

# Potentiel de la spectro-imagerie pour l'estimation quantitative de variables biophysiques des couverts végétaux dans le domaine MWIR

Cédric Bacour

Stéphane Jacquemoud

Rodolphe Marion

David M.Tratt

**NOVELTIS**

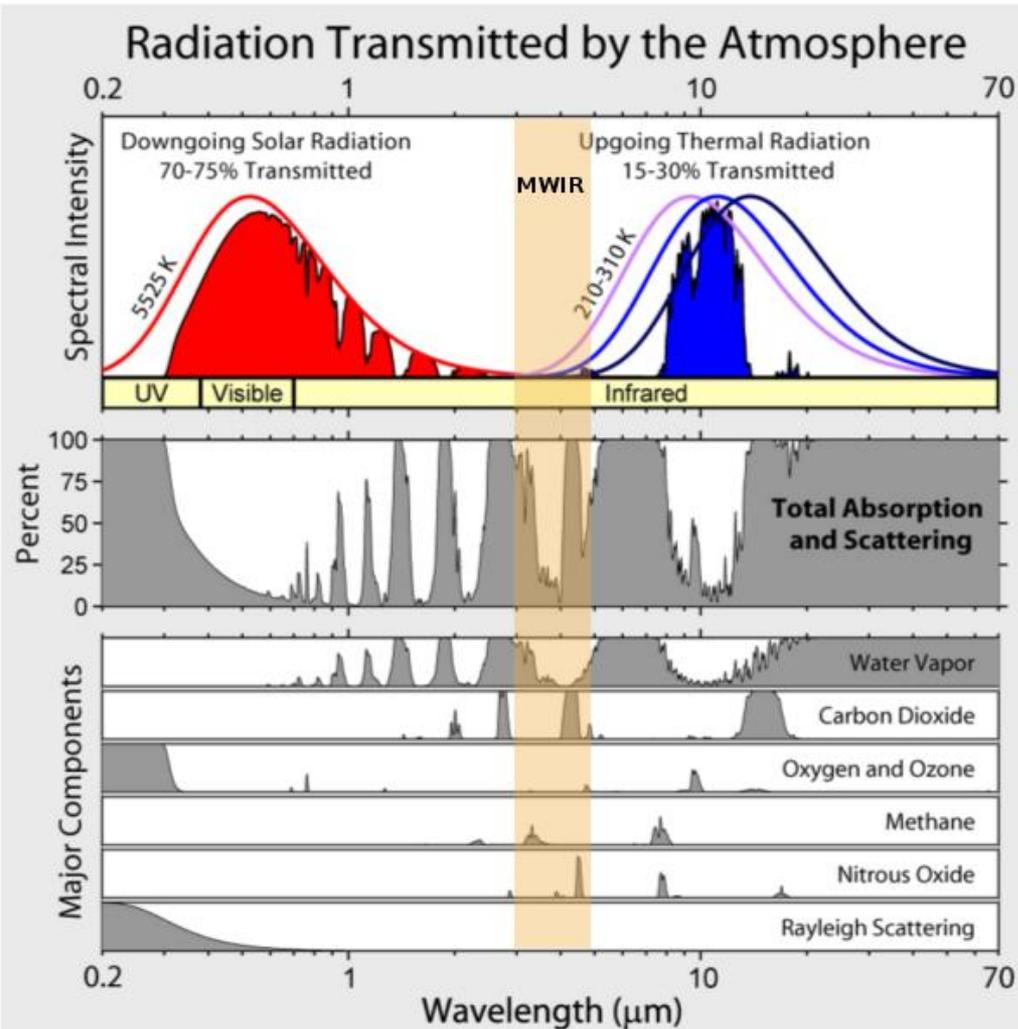
**IPGP**

**CEA**

**The Aerospace Corporation**

**3ème colloque scientifique SFPT-GH – 15 et 16 mai 2014, Porquerolles**





► **MWIR : 3-5 μm**

$$L_{\lambda}^{capteur} = L_{atm \uparrow, \lambda} + \left[ \epsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T_s) + (1 - \epsilon_{\lambda}) L_{atm \downarrow, \lambda}^T + \frac{(1 - \epsilon_{\lambda}) E_{sv, \lambda}^{TOC}}{\pi} \right] \tau_{atm \uparrow, \lambda}$$

(surface lambertienne)

► **Problèmes interdépendants :**

- correction des effets atmosphériques ( $\tau_{atm \uparrow, \lambda}$ ,  $L_{atm \uparrow, \lambda}$ )
- découplage de la température de surface  $T_s$  et de l'émissivité spectrale  $\epsilon_{\lambda}$

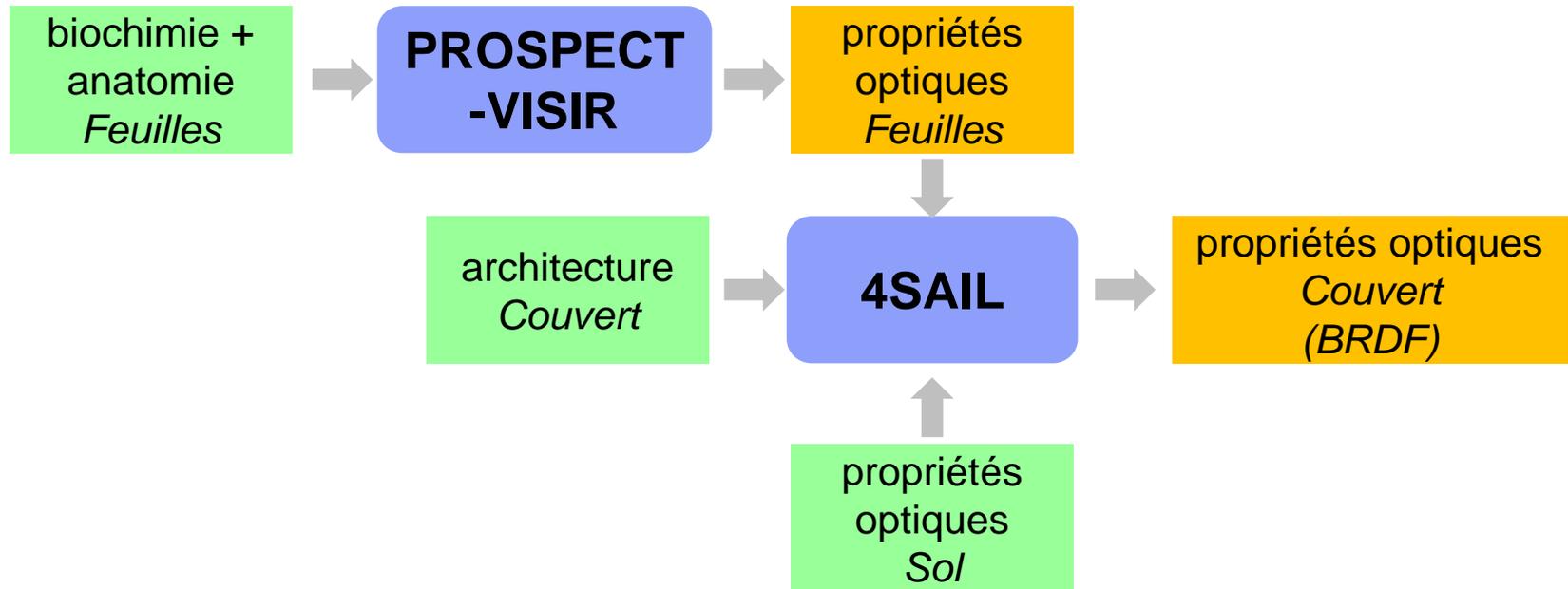
## ● Littérature

- ▶ Peu d'études portant sur le domaine MWIR
  - mesures *in situ*
  - le plus souvent en complément de données LWIR
- ▶ Peu de mesures disponibles
- ▶ Peu (pas) de modèle physique de propriétés optiques des surfaces

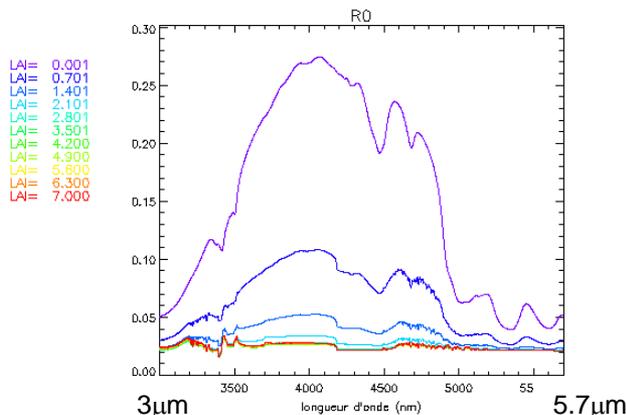
## ● Objectif de l'étude

- ▶ **Evaluation des potentialités du domaine MWIR pour l'étude quantitative de la surface terrestre**
  - Séparation émissivité-température de surface
  - Estimation quantitative de variables biophysiques du couvert végétal
- ▶ Exploitation de données de l'instrument SEBASS aéroporté
  - Spectro-imageur / 2 gammes spectrales : MWIR (3 - 5.5  $\mu\text{m}$ ) et LWIR (7.8 - 13.5  $\mu\text{m}$ )
    - 128 bandes spectrales pour chaque gamme
  - Bruit radiométrique théorique  $< 0.01 \text{ W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$
- ▶ Utilisation du modèle **PROSPECT** étendu au MWIR (0.4  $\mu\text{m}$  - 5.7  $\mu\text{m}$ ) couplé à **4SAIL**

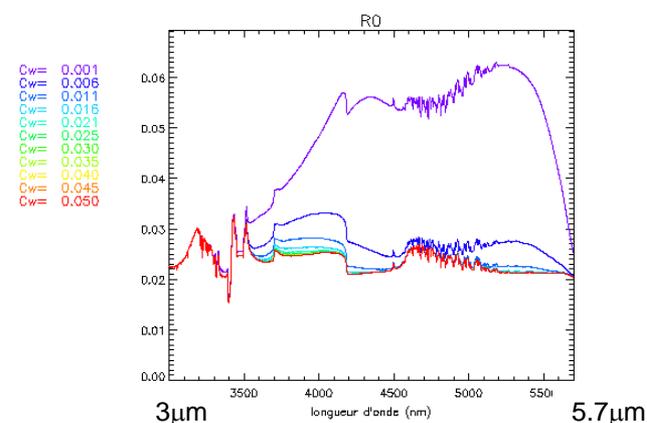
*Gerber F. et al., (2011), Modeling directional-hemispherical reflectance and transmittance of fresh and dry leaves from 0.4  $\mu\text{m}$  to 5.7  $\mu\text{m}$  with the PROSPECT-VISIR model, Remote Sensing of Environment, 115: 404-414.*



### LAI

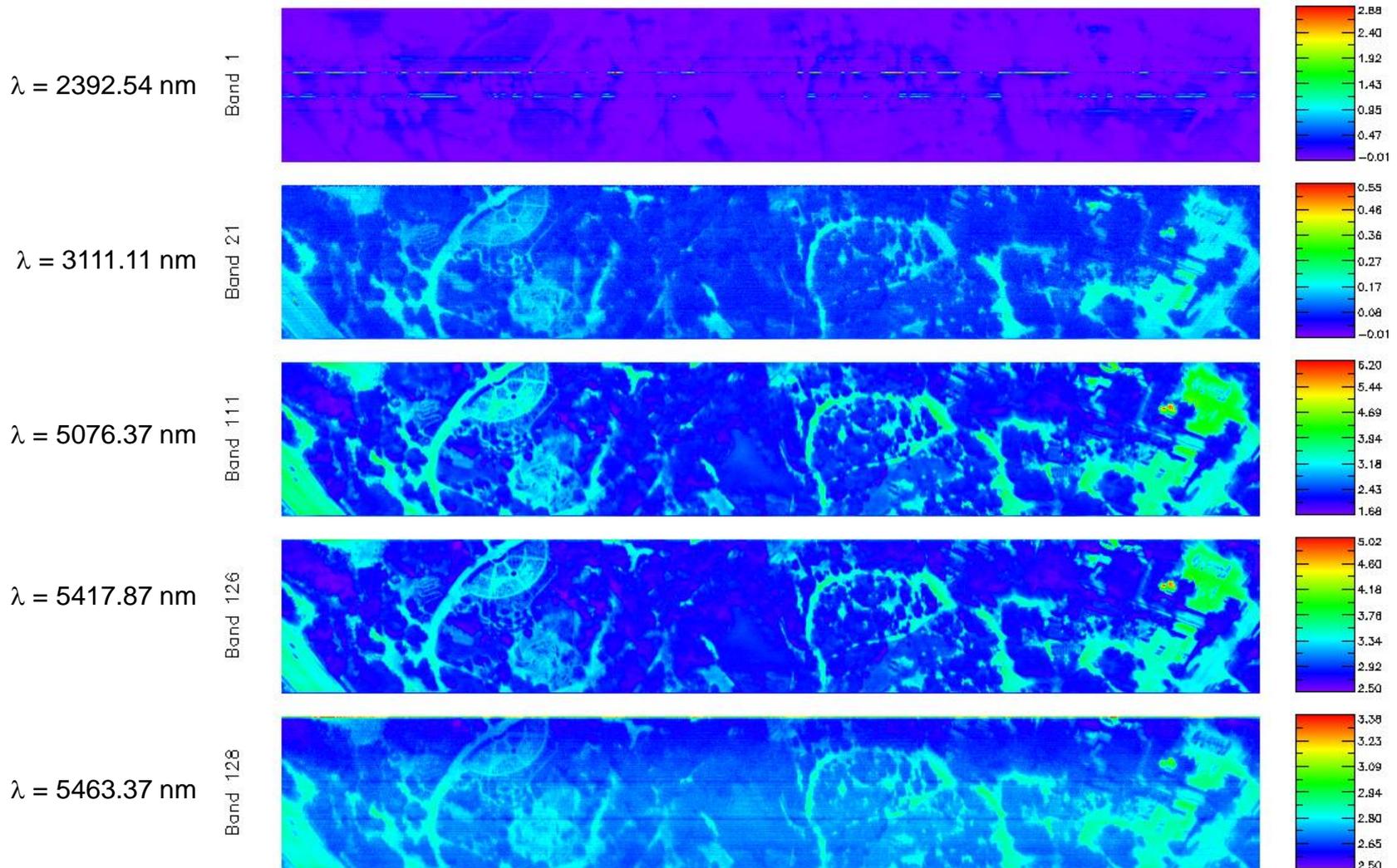


### Contenu en eau



*Couvert mature*

Images de luminance ( $W/m^2/sr/\mu m$ ) acquise le 25 mars 2009 dans la région de Los Angeles



## ● Approche basée sur la minimisation d'un critère de "douceur spectrale"

- ▶ Approche développée initialement pour l'exploitation d'observations multi-spectrales dans le LWIR (Borel, 1997 ; Ingram et Muse, 2001 ; Borel, 2010)
- ▶ Adaptée pour le traitement de données dans le MWIR (Cheng et al., 2010 ; Cheng et al., 2011) pour des mesures *in situ*
- ▶ Application aux surfaces *quasi-lambertiennes* ( $\rho_\lambda = 1 - \varepsilon_\lambda$ )

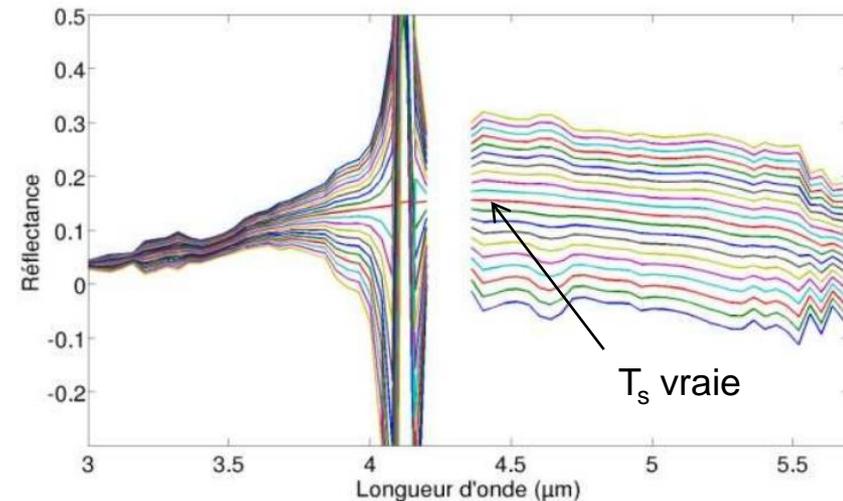
## ● Principes

- ▶ Estimation itérative de  $T_s$  : température pour laquelle  $\rho_\lambda$  présente le moins de variations haute fréquence

$$\rho_\lambda = \left[ \frac{L_\lambda^{\text{capteur}} - L_{\text{atm}\uparrow,\lambda} - B_\lambda(T_s)}{\tau_{\text{atm}\uparrow,\lambda}} \right] \Bigg/ \left[ \frac{E_{s\downarrow,\lambda}^{\text{TOC}}}{\pi} - B_\lambda(T_s) \right]$$

- ▶ Critère de "douceur spectrale" à minimiser

$$S = \sum_i^N \left\{ \rho_i - \frac{\rho_{i-1} + \rho_i + \rho_{i+1}}{3} \right\}^2$$

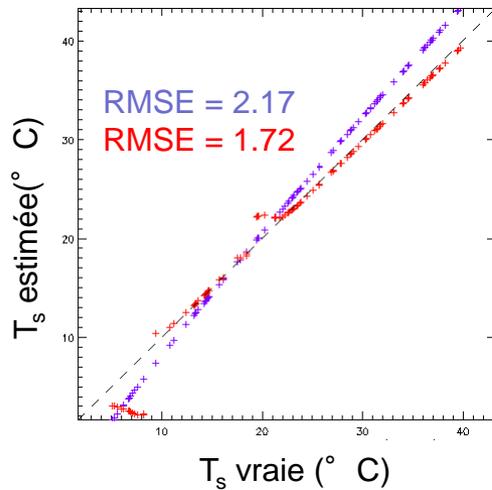


## ● Test sur des données synthétiques

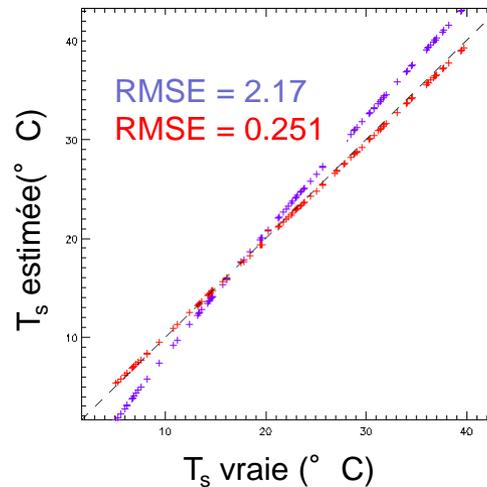
- ▶ bruit instrumental de 0.006 UI

### Restitution de $T_s$

3300 – 3600 nm  
& 4600-5400 nm

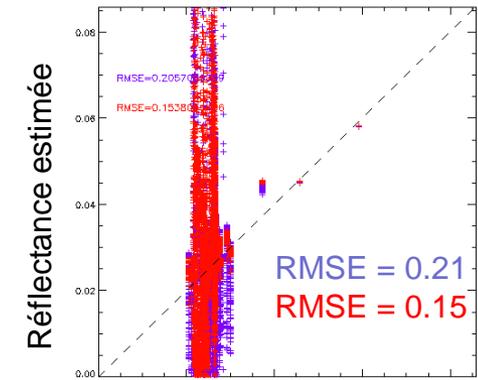


4500 – 5200 nm

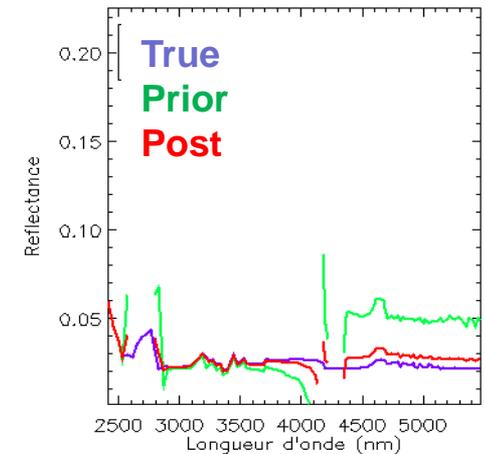


### Restitution de $\rho_\lambda$

4500 – 5200 nm



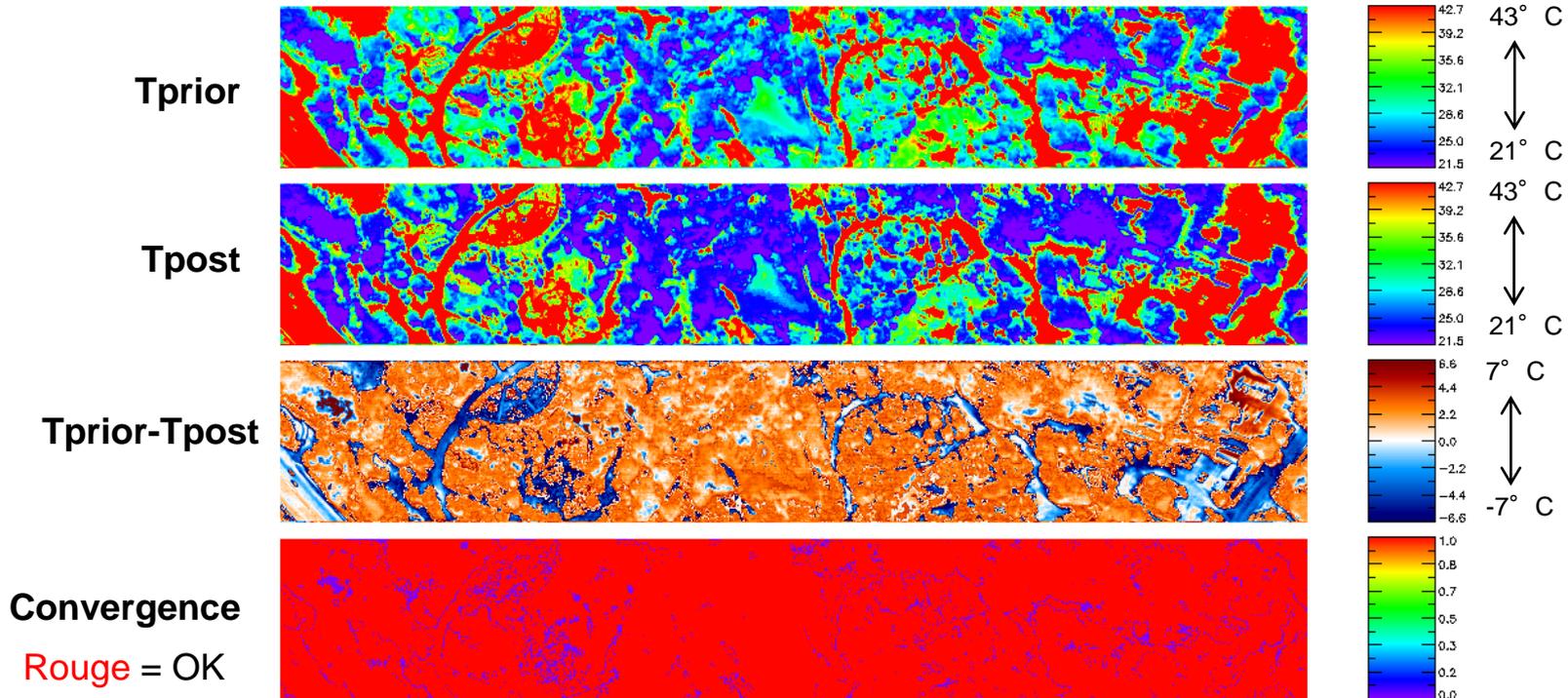
Réflectance vraie



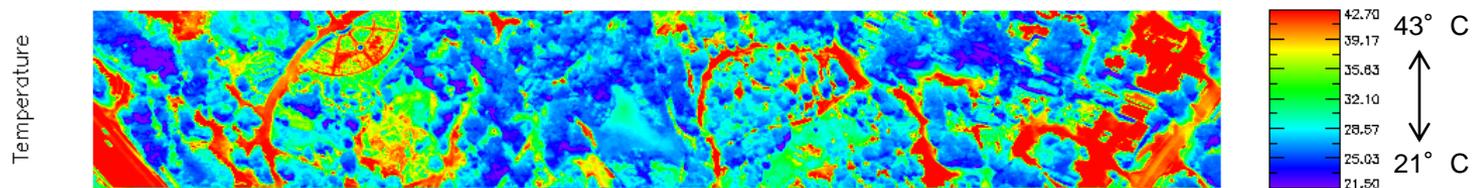
- ▶ Sensibilité à la gamme spectrale utilisée
- ▶ Dégradation des performances d'estimation avec le bruit instrumental
- ▶ En général, mauvaise restitution de l'émissivité spectrale sur le domaine MWIR

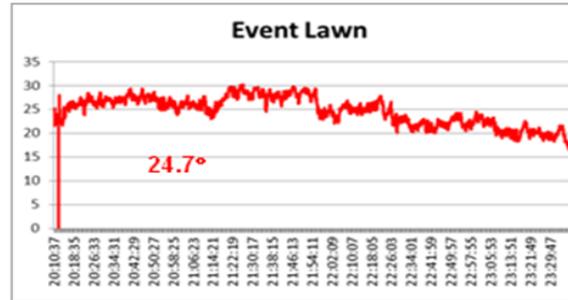
## ● Température de surface

- ▶ On néglige  $\tau_{atm}$  ( $\Leftrightarrow$  mesures *in situ*)

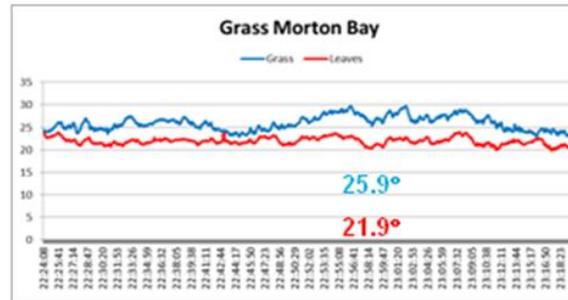


## algorithme ISAC (LWIR)

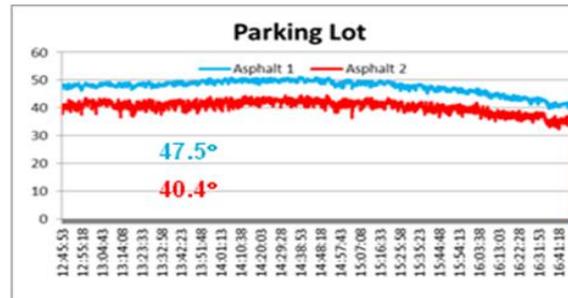




herbe :  $T_s = 24.7^\circ$



herbe :  $T_s = 25.9^\circ$   
feuilles:  $T_s = 21.9^\circ$

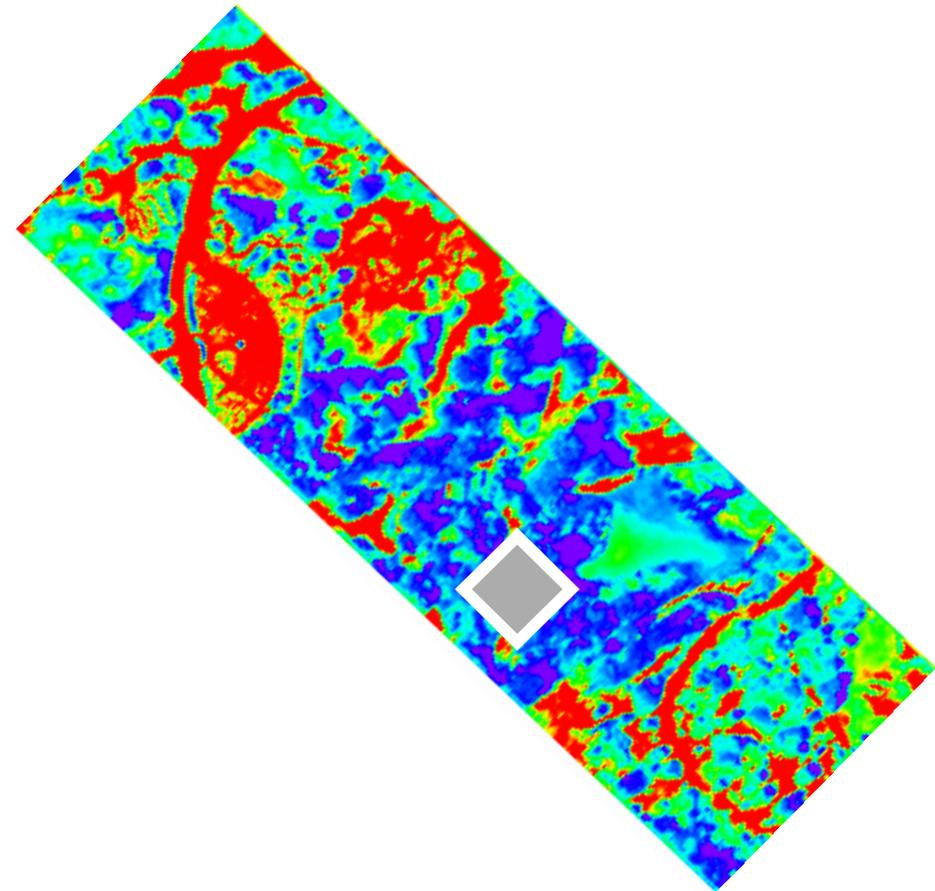


asphalt 1:  $T_s = 47.5^\circ$   
asphalt 2:  $T_s = 40.4^\circ$



eau:  $T_s = 22.4^\circ$

zone de 30 x 30 pixels



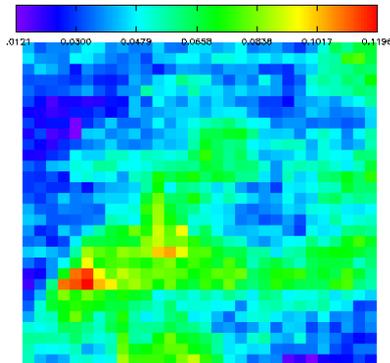
## ● Approche

- ▶ Approche physique reposant sur l'inversion du modèle PROSAIL-VISIR
- ▶ Minimisation itérative de la fonctionnelle d'erreur

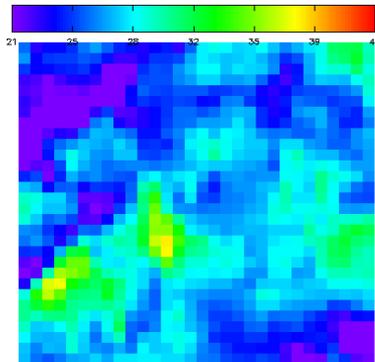
$$J(\mathbf{x}) = \sum [H_{L_{\text{capteur}}} \circ H_{\text{ref}}(\mathbf{x}) - L_{\text{capteur}}^{\text{obs}}]^2$$

- $\mathbf{x}$  : paramètres biophysiques à estimer
  - $L_{\text{capteur}}^{\text{obs}}$  : luminance mesurées par le capteur SEBASS
  - $H_{\text{ref}}(\mathbf{x})$  : réflectances simulées par **PROSAIL-VISIR**
  - $H_{L_{\text{capteur}}}(\mathbf{x})$  : luminances simulée au niveau du capteur
- ▶ estimation de  $LAI$ ,  $C_w$ ,  $C_m$ ,  $LIDFa$ ,  $LIDFb$  et  $hspotp$
  - ▶ conditions atmosphériques "connues" (issues de simulations MODTRAN)
  - ▶ 1 seul spectre de sol standard pour toute la scène

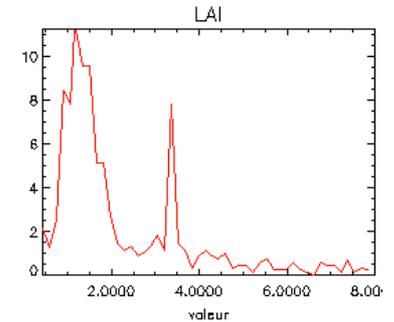
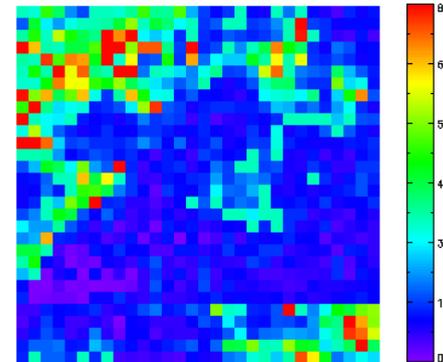
## Luminance – bande 10



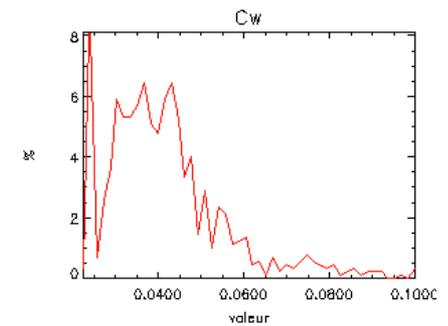
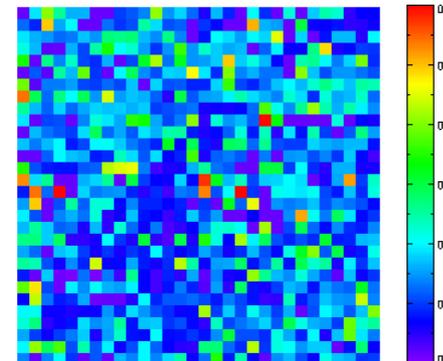
## Ts



## LAI



## Contenu en eau



- ▶ Carte des valeurs de LAI estimé cohérente avec structure spatiale de la température de surface
  - valeurs de LAI les plus fortes pour les températures les plus faibles (végétation)
- ▶ Forte variabilité spatiale du contenu en eau
  - Homogénéité du couvert ?
  - Contrainte faible des observations vis-à-vis du paramètre ?

## ● Conclusions

- ▶ Etape préparatoire de mise en place d'outils pour l'interprétation quantitative d'images multi-spectrales dans le MWIR
  - Consolidation du code de transfert radiatif PROSAIL-VISIR
  - Système d'inversion simple du signal radiométrique
  - Mise en œuvre d'un algorithme de séparation émissivité-température
  
- ▶ Limitations
  - Peu de mesures *in situ* pour la validation
  - Sensibilité au bruit radiométrique et à l'atmosphère
  - Gamme de longueur d'onde optimale pour la séparation émissivité spectrale-température ?

## ● Perspectives

- ▶ Prise en compte de la directionnalité de la réflectance de la surface
- ▶ Exploitation conjointe de données LWIR et MWIR