

# Suivi du fonctionnement énergétique des surfaces : préparation des missions infrarouge thermique

**Jean-Pierre Lagouarde**

INRA EPHYSE

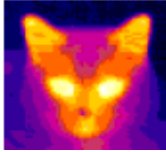
BP81 F-33883 Villenave d'Ornon

*lagouarde@bordeaux.inra.fr*

**J. A. Sobrino** <sup>(1)</sup>, **M. Bach** <sup>(2)</sup>, **G. Boulet** <sup>(3)</sup>, **X. Briottet** <sup>(4)</sup>, **S. Cherchali** <sup>(2)</sup>, **B. Coudert** <sup>(6)</sup>,  
**I. Dadou** <sup>(5)</sup>, **G. Dedieu** <sup>(6)</sup>, **P. Gamet** <sup>(2)</sup>, **O. Hagolle** <sup>(6)</sup>, **F. Jacob** <sup>(7)</sup>, **F. Nerry** <sup>(8)</sup>, **A. Oliso** <sup>(9)</sup>,  
**C. Ottlé** <sup>(10)</sup>, **V. Pascal** <sup>(2)</sup>, **J.-L. Roujean** <sup>(11)</sup>, **F. Tintó Garcia-Moreno** <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ.Valencia (SPAIN), <sup>(2)</sup> CNES, <sup>(3)</sup> IRD-CESBIO, <sup>(4)</sup> ONERA-DOTA, <sup>(5)</sup> LEGOS, <sup>(6)</sup> CESBIO, <sup>(7)</sup>  
IRD-INRA, <sup>(8)</sup> LSIIT/TRIO, <sup>(9)</sup> INRA, <sup>(10)</sup> LSCE, <sup>(11)</sup> Météo-France

# Combinaison de la haute résolution spatiale et de la haute répétitivité temporelle dans l'infrarouge thermique



**MISTIGRI : MicroSatellite for Thermal InfraRed Ground Surface Imaging**

**TIREX : Thermal InfraRed Explorer**

• Missions développées/proposées en coopération entre la France (CNES) et l'Espagne (Univ. Valencia, CDTI)

- Sélectionné lors d'un séminaire prospectif du CNES (2009)
- Phase A MISTIGRI (sept 2009 → fin 2011)

<http://www.cesbio.ups-tlse.fr/fr/indexmistigri.html>

- Proposition ESA Earth Explorer Opportunity Mission EE-8, Mai 2010 → non sélectionnée

Lagouarde et al., 2012. IIRS, *in press*

**HYSPIRI (USA)**

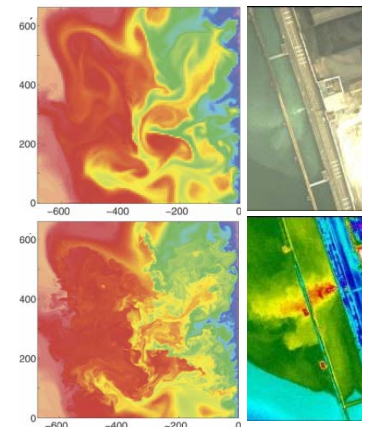
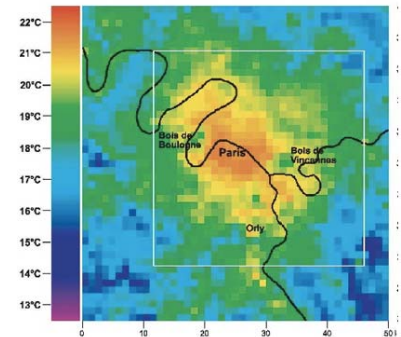
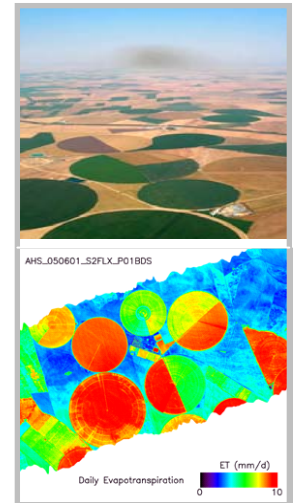
IRT

Suivi des bilans énergétiques et des bilans d'eau  
Interactions surface climat / changement global

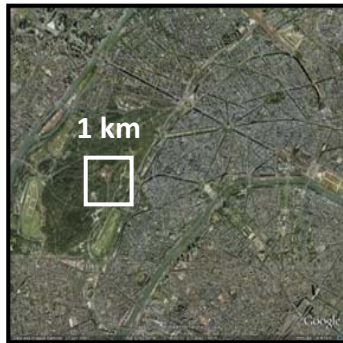
## 3 objectifs scientifiques principaux :

- bilans d'énergie et bilans hydriques de la biosphère continentale
- fonctionnement énergétique des environnements urbains
- Suivi des eaux côtières et continentales

+ divers : volcanologie, feux de tourbe, épidémies...

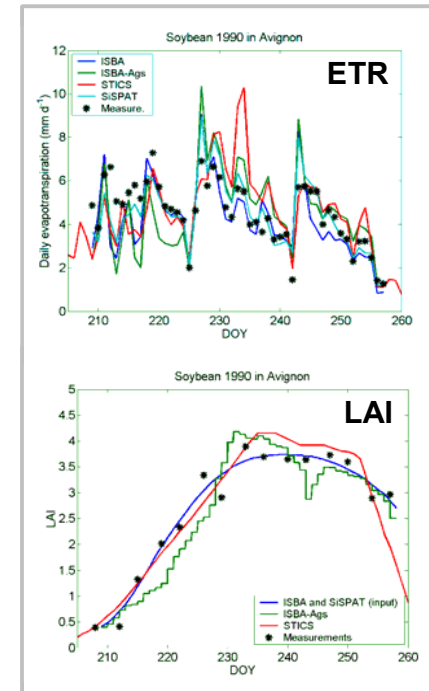


# Nécessité de combiner les hautes résolutions spatiale et temporelle



<b>Meteosat MSG, GOES</b>	15 mn	2.5 – 5 km
<b>AVHRR</b>	2 - 4 /day	1 km
<b>ASTER</b>	1 /day	1 km

<b>Landsat TM/ETM+</b>	16 days	60 - 120 m
<b>LDCM</b>	16 days	120 m
<b>ASTER</b>	16 days	90 m

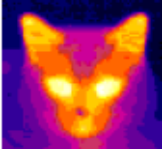


Haute résolution spatiale →  
accès à l'échelle locale  
(parcelle, îlot urbain...)

Panorama des missions : besoin de  
sortir du dilemme actuel entre  
haute/basse résolution  
spatiale/temporelle

Besoin de revisite dans l'IRT ←  
réponse rapide de la surface au  
forçage (état hydrique, météo...)

# Appui du TOSCA à la consolidation des spécifications mission MISTIGRI (phase A)



Résolution spatiale:

~ 50 m (IRT) ~20 m (VNIR)

Revisite :

1 – 2 jours

Orbite : 560 – 720 km

Bandes spectrales :

4 bandes VNIR (0.45 0.67 0.865 0.910  $\mu\text{m}$ )

4 bandes IRT (8.6 9.1 10.3 11.5  $\mu\text{m}$ )  
(réduction à 3?)

Heure de passage :

11 - 13 UTC

Fauchée :

25 km minimum (32 km avec les  $\mu$ bolomètres 640x480 ULIS)

Stratégie of la mission:

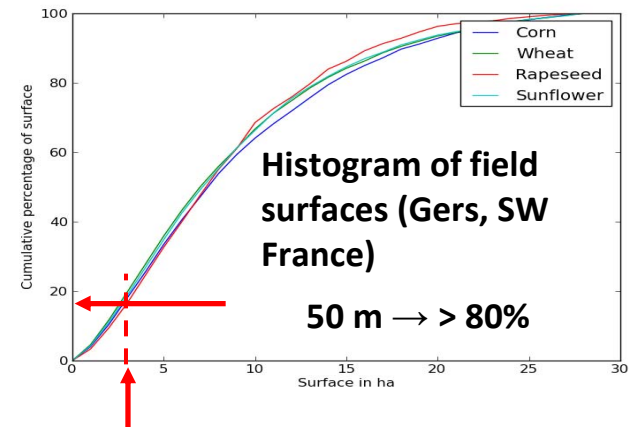
démonstrateur associé à un réseau expérimental au sol

Produits:

mise au point des chaînes de traitement

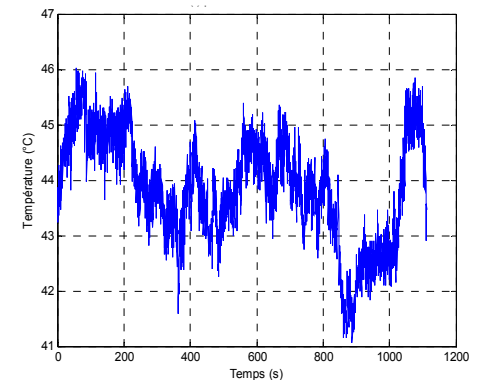
## Résolution minimum imposée par la taille du parcellaire : < $\sim 100\text{m}$ indispensable

Nombreuses références : Kustas et al., 2004, Garrigues et al., 2006, Agam et al., 2007, LDCM...



## Résolution maximum acceptable en lien avec la turbulence atmosphérique

- Lissage possible des fluctuations à haute fréquence de CLS (Couche Limite de Surface) par intégration spatiale sur le pixel (ergodicité)
- Contribution à l'incertitude sur  $T_s$  des fluctuations de basse fréquence de CLA (Couche Limite Atmosphérique) d'échelle caractéristique  $\sim 1\text{ km}$



**TOSCA: Analyse de l'ergodicité dans l'infrarouge thermique pour le projet MISTIGRI (JP Lagouarde) (projet 2008-2009, 2010)**

# Quelle résolution spatiale ?

Approche expérimentale :  
mesures IRT (FLIR SC3000)  
héliportées (Sté TCC)...

... sur 5 surfaces  
différentes (SW  
France, 2010)

→ reconstruction de séries  
temporelles de Ts à différentes  
résolutions par agrégation



Maritime pine stand  
and irrigated maize



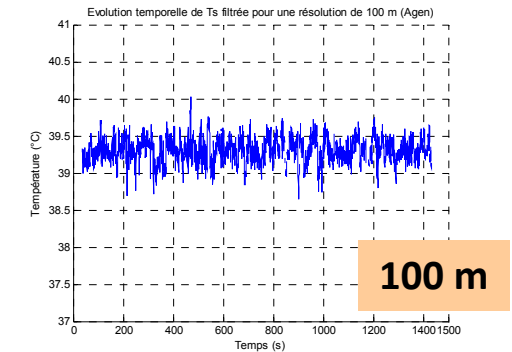
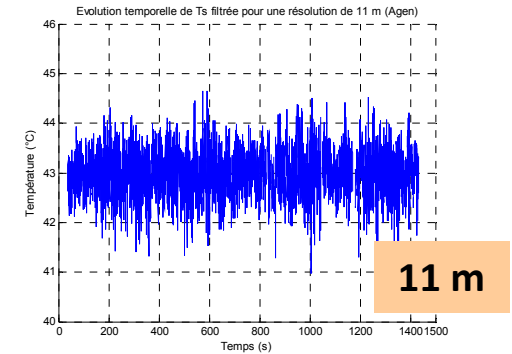
Wineyard



Urban (Agen centre)

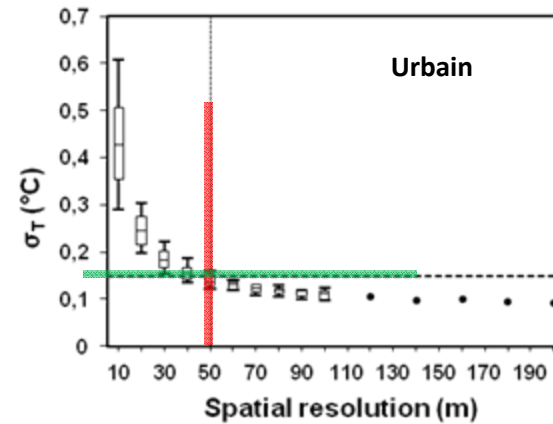
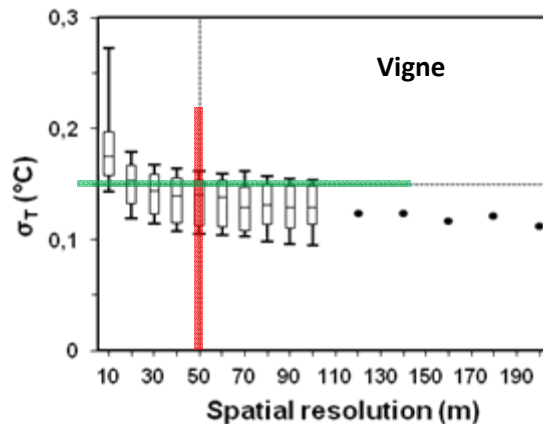
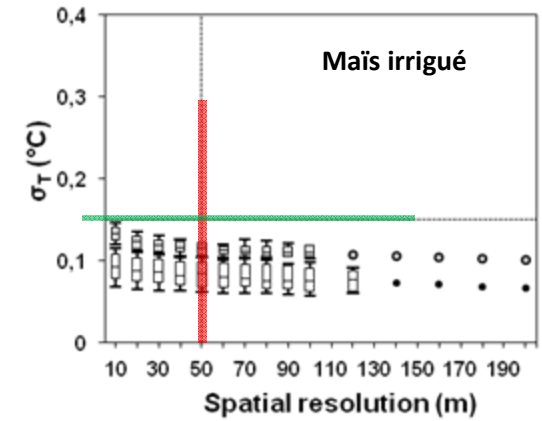
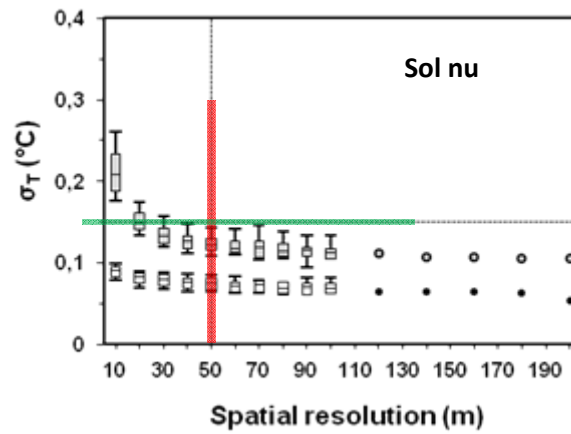
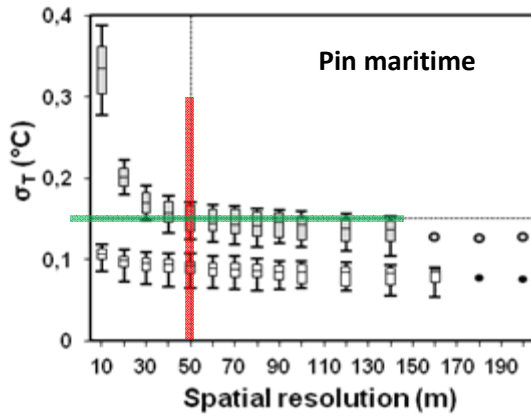


Bare soil/fallow



*Lissage des fluctuations de Ts  
générées par la dynamique de  
la CLS aux basses résolutions*

# Quelle résolution spatiale ?



Erreur de mesure liée à la turbulence de CLS < 0.5°C à 50 m de résolution  $\forall$  surface

Généralisation nécessaire à d'autres conditions météo et surfaces → Modélisation LES et campagnes de mesures fixes au sol



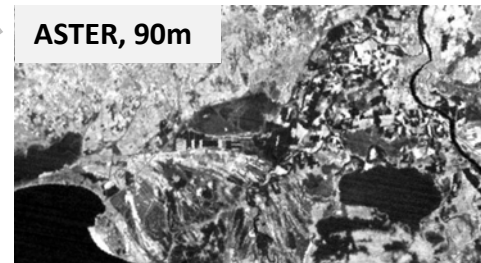
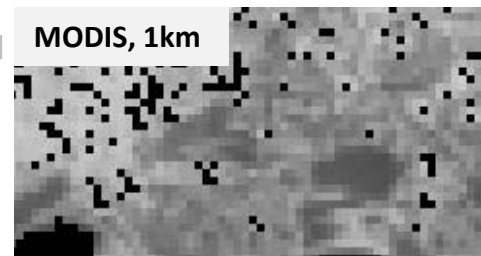
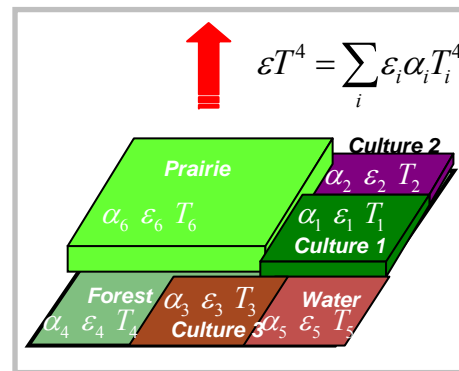
# Désagrégation des températures de surface

Est-il possible de désagréger les températures de surface de façon à exploiter les systèmes satellitaires (HR/faible revisite) et (BR/haute revisite)?

## Approche bayésienne

1- hypothèse de stationnarité : estimation a priori des températures HR (SETHYS) et minimisation fonction de coût BR

2- introduction de non-stationnarité (corrélation spatio-temporelles entre classes) via des chaînes de Markov



Test Meteosat SEVIRI → ASTER (26/07/2006, Camargue)

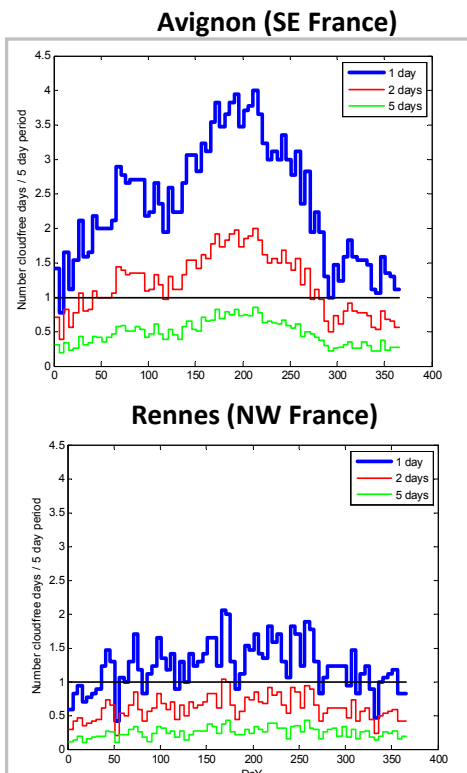
**Approche assimilation** des observations BR dans un modèle de surface intégrant l'hétérogénéité des pixels (approche4DVAR, doctorat R. Mechri 2011\_2014)

**TOSCA: DSTEMP-ESTIM** : estimation de températures sous-pixel par différentes approches d'inversion/assimilation, utilisation des données spatiales IRT et préparation de la mission MISTIGRI (C. Ottlé) (2011-2012)

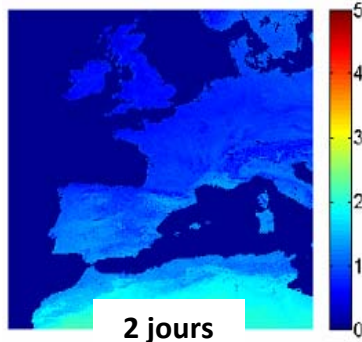
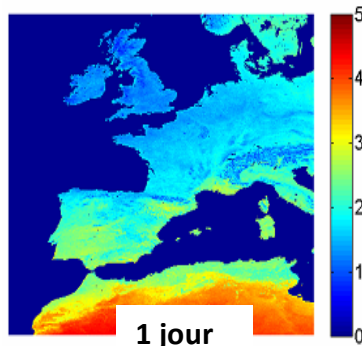
Poster

# Revisite et heure d'acquisition? Analyse de l'ennuagement

## Analyse statistique du ray<sup>t</sup> global à l'échelle horaire (1993-2009, INRA AGROCLIM)



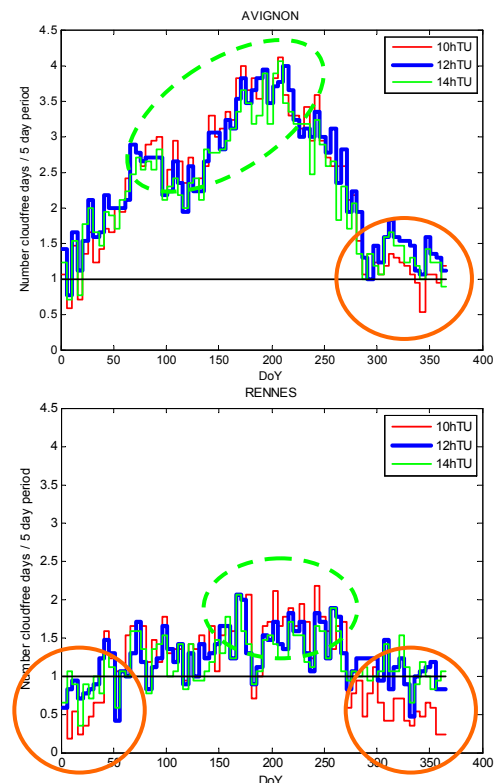
## Analyse de masques de nuages MODIS (2000-2009)



(01/03 – 31/05)

Exemple du nombre de jours sans nuages par période de 5 jours (période 01/03 – 31/05)

## Impact de l'heure d'acquisition sur la disponibilité des données



Limitations possibles dues à la convection nuageuse en début d'après-midi et à la présence de brumes en fin de matinée

Accès à 1 image/ 5 jours



revisite à 1 ou 2 jours et acquisition 11:00-13:00

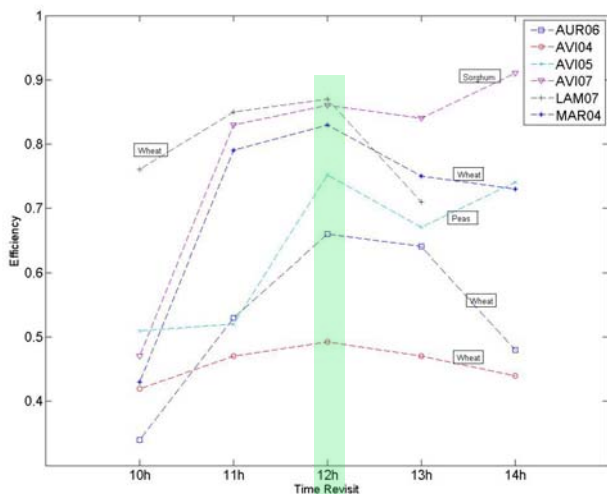
TU

*TOSCA : Suivi du bilan hydrique et énergétique des surfaces à l'aide des données IRT: analyse de l'impact de la fréquence et de l'heure des acquisitions de MISTIGRI (2009)*

# Revisite et heure d'acquisition? Impact sur la précision des estimations de flux

Travaux basés sur l'analyse de données expérimentales et la reconstitution de l'évaporation à partir des journées claires à l'aide des méthodes 'stress factor' SF et 'evaporative fraction' EF

Efficiences de la reconstitution de l'ETR à l'échelle saisonnière en fonction de l'heure de passage (méthode EF)



Heure de passage optimum autour de 12:00 TU

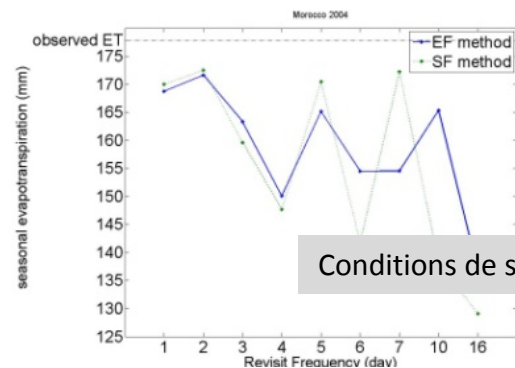
$$SF = LE / LET_p$$

$$EF = LE / (R_n - G)$$

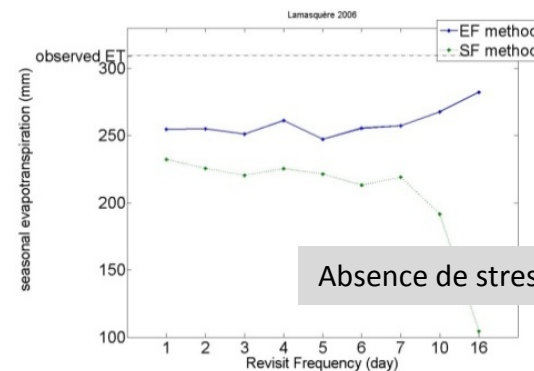
Fraction évaporative  
EF plus performante  
que stress factor SF

Poster

Efficiences de la reconstitution de l'ETR à l'échelle saisonnière en fonction de la fréquence de revisite



Conditions de stress



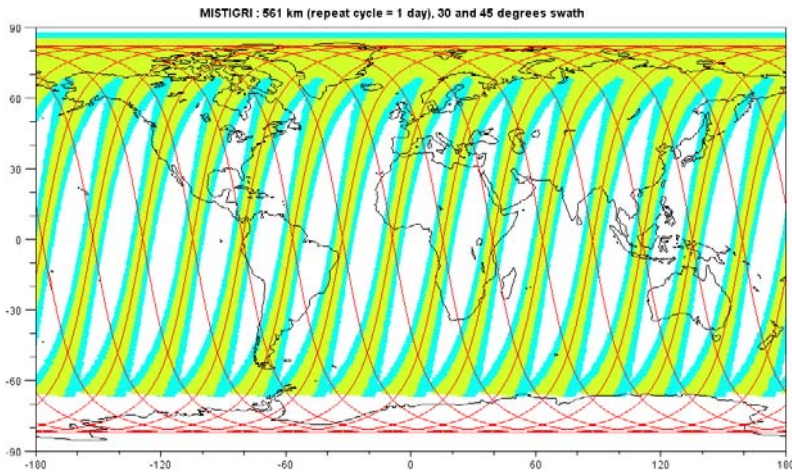
Absence de stress

Revisite élevée (1-2 jours) nécessaire pour les sites soumis à de forts stress

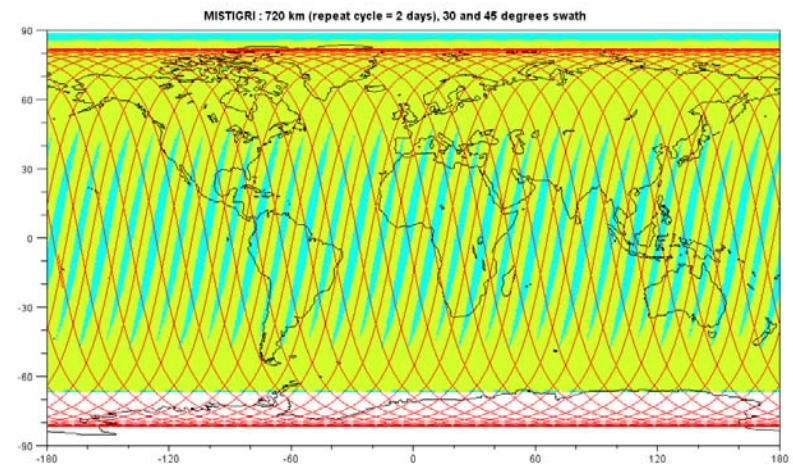
*TOSCA: Suivi du bilan hydrique et énergétique des surfaces à l'aide des données IRT: analyse de l'impact des spécifications de la mission MISTIGRI (G. Boulet et A. Olioso) (2009-2010)*

# Impact de la fréquence de revisite sur le choix de l'orbite

**561 km / 1 jour**



**720 km / 2 jours**

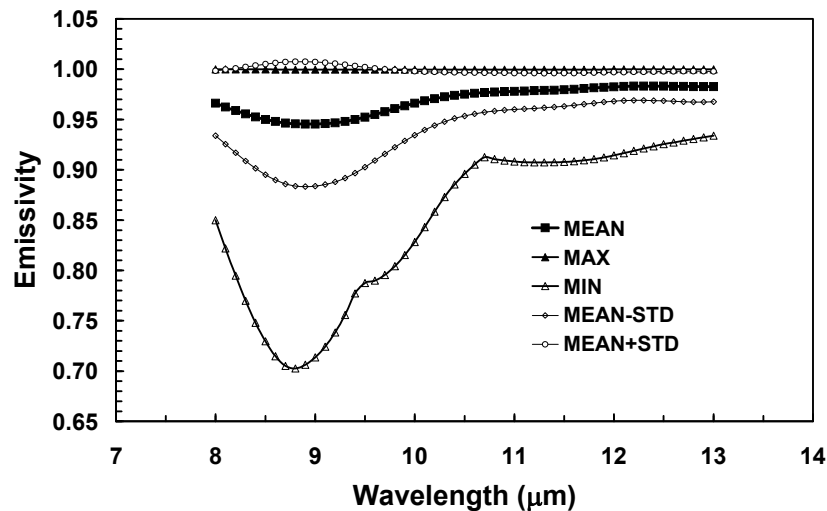
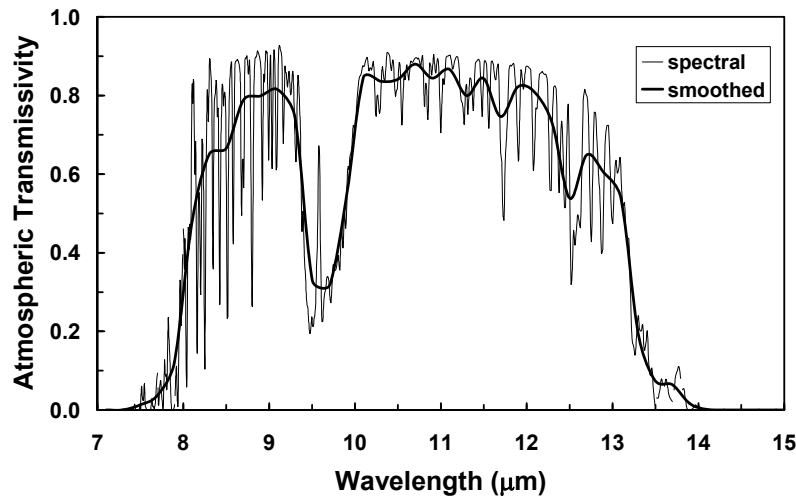


**choix de l'orbite (avec hypothèses de dépointage de 30 et 45°) et couverture au sol**

→ Impact sur stratégie expérimentale (choix des sites et nombre d'équipes associés à la mission)

# Sélection des bandes spectrales

Choix des bandes contraint par la transmission atmosphérique et les variations spectrales d'émissivité



Band	Central wavelength (μm)
TIR-3	10.3
TIR-4	11.5
TIR-1	8.6
TIR-2	9.1

● La confusion de TIR-1 & 2 permettrait-elle de réduire le bruit dans l'hypothèse d'une utilisation avec TES?

→ construction d'un simulateur

*TOSCA : Optimisation des bandes spectrales IRT de l'instrument MISTIGRI et quantification des effets d'hétérogénéité sur la mesure associée (X. Briottet et F. Jacob) (2009-2010)*

Poster

# Optimisation des bandes spectrales thermiques

## Simulation comportement instrument

Influence instrument avec

- Filtres spectraux
- Bruits instrumentaux

**N CONFIGURATIONS**

Simulation Mesure

**MISTIGRI**

## Simulation comportement atmosphère

Transfert radiatif atmosphère

- Profils température
- Profils humidité

Correction atmosphérique

Simulation erreurs sur profils

## Simulation cible

émissivité / température

Transfert radiatif canopée

- Type de sol & végétation
- Couverture végétale
- Inclinaisons feuilles

**CONFRONTATION**

**ALGORITHME TES**

Restitution

température / émissivité

# Optimisation des bandes spectrales thermiques

## Simulation comportement instrument

Influence instrument avec

- Filtres spectraux
- Bruits instrumentaux

**N CONFIGURATIONS**

Simulation Mesure  
MISTIGRI

## Simulation comportement atmosphère

Transfert radiatif atmosphère

- Profils température
- Profils humidité

Correction atmosphérique  
Simulation erreurs sur profils

**SELECTION: 3 BANDES @  
8.8; 10.5 et 11,8  $\mu\text{m}$  (FWHM 0.75; 1.25)**

## Simulation cible

émissivité / température

Transfert radiatif canopée

- Type de sol & végétation
- Couverture végétale
- Inclinaisons feuilles

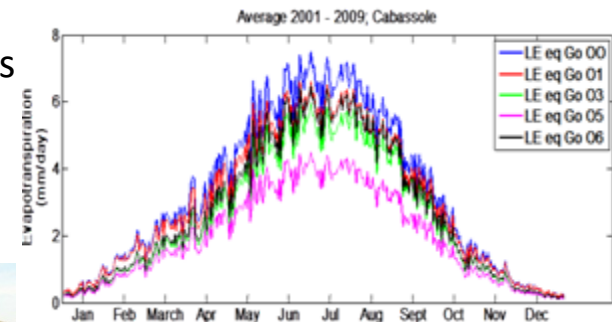
**CONFRONTATION**

ALGORITHME TES

Restitution  
température / émissivité

## Réalisation et test d'un prototype d'une chaîne de cartographie de l'ETR en continu dans le temps à partir d'images satellite

- mise en place des algorithmes d'estimation de l'évapotranspiration
- procédures d'interpolation des flux entre les acquisitions satellitaires
- évaluation de la précision des estimations de flux (selon les modélisations et l'information disponible)
- validation (Crau-Camargue / MODIS)



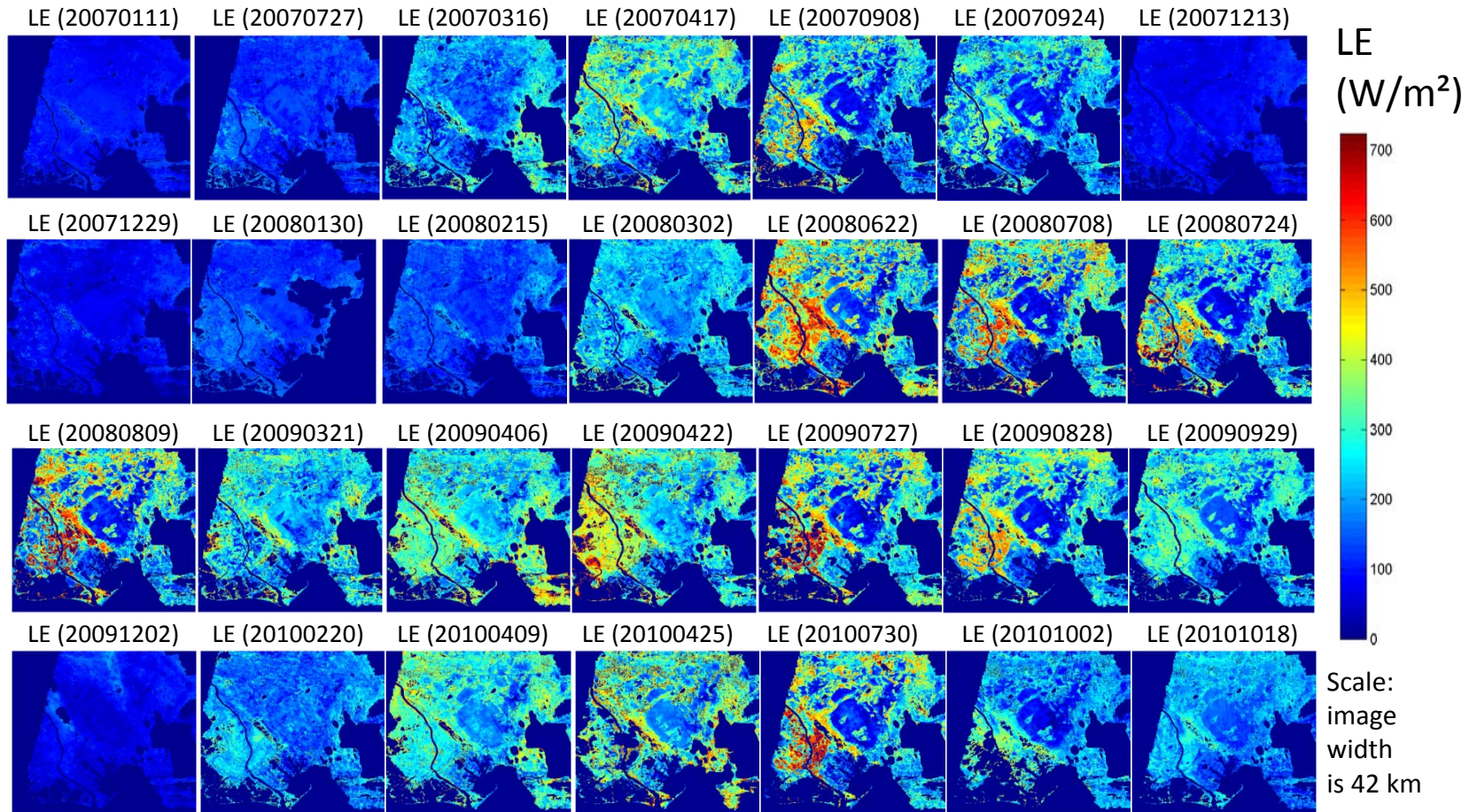
**TOSCA:** Suivi spatio-temporel de l'évapotranspiration à partir de données de télédétection dans les domaines thermique et solaire : développement d'une chaîne de traitement de données (A. Olioso) (2008-2009, 2010→)

Poster



# Exemple de cartographie de l'ETR sur la zone Crau-Camargue à partir de Landsat

## 7



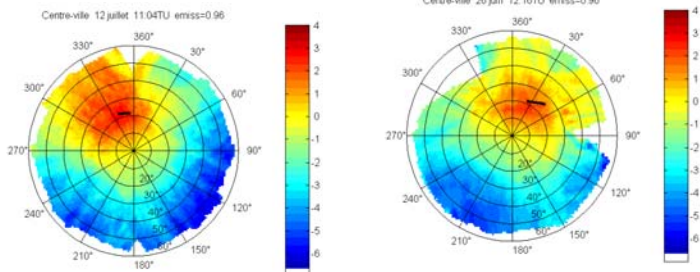
*En lien avec **TOSCA**: Traitement et applications de séries d'images temporelles d'images LANDSAT pour préparer l'utilisation de Venùs et Sentinelle 2 (O. Hagolle et al.) (2010-2012)*



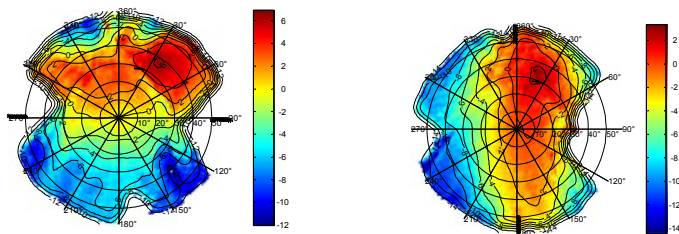
## Travaux expérimentaux

Effet heure (cf. acquisition)

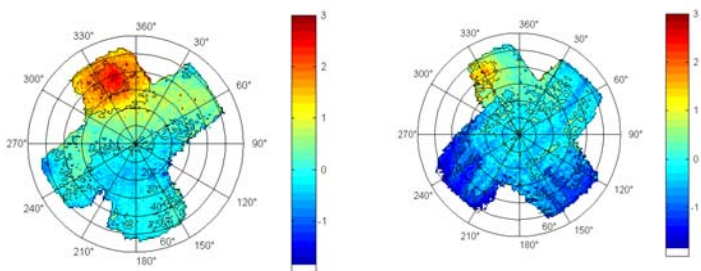
Urbain ESCOMPTE



Effet structure (vigne, rangs EW et NS)



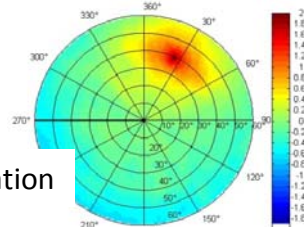
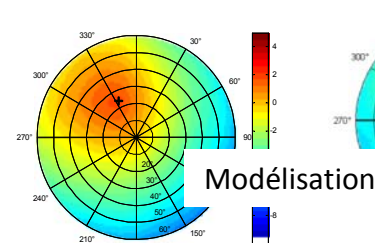
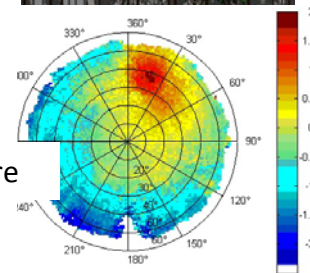
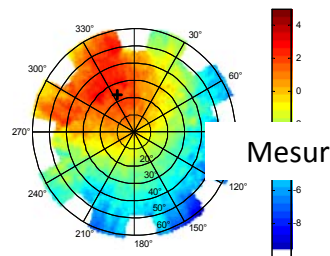
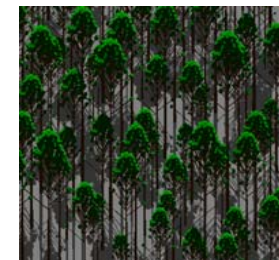
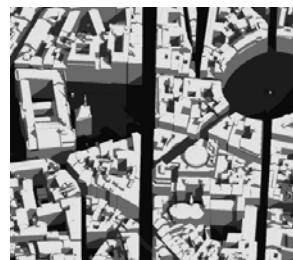
Effet structure (pin maritime, 6 & 48 ans)



## Travaux de modélisation

Urbain

Pin maritime



*TOSCA : travaux en cours sur le modèle SCOPE (A Oliso, G Boulet) en cours*

*TOSCA : Projet drone IRT (JP Laguarde, collab. ONERA) 2012→*

## Conclusion

- Appui significatif du TOSCA à la définition des spécifications de mission du projet MISTIGRI (et à l'élaboration de la proposition TIREX) en termes de financements et MO (CDD, stages)
- Travaux valorisés par des articles (rang A) et de nombreuses communications dans des colloques
- Construction d'un dossier MISTIGRI solide évalué positivement en fin de phase A (juillet 2011) et définition de spécifications de mission argumentées, base de discussion pour des coopérations (intérêt manifesté de la part des USA)