



HAL
open science

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

Jean-Pierre Lagouarde, Jose A. Sobrino, Michel Bach, Gilles Boulet, Xavier Briottet, Selma Cherchali, Benoît Coudert, Isabelle Dadou, Gérard Dedieu, Philippe Gamet, et al.

► To cite this version:

Jean-Pierre Lagouarde, Jose A. Sobrino, Michel Bach, Gilles Boulet, Xavier Briottet, et al.. Suivi du fonctionnement énergétique des surfaces : préparation des missions infrarouge thermique. 1. colloque restitution du TOSCA, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). FRA., Mar 2012, Paris, France. 20 p. hal-02807134

HAL Id: hal-02807134

<https://hal.inrae.fr/hal-02807134>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

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

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

- Sélectionné au séminaire prospectif du CNES (2009)
- Phase A MISTIGRI (sept 2009 → fin 2011)

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

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

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

HYSPIRI (USA)

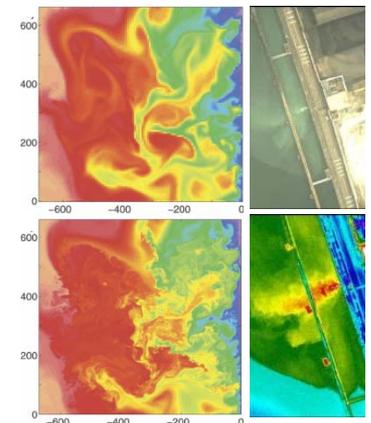
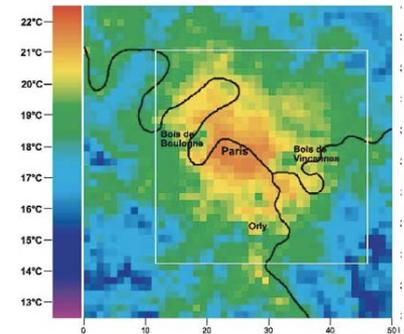
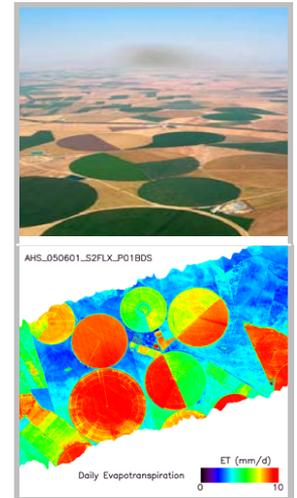
IRT

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

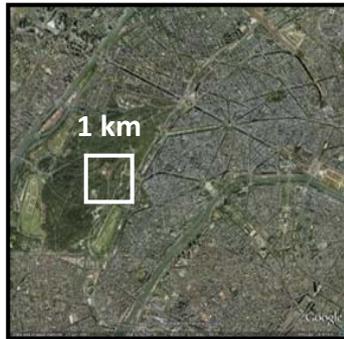
3 objectifs scientifiques principaux :

- 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...

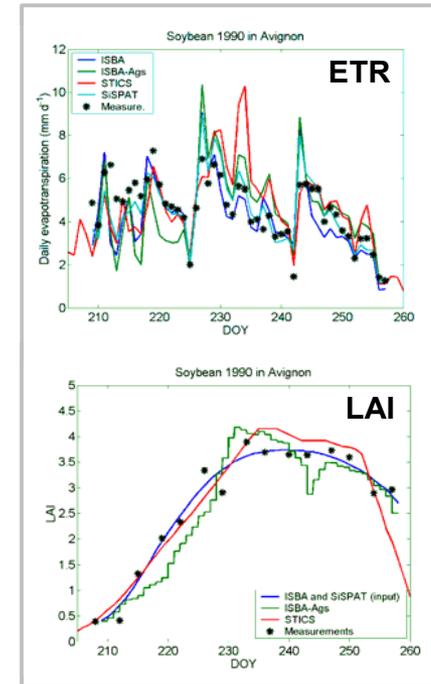


Nécessité de combiner les hautes résolutions spatiale et temporelle



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

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

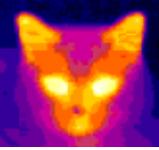


Haute résolution spatiale →
accès à l'échelle locale
(parcelle, îlot urbain...)

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 μm)

4 bandes IRT (8.6 9.1 10.3 11.5 μm)
(réduction à 3?)

Heure de passage :

11 - 13 UTC

Fauchée :

25 km minimum (32 km avec les μ bolomètres 640x480 ULIS)

Stratégie of la mission:

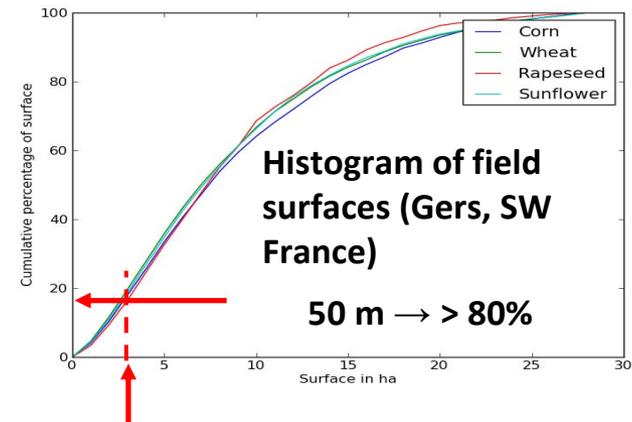
démonstrateur associé à un réseau expérimental au sol

Produits:

mise au point des chaînes de traitement

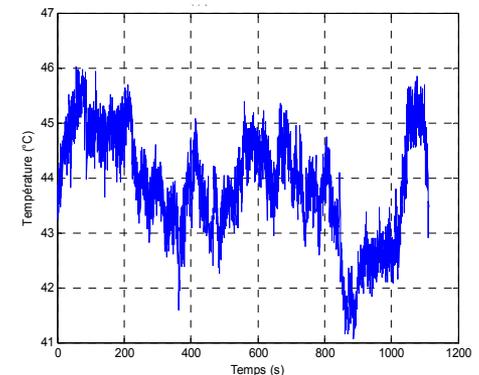
Résolution minimum imposée par la taille du parcellaire : $< \sim 100\text{m}$ indispensable

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 ~ 1 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



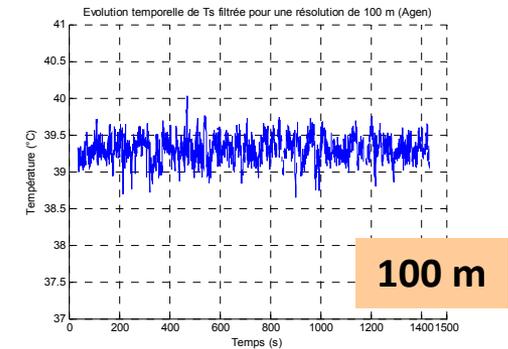
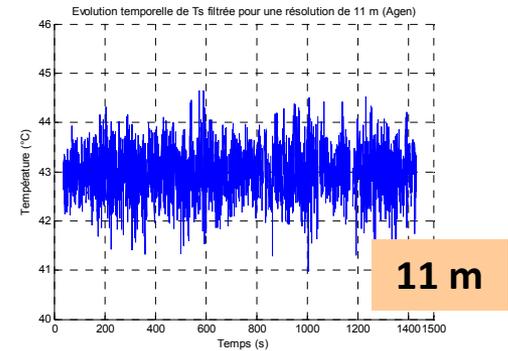
Wineyard



Urban (Agen centre)

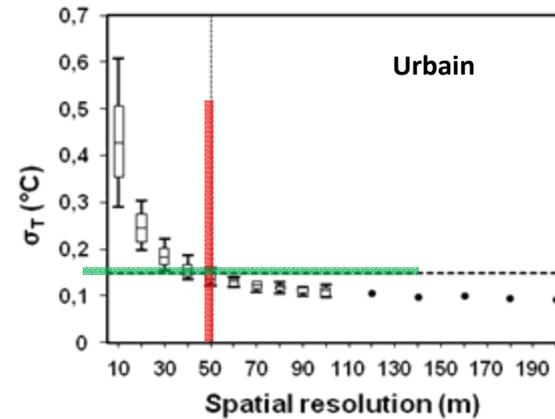
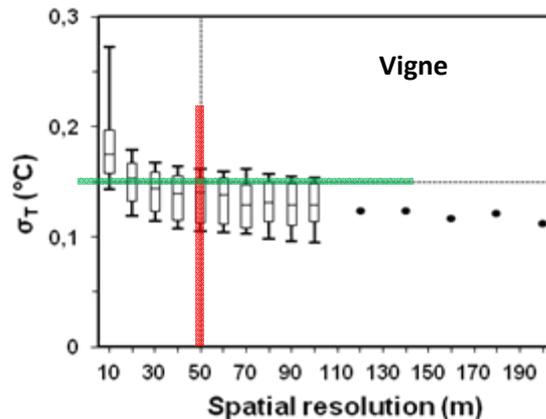
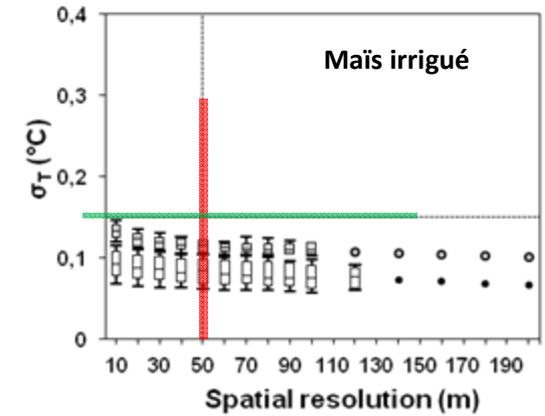
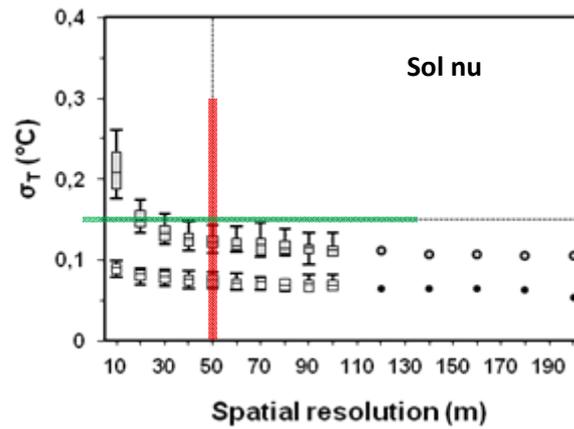
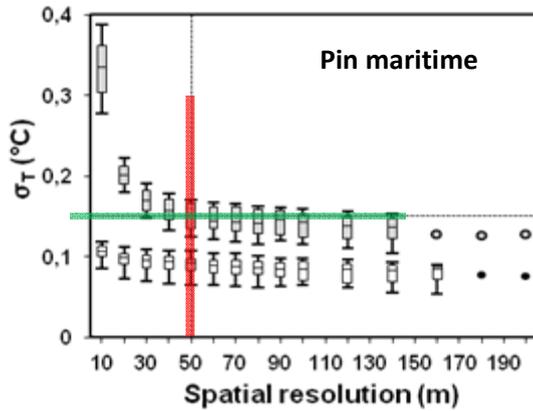


Bare soil/fallow



*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 $< 0.5^\circ\text{C}$ à 50 m de résolution \forall surface

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

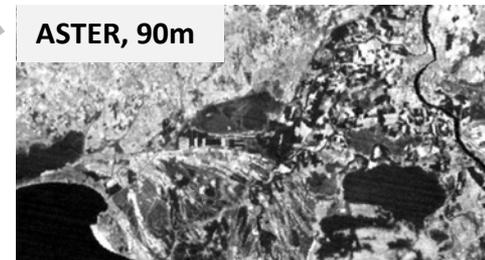
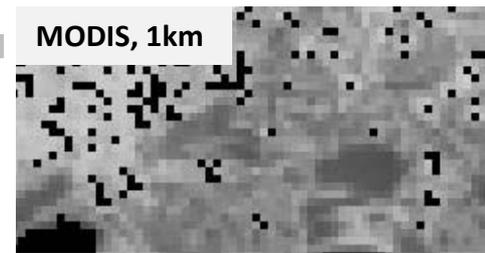
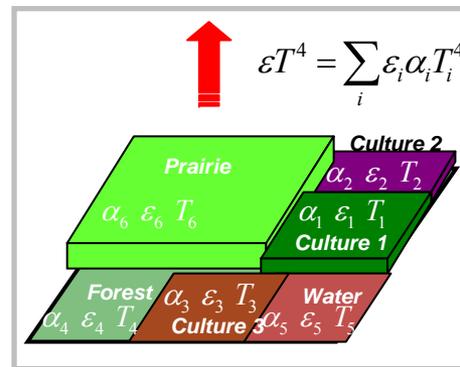
Désagrégation des températures de surface

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)

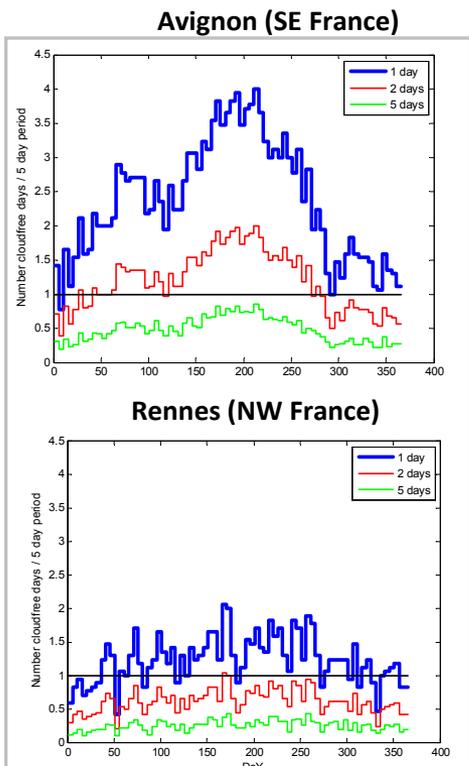
Approche assimilation des observations BR dans un modèle de surface intégrant l'hétérogénéité des pixels (approche4DVAR, doctorat R. Mechri 2011_2014)

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)

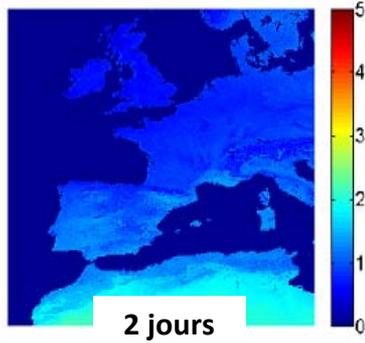
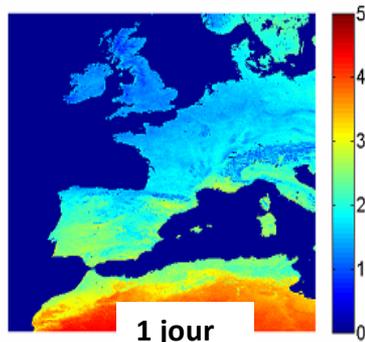
Poster

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

Analyse statistique du ray^t global à l'échelle horaire (1993-2009, INRA AGROCLIM)



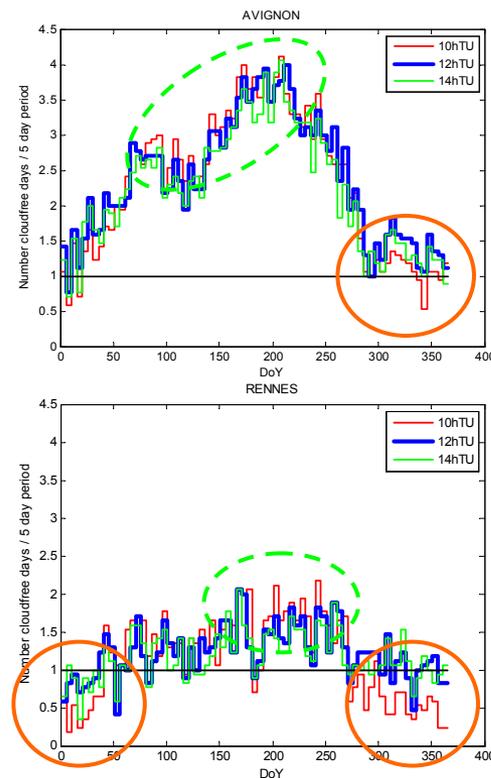
Analyse de masques de nuages MODIS (2000-2009)



(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

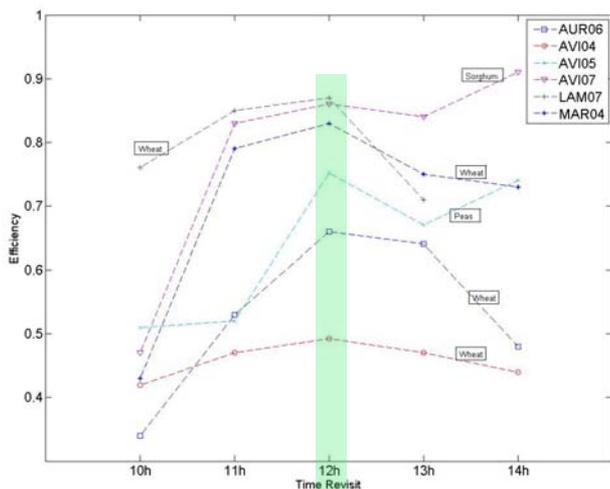
TU

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

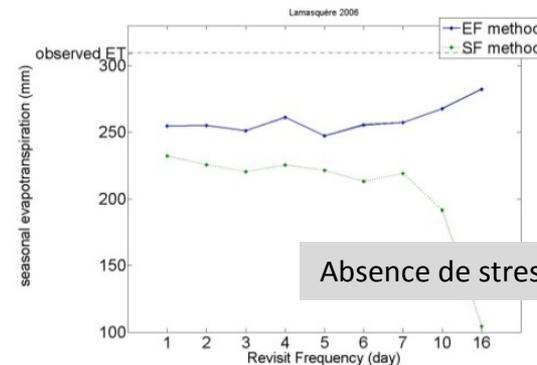
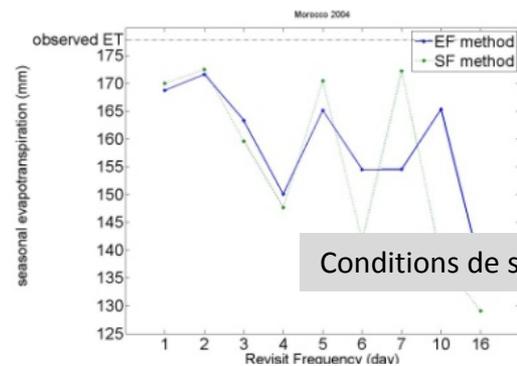
$$SF = LE / LET_p$$

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

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

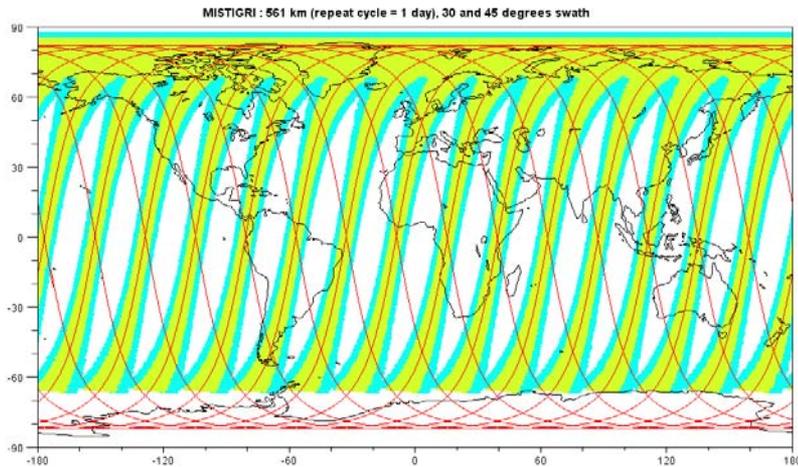


Revisite élevée (1-2 jours) nécessaire pour les sites soumis à de forts stress

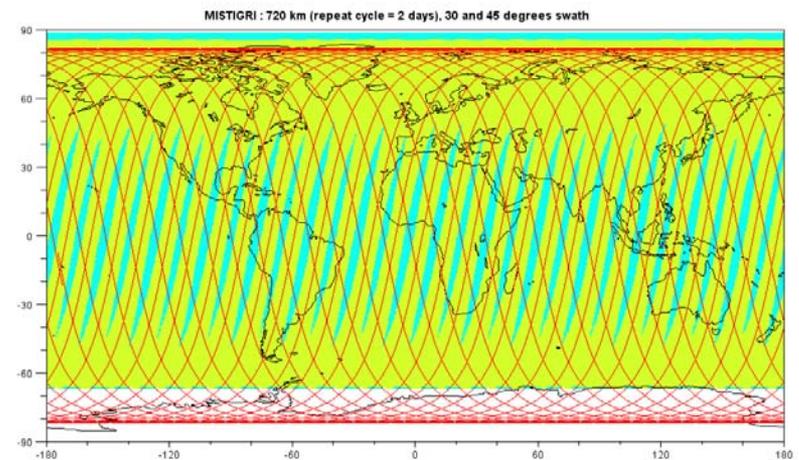
TOSCA: Suivi du bilan hydrique et énergétique des surfaces à l'aide des données IRT: analyse de l'impact des spécifications de la mission MISTIGRI (G. Boulet et A. Olioso) (2009-2010)

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

561 km / 1 jour



720 km / 2 jours

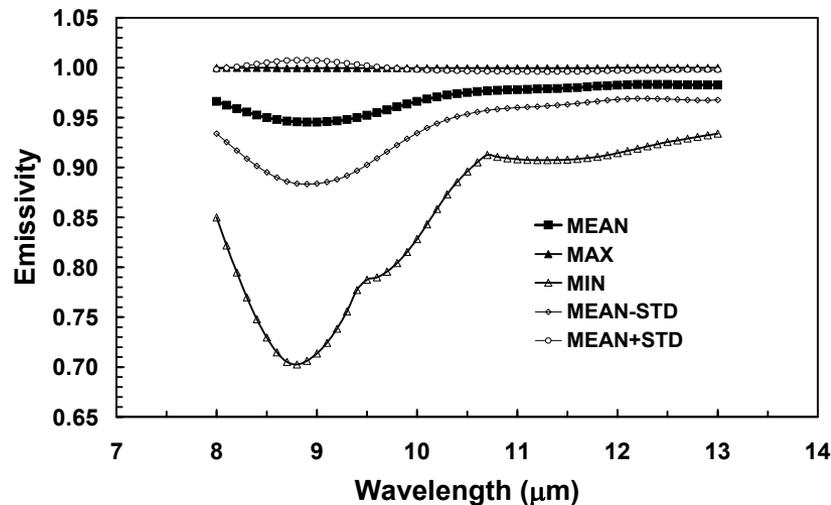
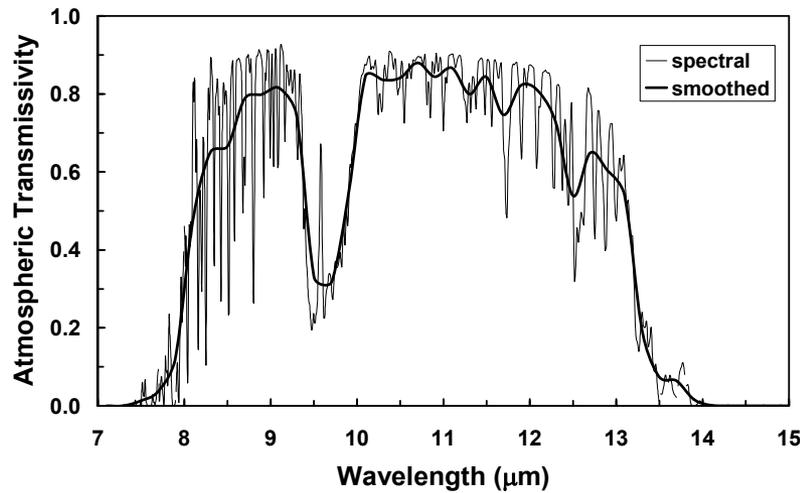


choix de l'orbite (avec hypothèses de dépointage de 30 et 45°) et couverture au sol

→ 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 μm (FWHM 0.75; 1.25)**

Simulation cible

émissivité / température

Transfert radiatif canopée

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

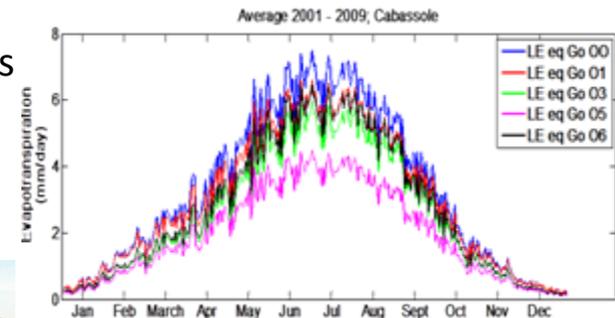
CONFRONTATION

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)

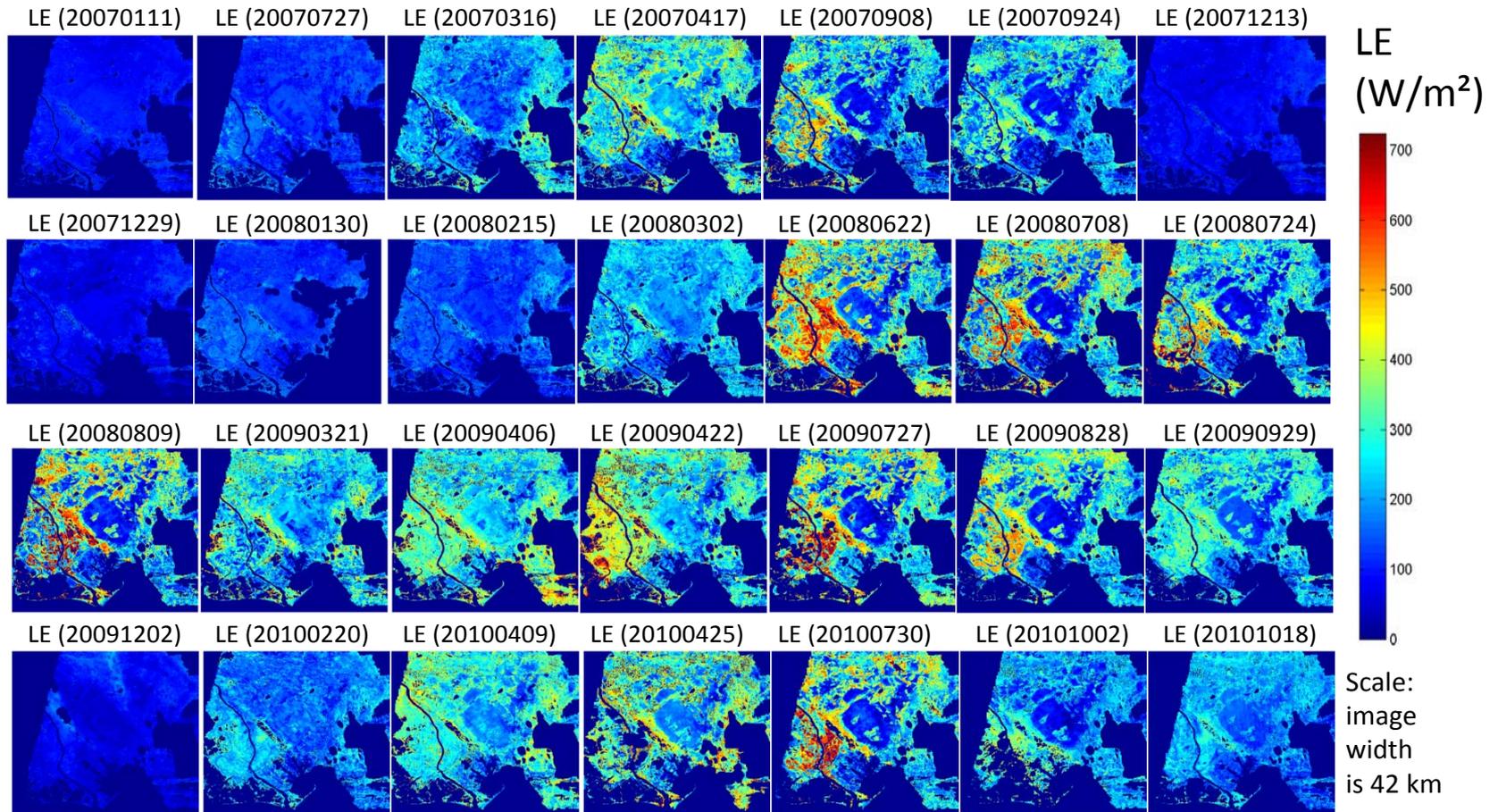


TOSCA: *Suivi spatio-temporel de l'évapotranspiration à partir de données de télédétection dans les domaines thermique et solaire : développement d'une chaîne de traitement de données (A. Olioso) (2008-2009, 2010→)*

Poster

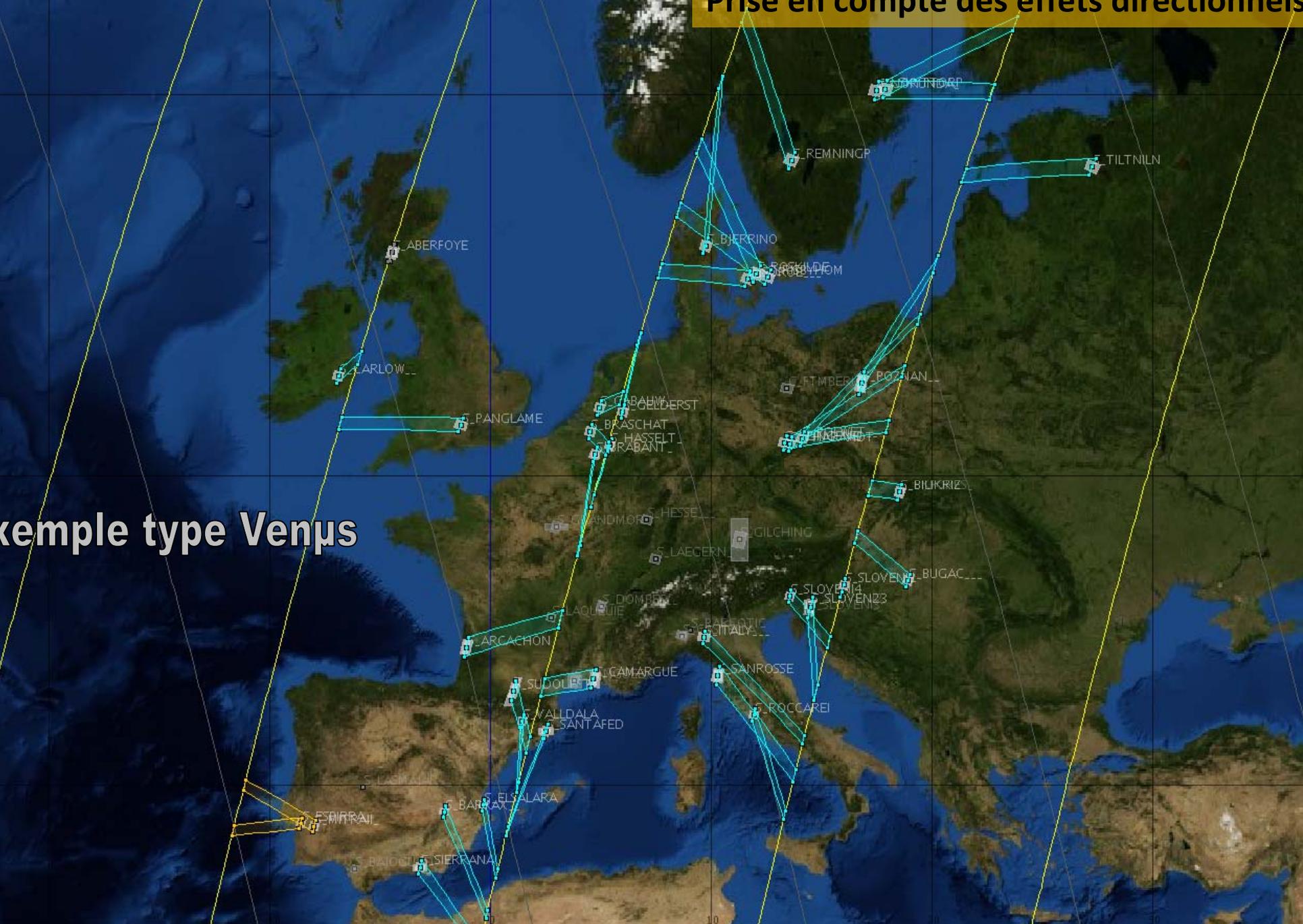
Exemple de cartographie de l'ETR sur la zone Crau-Camargue à partir de Landsat

7



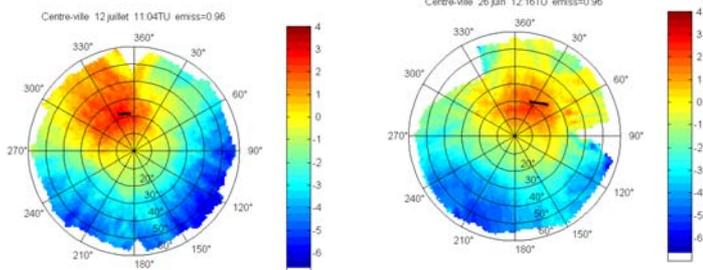
*En lien avec **TOSCA**: Traitement et applications de séries d'images temporelles d'images LANDSAT pour préparer l'utilisation de Venùs et Sentinelle 2 (O. Hagolle et al.) (2010-2012)*

exemple type Venüs

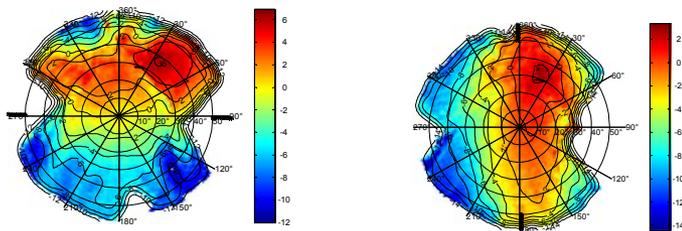


Travaux expérimentaux

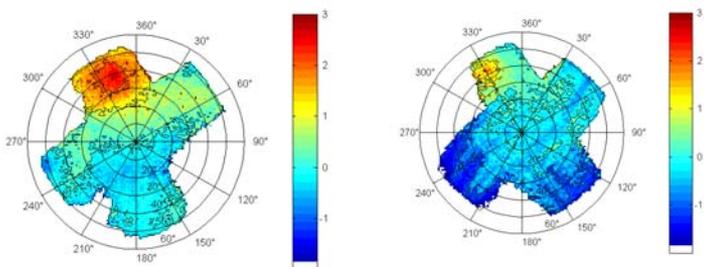
Effet heure (cf. acquisition) Urbain ESCOMPTE



Effet structure (vigne, rangs EW et NS)

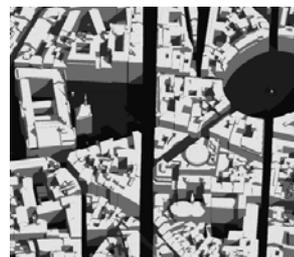


Effet structure (pin maritime, 6 & 48 ans)

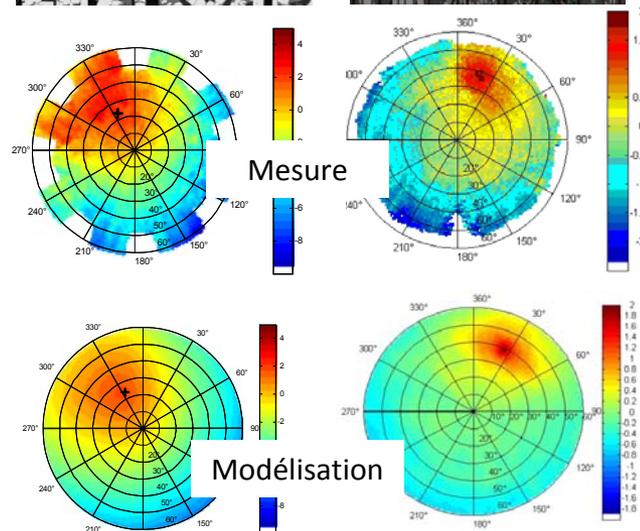


Travaux de modélisation

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)