

# **METEOPOLE-FLUX :** **un observatoire des flux terrestres** **d'eau, d'énergie, et de CO<sub>2</sub>**

Jean-Christophe Calvet,  
Jean-Louis Roujean, Sibó Zhang,  
William Maurel, Bruno Piguet,  
Joël Barrié, Gilles Bouhours, Jacques Couzinier,  
Olivier Garrouste, Sandrine Girres, David Suquia,  
Diane Tzanos

**Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère**  
**Toulouse**  
**18 janvier 2016**



# L'historique

## ■ Introduction

- Longue expérience du CNRM dans le suivi à long terme de prairies et jachères des terrasses de la Garonne :

- **MUREX (1995-1997)** **SMOSREX (2001-2012)** **METEOPOLE-FLUX (2012- )**  
(site FLUXNET FR-Mau)



# L'historique

## ■ Objectifs

- Tester de nouvelles techniques instrumentales
  - MUREX : Calvet et al. (Ann. Geophys. 1999)
  - SMOSREX : Lemaître et al. (TGRS 2004) ; de Rosnay et al. (RSE 2006)
- Valider les modèles de surface
  - MUREX : Calvet et al. (AFM 1998, Ann. Geophys. 1999) ; Gonzalez-Sosa et al. (J. Hydrol. 2001) ; Gouasmi et al. (Phosynthetica 2009)
  - SMOSREX : Albergel et al. (Biogeosciences 2010), Decharme et al. (JGR-Atm. 2011)
- Valider les techniques d'assimilation de données
  - MUREX : Calvet et al. (JAM 1998, JHM 2000) ; Seuffert et al. (GRL 2003)
  - SMOSREX : Sabater et al. (JHM 2007, AFM 2008) ; Albergel et al. (HESS 2010) ; Rudiger et al. (JGR-Atm. 2010) ; Barbu et al. (Biogeoscience 2011) ; Parrens et al. (HESS 2014)
- Valider les algos de télédétection (SMOSREX)
  - Holmes et al. (GRL 2006) ; Saleh et al. (IJRS 2004, RSE 2006, RSE 2007) ; Gruhier et al. (GRL 2008) ; Escorihuela et al. (TGARS 2007, GRSL 2009, RSE 2010)

# L'historique

- Objectifs **~30 articles en 17 ans**
    - Tester de nouvelles techniques instrumentales
      - MUREX : Calvet et al. (Ann. Geophys. 1998)
      - SMOSREX : Calvet et al. (GRL 2006), Rosnay et al. (RSE 2006)
    - Valider les modèles de surface
      - MUREX : Calvet et al. (AFM 1998, Ann. Geophys. 1999) ; **Gonzalez-Sosa** et al. (J. Hydrol. 2001) ; **Gouasmi** et al. (Phosynthetica 2009)
      - SMOSREX : **Albergel** et al. (Biogeosciences 2010), Decharme et al. (JGR-Atm. 2011)
    - Valider les techniques d'assimilation de données
      - MUREX : Calvet et al. (JAM 1998, JHM 2000) ; Seuffert et al. (GRL 2003)
      - SMOSREX : **Sabater** et al. (JHM 2007, AFM 2008) ; Albergel et al. (HESS 2010) ; Rudiger et al. (JGR-Atm. 2010) ; Barbu et al. (Biogeoscience 2011) ; **Parrens** et al. (HESS 2014)
    - Valider les algos de télédétection (SMOSREX)
      - **Holmes** et al. (GRL 2006) ; **Saleh** et al. (IJRS 2004, RSE 2006, RSE 2007) ; **Gruhler** et al. (GRL 2008) ; **Escorihuela** et al. (TGARS 2007, GRSL 2009, RSE 2010)
- 9 thèses (3 CNRM, 4 CESBIO, 1 INRA, 1 LTHE)**

# METEOPOLE-FLUX

## ■ Objectifs

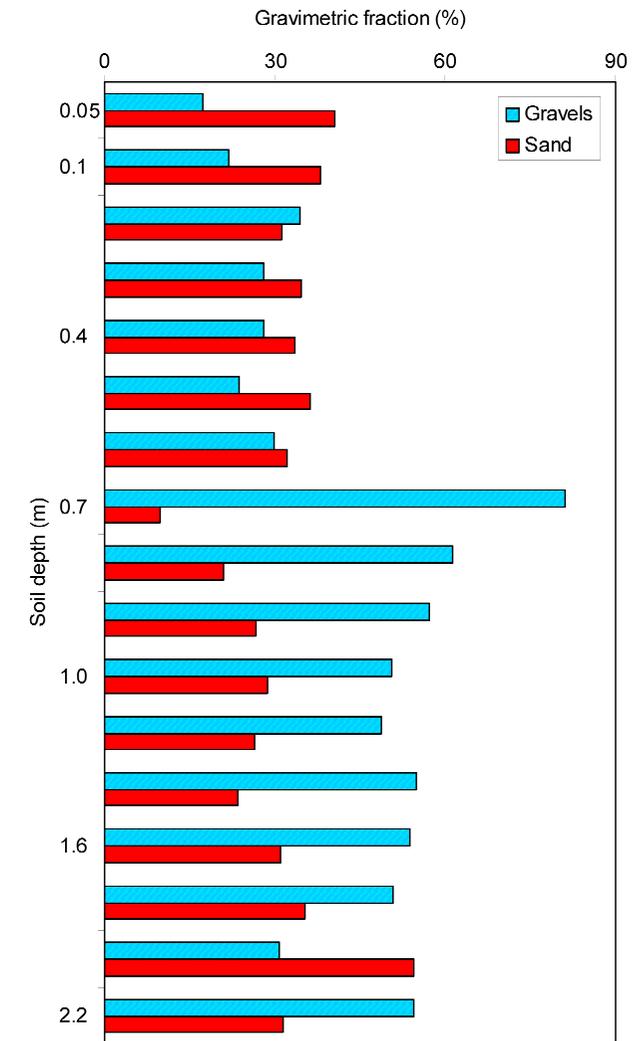
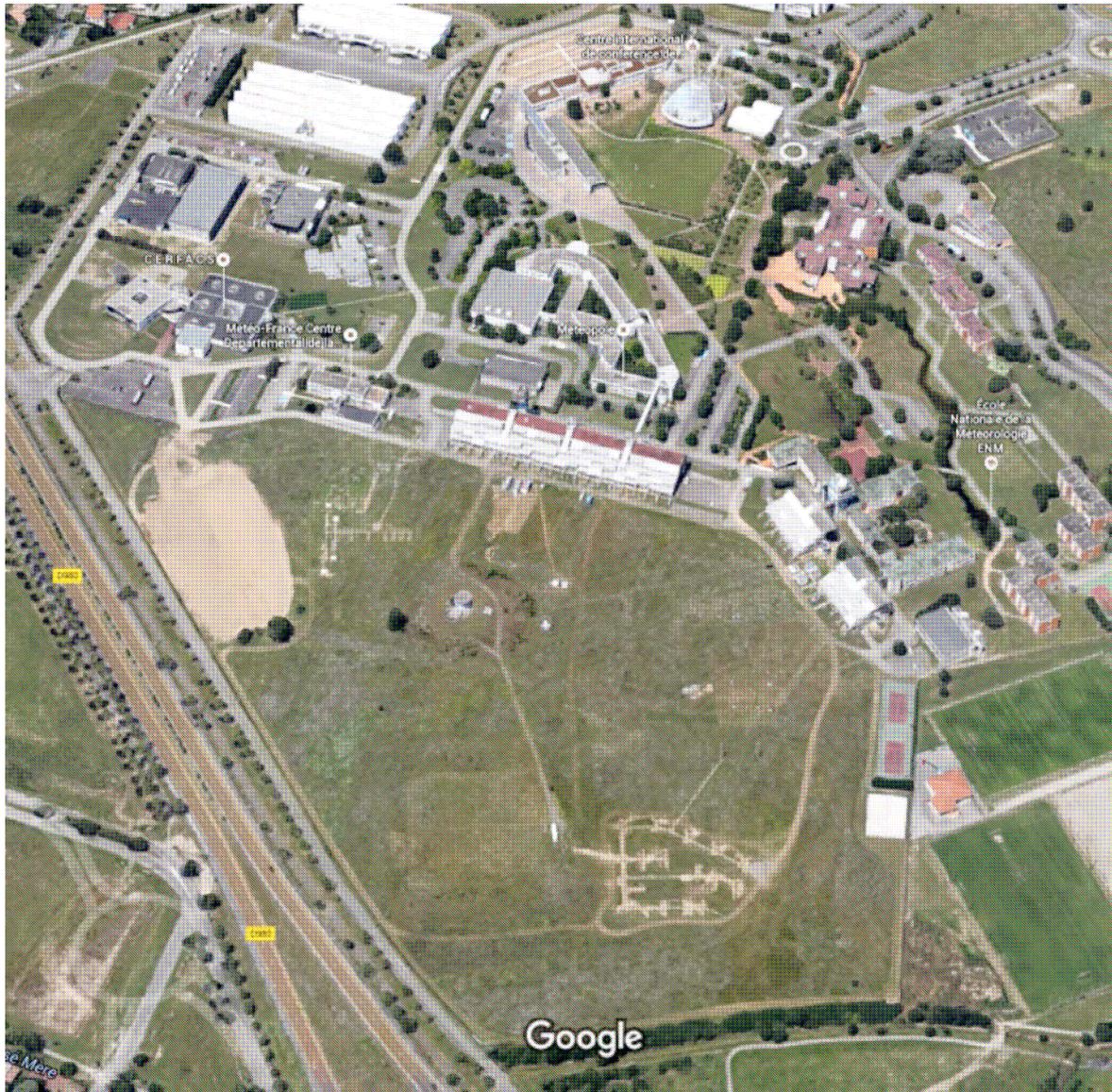
- Tester de nouvelles techniques instrumentales
- Valider les modèles de surface
- Valider les techniques d'assimilation de données
- Valider les algos de télédétection

## ● Nouveautés

- Transfert radiatif dans la végétation
- Réflectométrie spectre solaire (photomètre)
- Réflectométrie GNSS
- Valider la prévision des variables de surface AROME et ARPEGE
- Ilot de chaleur urbain de Toulouse
- CAL/VAL de nouvelles missions satellitaires (S2, FLEX, ...)
- ... sur le long terme



# > 10 ha de jachère sur sol caillouteux



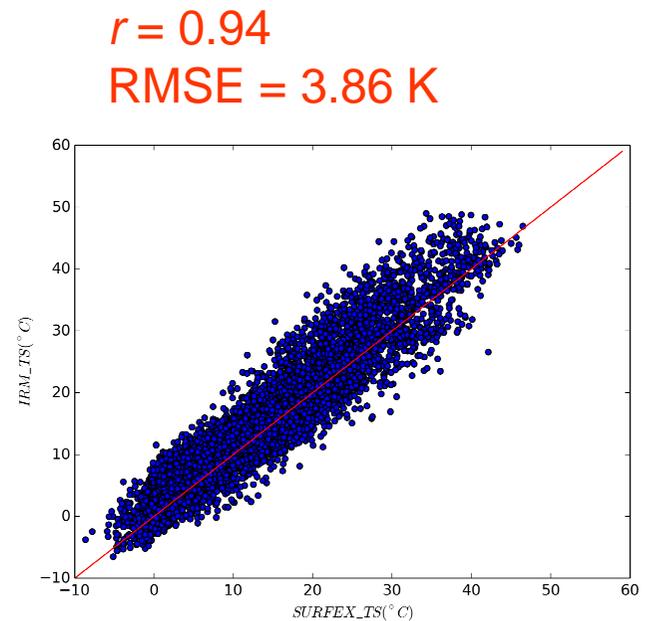
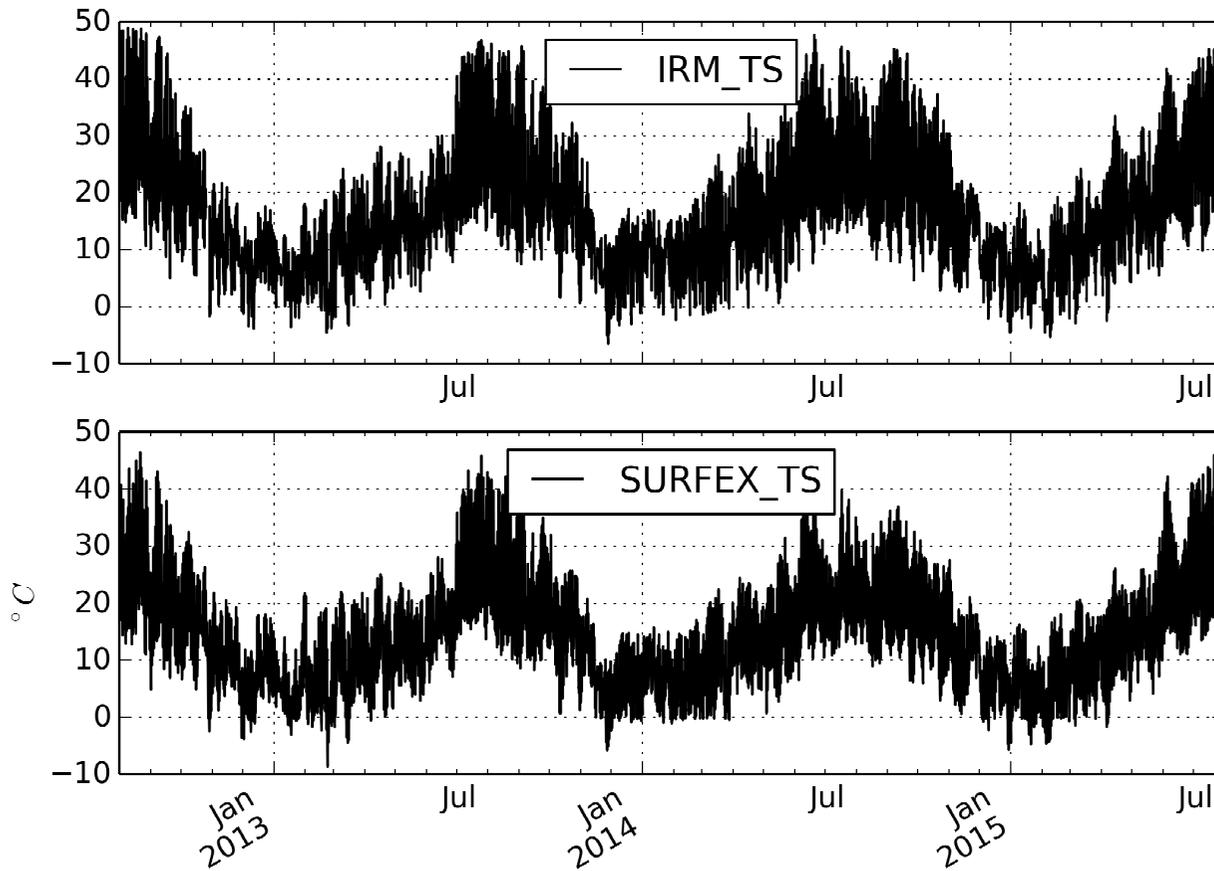
## Déjà 3 ans de données

- Flux
  - Turbulents : H, LE, CO<sub>2</sub>
  - Chaleur dans le sol : G
  - Radiatifs : Rn, SWd, SWu, LWd, LWu, PARd, PARu, % PAR diffus
- Profils dans le sol
  - Humidité volumique, température
- Végétation
  - réflectance et absorption du rayonnement solaire
  - albédo
  - température de surface
- depuis juillet 2015 :
  - réflectométrie GNSS

**(voir la présentation de William Maurel mercredi)**

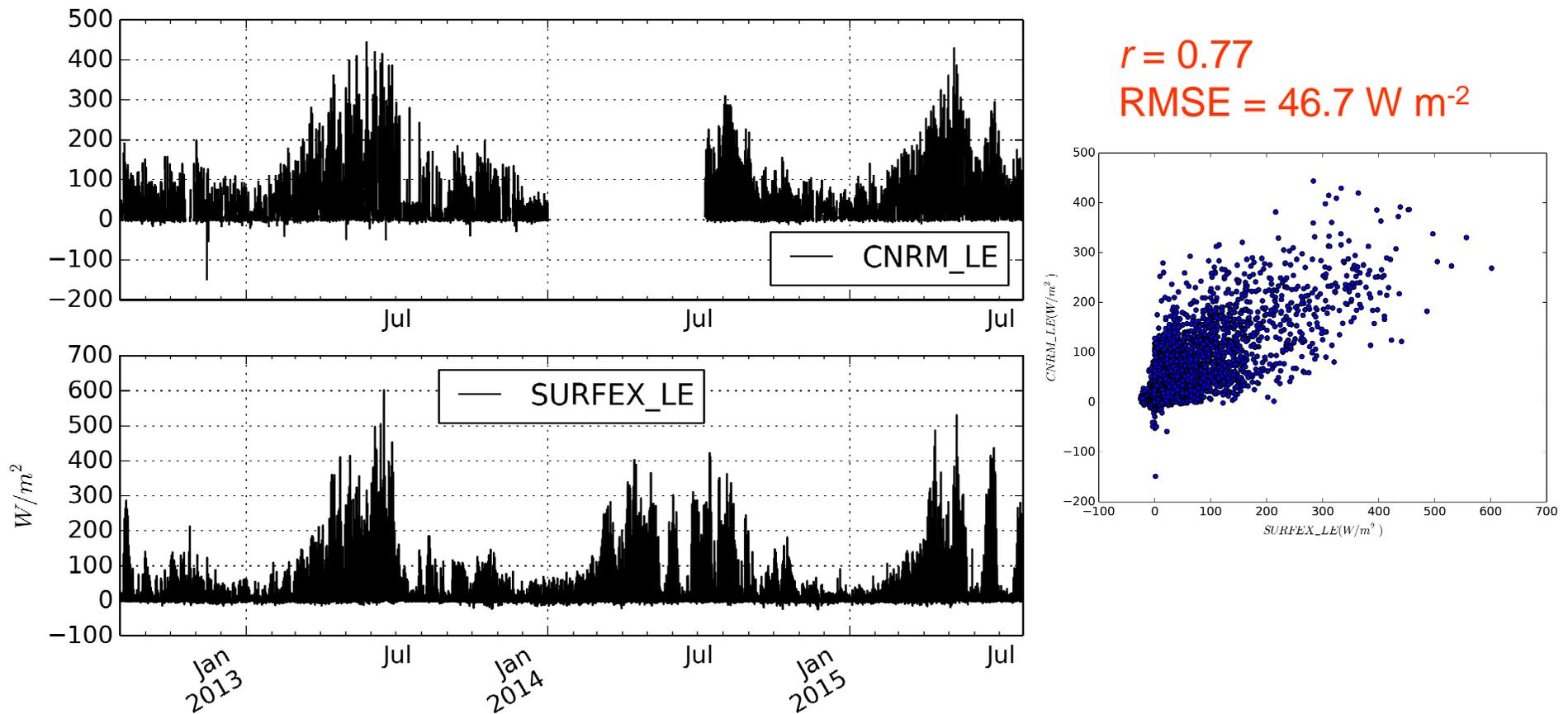
# Simulations ISBA-A-gs (SURFEX+SAFRAN)

- Température de surface



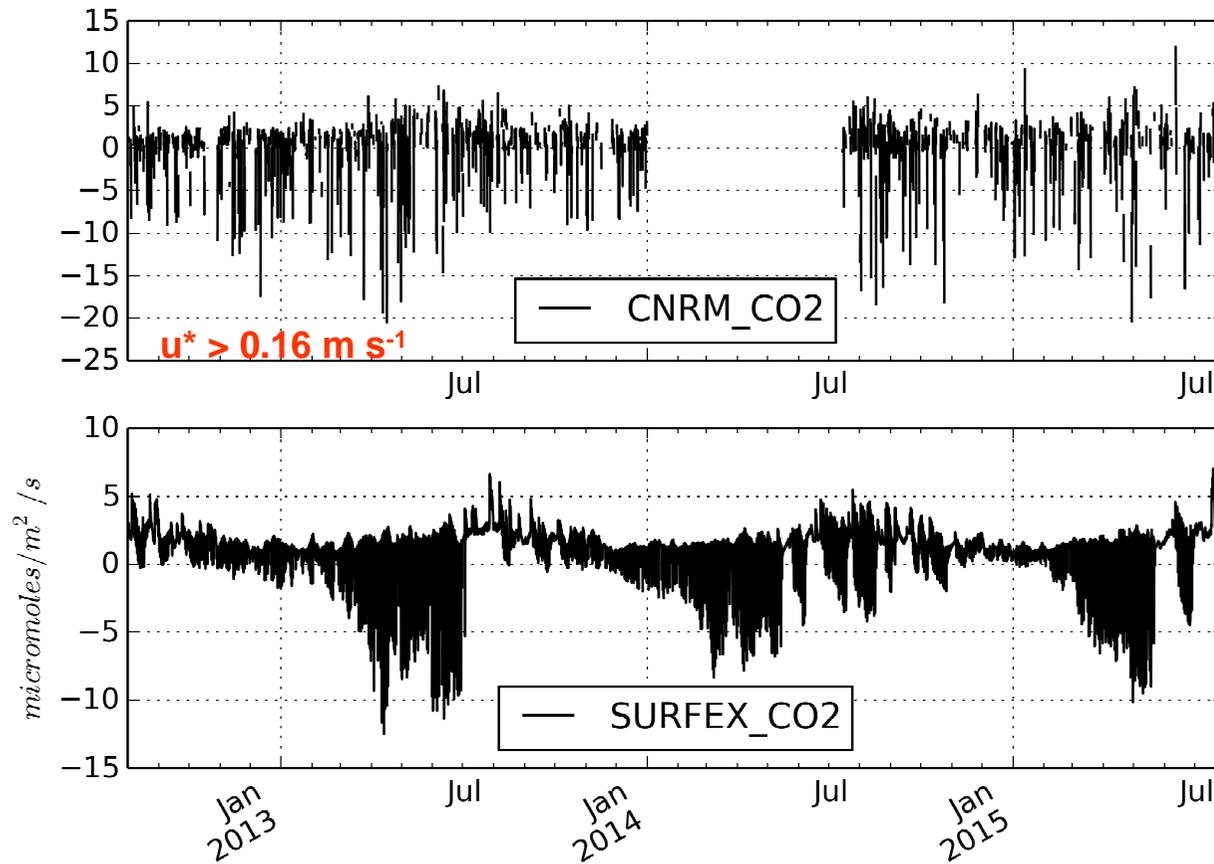
# Simulations ISBA-A-gs (SURFEX+SAFRAN)

## ■ Evapotranspiration

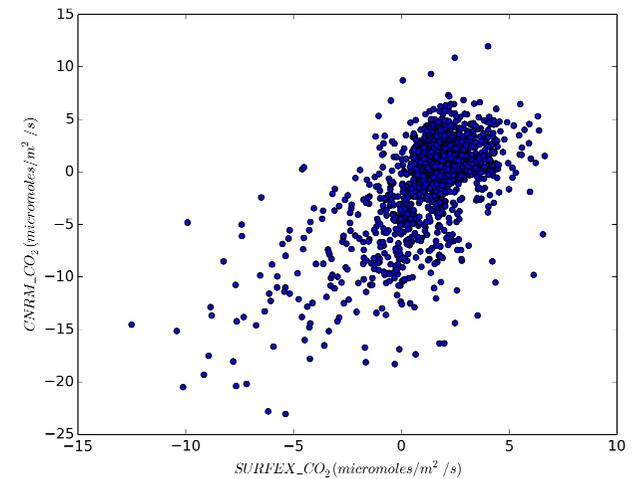


# Simulations ISBA-A-gs (SURFEX+SAFRAN)

- Flux net de  $\text{CO}_2$  (Modèle  $R_{\text{eco}}$  calé sur SMOSREX, Albergel et al. 2010)

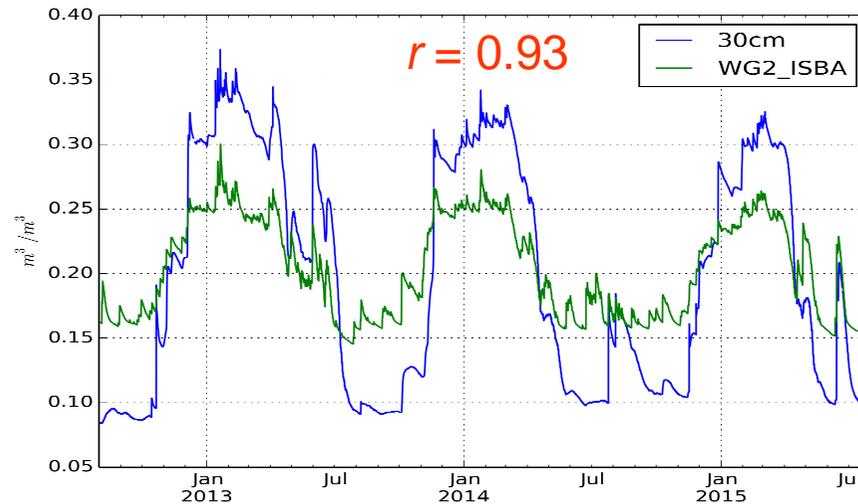


$r = 0.62$   
 RMSE =  $3.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

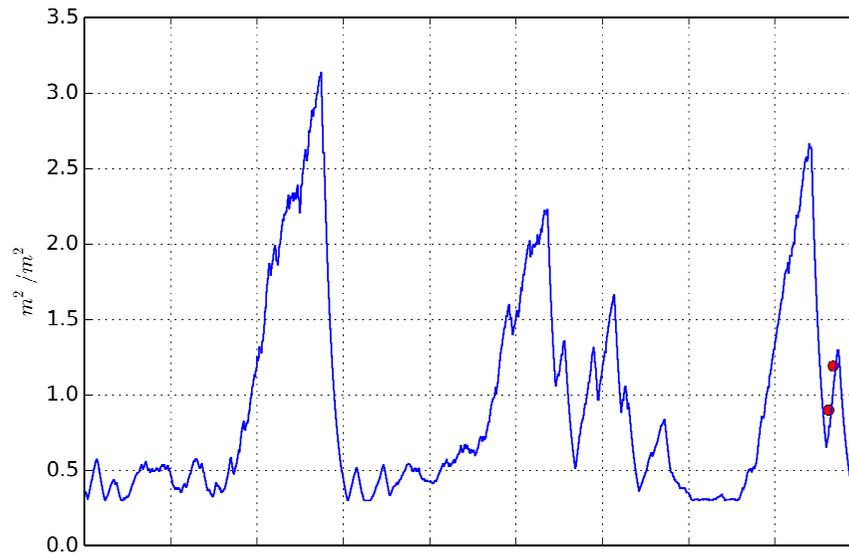


# Simulations ISBA-A-gs (SURFEX+SAFRAN)

- Humidité du sol dans la zone racinaire

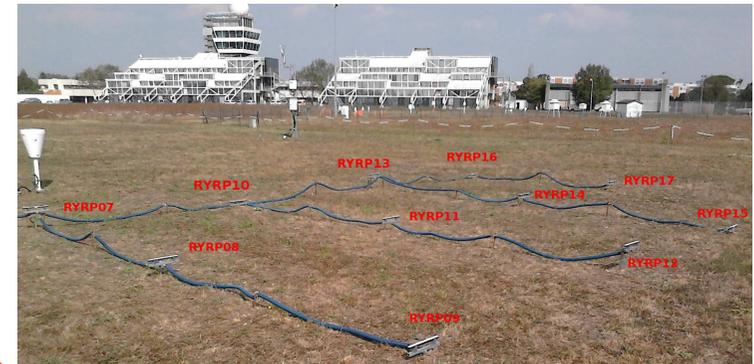
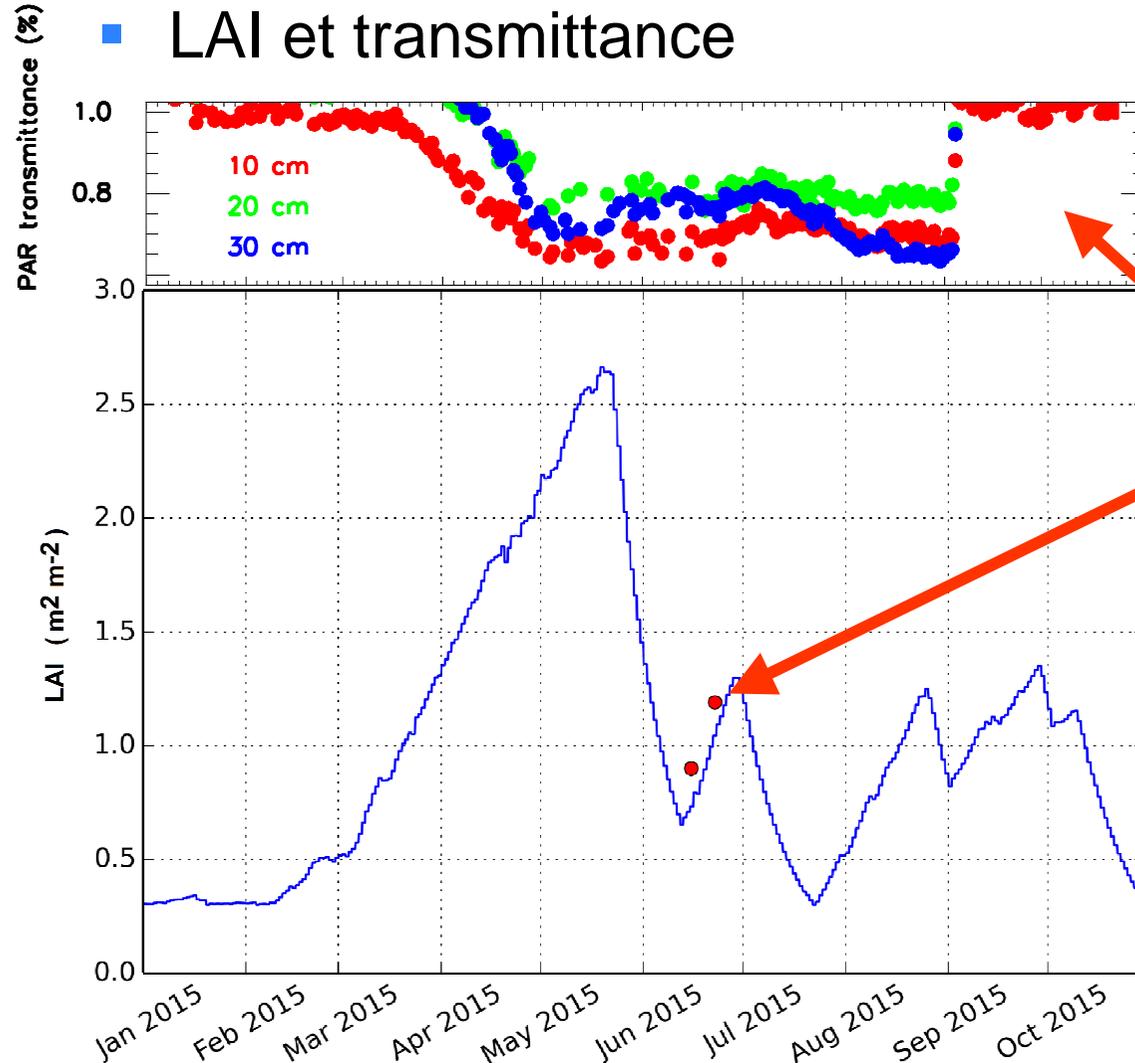


- LAI



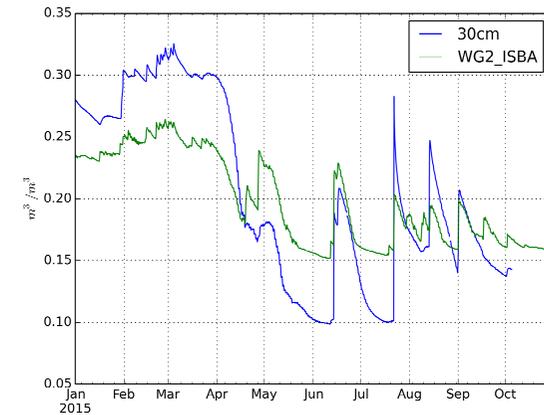
(modèle)

# Simulations ISBA-A-gs (SURFEX+SAFRAN)



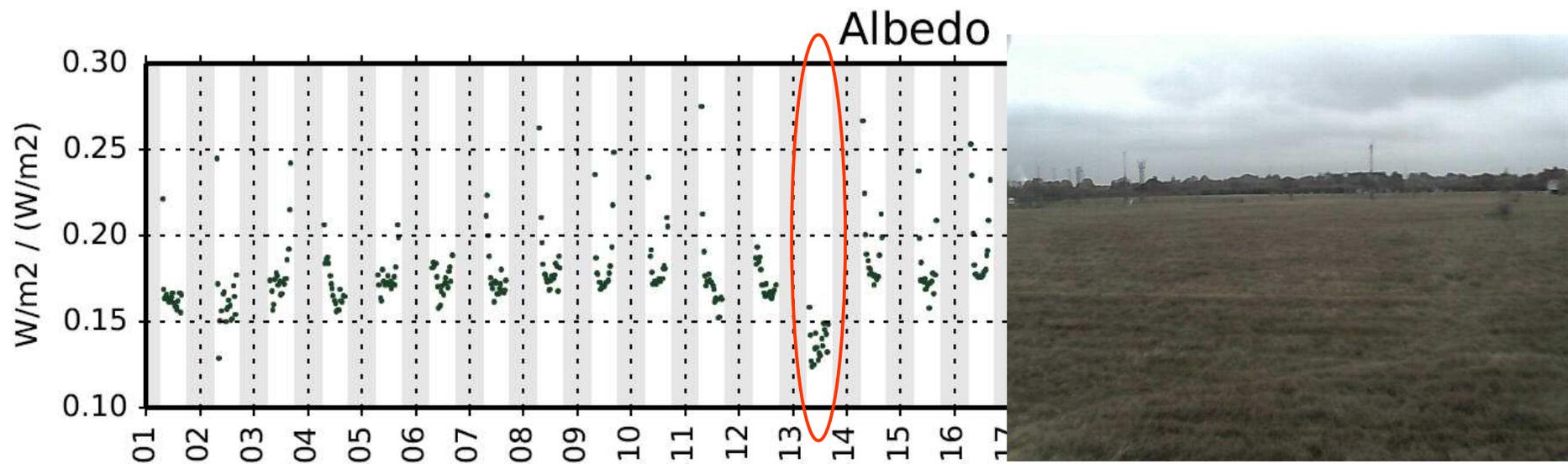
Mesure du PAR sous la végétation

Mesures destructives



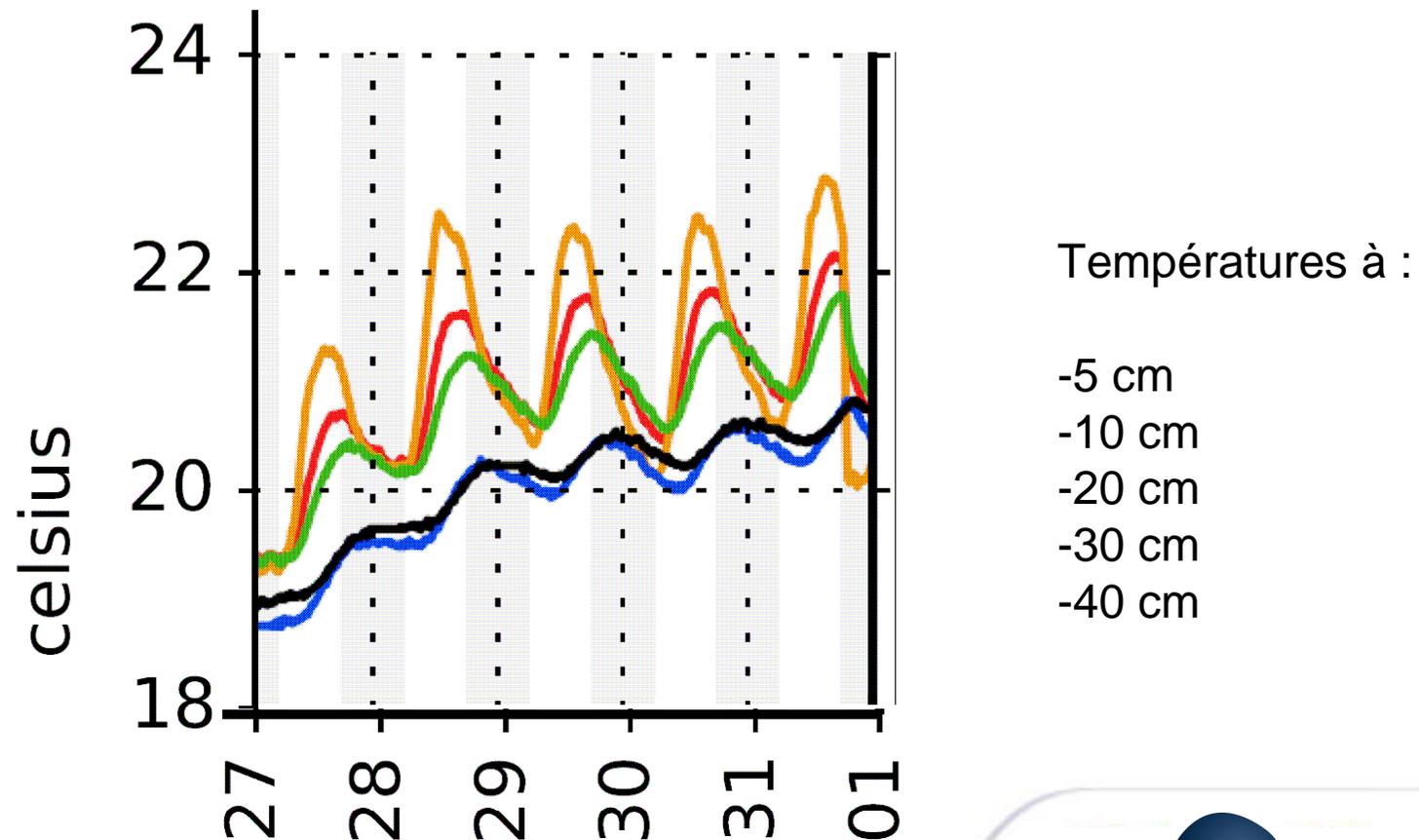
## Quelques événements

- Albédo de surface : fortes variations en conditions humides
  - Exemple : le 13 octobre 2015



## Quelques événements

- Pluies froides : refroidissement très rapide du sol
  - Exemple : le 31 août 2015



# Réflexométrie GNSS



Méthode :

**Rapport signal / bruit**

(Larson et al., GPS Sol. 2008)

$\psi$  : multipath relative phase

Pour de faibles vitesses de  
variation d'altitude

$\theta$  = élévation du satellite

$\phi$  = phase

$$SNR_{mpi} = A_{mpi} \cos \left( \frac{4\pi H_o}{\lambda} \sin(\theta) + \phi_{mpi} \right)$$

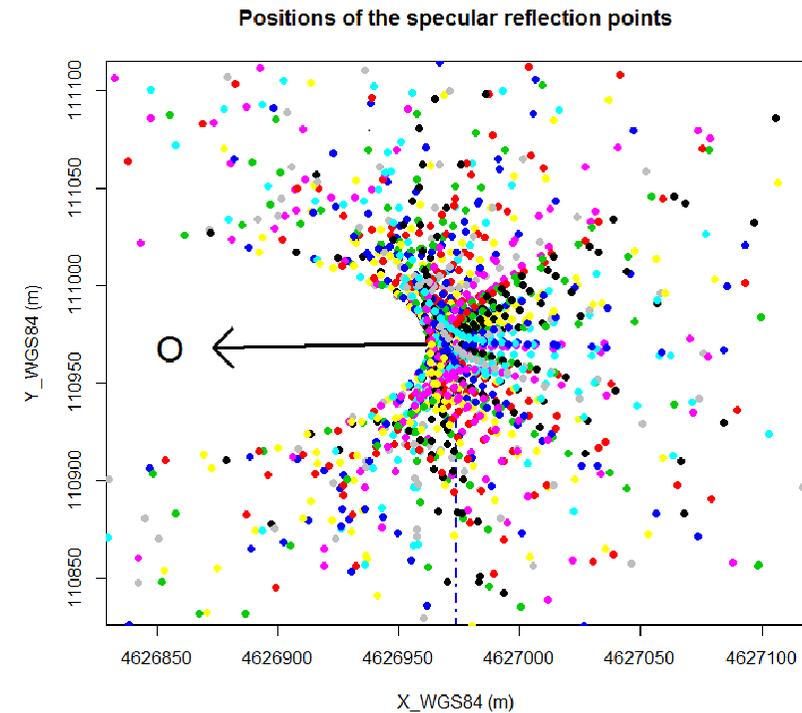
# Réflexométrie GNSS



## Projet PRISM (RTRA, J. Darrozes –GET)

Antenne Leica installée en juin 2015

29.4m de hauteur ; Exemple : 01.08.2015



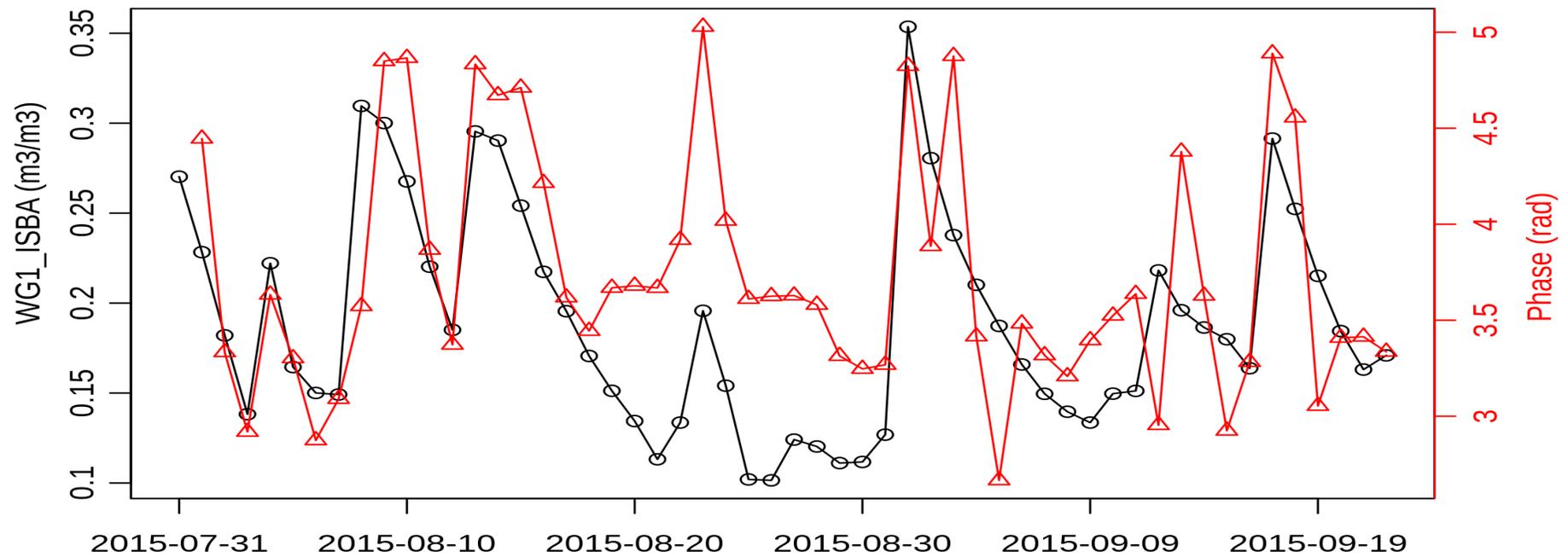
# Réflexométrie GNSS

01.08.2015



# Réflexométrie GNSS

$r = 0.64$



# Conclusions

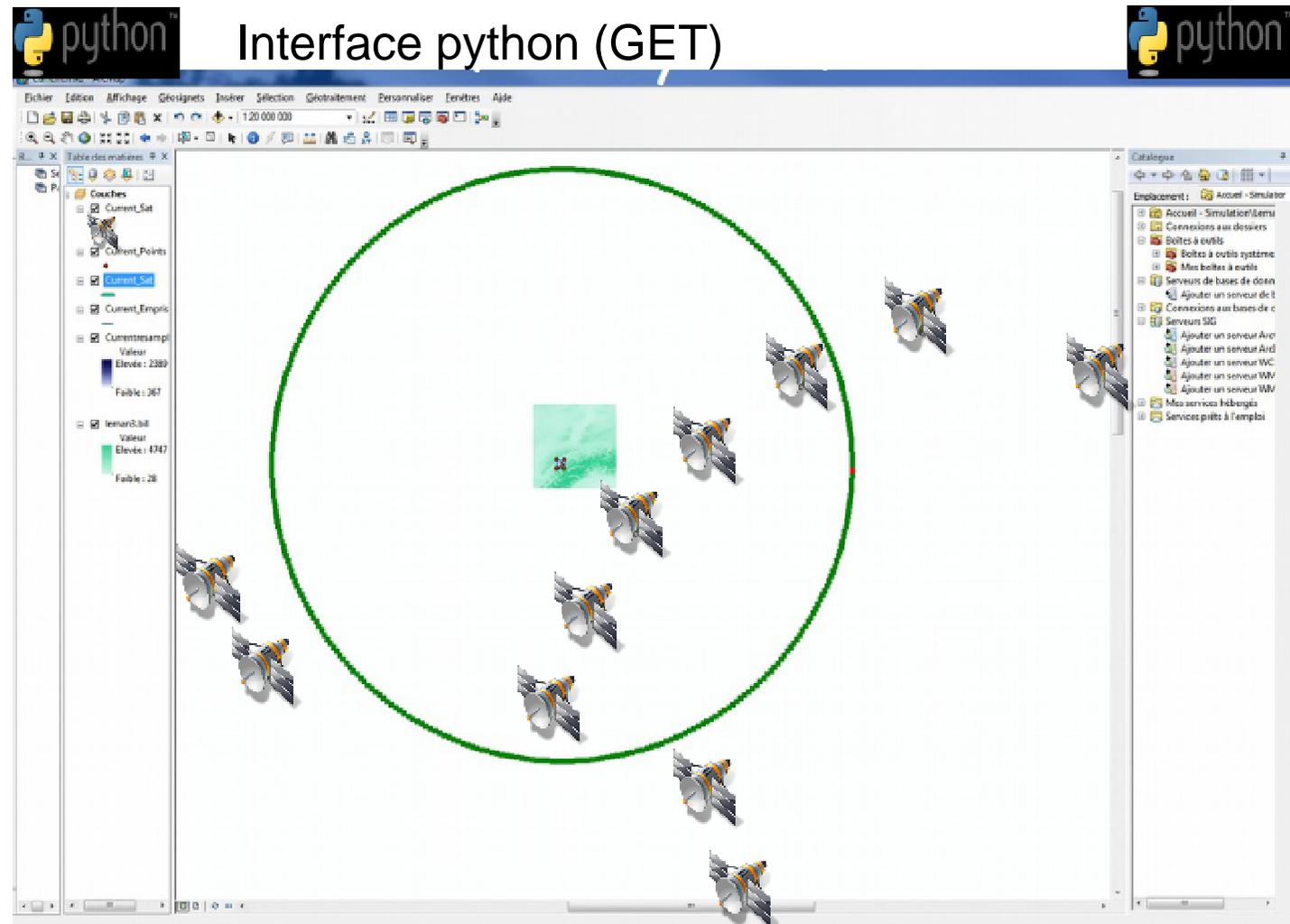
- Pourquoi la METEOPOLE ?
  - mesures en continu possibles
  - forte variabilité inter-annuelle de la végétation
  - maintenance sur le long terme et acquisition des données en temps réel facilitées
  - proximité des modélisateurs avec le dispositif expérimental
  
- Perspectives :
  - Modélisation de l'effet des cailloux sur la diffusion dans le sol
  - Evaluation de produits satellitaires
  - Assimilation de données GNSS-R ?
  - Site FLUXNET FR-Tou ?

**Merci de votre attention !**

# Potentialités de la réflectométrie In Situ et Mobile (PRISM)

- **Projet financé par la fondation STAE (Toulouse)**
  - Coordonnateur : José Darrozes (GET)
  - Durée 3 ans (2014-2016)
  - Laboratoires toulousains: GET, CESBIO, ECOLAB, CNRM
    - Labos associés : EPOC (Bordeaux), GEOLAB (Clermont-Ferrand)
  - Mesures in situ pour diverses applications :
    - Humidité du sol
    - Neige / gel
    - Biogéomorphologie des barres de méandre
    - Altimétrie et hauteur des vagues
  - Mesures aéroportées : GLORI

# Réflexométrie GNSS

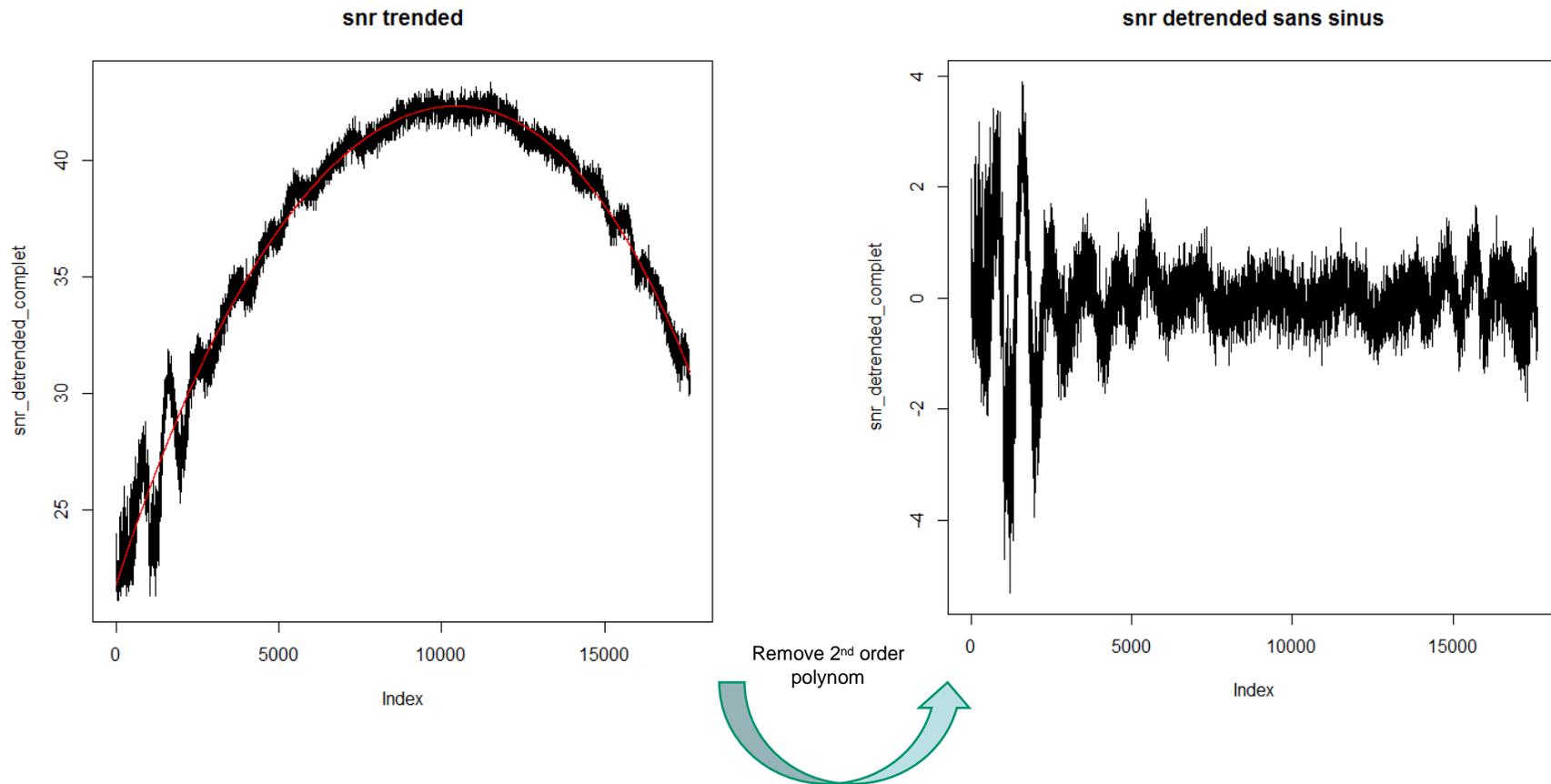


17 - SIG2014

octobre 2014

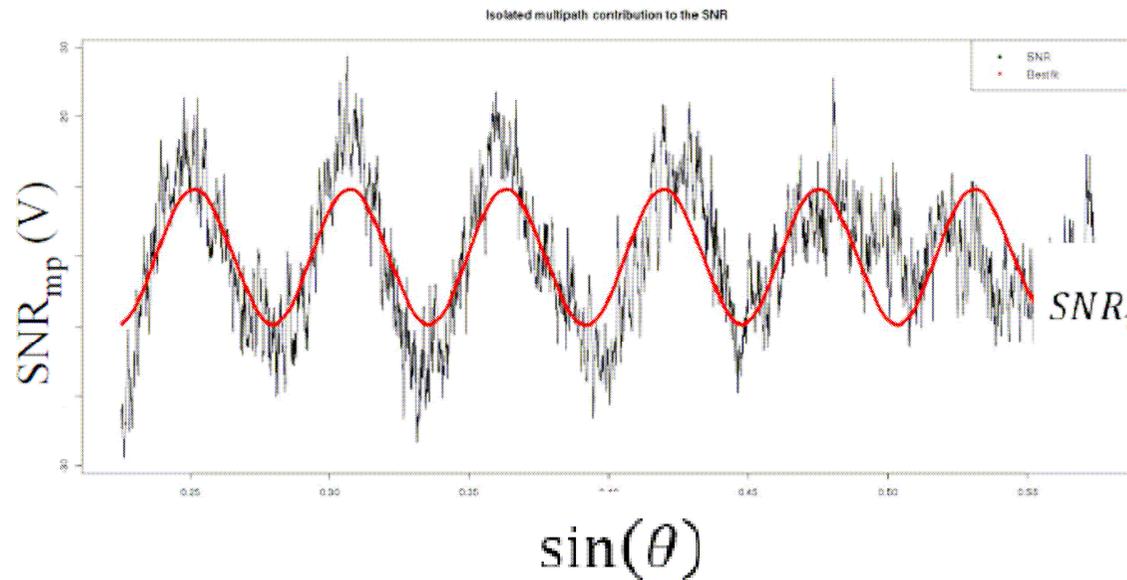


# Réflexométrie GNSS



# Réflexométrie GNSS

Echelle temporelle  $\rightarrow \sin(\theta)$



$$SNR_{mpi} = A_{mpi} \cos\left(\frac{4\pi H_o}{\lambda} \sin(\theta) + \phi_{mpi}\right)$$

Hauteur du récepteur

Élévation du satellite

Amplitude et phase, fonction de la réflectivité du sol  $\rightarrow f(\text{humidité})$

(Larson K. et al, 2008)

# Réflectométrie GNSS

Exemple : site de Lamasquère (Roussel, N., F. Frappart, G. Ramillien, J. Darrozes, F. Baup, IEEE TGARS, 2016)

