

Un nouveau modèle d'aggrégation physique - Application au démixage de la température et des propriétés optiques des matériaux dans le domaine spectral de l'infrarouge thermique

M. Cubero-Castan^{1,2}, X. Briottet¹, M. Shimoni³, V. Achard¹ &
J. Chanussot²

¹ONERA - DOTA, Toulouse - France

²GIPSA-Lab, Grenoble - France

³Royal Military Accademy, Bruxels - Belgium

19 juin 2012

Outline

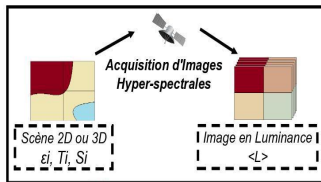
1 Contexte

2 Résultats

- Sol Plat - 2 matériaux à même temp. mais différentes émis.
- Sol Plat - 2 matériaux à même émis. mais différentes temp.
- Sol Plat - 2 matériaux à différentes émis. et temp.
- Canyon urbain en 3D

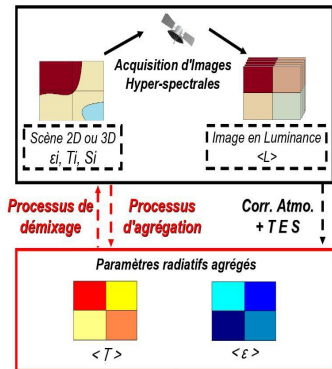
3 Conclusion

Processus de démixage



$$\langle L \rangle = \underbrace{(L_{BOA})}_{L_{emis} + L_{atm,\downarrow} + L_{neig}} \tau^\uparrow + L_{atm,\uparrow}$$

Processus de démixage



$$\langle L \rangle = \underbrace{(L_{BOA})}^{\tau^\uparrow} + L_{atm,\uparrow} \\ L_{emis} + L_{atm,\downarrow} + L_{neig}$$

$$\langle L \rangle = \sum_{IFOV} L_i \cdot S_i \left\{ \begin{array}{l} \langle L \rangle: \text{Luminance équivalente} \\ L_i: \text{Luminance élémentaire } i \\ S_i: \text{Répartition élémentaire } i \end{array} \right.$$

Identification des termes d'agrégation:

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \epsilon \rangle = f(\epsilon_i, T_i, S_i) \\ \langle T \rangle = g(\epsilon_i, T_i, S_i) \end{array} \right.$$

Identification des termes d'agrégation

Équation de la luminance émissive

$$\langle \varepsilon \rangle \cdot L_{BB}(\langle T \rangle) = \sum_i \varepsilon_i L_{BB}(T_i) S_i + \sum_i \sum_j \frac{1 - \varepsilon_i}{\pi} \varepsilon_j L_{BB}(T_j) S_j S_i$$

En considérant de faibles écarts de température, l'approximation de Slater¹ de la loi du corps noir peut-être linéarisée :

$$\langle \varepsilon \rangle \simeq \overbrace{\sum_i \varepsilon_i S_i}^{\text{Terme Principal}} + \overbrace{\sum_i \sum_j \frac{1 - \varepsilon_i}{\pi} \cdot \varepsilon_j \cdot S_j \cdot S_i}^{\text{Terme de Voisinage}} + \overbrace{\frac{b}{T_{ref}} \cdot \left(\sum_i \varepsilon_i \cdot \Delta T_i \cdot S_i - \langle \varepsilon \rangle \cdot \Delta \langle T \rangle \right)}^{\text{Terme correctif de température}}$$

¹Slater, *Remote Sensing, optics and optical systems*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1980

Modèle d'agrégation

En faisant l'hypothèse que ce terme correctif de température peut-être négligé, soit:

$$\langle \varepsilon \rangle \cdot \Delta \langle T \rangle = \sum_i \varepsilon_i \cdot \Delta T_i \cdot S_i \quad (1)$$

Il existe un unique système d'agrégation, modèle développé par Fontanilles², qui répond à l'équation d'identification:

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \varepsilon \rangle = \sum_i \varepsilon_i S_i + \sum_i \sum_j \frac{1-\varepsilon_i}{\pi} \varepsilon_j S_j S_i \\ \langle T \rangle = L_{BB}^{-1} \left(\frac{\sum_i \varepsilon_i L_{BB}(T_i) S_i + \sum_i \sum_j \frac{1-\varepsilon_i}{\pi} \varepsilon_j L_{BB}(T_j) S_j S_i}{\sum_i \varepsilon_i S_i + \sum_i \sum_j \frac{1-\varepsilon_i}{\pi} \varepsilon_j S_j S_i} \right) \end{array} \right. \quad (2)$$

²Fontanilles et al., *Aggregation process of optical properties and temperature over heterogeneous surfaces in infrared domain*, Optical Society of America, v. 49 - no. 24, 2010

Validation du modèle d'agrégation

Ce modèle sera testé sur des cas simples (sol plat ou scène 3D). Dans chacun des cas, l'erreur E commise sur notre hypothèse (1) sera évaluée:

$$E = \left| \sum_i \varepsilon_i \cdot \Delta T_i \cdot S_i - \langle \varepsilon \rangle \cdot \Delta \langle T \rangle \right| \quad (3)$$

Description des scènes synthétiques utilisées:

- Sol plat avec des matériaux à la même température
- Sol plat avec un seul matériau à 2 températures
- Sol plat avec 2 différents matériaux ($T_i \neq$ and $\varepsilon_i \neq$)
- Canyon Urbain en 3D

Sol Plat - matériaux aux mêmes T mais aux différentes ε

Description de la scène

Matériaux à différentes émissivités ($\varepsilon_i \neq$) mais avec la même température ($T_i = T$)

Dans ce cas là, le modèle d'agrégation se simplifie :

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle \varepsilon \rangle = \sum_i \varepsilon_i S_i \\ \langle T \rangle = L_{BB}^{-1} \left(\frac{\sum_i \varepsilon_i L_{BB}(T) S_i}{\sum_i \varepsilon_i S_i} \right) = L_{BB}^{-1} (L_{BB}(T)) = T \end{array} \right. \quad (4)$$

L'hypothèse est donc toujours validée ($E = 0$).

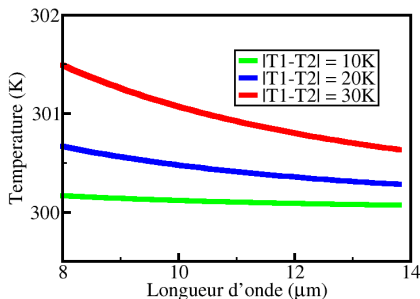
Le modèle de démixage est similaire aux modèles de ceux développés dans le domaine réflectif pour des mélanges linéaires.

Sol Plat - matériaux aux mêmes ε mais à différentes T

Description de la scène

2 matériaux avec la même émissivités ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$) mais à différentes températures ($|T_1 - T_2| > 0$)

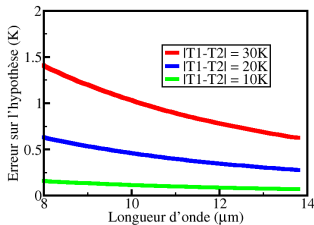
Temperature agrégée



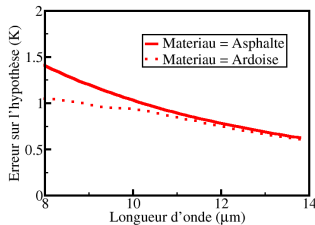
- Évolution spectrale liée à la différence $|T_1 - T_2|$
- Même comportement pour d'autres matériaux et d'autres répartitions.

Sol Plat - 2 matériaux à même ε mais différentes T

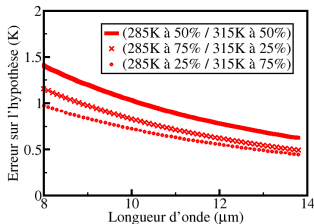
Erreur sur l'hypothèse



Erreur sur l'hypothèse



Erreur sur l'hypothèse



L'erreur E est maximale quand :

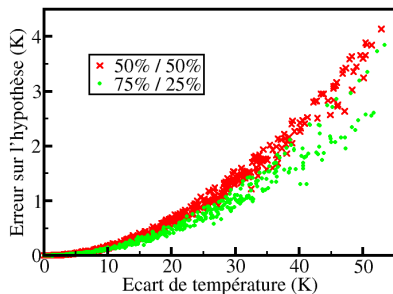
- la longueur d'onde diminue ($= 8\mu m$)
- l'émissivité augmente (≈ 1)
- pour une scène à 2 matériaux, les répartitions sont similaires (50%/50%)

Sol Plat - 2 matériaux avec différentes T et ε

Description de la scène

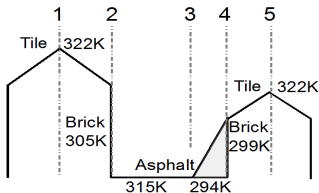
2 matériaux choisis aléatoirement sur une sélection de plus de 40 matériaux artificiels de la banque de données ASTER et aux températures choisies aléatoirement entre 280K et 335K.

Maximum de l'erreur sur l'hypothèse

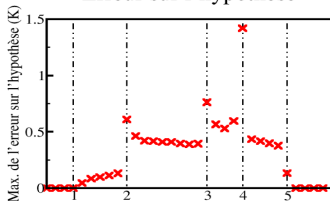


- Erreur croit avec $|T_1 - T_2|$
- $|T_1 - T_2| < 20K$ donne une erreur E de 0.7 K
- Equi-répartition maximise l'erreur E

Simulation d'un canyon urbain en 3D



Erreur sur l'hypothèse

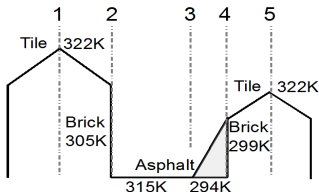


Description de la scène

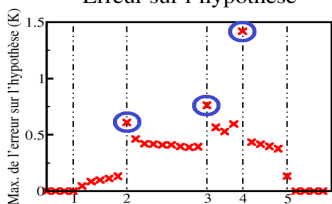
Canyon urbain avec les couples temp./émis. mesurées pour la campagne CAPITOUL³. Taille des pixels au sol : 0.8m X 0.8m

³ Masson et al., *The Canopy and Aerosol Particles Interactions in Toulouse Urban Layer (CAPITOUL) experiment*, *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 102 - no. 3, 2008

Simulation d'un canyon urbain en 3D



Erreur sur l'hypothèse



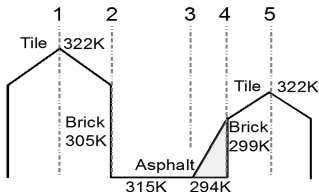
Description de la scène

Canyon urbain avec les couples temp./émis. mesurées pour la campagne CAPITOUL³. Taille des pixels au sol : 0.8m X 0.8m

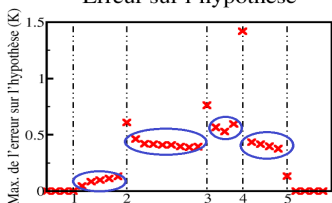
- Pic d'erreur (2,3,4) : pixels mixtes avec des différences de température

³ Masson et al., *The Canopy and Aerosol Particles Interactions in Toulouse Urban Layer (CAPITOUL) experiment*, *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 102 - no. 3, 2008

Simulation d'un canyon urbain en 3D



Erreur sur l'hypothèse



Description de la scène

Canyon urbain avec les couples temp./émis. mesurées pour la campagne CAPITOUL³. Taille des pixels au sol : 0.8m X 0.8m

- Pic d'erreur (2,3,4) : pixels mixtes avec des différences de température
- Sur du sol plat, E est dûs aux termes radiatifs de voisinage

³ Masson et al., *The Canopy and Aerosol Particles Interactions in Toulouse Urban Layer (CAPITOUL) experiment*, *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 102 - no. 3, 2008

Conclusion

Resultat

- Erreur en terme d'émissivité avec $|T_1 - T_2| < 20K$:
 - Scène en sol plat : $< 1\%$
 - Scène d'un canyon urbain en 3D : $< 2\%$

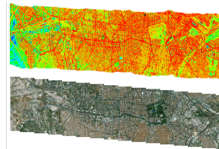
Conclusion

Perspective

- 1 Valider le modèle d'agrég. avec les méthodes TES
- 2 Développer les méthodes de démixages associées au modèle d'agrég.
- 3 Valider sur des images réelles



Salon de Provence - EUFAR - 2011⁴



Madrid - ESA-UHI - 2009⁵

^d M. Shimoni et al., *Performance analysis of unsupervised unmixing models for thermal hyperspectral*, WHISPER conference (2012)

^e J.A. Sobrino, R. Oltra-Carrió et al., *Impact of spatial resolution and satellite overpass time on evaluation of the surface urban heat island effects*, Remote Sensing of Environment (2011)