

Analyse des résidus de tir à l'arme à feu par des méthodes de démélange spectral

C. Meillier, V. Achard, P. Déliot, B. Corcelle,
T. Dartigalongue,
A. Desmarais, C. Giacometti



retour sur innovation



DOTA

Introduction

Intérêts : Amélioration de la visibilité des résidus de poudre sur les tissus foncés ou à motifs colorés



Image en couleur réelle

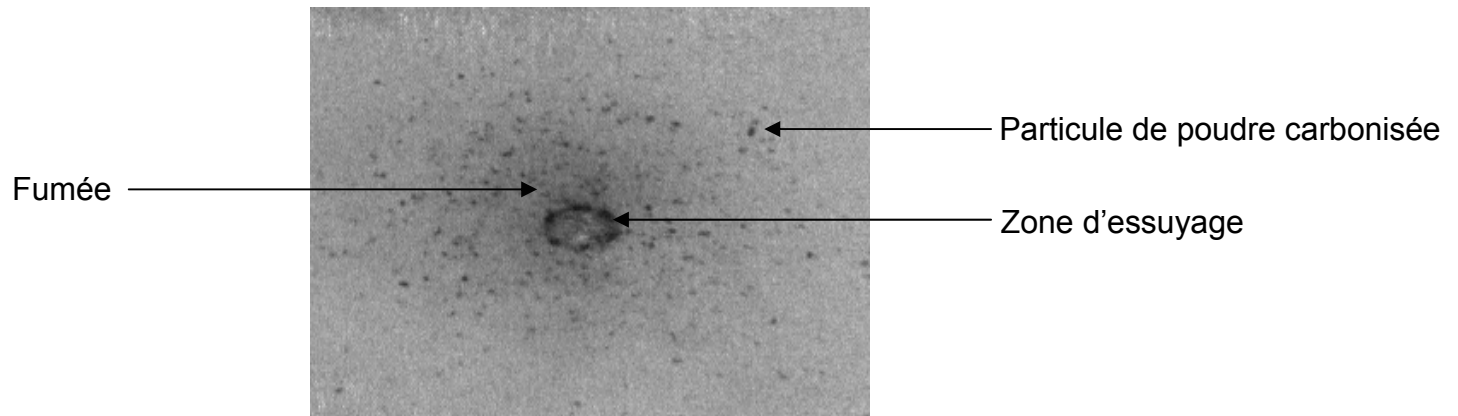


Image sur la bande spectrale correspondant à 1 μm

- I. Méthodes d'extraction des pôles de mélange**
- II. Présentation du jeu de données**
- III. Analyse comparative des résultats obtenus**

I. Méthodes d'extraction des pôles de mélange

1. Prétraitement des données
2. Méthode OSP
3. Méthode N-FINDR
4. Méthode ICE

II. Présentation du jeu de données

III. Analyse comparative des résultats obtenus

Modèle de mélange linéaire :

$$X = SA$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1(1) & \cdots & x_N(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(L) & \cdots & x_N(L) \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} s_1(1) & \cdots & s_p(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_1(L) & \cdots & s_p(L) \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_1(1) & \cdots & a_N(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_1(p) & \cdots & a_N(p) \end{pmatrix}$$

avec

- N = nombre de pixel de l'image
- L = nombre de bandes spectrales
- X = image hyperspectrale
- A = matrice des abondances
- S = matrice des spectres des pôles de mélange
- p = nombre de composants purs dans le mélange

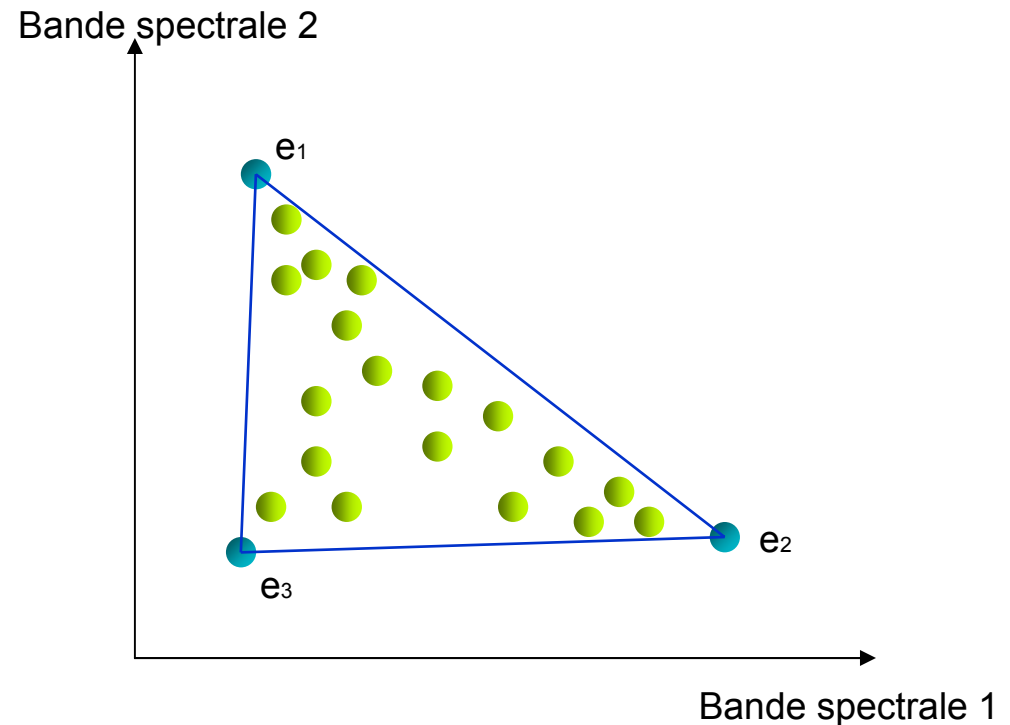
Géométrie du modèle :

Tous les pixels sont contenus dans un simplexe de p sommets de dimension $p-1$ du fait des contraintes d'additivité et positivité sur les abondances.

Contraintes :

$$\begin{cases} a_i(j) \geq 0 \\ \sum_{i=1}^p a_i(j) = 1 \end{cases}$$

Simplexe : analogie du triangle (dimension 2) en dimension n



Méthodes d'extraction des pôles de mélange

Prétraitement spectral des données :

Recherche du nombre p de composants purs

→ Par analyse en composantes principales (ACP)

Pour les méthodes N-FINDR et ICE :

→ Réduction de dimension par ACP

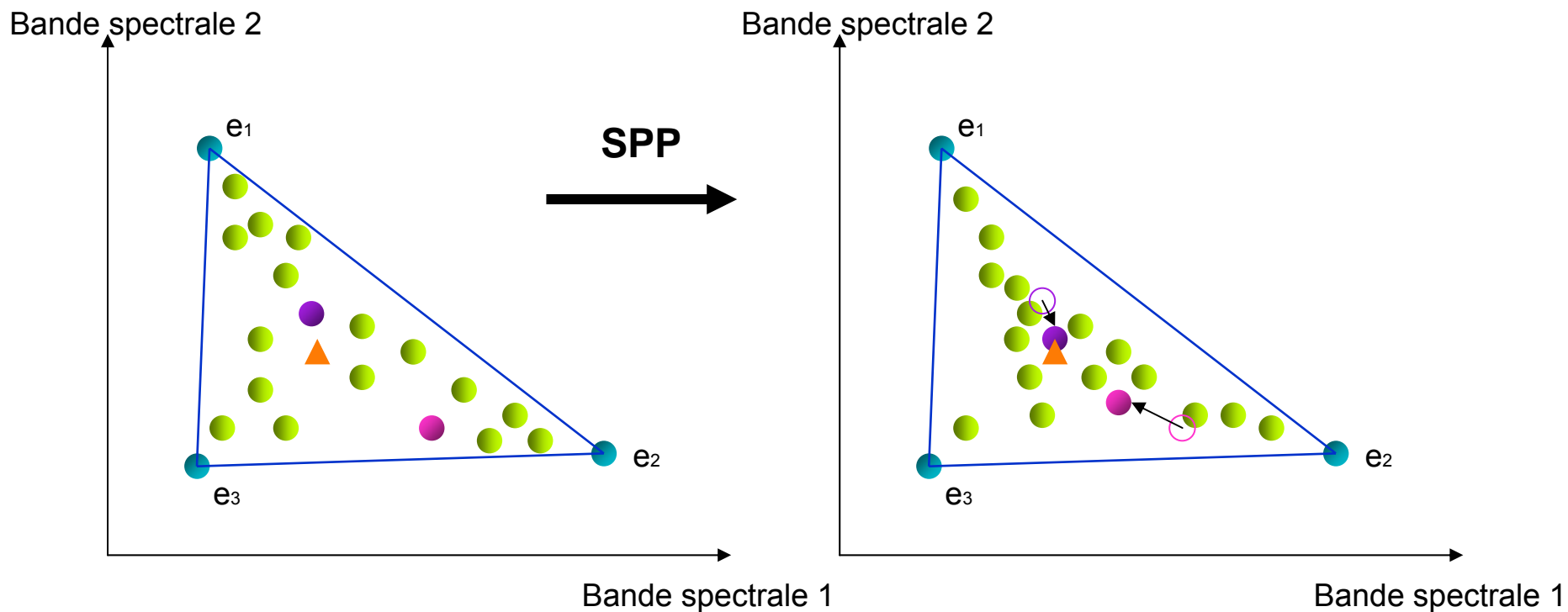
Prétraitement spatial des données :

Méthode développée par M. Zortea & A. Plaza

Idée : Les composants purs sont présents dans des zones homogènes

Principe : Augmenter la probabilité de ces pixels d'être sélectionnés comme pôles de mélange en les plaçant sur l'enveloppe convexe du nuage

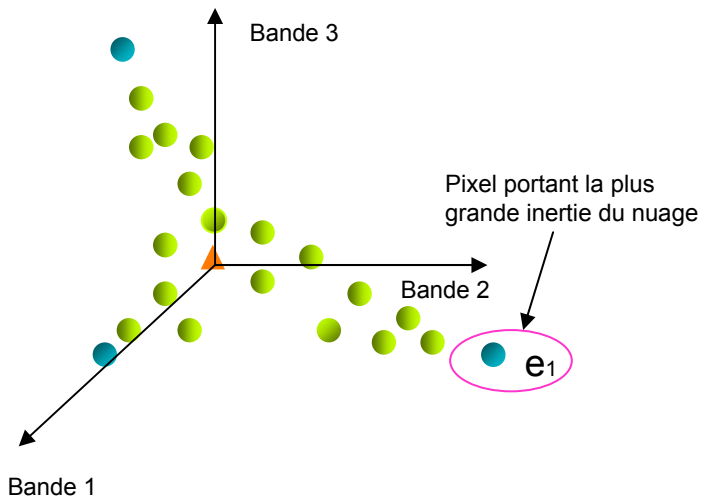
Prétraitement spatial des données :



Méthode OSP (Orthogonal Subspace Projection)

Hypothèse : Tous les composants sont présents à l'état pur, sur au moins un pixel

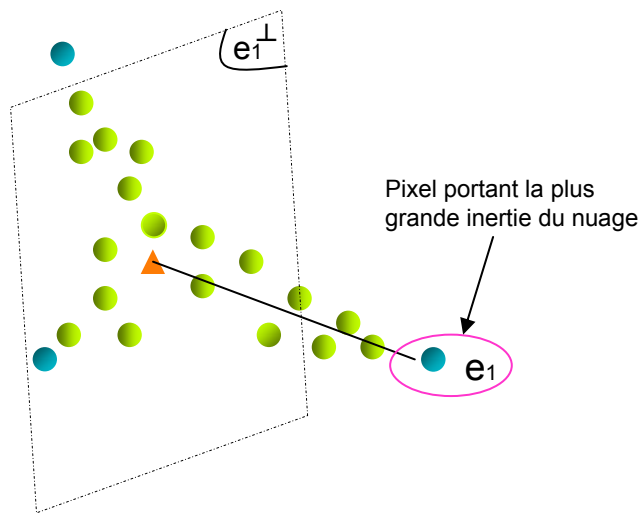
Observations sur 3 bandes spectrales



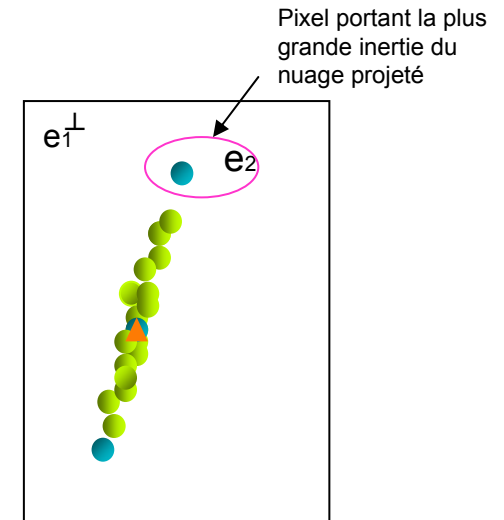
ACP \rightarrow 2 bandes utiles \Leftrightarrow 3 pôles

Méthode OSP (Orthogonal Subspace Projection)

Observations sur 3 bandes spectrales

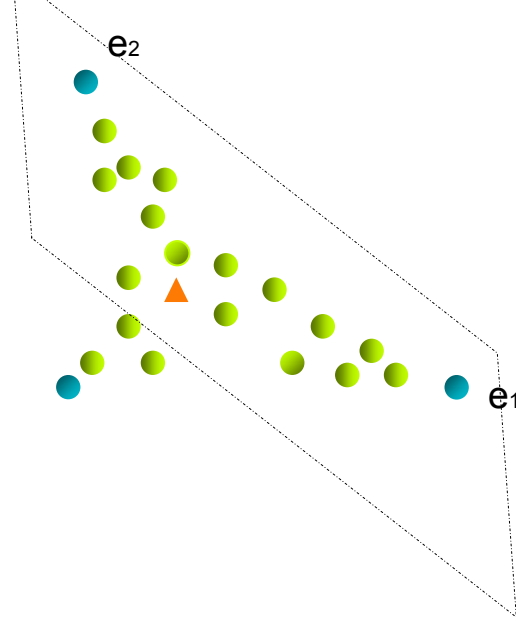


Projection sur le plan
orthogonal à e_1

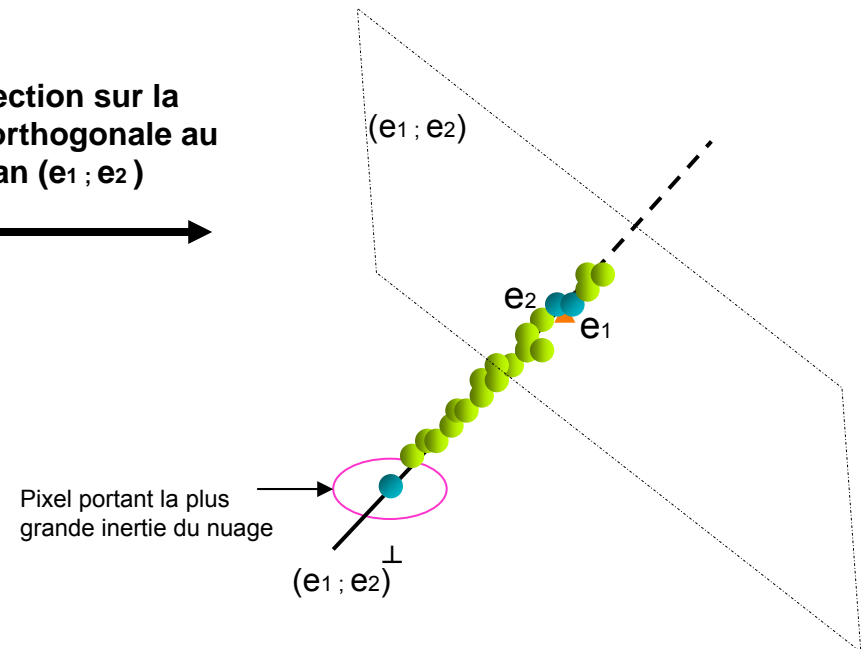


Méthode OSP (Orthogonal Subspace Projection)

Observations sur 3 bandes spectrales

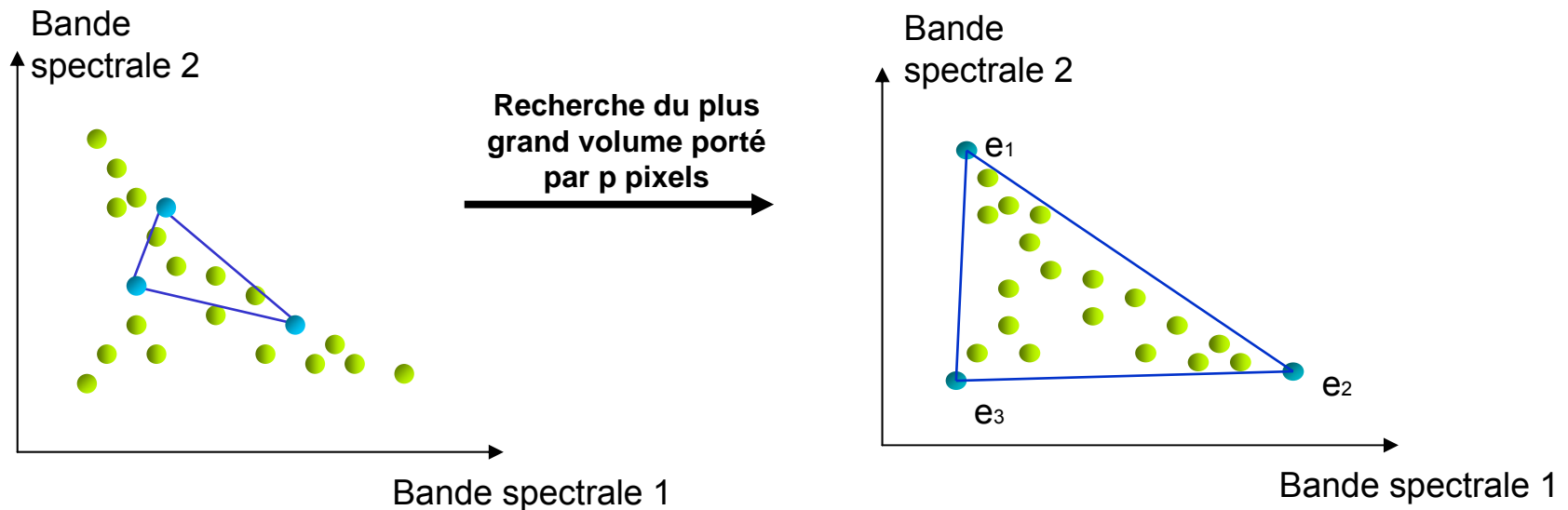


Projection sur la droite orthogonale au plan $(e_1 ; e_2)$



Méthode N-FINDR

Hypothèse : Tous les composants sont présents à l'état pur, sur au moins un pixel



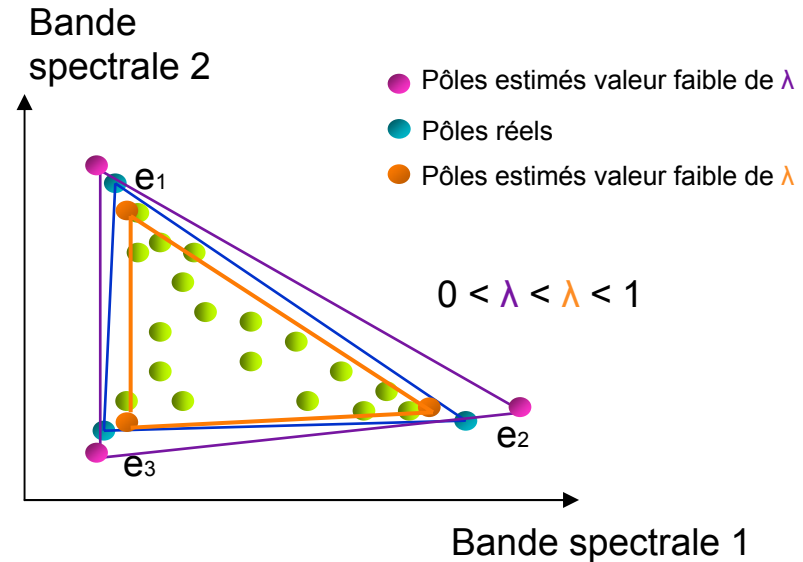
Méthode ICE (Iterative Constrained Estimation)

Minimisation de l'erreur quadratique :

$$J^2 = \sum_{i=1}^N \left\| \tilde{X}_i - X_i \right\|^2$$

Ajout d'un critère de régularisation de la taille du simplexe :

$$RSS_{reg} = J^2 + \lambda T_{simplexe} \quad (0 < \lambda < 1)$$



- I. Méthodes d'extraction des pôles de mélange**
- II. Présentation du jeu de données**
 - 1. Les échantillons de tissus
 - 2. Les éléments d'intérêt
- III. Analyse comparative des résultats obtenus**

Présentation du jeu de données

Les échantillons de tissus :

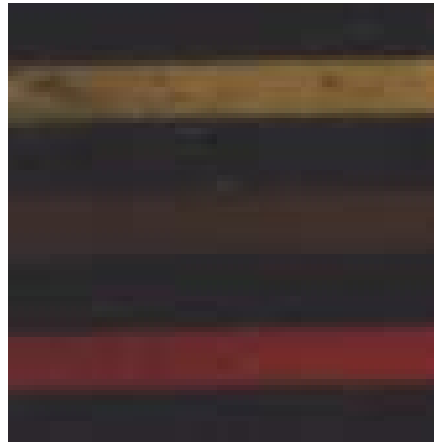
Tissus colorés et foncés

Tir à 15 cm de la cible

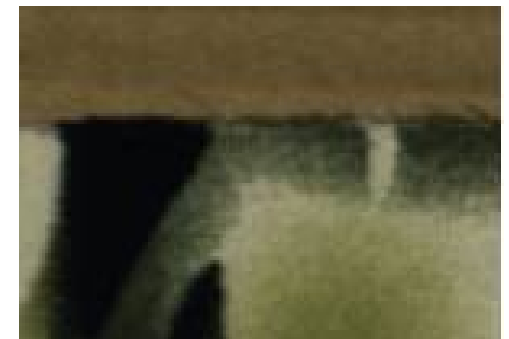
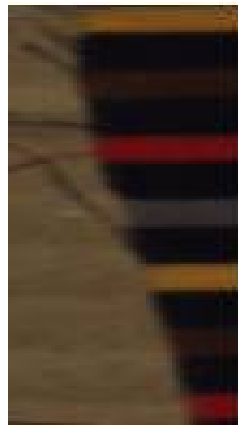
Arme : Automatic CZ75

Cartouches : Partizan 9 mm

Mesures HySpex 0.4 - 1 μm



Echantillon de tissus avec résidus de poudre et impact



Echantillon de tissus témoins sans résidus de poudre

Présentation du jeu de données

Les échantillons de tissus :

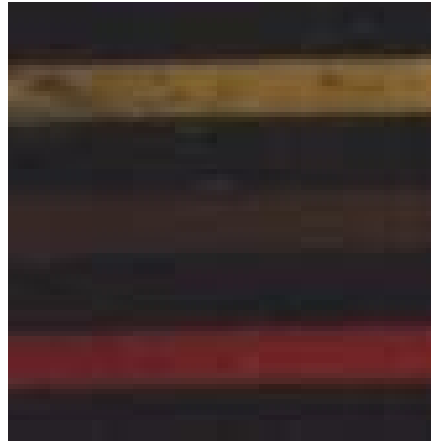
Tissus colorés et foncés

Tir à 15 cm de la cible

Arme : Automatic CZ75

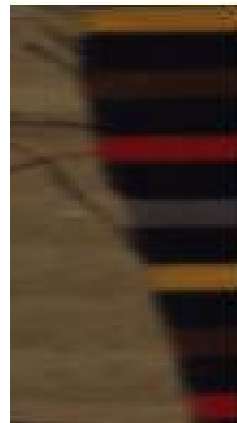
Cartouches : Partizan 9 mm

Mesures HySpex 0.4 - 1 μm



Echantillon de tissus avec résidus de poudre et impact

Les éléments d'intérêts :



Echantillon de tissus témoins sans résidus de poudre

Présentation du jeu de données

Les échantillons de tissus :

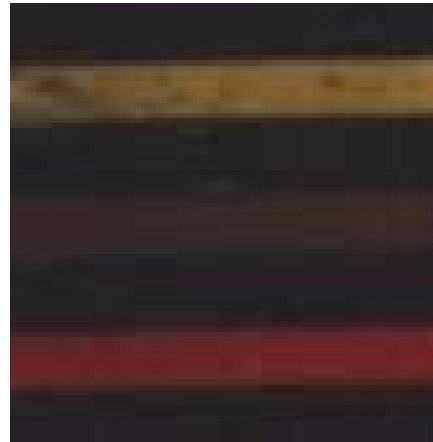
Tissus colorés et foncés

Tir à 15 cm de la cible

Arme : Automatic CZ75

Cartouches : Partizan 9 mm

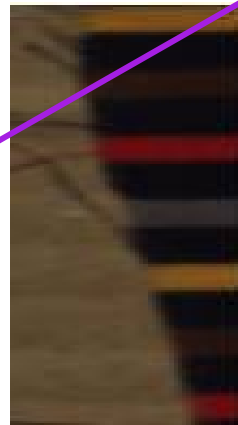
Mesures HySpex 0.4 - 1 μm



Echantillon de tissus avec résidus de poudre et impact

Les éléments d'intérêts :

- La collerette autour de l'impact



Echantillon de tissus témoins sans résidus de poudre

Présentation du jeu de données

Les échantillons de tissus :

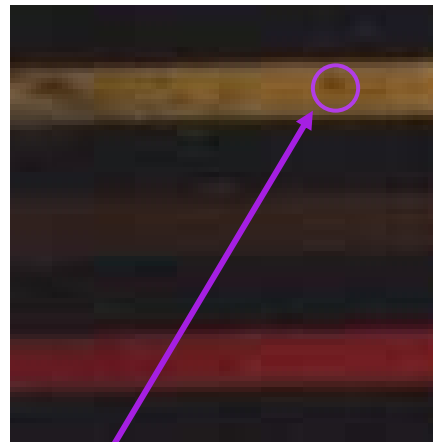
Tissus colorés et foncés

Tir à 15 cm de la cible

Arme : Automatic CZ75

Cartouches : Partizan 9 mm

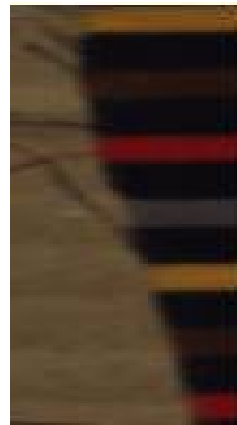
Mesures HySpex 0.4 - 1 μm



Echantillon de tissus avec résidus de poudre et impact

Les éléments d'intérêts :

- La collerette autour de l'impact
- Les résidus de poudre carbonisée



Echantillon de tissus témoins sans résidus de poudre

Présentation du jeu de données

Les échantillons de tissus :

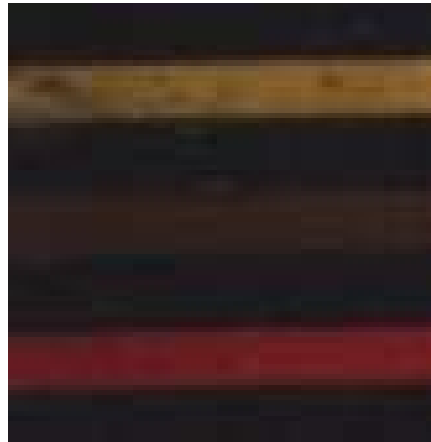
Tissus colorés et foncés

Tir à 15 cm de la cible

Arme : Automatic CZ75

Cartouches : Partizan 9 mm

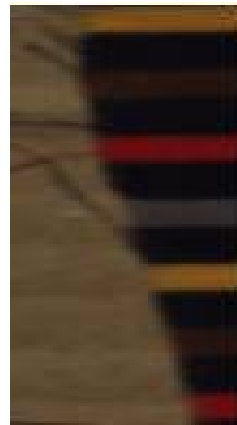
Mesures HySpex 0.4 - 1 μm



Echantillon de tissus avec résidus de poudre et impact

Les éléments d'intérêts :

- La collerette autour de l'impact
- Les résidus de poudre carbonisée
- Les traces de fumée



Echantillon de tissus témoins sans résidus de poudre

- I. **Méthodes d'extraction des pôles de mélange**
- II. **Présentation du jeu de données**
- III. **Analyse comparative des résultats obtenus**
 - 1. Critères d'évaluation des performances des méthodes
 - 2. Les résultats
 - 3. Une approche différente

Analyse comparatives des résultats obtenus

Critères d'évaluation des performances :

Erreur de reconstruction

$$RMSE = \frac{1}{I \times J} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sqrt{\sum_{k=1}^L (\hat{x}(i, j, k) - x(i, j, k))^2}$$

Angle spectral moyen

$$SAM = \frac{1}{I \times J} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \cos^{-1} \left(\frac{\langle \hat{X}(i, j); X(i, j) \rangle}{\|\hat{X}(i, j)\| \|X(i, j)\|} \right)$$

Analyse comparative des résultats obtenus

Résultats obtenus sur toutes les images avec les différentes méthodes

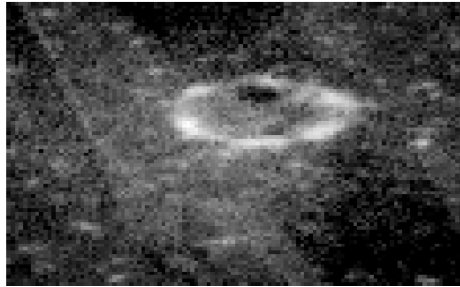
METHODES	SAM MOYEN	RMSE
OSP	2.78°	11.83 %
OSP & SPP	2.17°	11.01 %
N-FINDR	2.73°	8.82 %
N-FINDR & SPP	4.42°	9.55 %
ICE	7.75°	6.85 %

Caractéristiques des images :

- Un pôle par couleur de tissu + un pôle pour les résidus de poudre
- Environ 3000 pixels

Analyse comparative des résultats obtenus

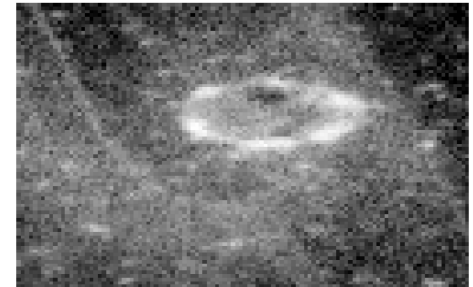
Carte d'abondance de la poudre + fumée



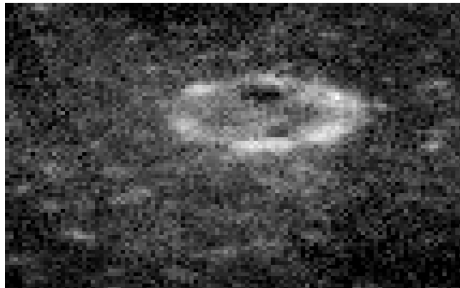
OSP



N-FINDR



ICE



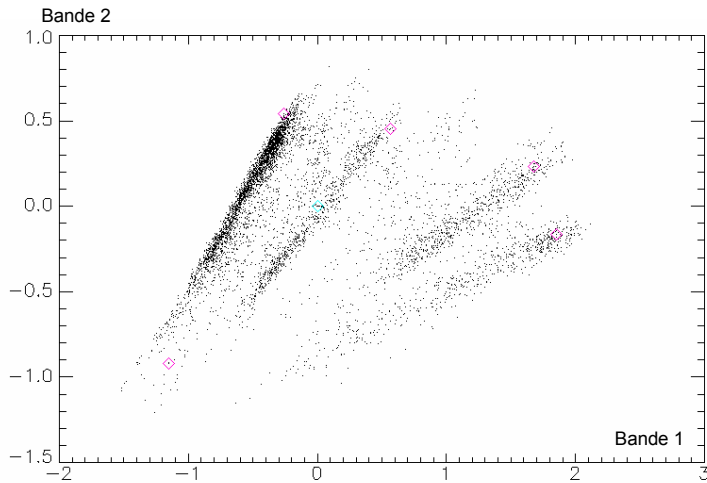
OSP & SPP



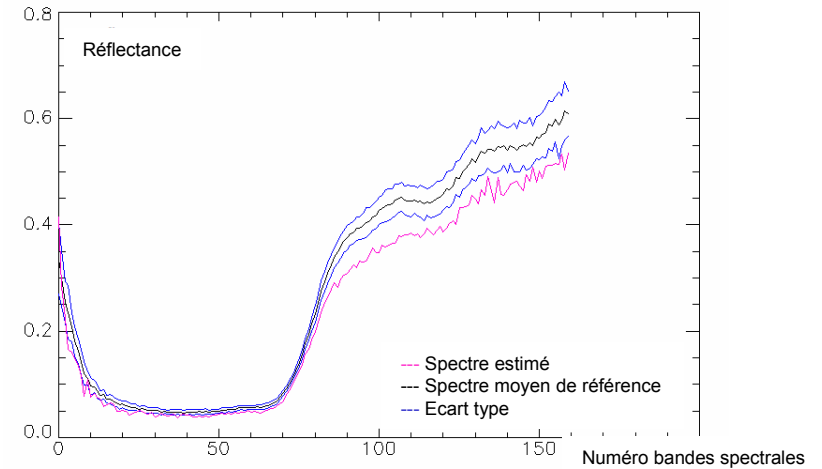
N-FINDR & SPP

Analyse comparative des résultats obtenus

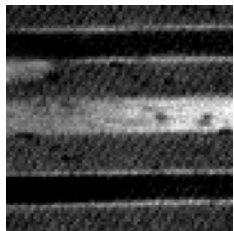
Résultats N-FINDR sur le tissu rayé



Projection sur les deux premiers vecteurs propres (ACP). Sélection des pôles de mélange



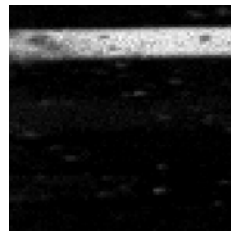
Exemple de spectre estimé : le tissu noir



Tissu brun



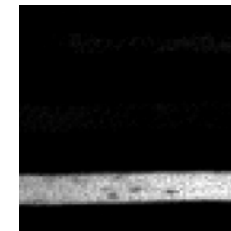
Tissu noir



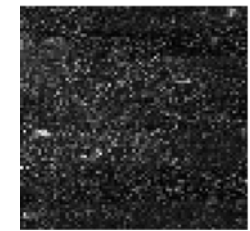
Tissu jaune



Poudre et fumée



Tissu rouge



Erreur de reconstruction

Une autre approche

Principe :

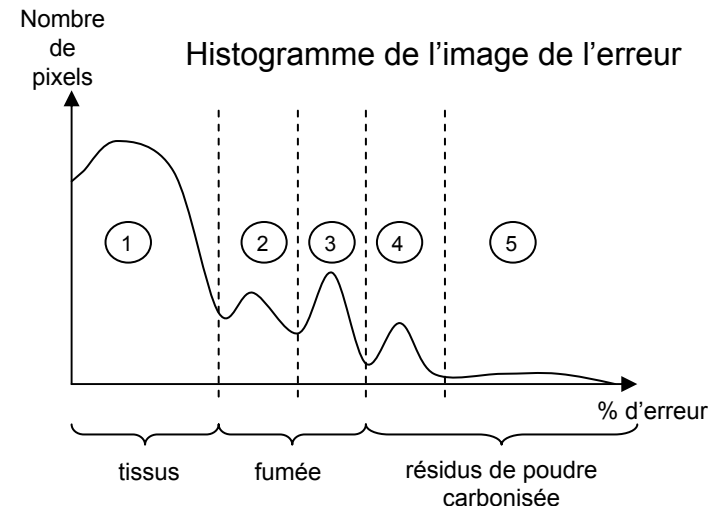
1. Détecter les spectres des matériaux propres au tissu

- Utilisation de l'échantillon témoin de tissu pour extraire les spectres

2. Déduire de l'erreur de reconstruction la localisation des résidus de poudre

- Reconstruction de l'image à l'aide des spectres et abondances estimées
- Calcul de l'erreur d'estimation
- Tracé de l'histogramme de l'image de l'erreur
- Définition de classes de pixels
- Attribution niveaux de gris à chaque classe

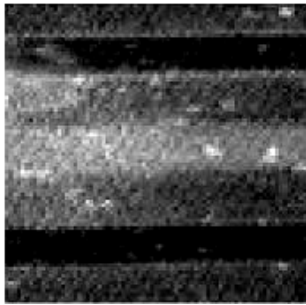
pour améliorer la visualisation des résidus de poudre



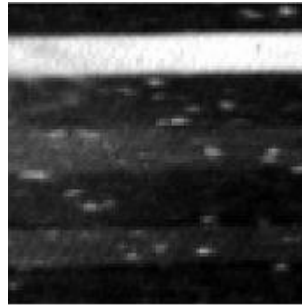
Analyse comparative des résultats obtenus

Résultats obtenus sur le tissu rayé

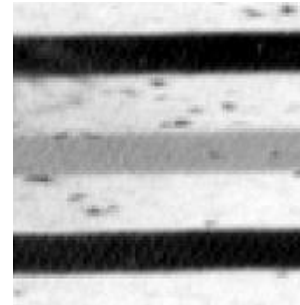
Estimation des spectres par OSP & SPP et calcul des abondances :



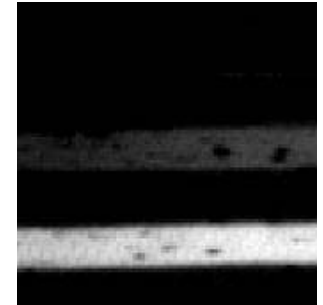
Abondance tissu brun



Abondance tissu jaune

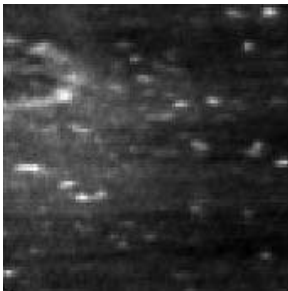


Abondance tissu noir

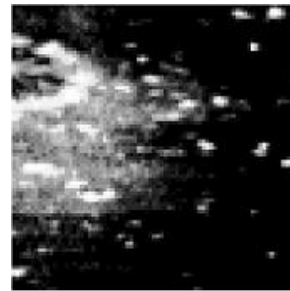


Abondance tissu rouge

Erreur de reconstruction et seuillage :



Erreur de reconstruction



Erreur de reconstruction seuillée

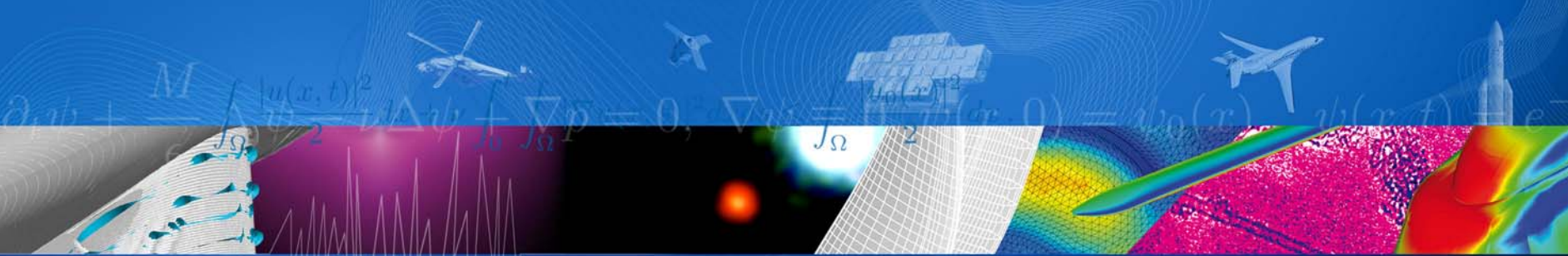
→ Amélioration de la visibilité des traces de fumée

Performances satisfaisantes pour les méthodes OSP et N-FINDR

Défaut de ces méthodes :

- Hypothèse de présence des composants à l'état pur (fumée, poudre)
- Pôles estimés = pixels de l'image → mauvaise estimation des spectres des résidus de poudre

Solution : Détection de ces résidus comme des anomalies



Merci de votre attention



[retour sur innovation](#)

