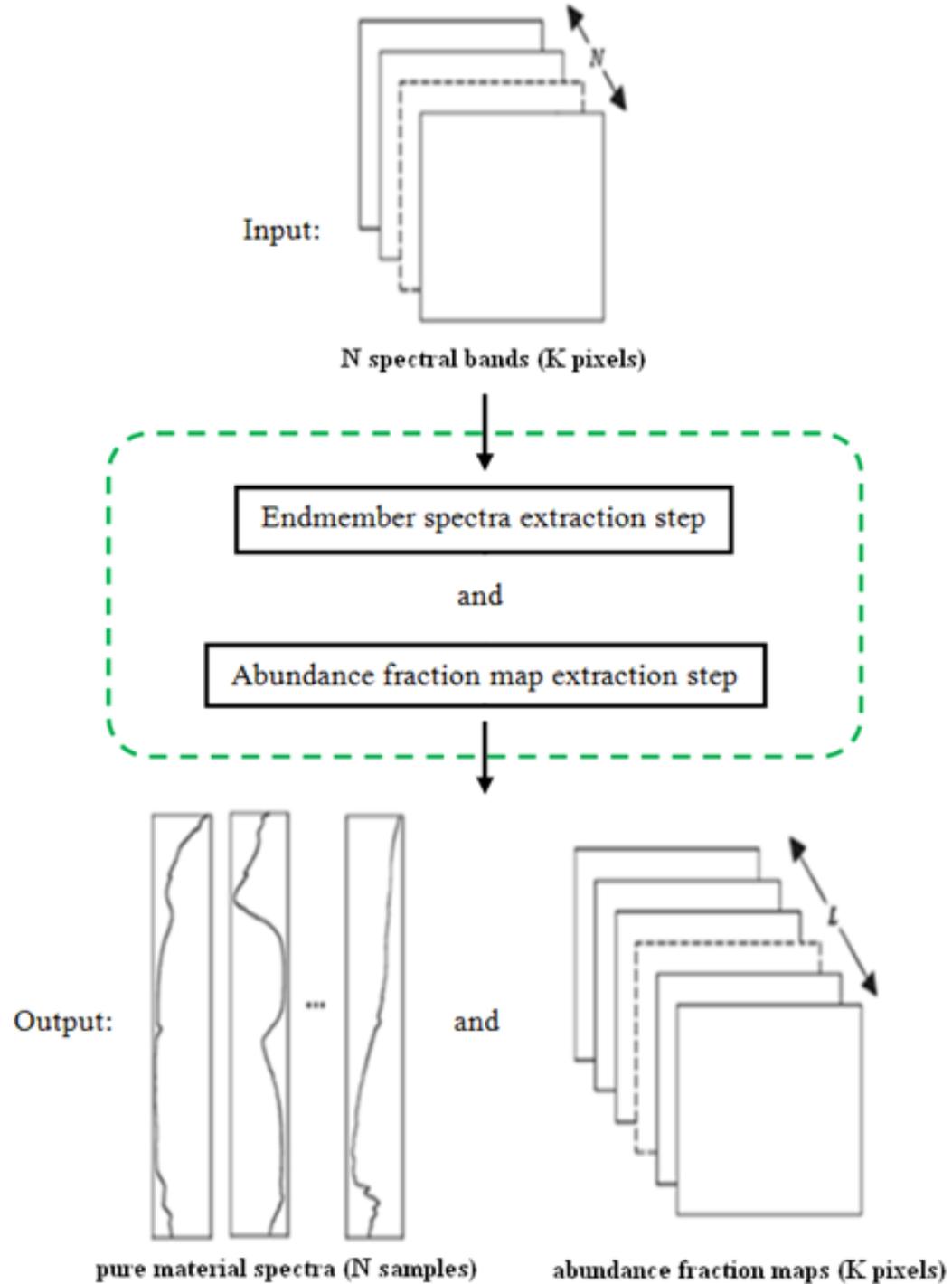
Introduction



Problème des données réelles :
faible **résolution** spatiale des capteurs hyperspectraux

- > des **pixels mélangés** (mixels) peuvent apparaître dans les données acquises
- > ils empêchent la détection directe des matériaux (et quantification)
- > nécessité de traitement avancé pour **démélanger** ces données

Introduction



Méthode proposée

But de l'étude :

démélange des données hyperspectrales pour la détection automatique des panneaux photovoltaïques et pour l'estimation de leurs surfaces

Méthode proposée :

- basée sur un algorithme original multiplicatif de factorisation en matrices non-négatives (**NMF**)
- avec la **connaissance a priori** (approchée) des spectres des panneaux photovoltaïques

Méthode proposée

Modélisation matricielle de l'image hyperspectrale **observée** X
(1 ligne = 1 bande spectrale) :

S : matrice d'**abondances** (1 ligne par matériau pur, dont panneaux)

A : matrice de **spectres** de matériaux purs

-> **spécificité ici** :

A_1 : première(s) colonne(s) : **spectres connus** de panneaux, 0 ailleurs

A_2 : dernières colonnes : **spectres inconnus** d'autres matériaux, 0 ailleurs

$$X = A S$$

$$A = A_1 + A_2$$

$$X = (A_1 + A_2) S = A_1 S + A_2 S$$

Méthode proposée

Variables dans l'approche proposée :
deux matrices non-négatives, \tilde{A}_2 et \tilde{S} ,
qui estiment respectivement A_2 et S :

$$X \approx A_1 \tilde{S} + \tilde{A}_2 \tilde{S}$$

Fonction de coût minimisée par l'algorithme proposé :

$$J(\tilde{A}_2, \tilde{S}) = \frac{1}{2} \|X - A_1 \tilde{S} - \tilde{A}_2 \tilde{S}\|_F^2$$

$$\begin{aligned} J(\tilde{A}_2, \tilde{S}) &= \frac{1}{2} \text{Tr}(XX^T) - \text{Tr}(A_1 \tilde{S} X^T) - \text{Tr}(\tilde{A}_2 \tilde{S} X^T) \\ &\quad + \text{Tr}(\tilde{A}_2 \tilde{S} \tilde{S}^T A_1^T) + \frac{1}{2} \text{Tr}(A_1 \tilde{S} \tilde{S}^T A_1^T) \\ &\quad + \frac{1}{2} \text{Tr}(\tilde{A}_2 \tilde{S} \tilde{S}^T \tilde{A}_2^T) \end{aligned}$$

Méthode proposée

Gradients de J par rapport aux deux matrices variables :

$$\frac{\partial J}{\partial \tilde{A}_2} = -X\tilde{S}^T + A_1\tilde{S}\tilde{S}^T + \tilde{A}_2\tilde{S}\tilde{S}^T,$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \tilde{S}} = & -A_1^T X - \tilde{A}_2^T X + \tilde{A}_2^T A_1 \tilde{S} + A_1^T \tilde{A}_2 \tilde{S} + A_1^T A_1 \tilde{S} \\ & + \tilde{A}_2^T \tilde{A}_2 \tilde{S}. \end{aligned}$$

Méthode proposée

Algorithme :

règles itératives et multiplicatives de mise à jour des deux matrices variables :

$$\tilde{A}_2 \leftarrow \tilde{A}_2 \odot X\tilde{S}^T \oslash (A_1\tilde{S}\tilde{S}^T + \tilde{A}_2\tilde{S}\tilde{S}^T + \epsilon),$$

$$\tilde{S} \leftarrow \tilde{S} \odot (A_1^T X + \tilde{A}_2^T X) \oslash (\tilde{A}_2^T A_1 \tilde{S} + A_1^T \tilde{A}_2 \tilde{S} + A_1^T A_1 \tilde{S} + \tilde{A}_2^T \tilde{A}_2 \tilde{S} + \epsilon).$$

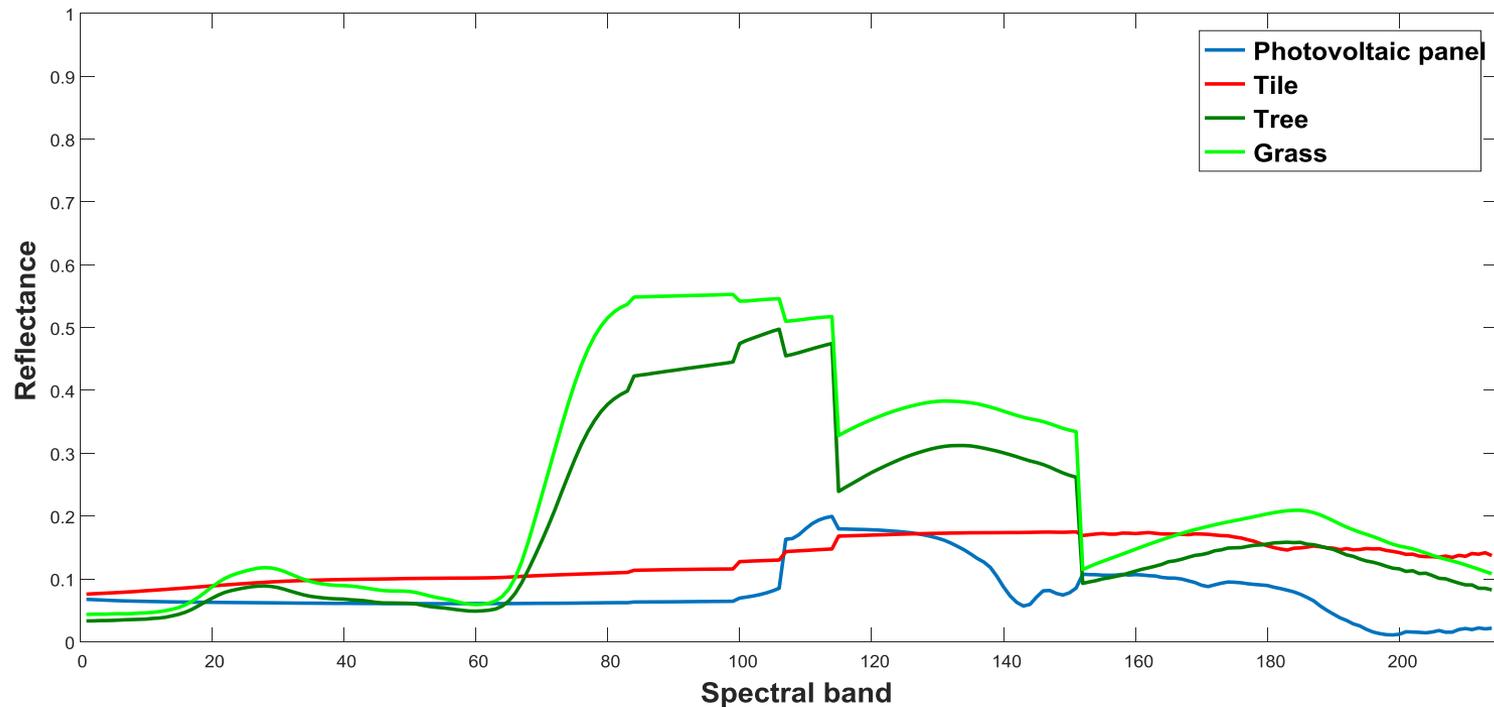
Test no. 1

Création de données hyperspectrales synthétiques réalistes :

1) Spectres purs :

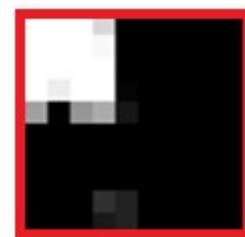
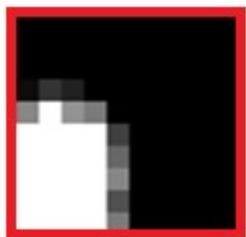
4 spectres, obtenus par des mesures de terrain à l'aide d'un spectromètre, issus d'un environnement urbain :

panneau photovoltaïque (connu de la méthode), tuile, arbre, végétation



Test no. 1

Données : 2) **procédure de mélange** synthétique :
spectres purs (+ variabilité) mélangés linéairement avec des abondances
créées en moyennant, sur des fenêtres, les résultats d'une classification
d'une image réelle d'un environnement urbain avec ces 4 matériaux :



Test no. 1

Méthodes testées :

la méthode proposée (Multi-Part-NMF) et la méthode multiplicative standard (Multi-NMF)

Critère de performances :

erreur quadratique moyenne normalisée (NMSE) entre les fractions d'abondance originales des panneaux photovoltaïques et leur estimées

Résultats :

Photovoltaic panel NMSE values (%).

Multi-Part-NMF	Multi-NMF
16.62	81.76

-> l'approche proposée permet une **bien meilleure détection** des panneaux que la méthode standard testée

Test no. 2

Données :

2 **imageries** issues d'une image hyperspectrale réelle, données aéroportées couvrant une partie de la zone urbaine de Toulouse.

Le spectre précédent du **panneau** photovoltaïque est connu de la méthode de démélange

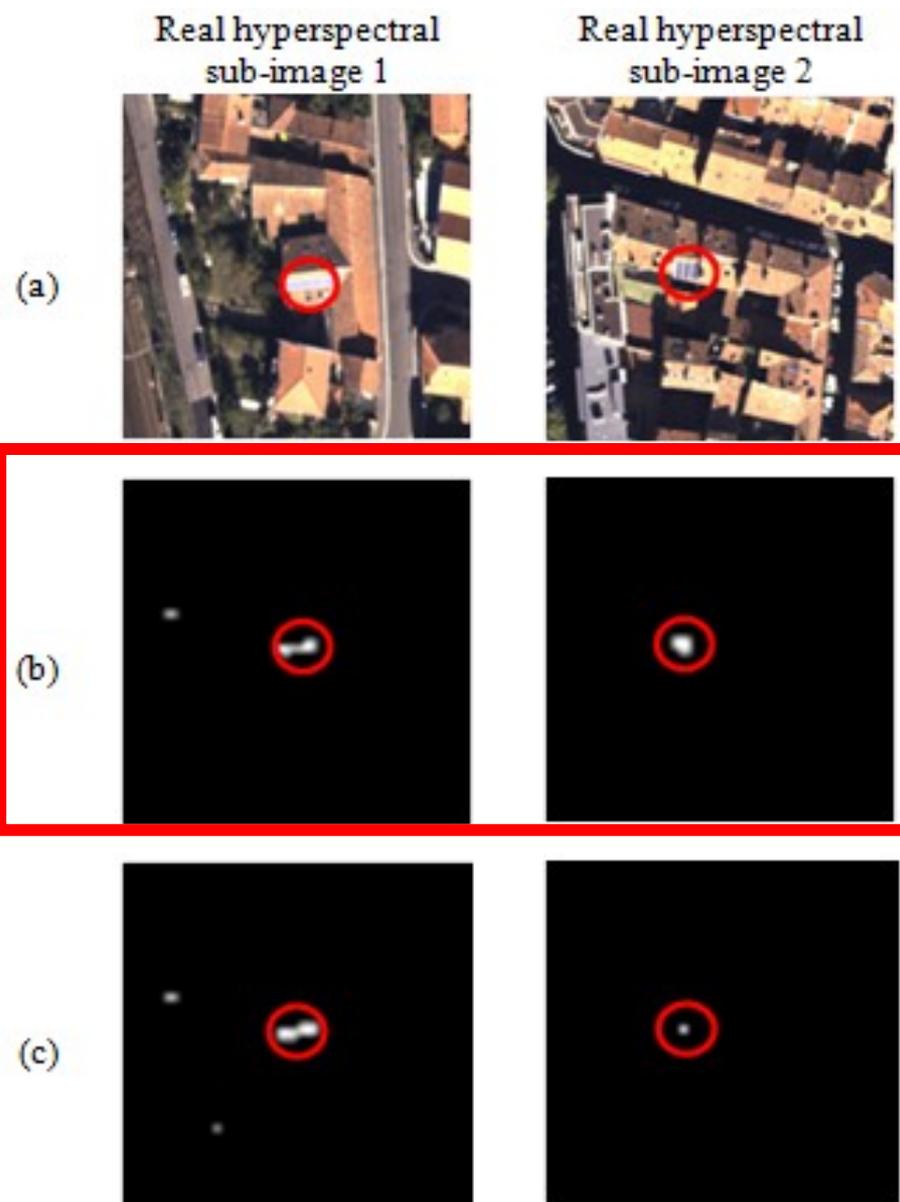


Méthodes d'analyse des résultats :

- **Inspection** visuelle des résultats obtenus : cartes d'abondance estimées (résolution spatiale : 1,6 m)
- **Superficies** des panneaux photovoltaïques : calculées à partir des fractions d'abondance estimées
- **Comparaison** de ces superficies à celles obtenues par une numérisation manuelle à partir d'ortho-images de très haute résolution spatiale (0,1 m) des mêmes scènes

Test no. 2 :

Résultats :



(a) Ortho-image. Estimated photovoltaic panel abundance fraction maps: (b) Multi-Part-NMF, (c) Multi-NMF. Red circles surround photovoltaic panels.

Test no. 2

Résultats :

Photovoltaic panel areas (m²).

	Manual digitization	Multi-Part-NMF	Multi-NMF
Sub-image 1	15	15.27	21.26
Sub-image 2	12	13.06	1.10

-> la méthode proposée estime, automatiquement, les surfaces occupées par les panneaux photovoltaïques, avec une **bien meilleure précision** que l'algorithme classique testé

Conclusion

- **Premiers résultats** très encourageants

-> l'algorithme proposé est très **attractif** pour la détection et l'estimation des superficies des panneaux photovoltaïques en milieux urbains par l'utilisation de l'imagerie hyperspectrale de télédétection spatiale et **beaucoup plus précis** qu'une méthode classique de la littérature

-> la méthode proposée peut être d'une grande **utilité** pour les opérateurs des réseaux électriques et pour les pouvoirs publics

- **Travaux futurs** : notamment, appliquer cette méthode à des jeux de **données** nettement plus importants

Merci pour votre attention...