

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

CARACTÉRISATION D'UN PANACHE D'AÉROSOLS INDUSTRIELS PAR IMAGERIE HYPERSPÉCTRALE



A. DESCHAMPS, R. MARION, P.-Y. FOUCHER, X. BRIOTTET

www.cea.fr

2^{ème} colloque de la SFTH, Toulouse, 18-19 juin 2012

Cadre de l'étude
Méthodologie

Modélisation directe

Physique des aérosols industriels
Etude des émissions d'une industrie métallurgique
Impact radiatif des aérosols

Inversion

Problèmes posés
Description de la méthode
Application sur une image CASI

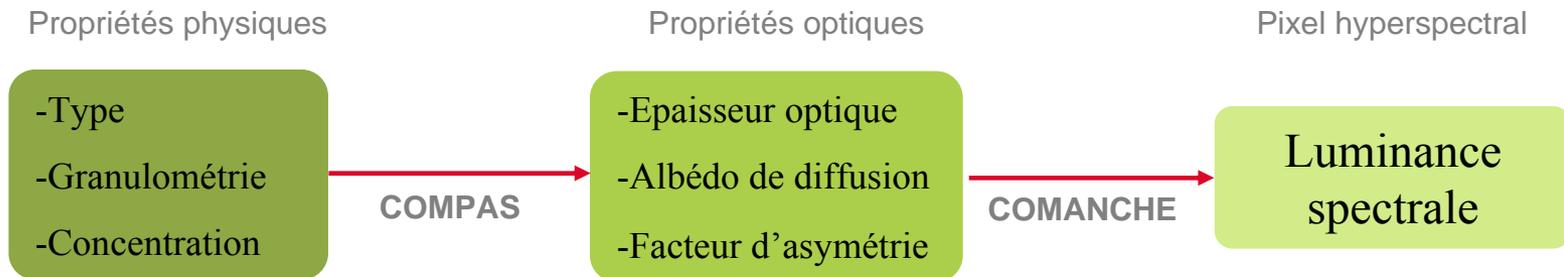
Bilan et perspectives

Objectif : développer une méthode permettant d'estimer des paramètres physiques d'aérosols d'un panache industriel à partir d'une image hyperspectrale

- Images hyperspectrales aéroportées
 - acquises dans le VNIR
 - de résolution spatiale (déca)métrique

- Intérêts et enjeux
 - comprendre l'impact radiatif des aérosols anthropiques
 - caractériser les sources d'émissions industrielles d'aérosols à une échelle locale
 - estimer, par télédétection, la composition et la concentration des aérosols dans une fumée industrielle

- Modélisation directe de l'impact radiatif d'un panache
 - Développement d'une chaîne complète de modélisation
 - Etablissement d'un modèle de mélange représentatif des aérosols industriels
 - Etude de l'impact de chaque paramètre sur les signaux hyperspectraux de luminance capteur



- Développement d'une méthode d'inversion des paramètres physiques
 - Estimation du sol sous le panache
 - Estimation du type d'aérosols présent
 - Estimation des propriétés physiques des aérosols

MODELISATION DIRECTE D'UN PANACHE D'AEROSOLS

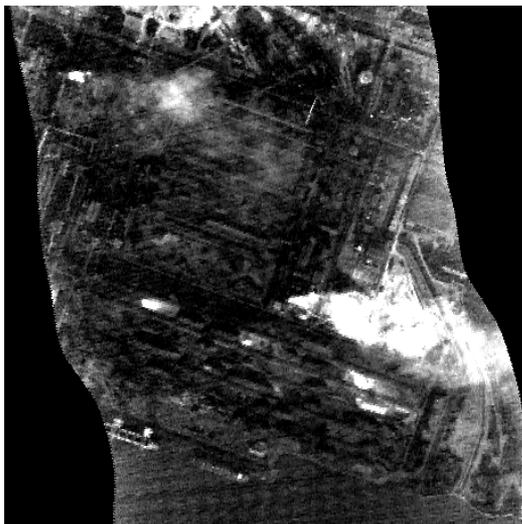
*Des propriétés physiques des particules au
signal de luminance capteur*

■ Généralités sur les aérosols

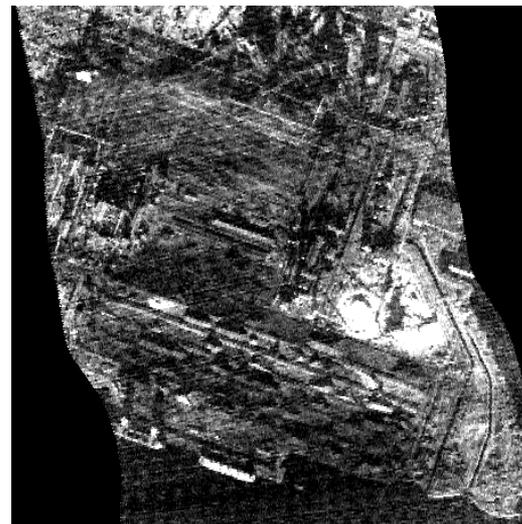
- particules fines en suspension dans l'air qui absorbent et diffusent la lumière
- épaisseur optique lentement décroissante avec la longueur d'onde
- propriétés optiques liées aux propriétés physiques (théorie de Mie)

■ Hypothèses

- particules sphériques
- granulométrie décrite par une loi lognormale
- mélange externe de différents composants



Bande à 0,4 μ m



Bande à 1,05 μ m

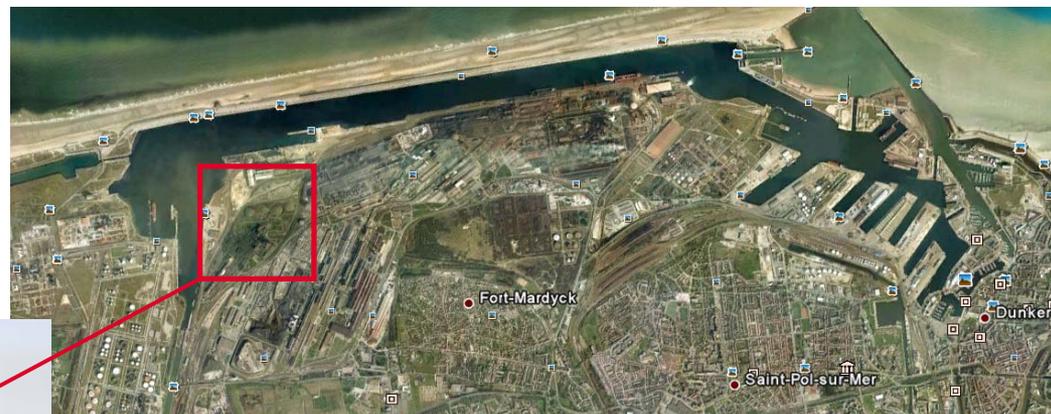
- Aérosols anthropiques largement méconnus
 - nombreuses interactions aérosols/gaz et aérosols naturels/aérosols industriels
 - propriétés qui varient vite spatialement
 - aucune mesure des propriétés des aérosols « en sortie de cheminée »
 - indice de réfraction des aérosols métalliques inconnu

- Etat de l'art
 - campagne ESCOMPTE : estimation des propriétés d' aérosols industriels et urbains à partir de mesures sol et aéroportées (à environ un kilomètre des points d'émission)
 - mesure d'indice de réfraction pour des aérosols métalliques non industriels (minéraux)

- Nécessité de disposer de nouvelles mesures

- Collaboration CEA/ONERA/LPCA
 - collecte d'échantillons de particules émises par une industrie métallurgique
 - mesure de leur composition physico-chimique
 - mesure de leur granulométrie
 - mesure de leur BRDF
 - estimation de leur indice de réfraction
 - simulation de leurs propriétés radiatives

- Site étudié

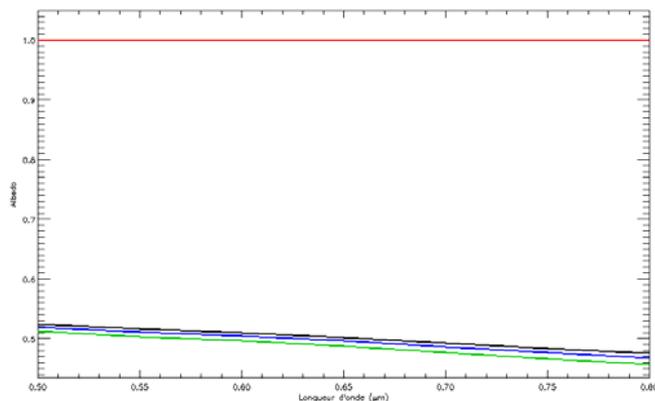


Vue du port autonome de Dunkerque (GoogleEarth)

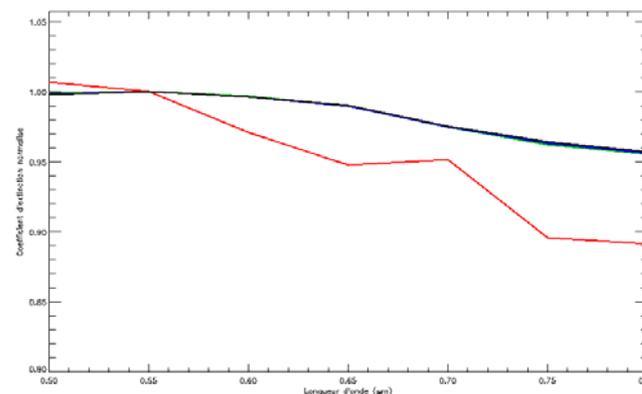


Vale Manganese France

- Résultats importants de l'étude
 - forte concentration d'oxyde Fe/Mn dans le panache
 - en aval de la source, la composition mesurée est comparable aux données ESCOMPTE (urbain + maritime)
 - la présence d'oxydes métalliques dans le mélange d'aérosols augmente fortement l'absorption du panache
- Exemples de propriétés radiatives estimées pour les aérosols du panache en sortie de cuisson (**rouge**), en sortie de refroidissement (**vert**), en aval 500m (**bleu**) et en aval 1500m (**noir**).



Albédo de simple diffusion



Coefficient d'extinction normalisé

Paramètres importants : proportion d'oxydes métalliques et concentration totale d'aérosols

■ Equation du transfert radiatif dans l'atmosphère

$$L^{\text{capteur}}(\lambda) = L_{\text{dif}}^{\text{atm}\uparrow}(\lambda) + \frac{\mu_s E_{\text{soleil}}(\lambda)}{\pi} \cdot \frac{T^{\text{atm}\uparrow}(\lambda) T^{\text{atm}\downarrow}(\lambda) \rho_{\text{sol}}(\lambda)}{1 - S^{\text{atm}}(\lambda) \rho_{\text{sol}}(\lambda)}$$

L^{capteur} : luminance mesurée

L_{dif} : luminance atmosphérique due à sa diffusion propre

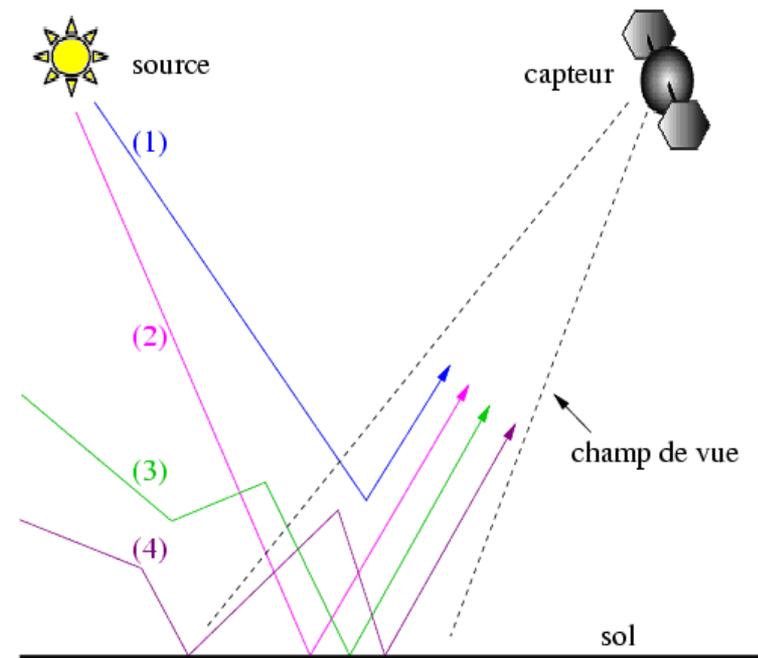
μ_s : cosinus de l'angle zénithal solaire

E_{soleil} : éclairement solaire

$T^{\text{atm}\uparrow}, T^{\text{atm}\downarrow}$: transmittances atmosphériques montante et descendante

S^{atm} : albédo atmosphérique

ρ^{sol} : réflectance du sol, plat et lambertien



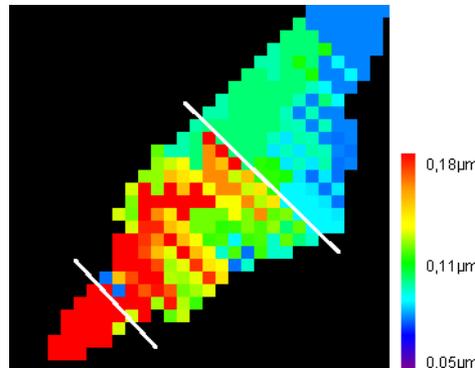
■ L'ajout d'un panache modifie les 4 termes atmosphériques

**DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODE
D'ESTIMATION DES PROPRIÉTÉS
PHYSIQUES DES AÉROSOLS**

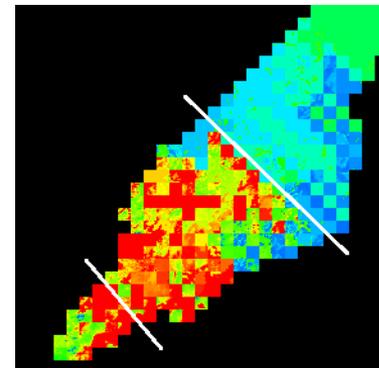
- Estimation des propriétés microphysiques des aérosols par imagerie hyperspectrale [1]
 - approche par LUT
 - retrouve conjointement rayon, AOT et teneur en suie
 - valable uniquement pour des feux de biomasse



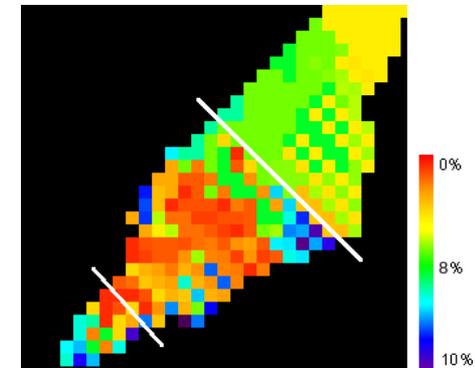
image AVIRIS



rayon effectif



AOT



teneur en suie

- Etude des interactions gaz/aérosols dans un panache [2]
 - estimation conjointe CO₂/aérosols
 - valable pour les panaches optiquement denses

[1] Retrieval of microphysical and optical properties in aerosol plumes with hyperspectral imagery: L-APOM method, A. Alakian, R. Marion and X. Briottet, Remote Sens. Environ., 113, pp 781-793, 2009

[2] Simultaneous retrieval of CO₂ and aerosols in a plume from hyperspectral imagery: application to the characterization of a forest fire smoke using AVIRIS data, A. Deschamps, R. Marion, X. Briottet, P-Y. Foucher., International Journal of Remote Sensing (soumis) | PAGE 12

Principe de la méthode développée

- Construction d'un modèle d'aérosols adapté aux émissions des industries métallurgiques : urbain + données LPCA (+ sels marins)
- Génération d'une LUT de propriétés optiques
 - les paramètres qui varient sont l'AOT et le taux de particules métalliques dans le mélange
 - la granulométrie utilisée est celle mesurée par le LPCA
- Segmentation du panache
- Estimation de la réflectance du sol
- (Estimation du type d'aérosols)
- Estimation des propriétés physiques des aérosols

- LUT des propriétés optiques des aérosols
 - modèle d'aérosol choisi : mélange urbain + maritime + industriel non métalliques + industriel métallique
 - en tout, 7 composants donc 7 modes granulométriques
 - 21 paramètres variables
 - les études du modèle direct ont montré que :
 - la concentration des aérosols urbain et maritime varie peu dans le panache
 - la granulométrie varie lentement avec la distance au point d'émission
 - l'impact radiatif des aérosols industriels non métalliques est négligeable
 - on réduit le nombre de paramètres variables à 2 : concentration totale et concentration en particules métalliques

- LUT des termes atmosphériques
 - simulations MODTRAN
 - conditions atmosphériques choisies en fonction des résultats de la correction atmosphérique
 - panache ajouté entre 0 et 400m (cheminée à 110m)

- Panache peu dense optiquement : forte influence du sol dans le signal
- Epaisseur optique décroissante avec la longueur d'onde (on suppose le panache transparent dans l'IR)
- Principe de la méthode :
 - segmentation du panache
 - correction atmosphérique de l'image
 - extraction de pixels « purs » dans l'image hors panache
 - pour chaque pixel p_1 du panache
 - sélection du pixel pur p_2 le plus proche spectralement dans l'IR
 $\lambda > 0,8\mu\text{m}$
 - copie de la réflectance de p_2 dans le visible pour le pixel p_1 du panache

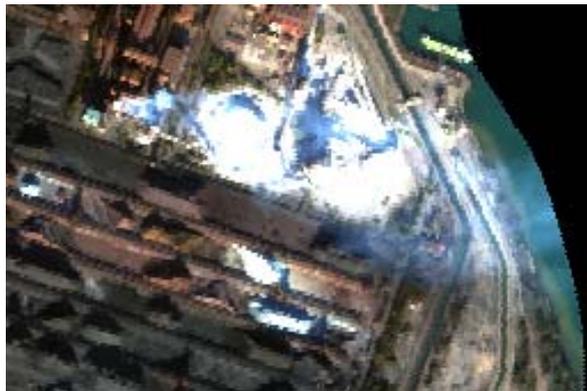


Image de réflectance initiale



Résultat de l'algorithme d'estimation du sol

Résultats préliminaires

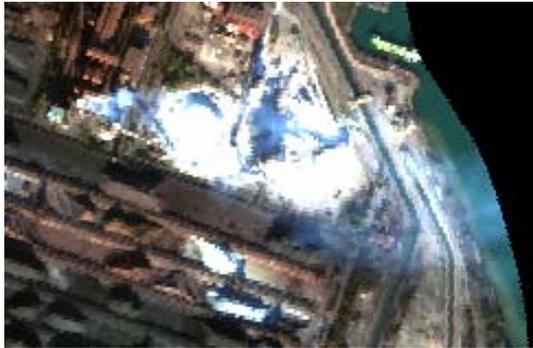
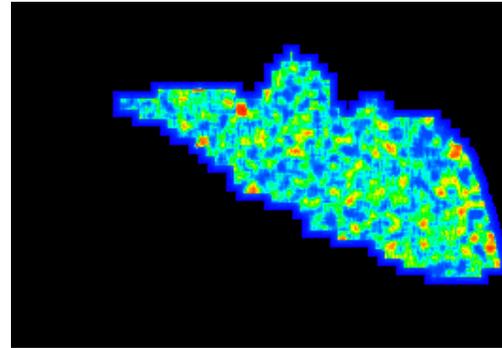


Image initiale



Epaisseur optique

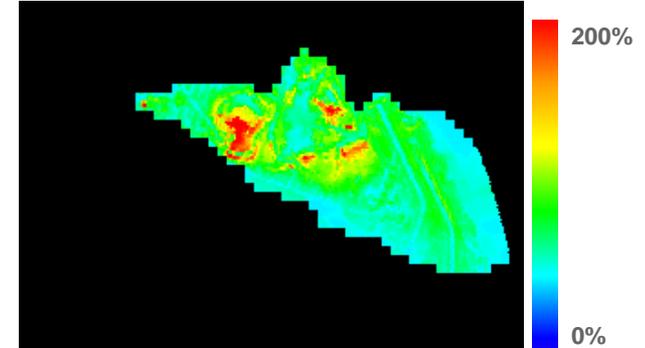


Image de l'erreur de reconstruction

Analyse

- Les épaisseurs optiques retrouvées semblent cohérentes
- L'algorithme actuel ne parvient pas à estimer la concentration en particules métalliques (valeur retrouvée = valeur minimale de la LUT)
- L'erreur de reconstruction est très sensible au type de sol

■ Bilan

- L'étude des particules émises par une industrie métallurgique a permis d'enrichir les bases de données actuelles sur les aérosols
- Des spécificités des oxydes métalliques (en termes de propriétés radiatives) ont été mises en évidence
- Un algorithme d'inversion a été développé et appliqué sur image réelle
- Les faibles épaisseurs optiques et la complexité du sol pose encore problème pour l'inversion

■ Perspectives à court terme

- Ajouter des contraintes spatiales dans l'algorithme d'inversion
- Élargir la LUT pour pouvoir estimer la concentrations en particules métalliques
- Ajouter une étape d'estimation du type d'aérosols

■ Perspectives à moyen terme

- Valider les performances de l'algorithme grâce à des mesures *in situ*
- Coupler l'estimation des aérosols à des techniques d'estimation de gaz

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre DAM Ile-de-France | 91297 Arpajon Cedex
T. +33 (0)1 69 26 42 94 | F. +33 (0)1 69 26 71 30

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019