

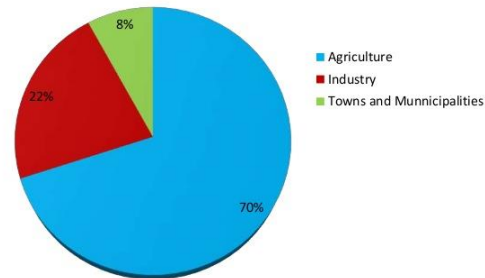
L'apport des données satellitaires pour la gestion de l'eau en agriculture : vers une mission thermique innovante



Jean-Pierre Lagouarde (INRA ISPA Bordeaux)

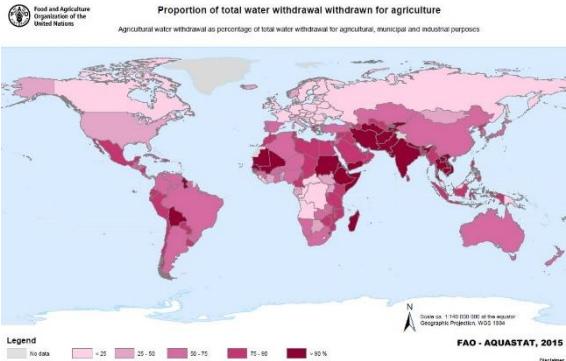
*Gilles Boulet, Albert Olioso, Olivier Merlin, Vincent Simonneaux,
Vincent Rivalland, Jean-Louis Roujean, Olivier Hagolle,
Jérôme Demarty, Yann Kerr, Louise Leroux, Catherine Ottlé*

70% de la ressource globale en eau utilisée pour l'agriculture

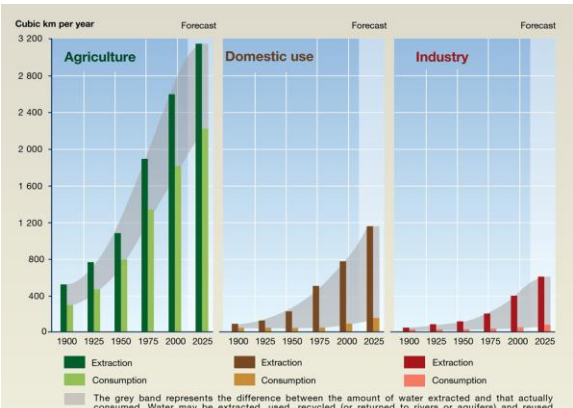


Source: World Bank, World Development Indicators, 2012

Proportion d'eau utilisée pour l'agriculture

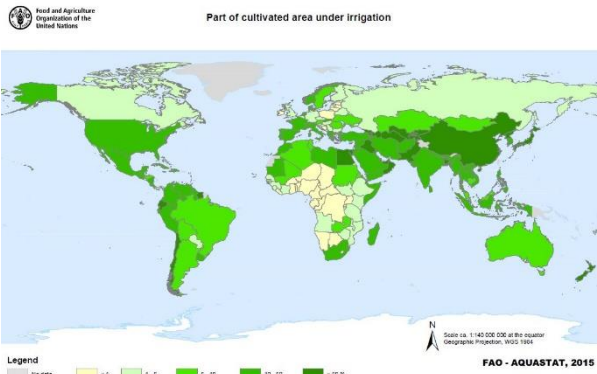


Croissance rapide de la consommation en eau



Trends in water use by sector (UNEP) 1900 → 2025
(<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article43.html>)

Part des surfaces cultivées en irrigation



20% arable land irrigated →
45% food production (FAO)

Une agriculture irriguée très consommatrice en eau dans un contexte de sécheresse accrue sous l'effet du changement climatique...

Californie, lac Oroville



juillet 2011

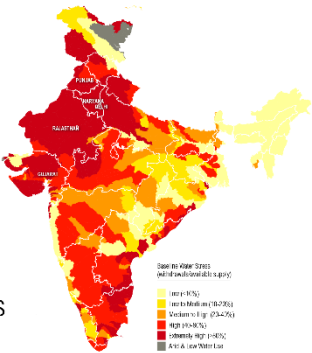


août 2014

Contraintes sévères sur l'eau dans de nombreuses régions du globe

54%

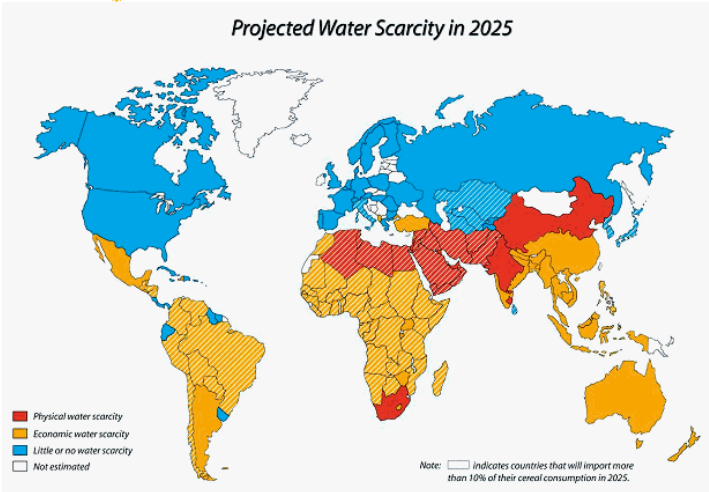
of India Faces High to Extremely High Water Stress



www.indiawaterportal.in

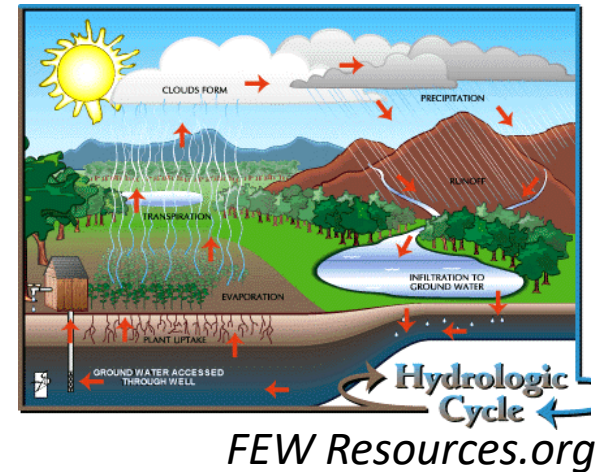
WORLD RESOURCES INSTITUTE

Projected Water Scarcity in 2025



Besoin crucial de suivi du cycle de l'eau

Evaporation composante majeure du cycle de l'eau



Besoin crucial d'information sur le bilan hydrique :

- de **l'échelle régionale, nationale pour décideurs institutionnels** (aménagement, gestion des grands bassins hydrographiques, situations de catastrophe, assurance, etc.)
- Jusqu'à **l'échelle de la parcelle** pour l'exploitant (gestion irrigation, **décision**) et parce que c'est à cette échelle que s'exprime toute la **complexité des phénomènes physiques et biologiques en jeu**.

2 – IRT et évapotranspiration réelle

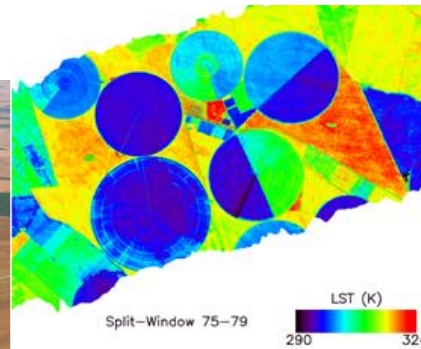
La **température de surface** (T_s) issue des mesures dans l'infrarouge thermique (domaine 8-14 μm) fournit une information clé sur l'**évapotranspiration réelle ETR** (via le bilan d'énergie de la surface)

SEN2FLEX-2005
(Sobrino et al., 2008)

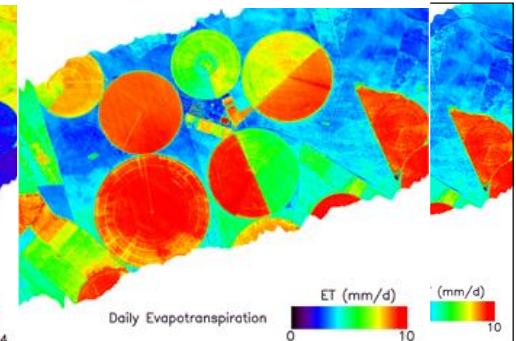
Barrax, Castilla La
Mancha, Espagne



T_s (scanner AHS)

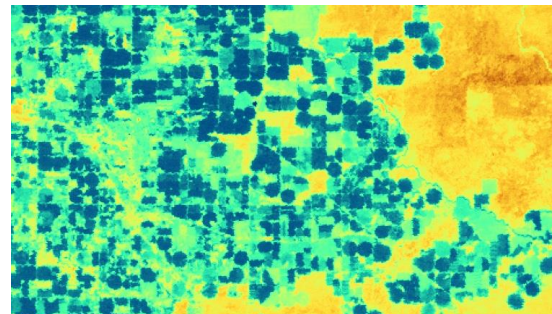


ETR mm/jour

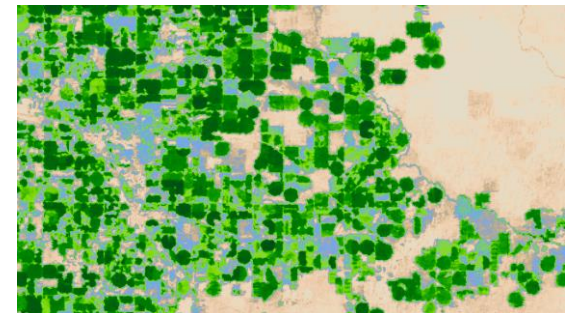


Idaho, USA, August 14, 2000

Allen et al., 2007, *J. Irrig. Drain Eng.*, 133(4)

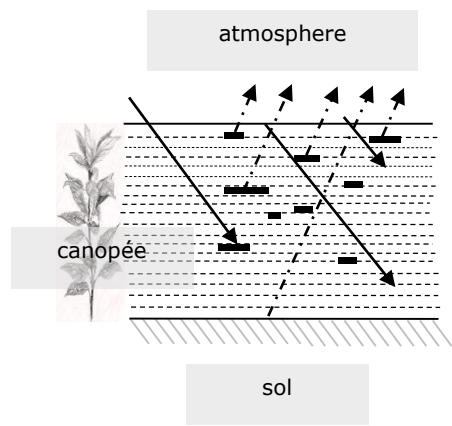


T_s (Landsat 6 NASA GSFC)

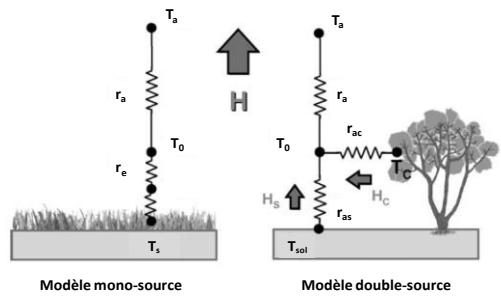


ETR mm/jour

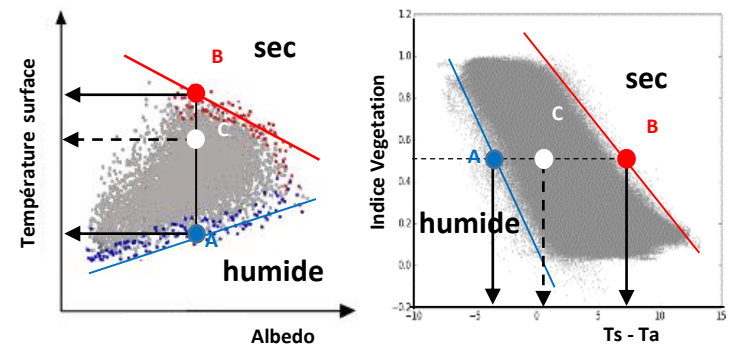
Une vaste panoplie de modèles et méthodes (Boulet et Lagouarde, 2016. In: Observation des Surfaces continentales par télédétection II, Hydrologie continentale, Chapitre 10...



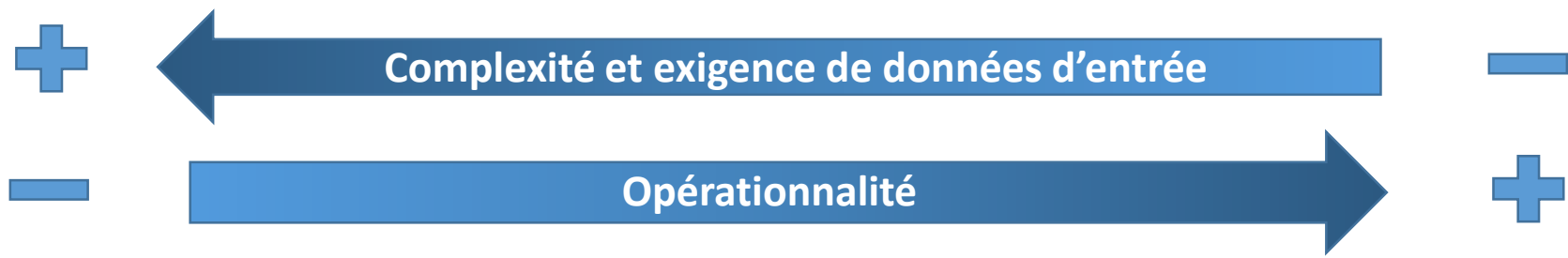
Modèles multi-couches de transfert (MuSICA, SCOPE...) Ogée et al., 2003; Van der Tol et al., 2009...



Modèles résistifs «pixel à pixel» à 1 source et 2 sources (Kustas et al.; SEB : Merlin, HESS, 2013; TSEB, SPARSE : Bahir et al., 2017)

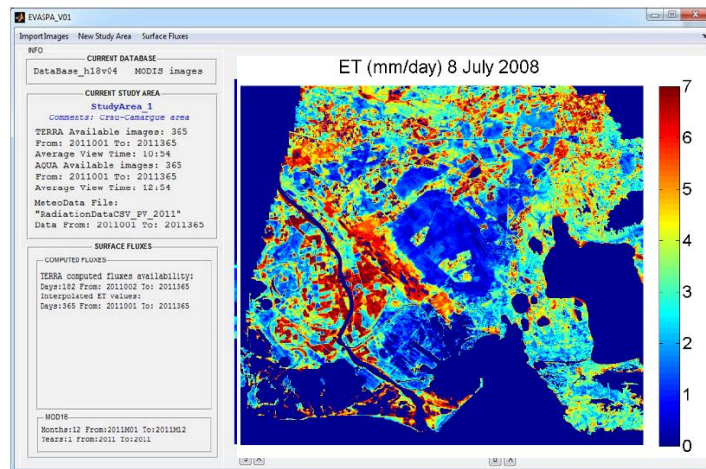


Modèles contextuels (S-SEBI, WDI,...)



EVASPA : approche ensembliste rassemblant plusieurs modèles sur une même plateforme de calcul (Gallego-Elvira et al., 2013)

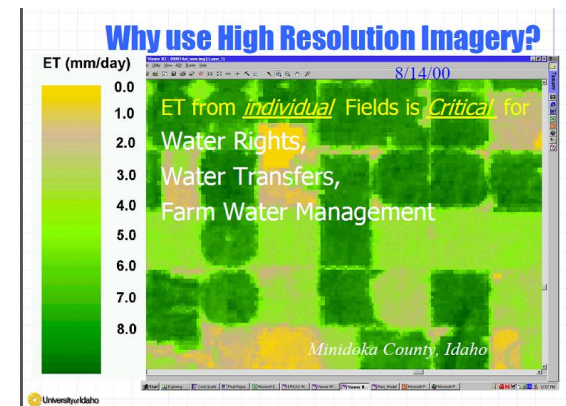
D'importants acquis méthodologiques et des efforts pour développer des outils opérationnels d'estimation et de cartographie de l'ETR



**EVASPA (EVapotranspiration
Assessment form SPAce) France**

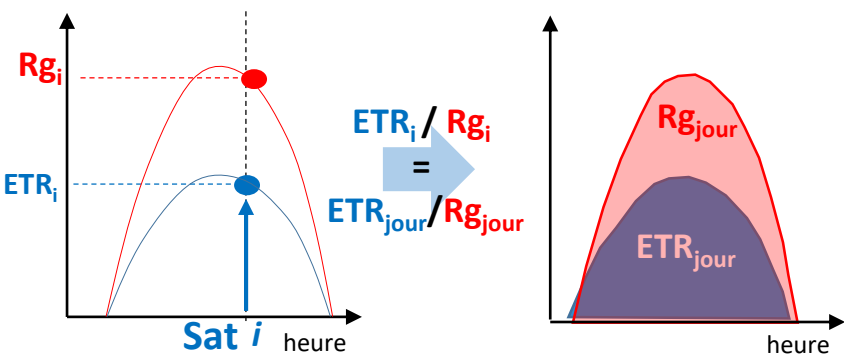
(Gallego-Elvira et al., 2013)

**Applications opérationnelles
développées aux USA pour la gestion
de l'eau**

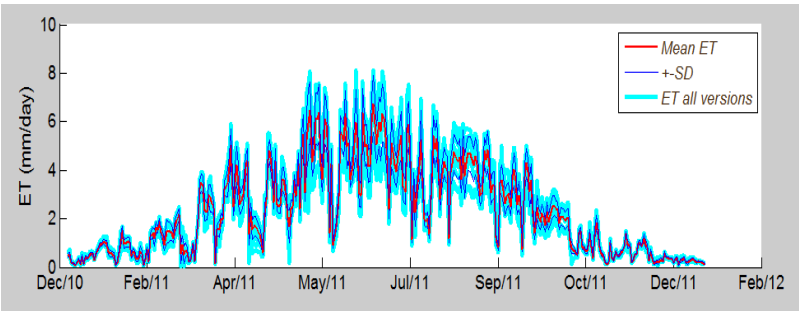


From Richard Allen (METRIC/SEBAL
workshop Fort Collins, Colorado,
February 7, 2005)

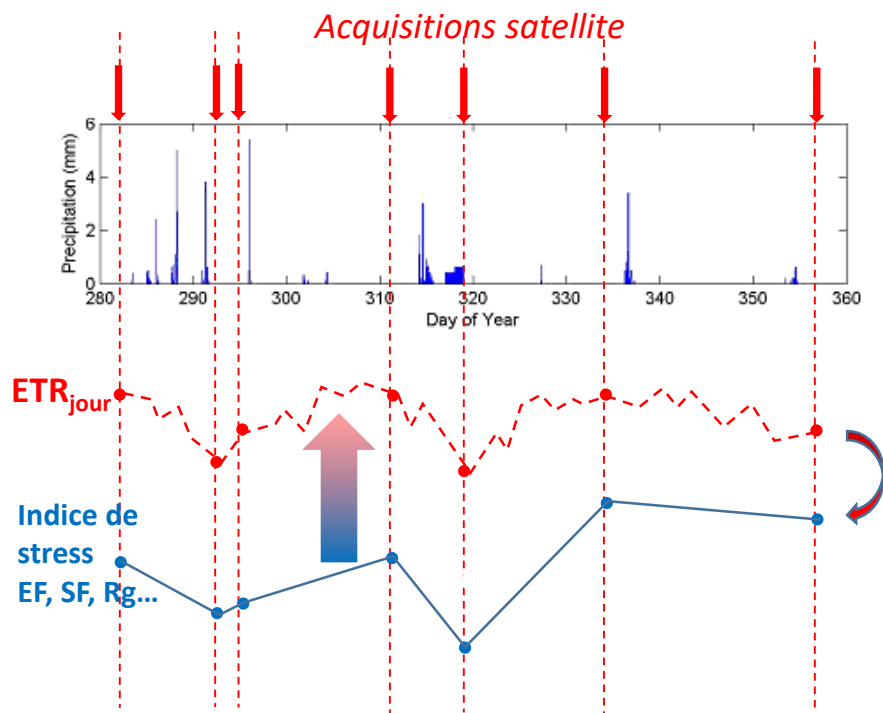
De la mesure instantanée d'ETR au bilan journalier



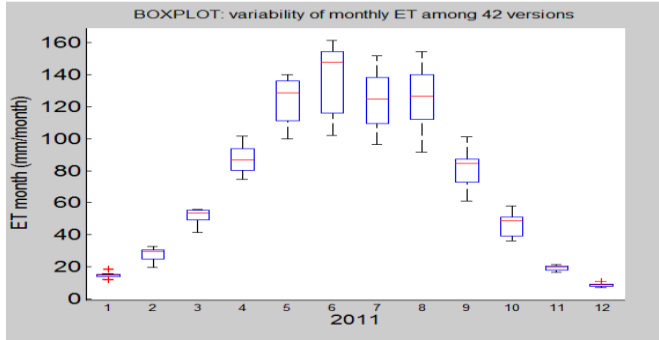
Exemple : Prairie irriguée
(Crau) Satellite MODIS,
approche EVASPA



De la mesure instantanée d'ETR au bilan journalier

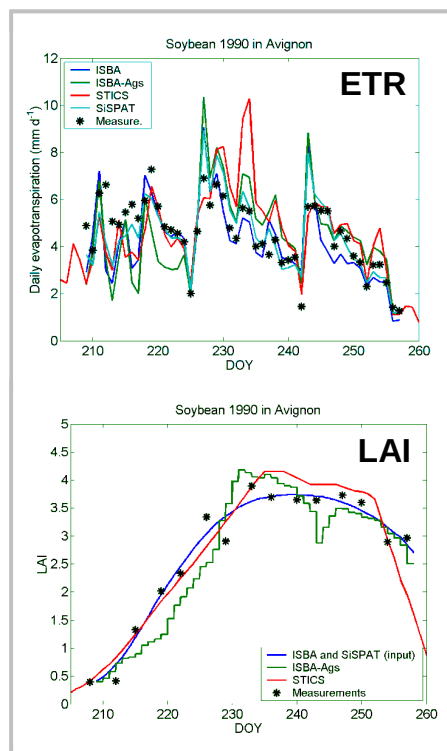


Bilans journaliers



Bilans mensuels

3 – Le besoin d'une mission IRT à haute résolution spatio-temporelle



Forte variabilité temporelle des flux (pluie, irrigations, forçage météo...) et de la Ts

⇒ Besoin de revisite élevée

Le Graal : 1 jour

Besoin de résolution spatiale élevée indispensable pour accéder à la majorité du parcellaire de petite taille

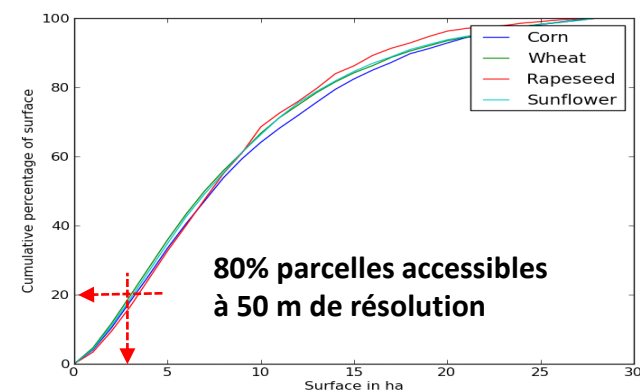
Un objectif : 50 m

Pas de mission satellitaire combinant ces 2 spécifications aujourd'hui

Culture de soja, INRA Avignon, 1990 : comportements très différent dans les domaines de l'IR thermique et du visible



Analyse de la taille du parcellaire : Gers (France)



Parcellaire type de la région de Pondicherry (Inde)



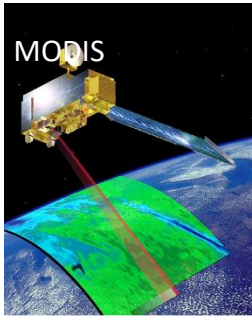
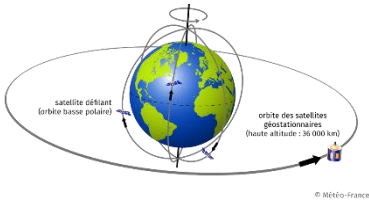
3 – Le besoin d’une mission IRT à haute résolution spatio-temporelle

L’offre actuelle de données satellitaires dans l’IRT : le dilemme résolution/revisite

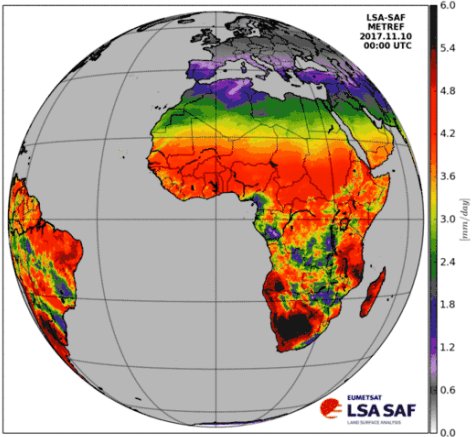
Satellites météorologiques géostationnaires (MSG/SEVIRI, GOES, INSAT, GMS...)

Satellites défilants polaires et résolution kilométrique (MODIS, SUOMI NPP VIRSS...)

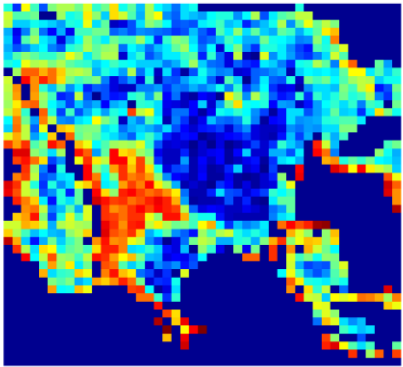
Satellites d’observation de la Terre (IRT sur LANDSAT, ASTER)



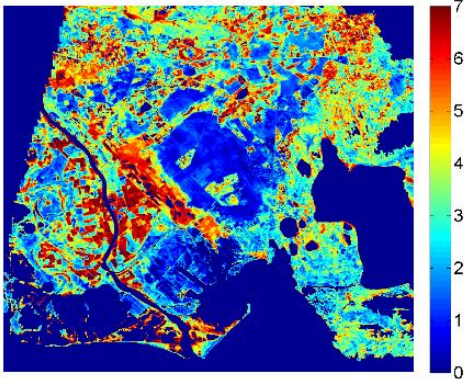
ETR journalière
11/10/2017
EUMETSAT



ET (mm/day) 8 July 2008



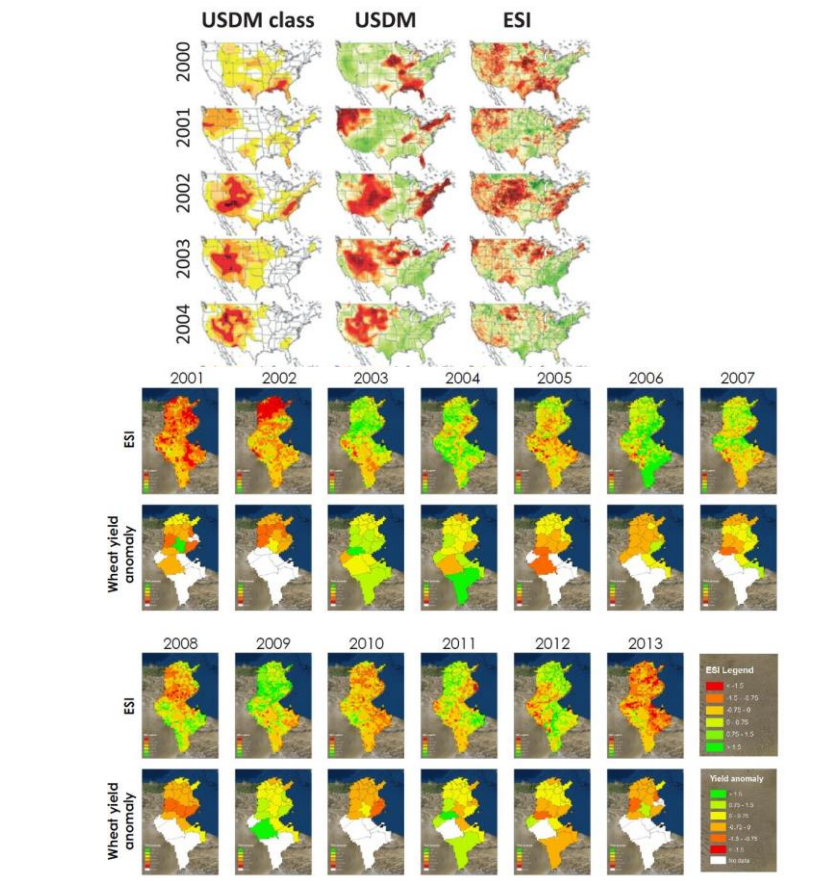
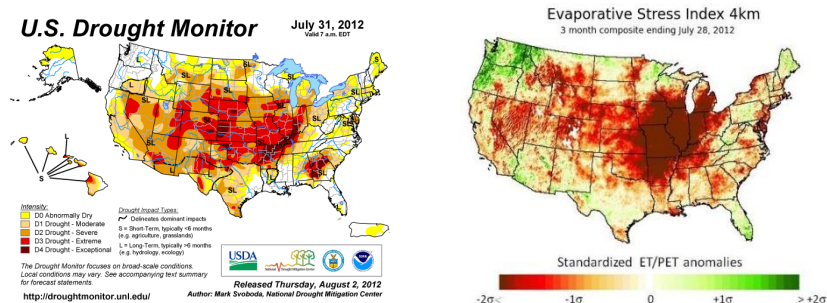
ET (mm/day) 8 July 2008



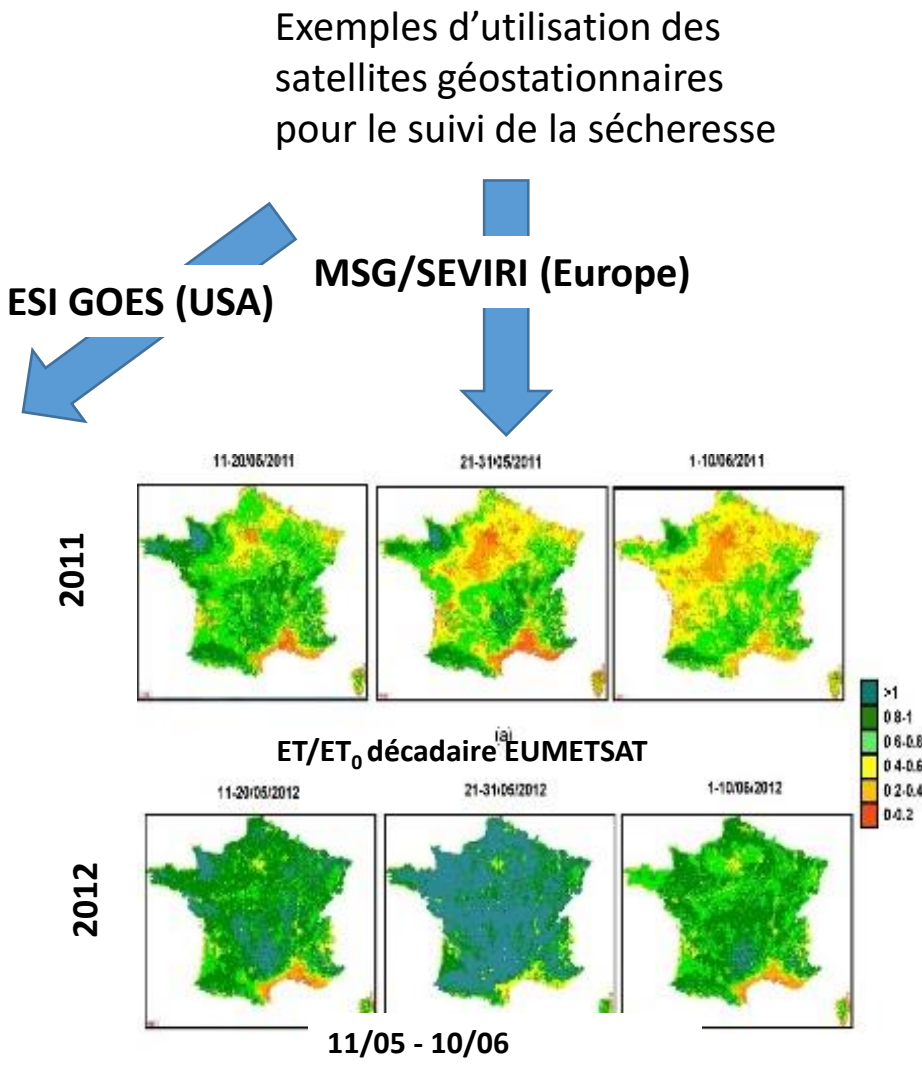
Région de la Crau (SE France)

Résolution	> 3 km	1 km	60 - 120m
Revisite	15 min	1 jour	18 jours

3 – Le besoin d’une mission IRT à haute résolution spatio-temporelle



Prevision de récolte en Tunisie (ARSET Remote Sensing Training Program)

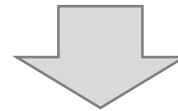
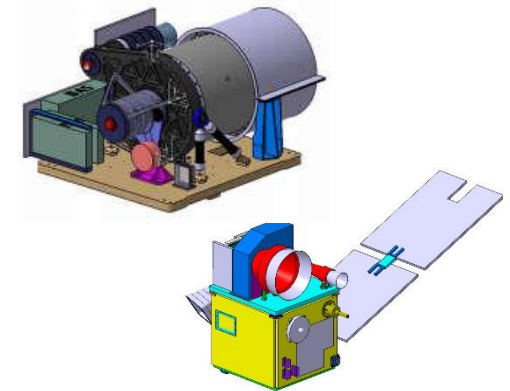


Un savoir faire, mais un manque de données à haute résolution spatio-temporelle !

2 – Le projet de mission spatiale TRISHNA dans l'IRT

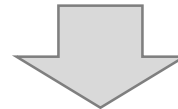
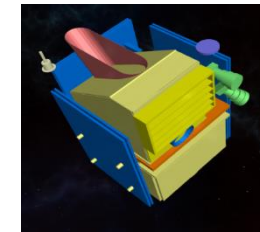
Communauté française très impliquée dans l'IRT depuis les années 90 et dans plusieurs propositions de mission spatiale IRT à haute résolution spatio-temporelle :

Projets **IRSUTE** (CNES, Seguin et al., 1999), **MISTIGRI** (CNES, Lagouarde et al., 2013), **TIREX** (ESA, Sobrino & Lagouarde, 2010)



THIRSTY

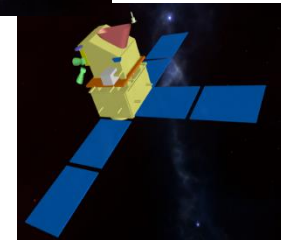
CNES – JPL/NASA (Crebassol et al., 2012)



TRISHNA

(Thermal infraRed Imaging Satellite for High-resolution Natural resource Assessment)

Collaboration CNES - ISRO entre les agences spatiales française et indienne

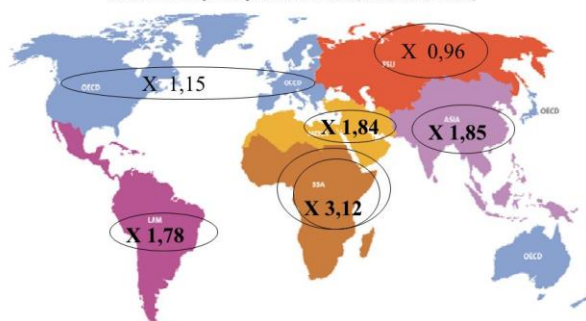


Agriculture/foresterie

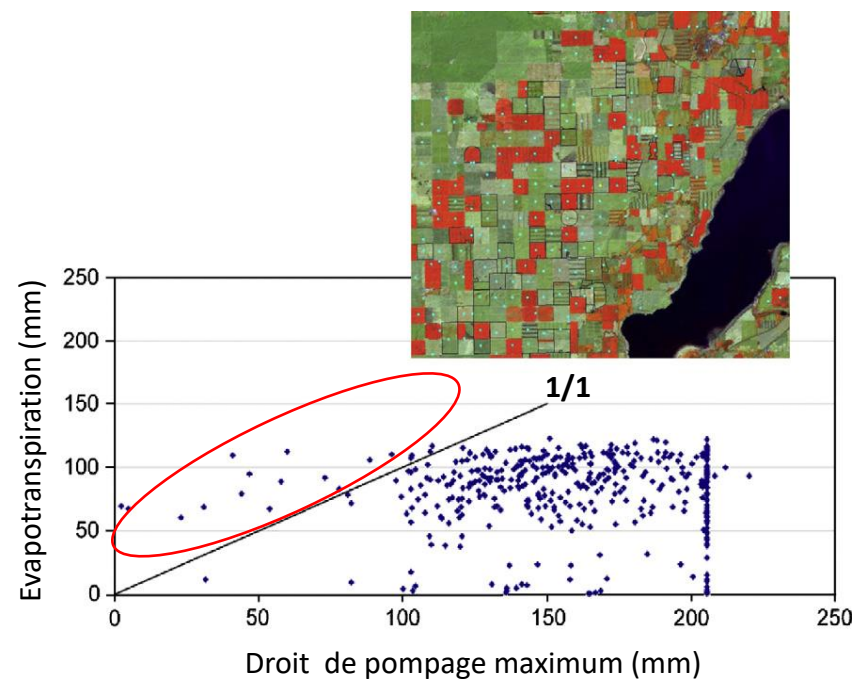
- *détection du stress hydrique / estimation des besoins en eau / avertissement et optimisation de l'irrigation*
- *gestion des ressources en eau / estimation du pompage*
- *suivi de la croissance des cultures / production agricole, sécurité alimentaire (cf. 2011 G20)*
- *impact des pratiques agricoles sur l'utilisation de l'eau, adaptation au changement climatique*
- *risques de feux de forêts, détection du gel...*



Augmentation des besoins alimentaires 2000 / 2050 :
Grosses disparités continentales
Source chiffres : Prospective Agrimonde INRA-CIRAD (extrait du tableau 11, AGO)



Source : D'après Carpenter et al.: Millennium Ecosystem Assessment, (Volume 2, Appendix A), Island Press, Washington, 2005.



4 – Applications: stress sur les écosystèmes continentaux et utilisation de l'eau

Suivi des cycles biogéochimiques

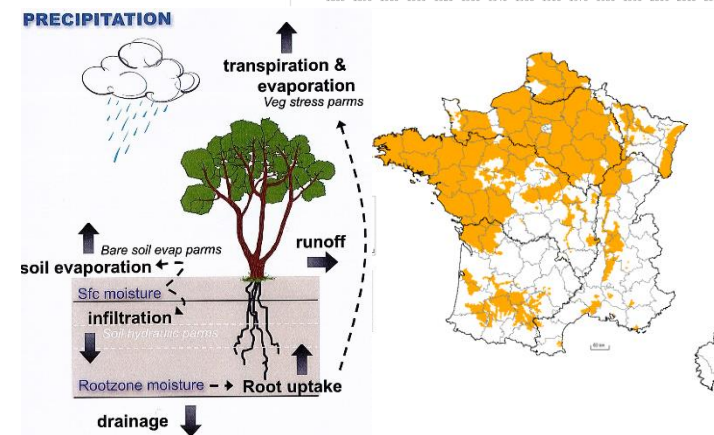
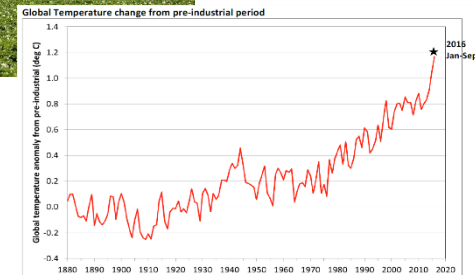
- *qualité de l'eau*
- *pollution et qualité des sols*
- *cycle du carbone ↔ processus de réchauffement global*
- *permafrost en zone arctique*

Hydrologie

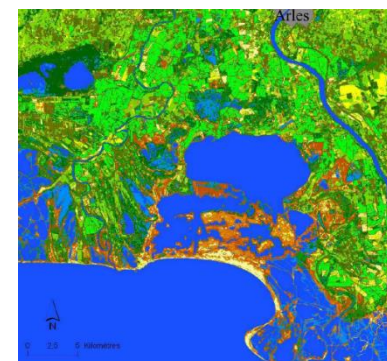
- *bilan d'eau à l'échelle de petits bassins et biogéochimie*
- *infiltration, ruissellement, écoulements*

Suivi des écosystèmes, écologie

- *microclimats, biodiversité*
- *impacts de la sécheresse sur la végétation naturelle*



Un exemple d'application en hydrogéologie : apport de l'estimation de l'ETR (par EVASPA) dans un modèle de recharge des nappes et l'évaluation de la ressource en eau souterraine (modèle à réservoir GARDENIA du BRGM)



Zone de la Crau

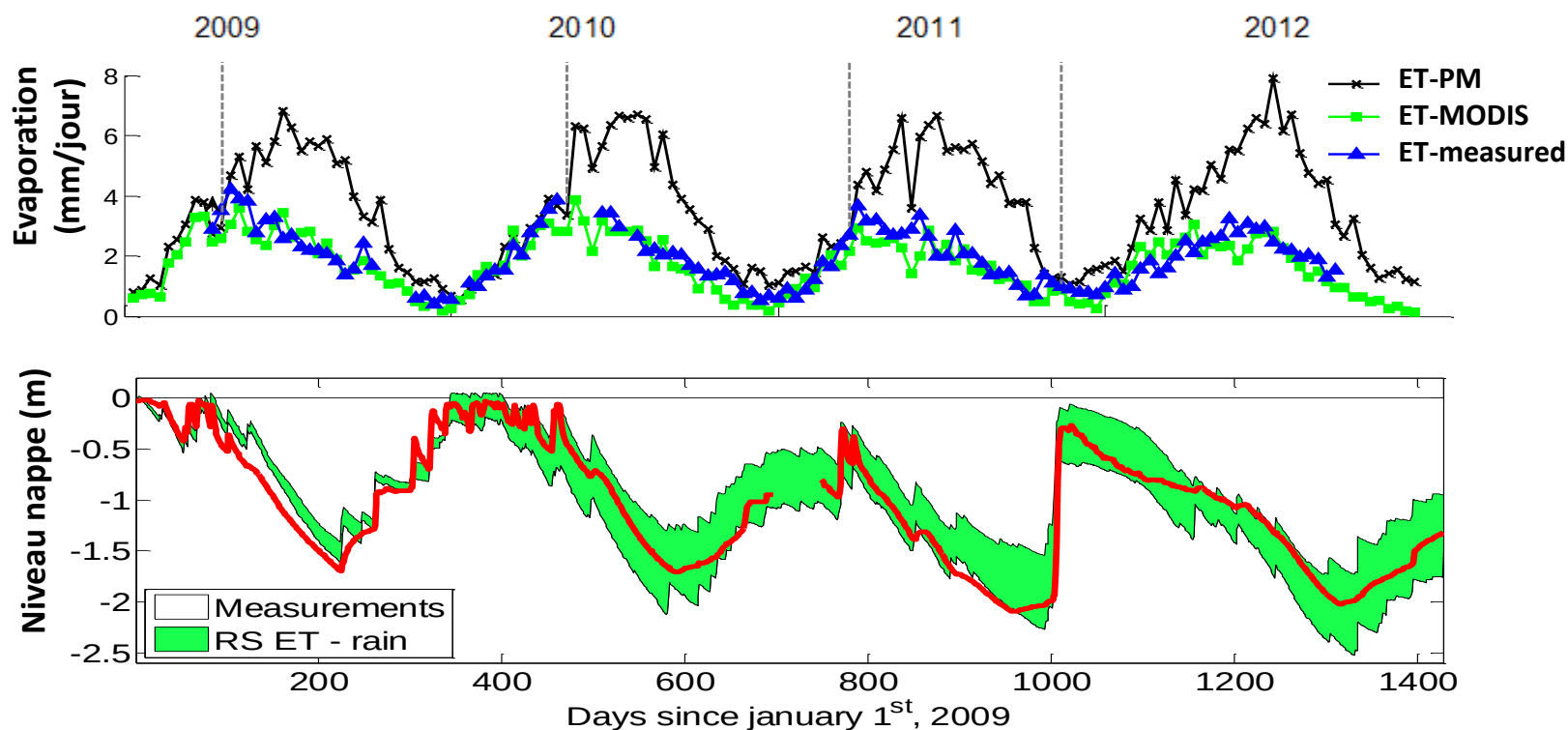
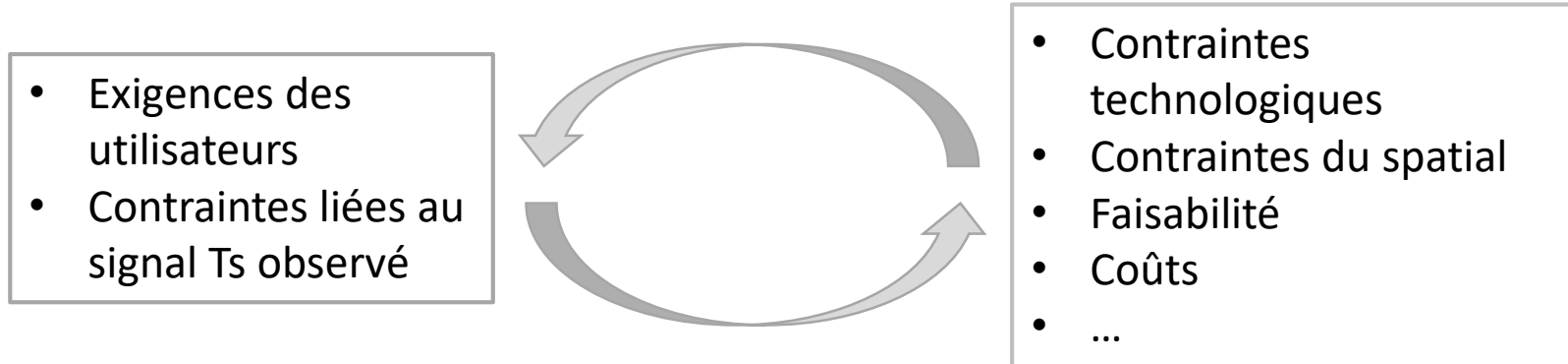


Illustration de quelques études récentes sur le signal thermique en appui de la définition des caractéristiques de la mission



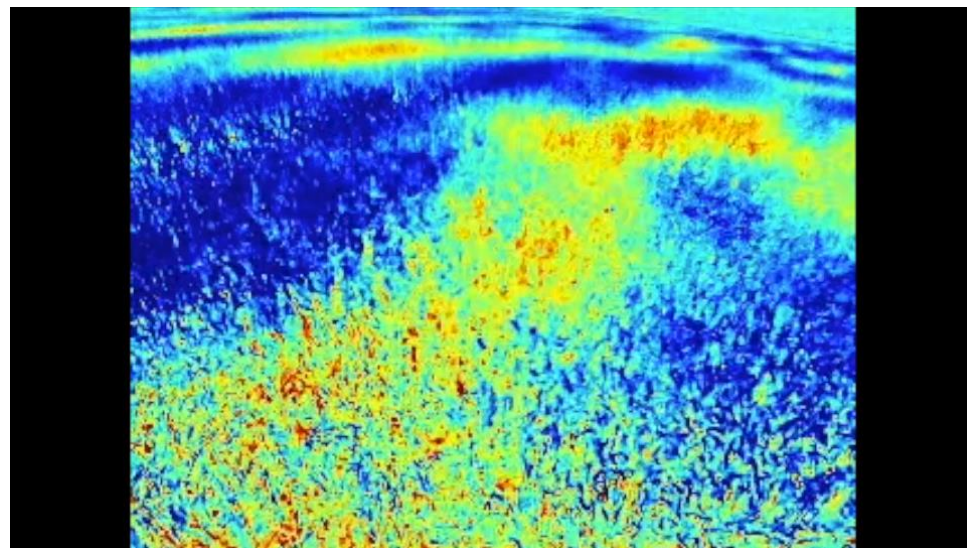
Impact de la turbulence de l'écoulement sur la température de surface



Honamis sur un couvert végétal (effet mécanique du vent sur la canopée)

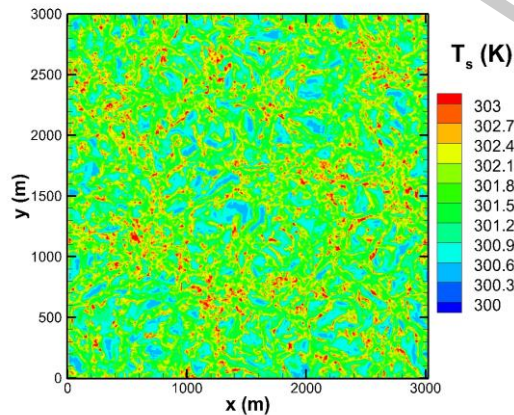
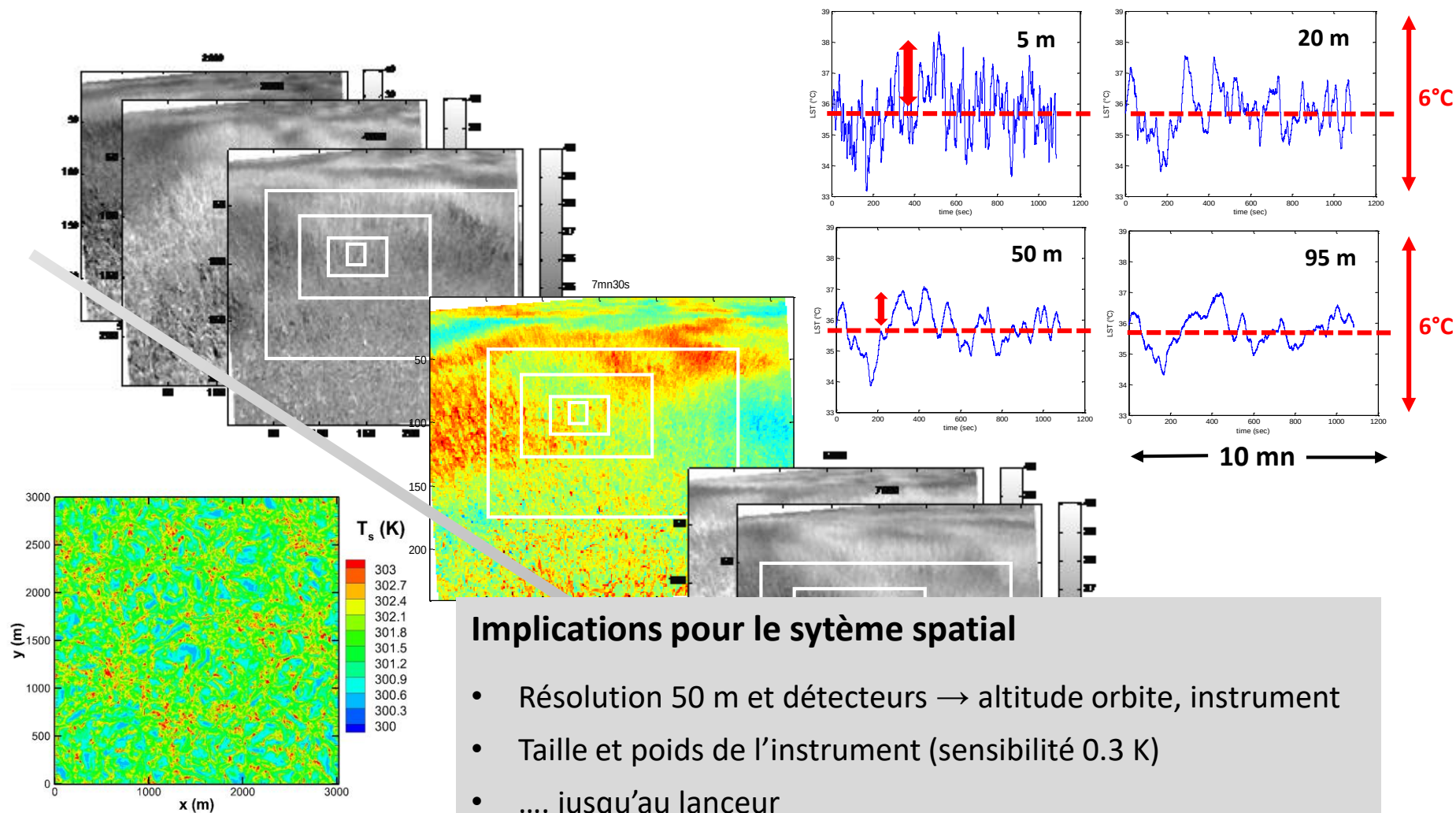


Maïs sec, 29/09/2011, Landes



**Structures thermiques (en accéléré
8 sec de visualisation pour 1 min)**

Impact de la turbulence de l'écoulement sur la température de surface

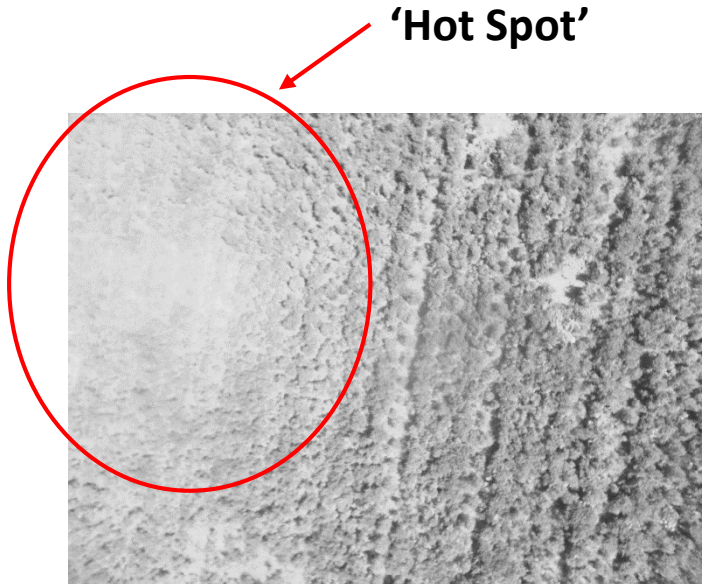
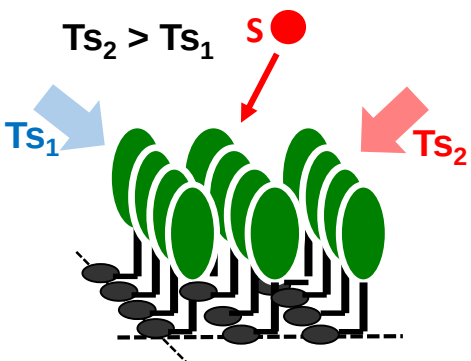


Simulation turbulence
LES pin maritime

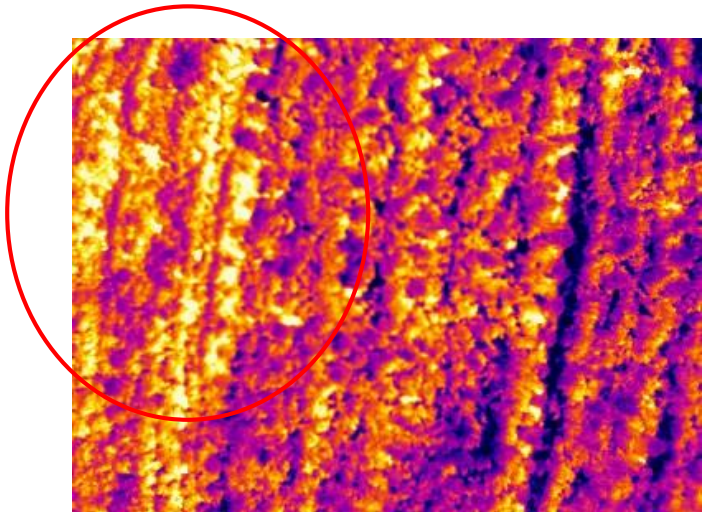
Implications pour le système spatial

- Résolution 50 m et détecteurs → altitude orbite, instrument
- Taille et poids de l'instrument (sensibilité 0.3 K)
- jusqu'au lanceur
- Calibration/validation

Analyse des effets directionnels



Canal Rouge



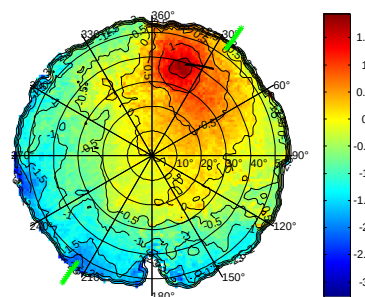
IRT

Analyse des effets directionnels

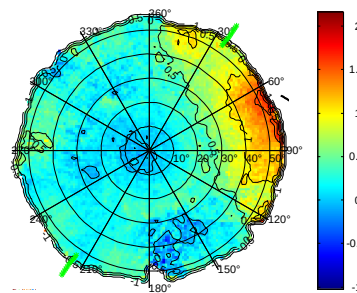
Caractérisation expérimentale



Impact position solaire (pin maritime)

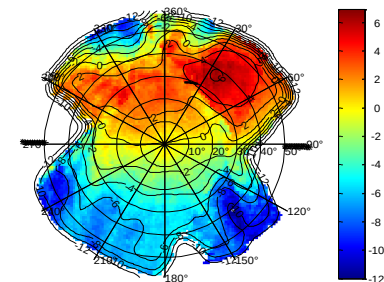


13:14 LST
4 septembre 1995

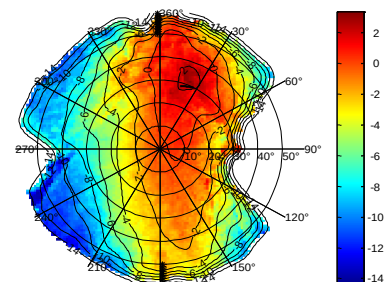


15:53 LST
4 septembre 1995

Impact des rangs (vignoble Médoc)



E - W



N - S

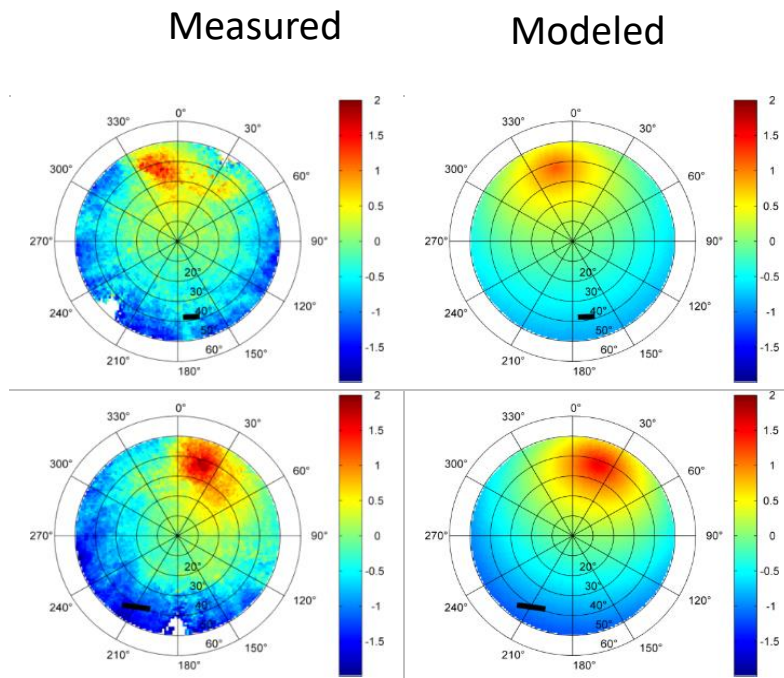
Analyse des effets directionnels

Avancées récentes dans la **modélisation** de l'anisotropie directionnelle...

Mais besoin de travaux de recherche plus poussés :

- Forme du hot spot mal connue $\Rightarrow$ utilisation de Ts au voisinage du HS difficile
- Hot spot très pénalisant en zone intertropicale (ex. Inde)

Maritime Pine stand

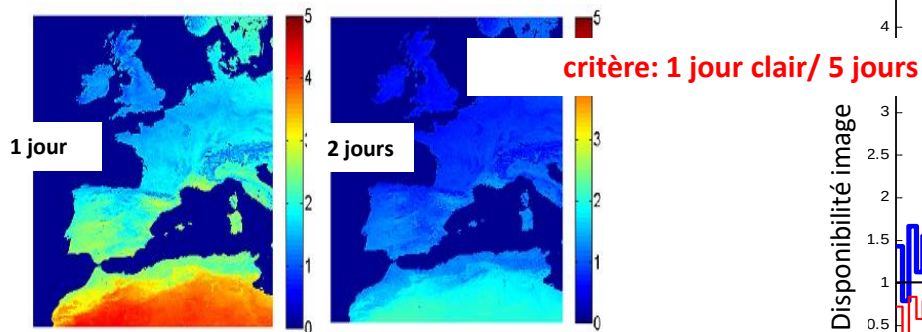


Implications pour le système spatial

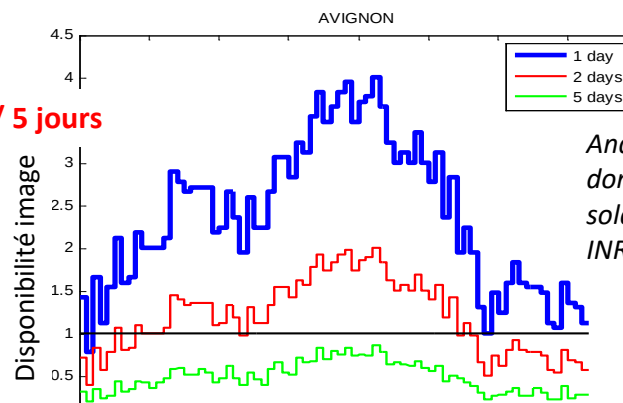
- Choix d'une orbite permettant des observations dans des configurations géométriques différentes pour s'affranchir en partie de la présence du HS sur les images
- Protocoles de calibration validation à ré-examiner

Spécification de la revisite

1 Ennuagement et disponibilité des images

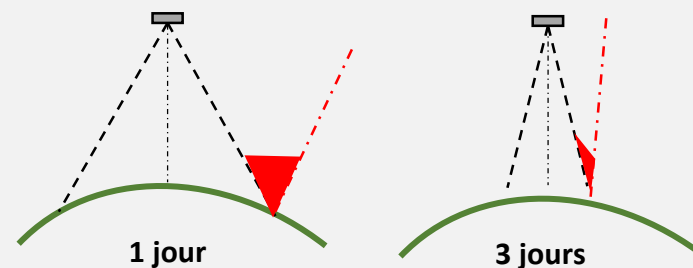
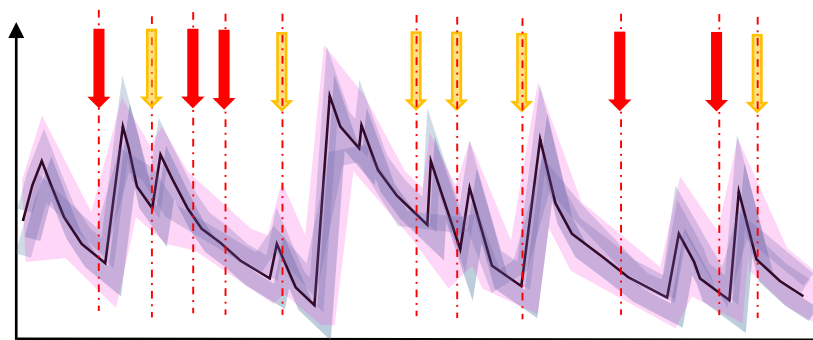


Analyse des masques nuages MODIS 2000-2009



Analyse statistique d'un jeu de données de rayonnement solaire horaire (1993-2009, INRA AGROCLIM) sur la France

2 Limiter l'impact des incertitudes des modèles et de la mesure de Ts

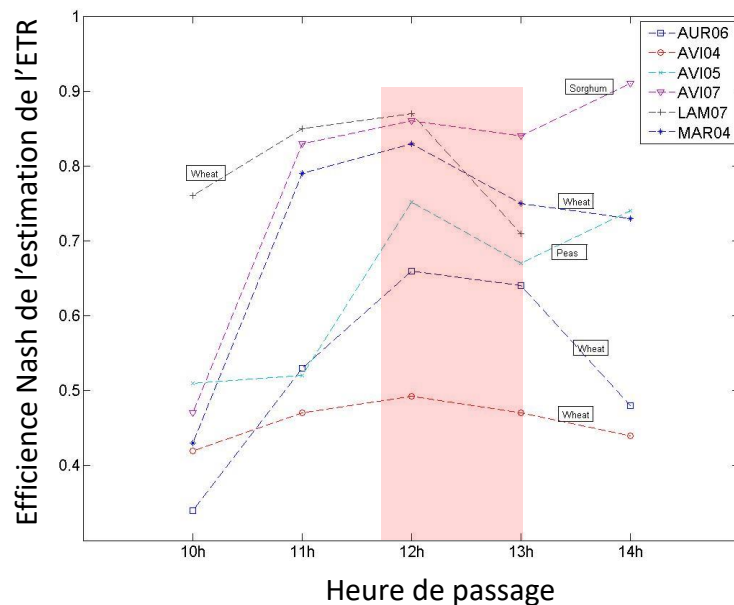


Implications pour le système spatial

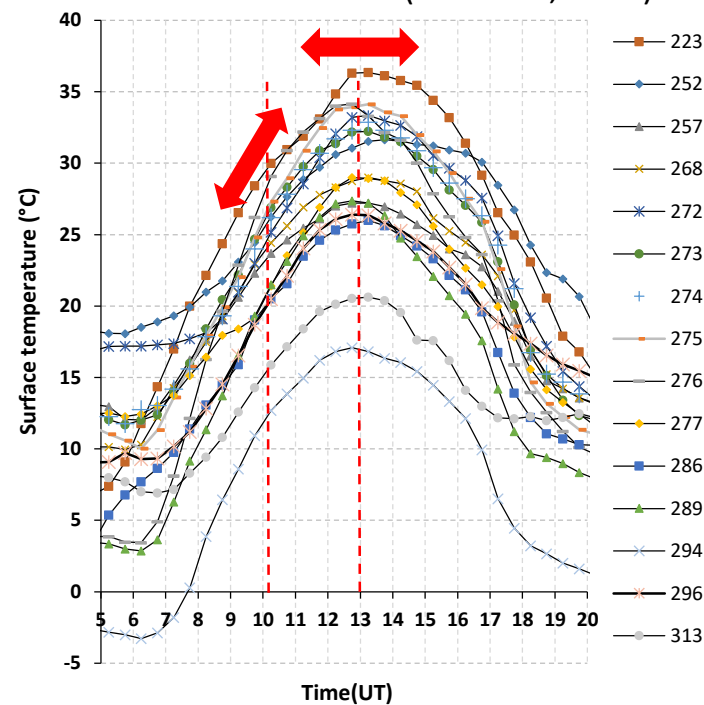
- 1 jour optimum, mais objectif de couverture globale impossible avec un seul satellite
- Revisite à **3 jours** seule compatible avec la fauchée et les conditions angulaires de visée

Spécification de l'heure de passage

Sensibilité du calcul de l'évapotranspiration pour diverses heures de passage



Evolution de Ts sur pin maritime à différentes dates (Bilos site, INRA)



Un passage autour de 13h apporte le maximum de sensibilité sur l'estimation de l'ETR et facilite la comparaison avec les modèles fonctionnant à des pas de temps semi-horaires ou horaires

Implications pour le système spatial

- Trouver un compagnon pour le lancement

Communauté scientifique française très motivée et nombreux autres travaux préparatoires (non illustrés ici) soutenus par le CNES (TOSCA) pour définir et conforter les caractéristiques de la mission TRISHNA et les méthodologies d'exploitation des futurs produits.

Les étapes prioritaires à venir pour les scientifiques (français et indiens) en vue de préparer l'exploitation de la mission :

- Produits
- Réseau sol de sites de calibration/validation

Valoriser une offre croissante de données : élaboration et test de scénarios d'utilisation des données IRT

- combinaison avec les modèles
- Complémentarité avec d'autres sources de données spatiales par ex. microondes (humidité des sols) en combinaison avec l'IRT
- ...

Autres communautés impliquées dans le projet TRISHNA :

- P** • Stress sur les écosystèmes continentaux et utilisation de l'eau
- P** • Eaux côtières et continentales
 - Urbain
 - Terre Solide (géologie, volcanisme)
 - Cryosphère (Himalaya en particulier)
 - Atmosphère

AGRICULTURE

Contexte international : autres projets (ESA, ECOSTRESS USA)

AGRICULTURE

Un lancement de TRISHNA à l'horizon 2024-2025...