

## Séminaire interne RPN

# Quantification de la vapeur d'eau atmosphérique par GPS-sol : apport à la prévision des fortes pluies dans le Sud de la France

Karen Boniface

# Collaborations



CNRM / GAME

V. Ducrocq

G. Jaubert

X. Yan



C. Rocken



A. Harmel

M. El Yahmadi



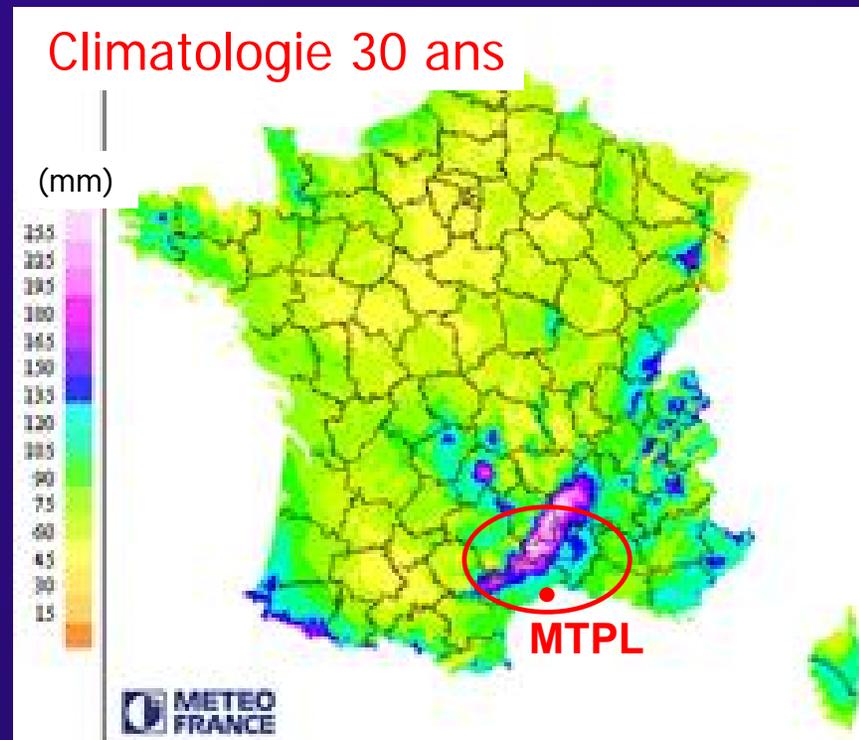
J. Vincent

# Contexte de l'étude

- Pluies catastrophiques dans le Sud de la France à l'automne



Montpellier, Septembre 2002

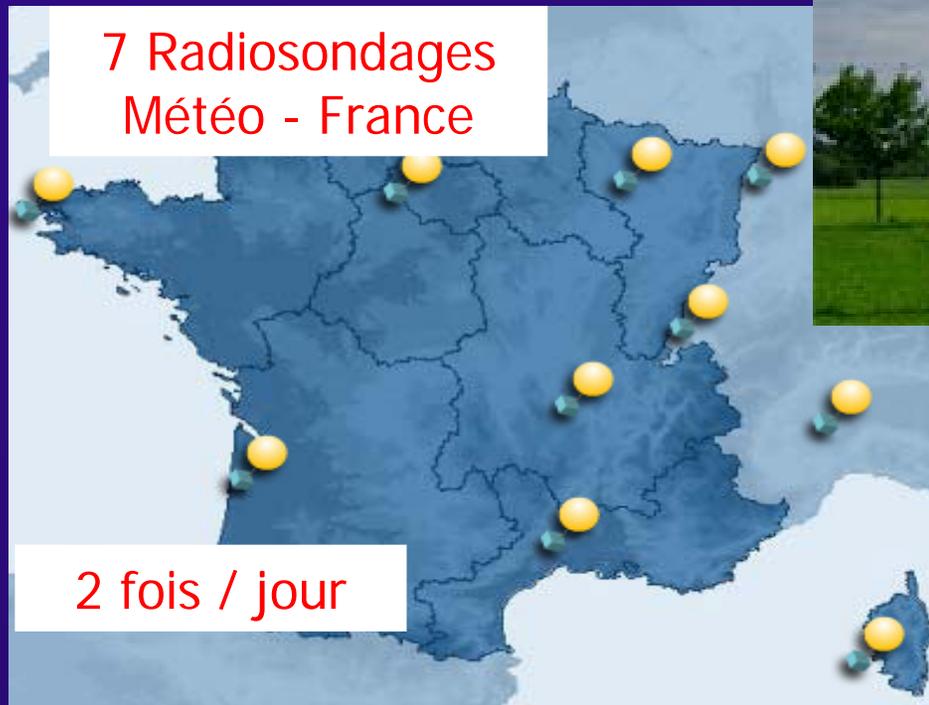


Cumul précipitations en **Octobre**

→ **Difficultés de prévisions** pour ce type d'événement

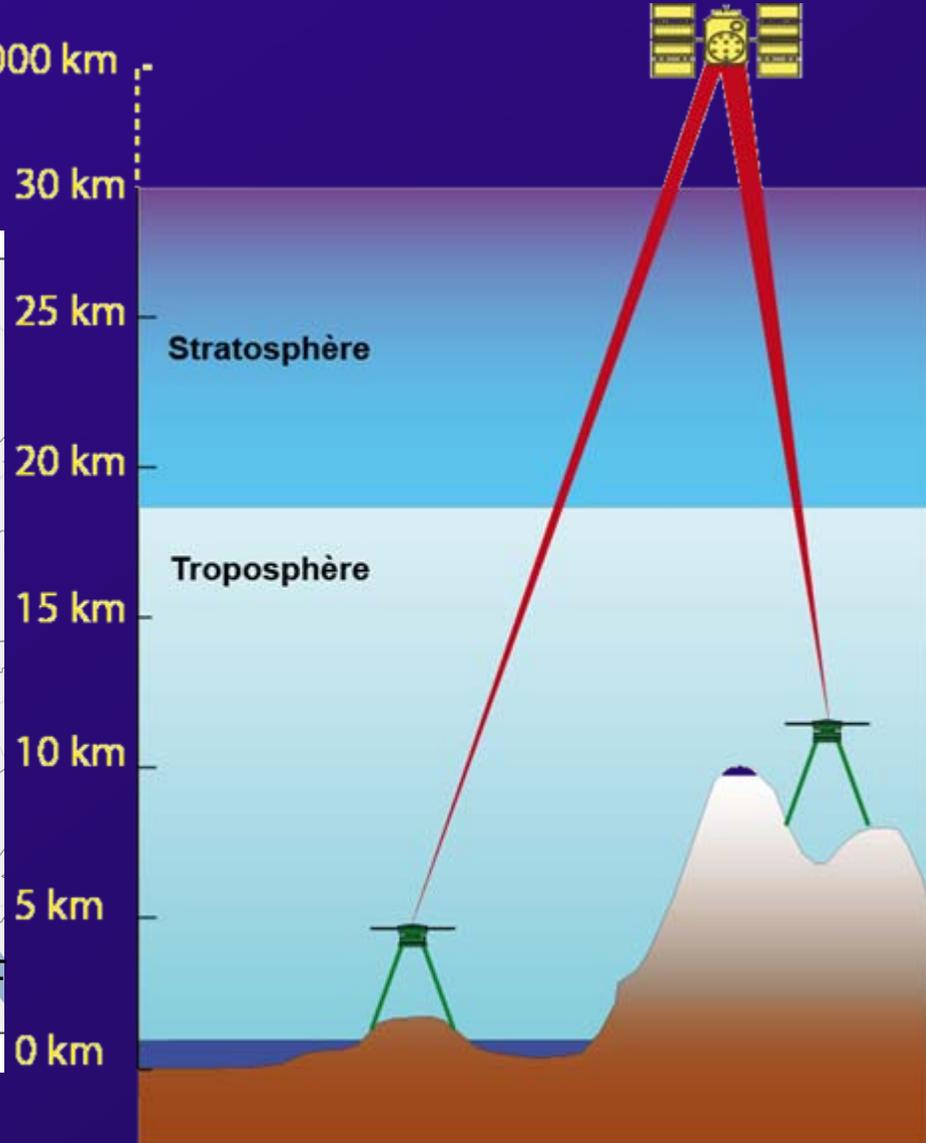
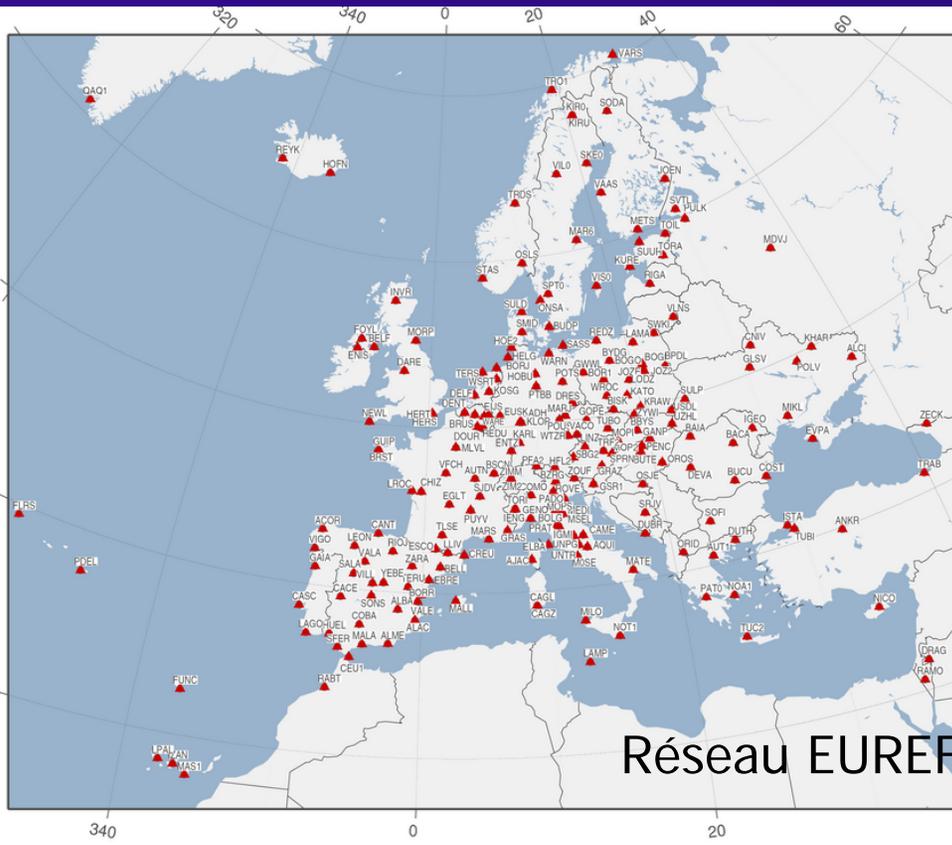
# Pourquoi ces événements sont –ils mal prévus ?

- La connaissance du contenu en vapeur d'eau nécessaire pour prévoir pluie, neige, brouillard ...
- La vapeur d'eau varie fortement :  
→ spatialement et temporellement
- Quelles mesures possibles ?



# GPS et météorologie

- La propagation du signal GPS est ralentie par l'atmosphère
- Fréquence spatio temporelle du GPS-sol (100-200 km ; 1h)



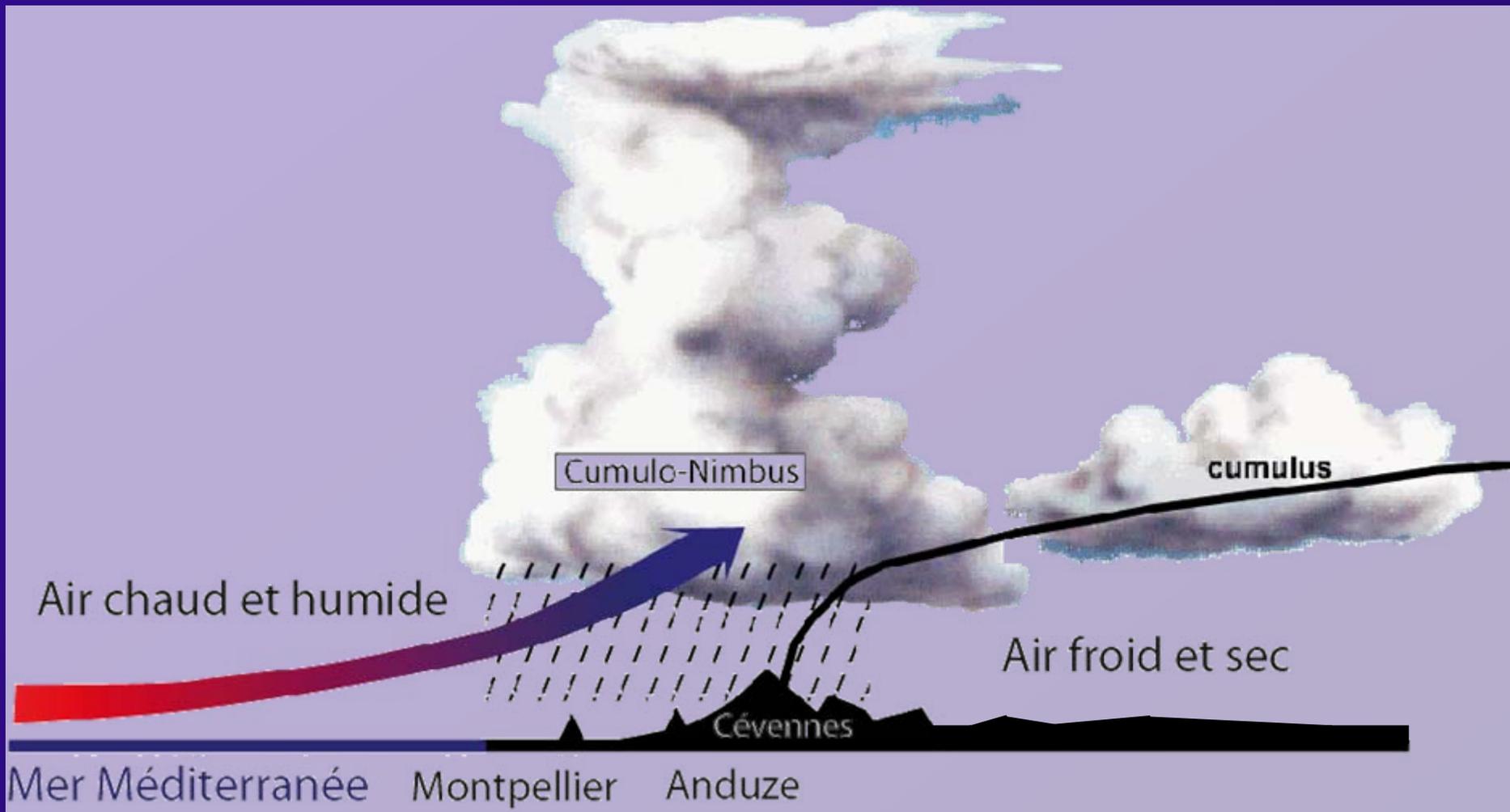
→ Couverture continentale importante

# Comment quantifier la vapeur d'eau et améliorer les prévisions ?

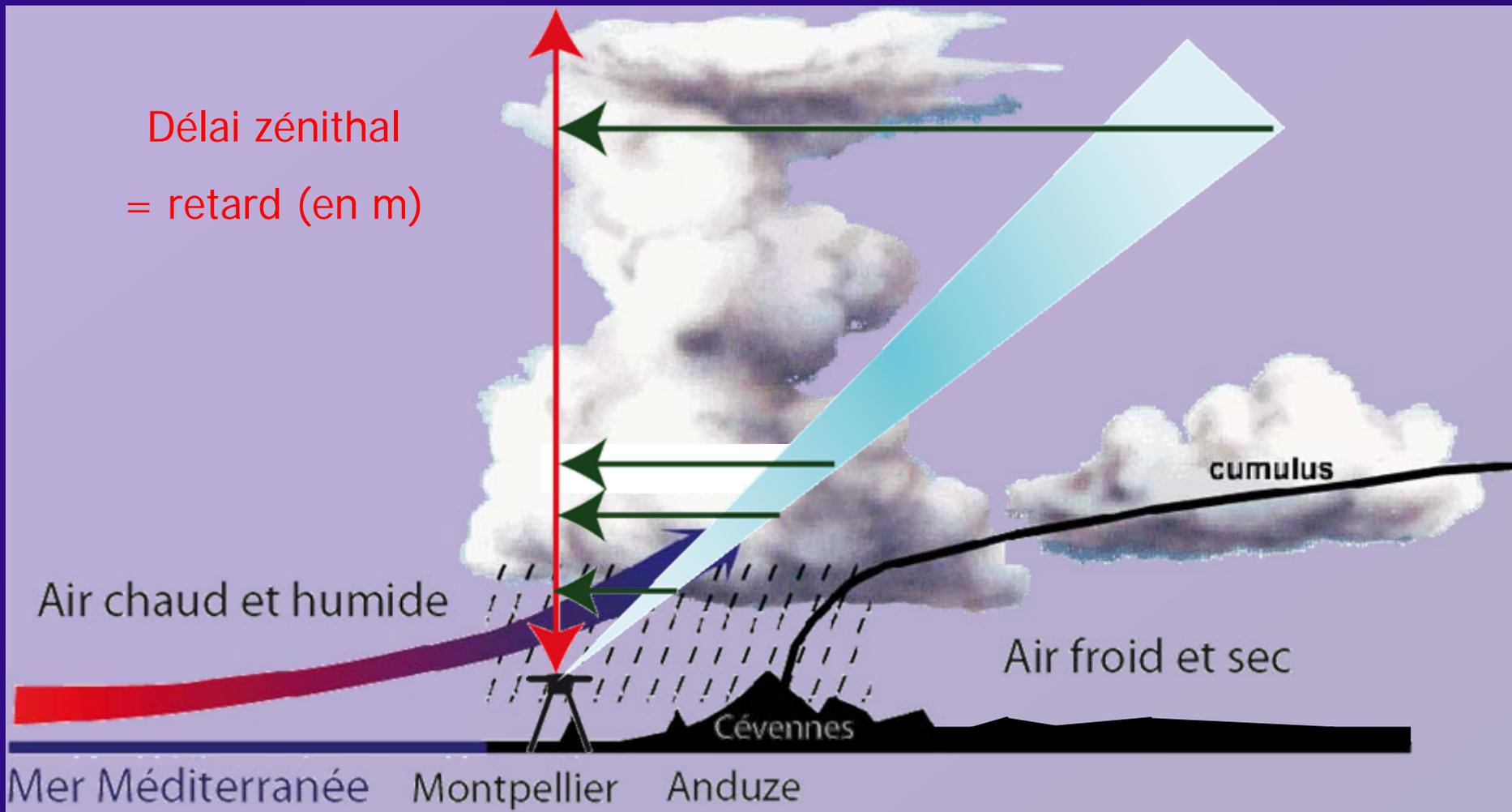
## *Introduction*

- **Intercomparaisons de la mesure GPS : radiosondage et modèles**
- **Quantification par GPS de la vapeur d'eau au cours d'événements pluvieux**
- **Assimilation de données GPS et prévision**
- **Estimation de la vapeur d'eau par GPS en mer**

## *Conclusions et perspectives*



D'après C. Champollion

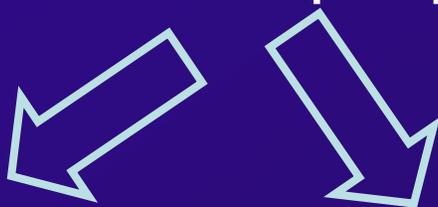


D'après C. Champollion

- Mesure GPS → tout temps
- Densité spatio-temporelle importante

Le délai zénithal est fonction de l'indice de réfraction de l'air

ZTD = Zenithal Tropospheric Delay (m)



Contribution hydrostatique

(ZHD ~ 2.2 à 2.4 m)

Fonction de P, T

Contribution humide

(ZWD ~ 0 à 0.3 m)

Fonction de la quantité de vapeur H<sub>2</sub>O, T

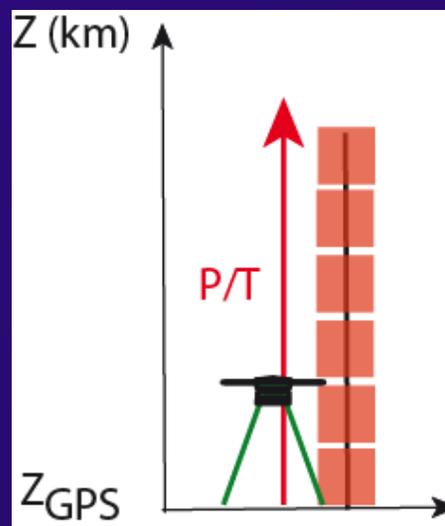
Vapeur d'eau intégrée (IWV)  
en mm (ou kg.m<sup>-2</sup>)

*Bevis et al. (1992)*

## 2 méthodes possibles

1. Modèle hydrostatique : Saastamoinen (1972)  
→ Fonctions de profils (P,T) standard dépendant des valeurs sol
2. Intégration de l'indice de réfraction de l'air

→ P et T le long de la colonne troposphérique



- Plus difficile à estimer

## 2 méthodes possibles

### 1. **Intégration** de l'indice de réfraction de l'air (Modèle / RS)

→ T + humidité

### 2. Différenciation à l'aide du GPS :

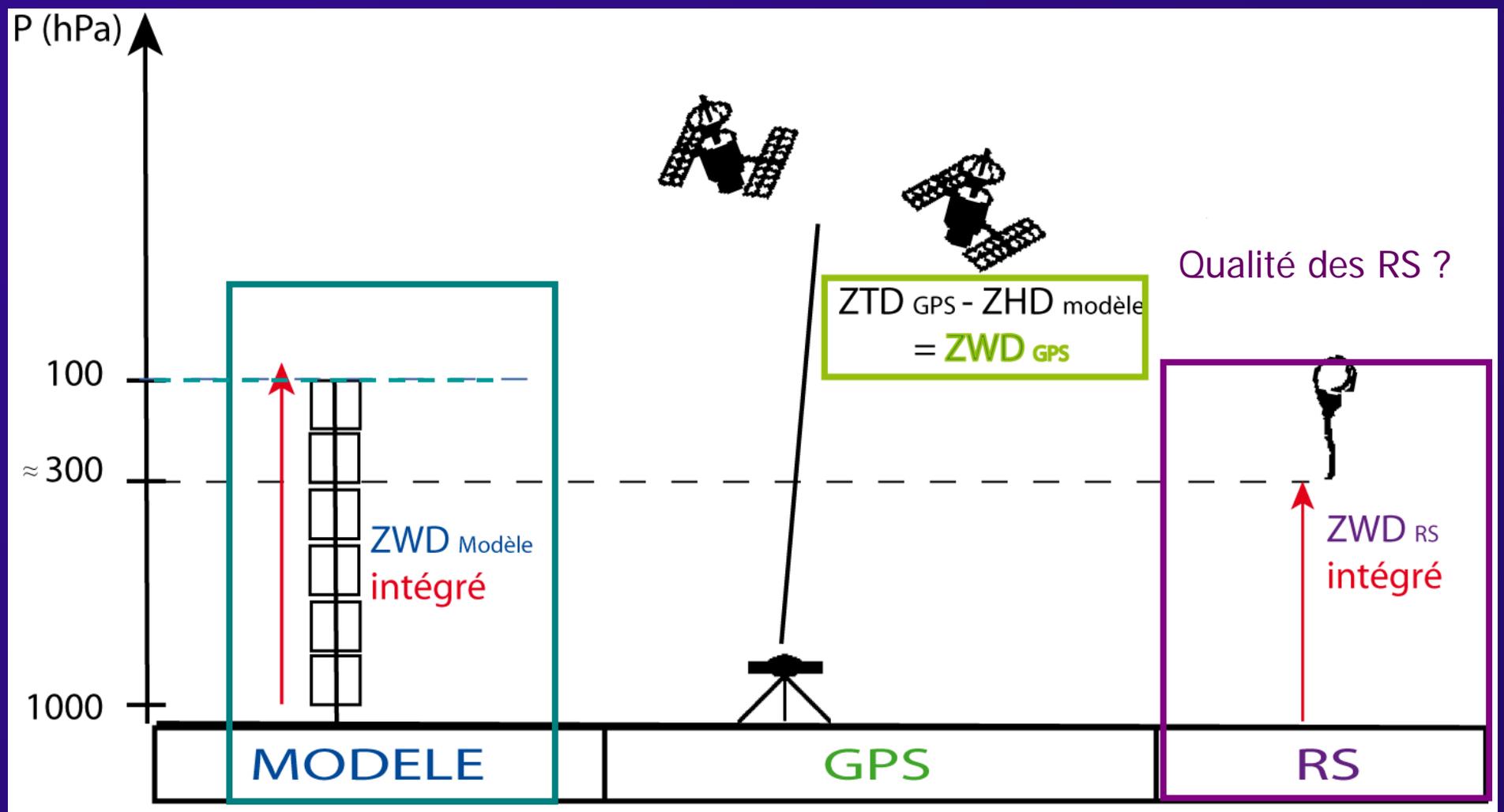
→  $ZTD - ZHD = ZWD$

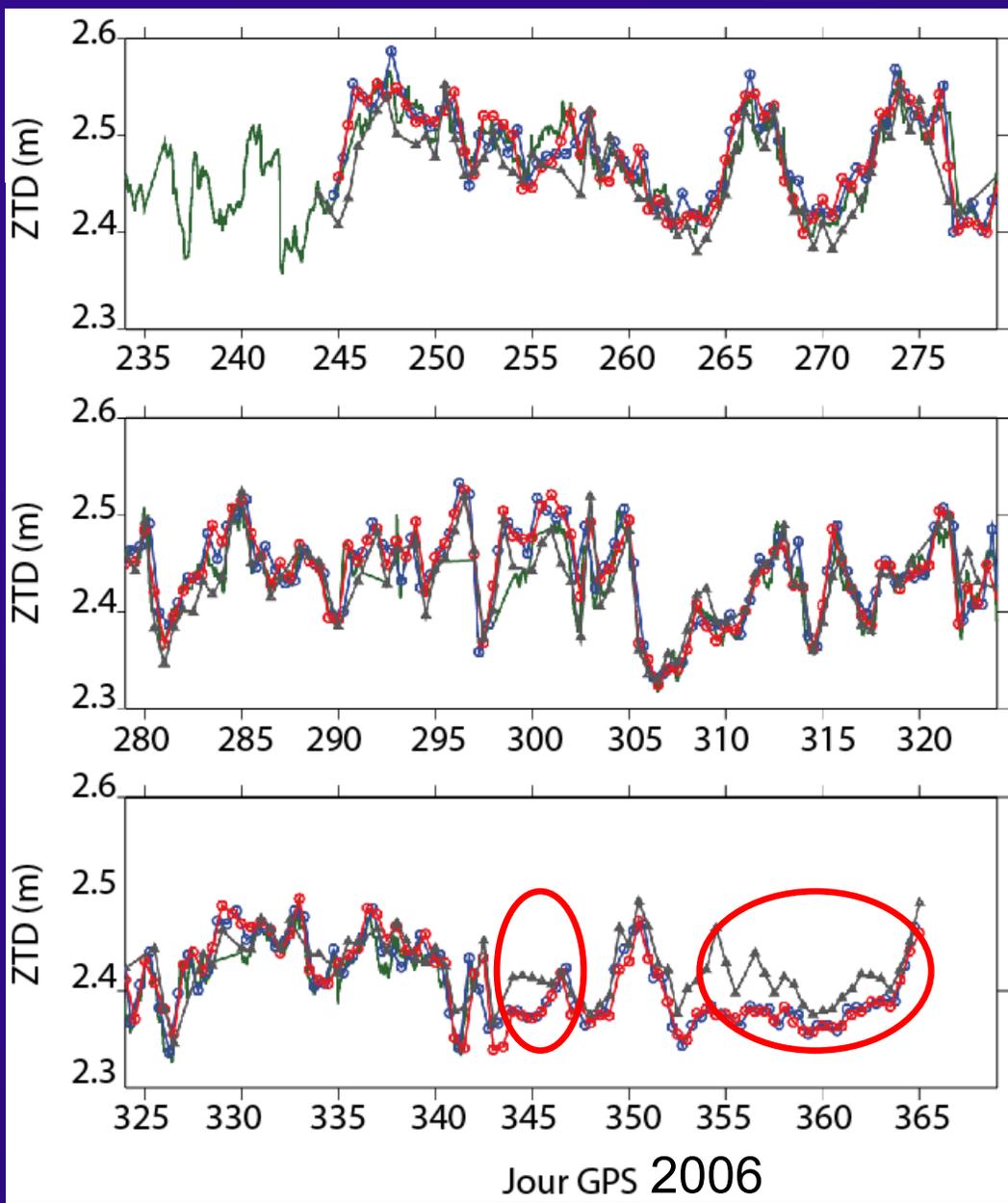
Atoût du GPS → estimation précise du ZTD

→ bonne approximation du ZHD



Objectifs : quantifier le biais entre les différentes méthodes



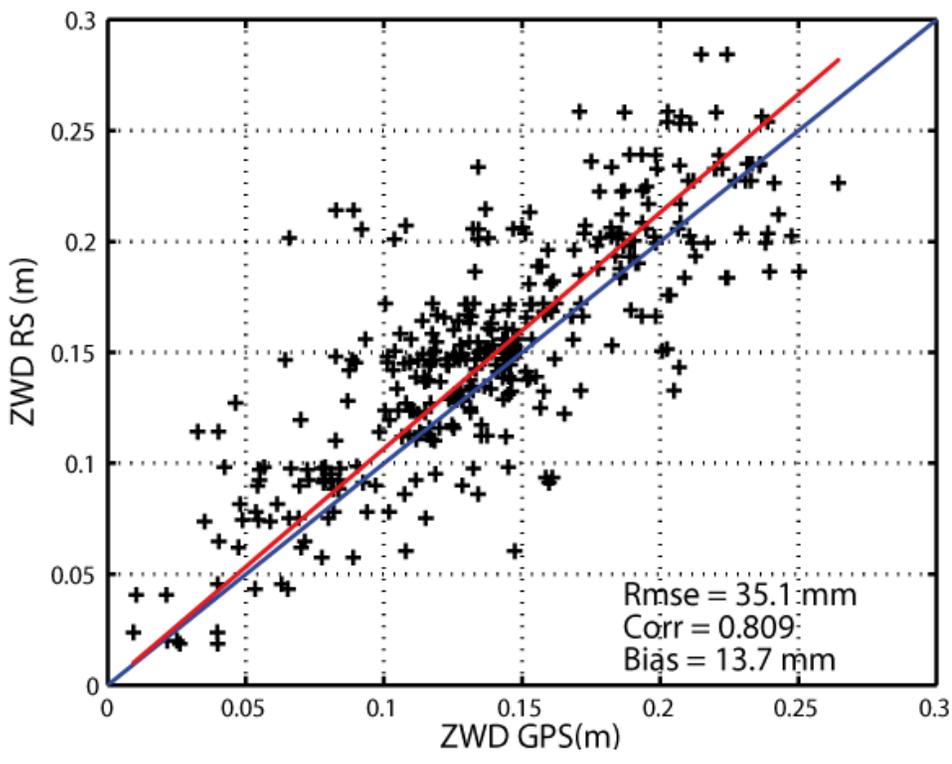
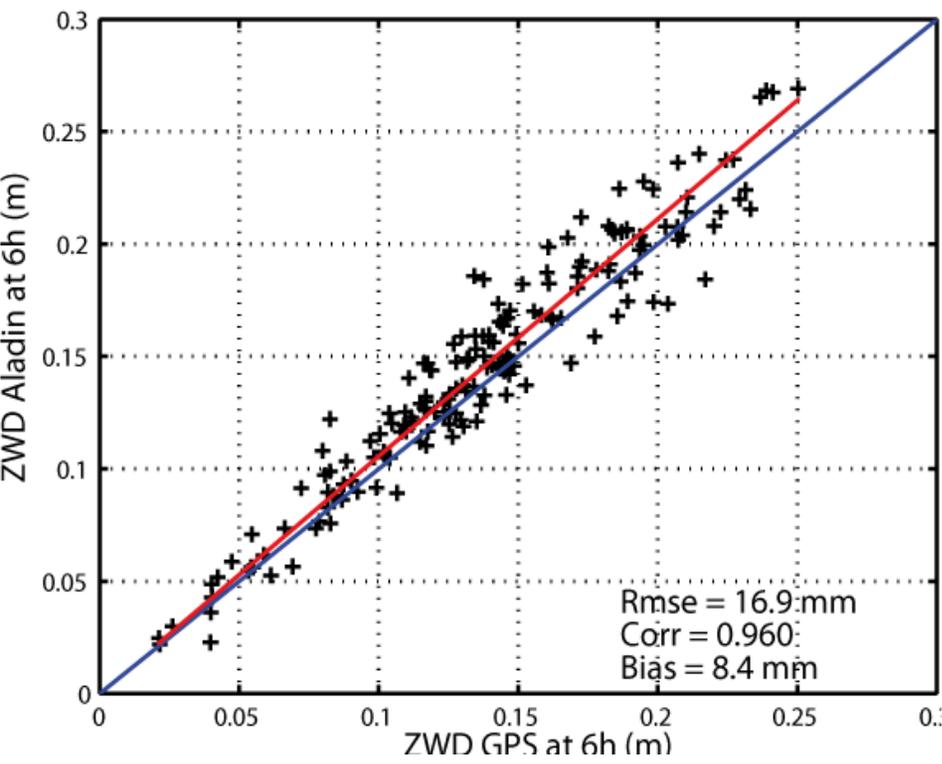


- Forte variabilité du ZTD
- Bonne corrélation

Données incomplètes des RS



Automne 2006 à Nîmes



Biais plus important GPS-RS → qualité des données

Bon accord entre GPS et ALADIN → biais ≈ 8 mm



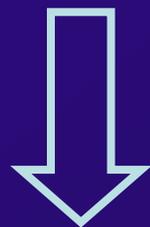
Bon accord statistique sur le ZTD entre les différentes méthodes

Biais GPS-RS  $\approx$  - 4mm ; Biais GPS-ALADIN  $\approx$  4 à 8 mm

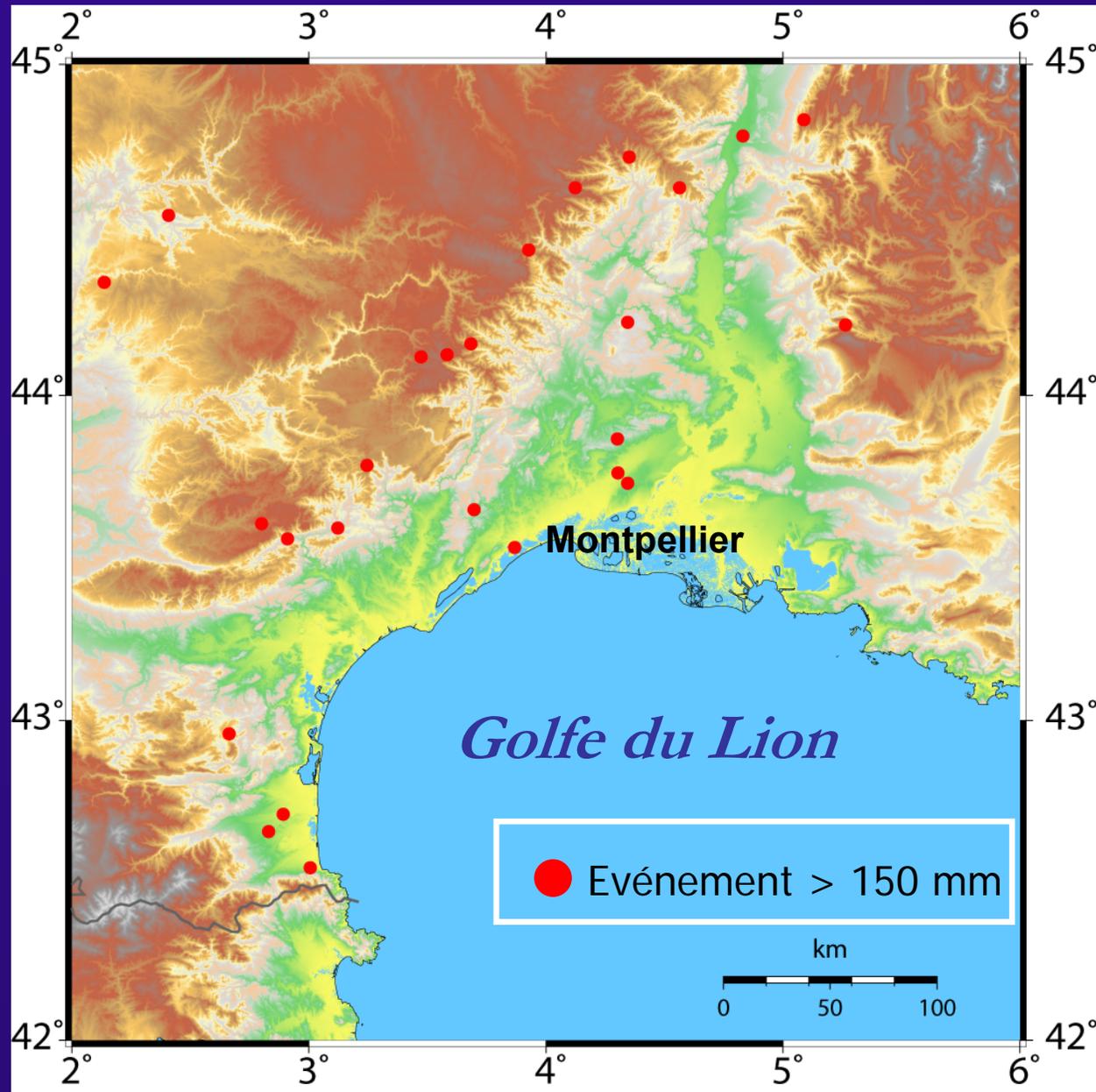
RMSE  $\approx$  20 mm

**→ Précision du GPS de 1 à 2 mm en eau précipitable**

(Rocken et al. (1993), Emardson et al. (1998))



- Etude systématique d'événements pluvieux dans le pourtour du Golfe du Lion (OHMCMV)



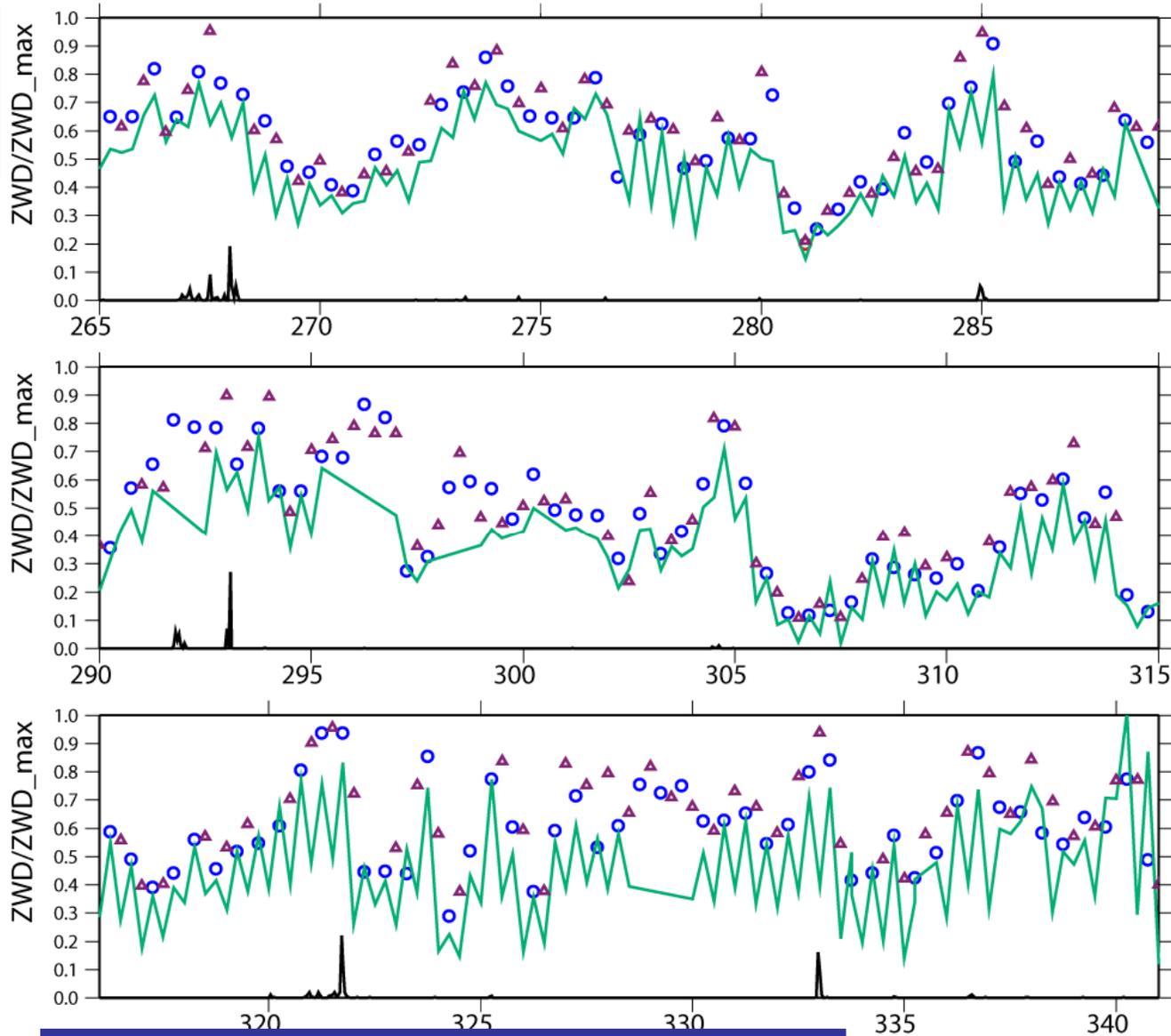


# Saturation et précipitations

## Comparaisons

### Nîmes, 2006

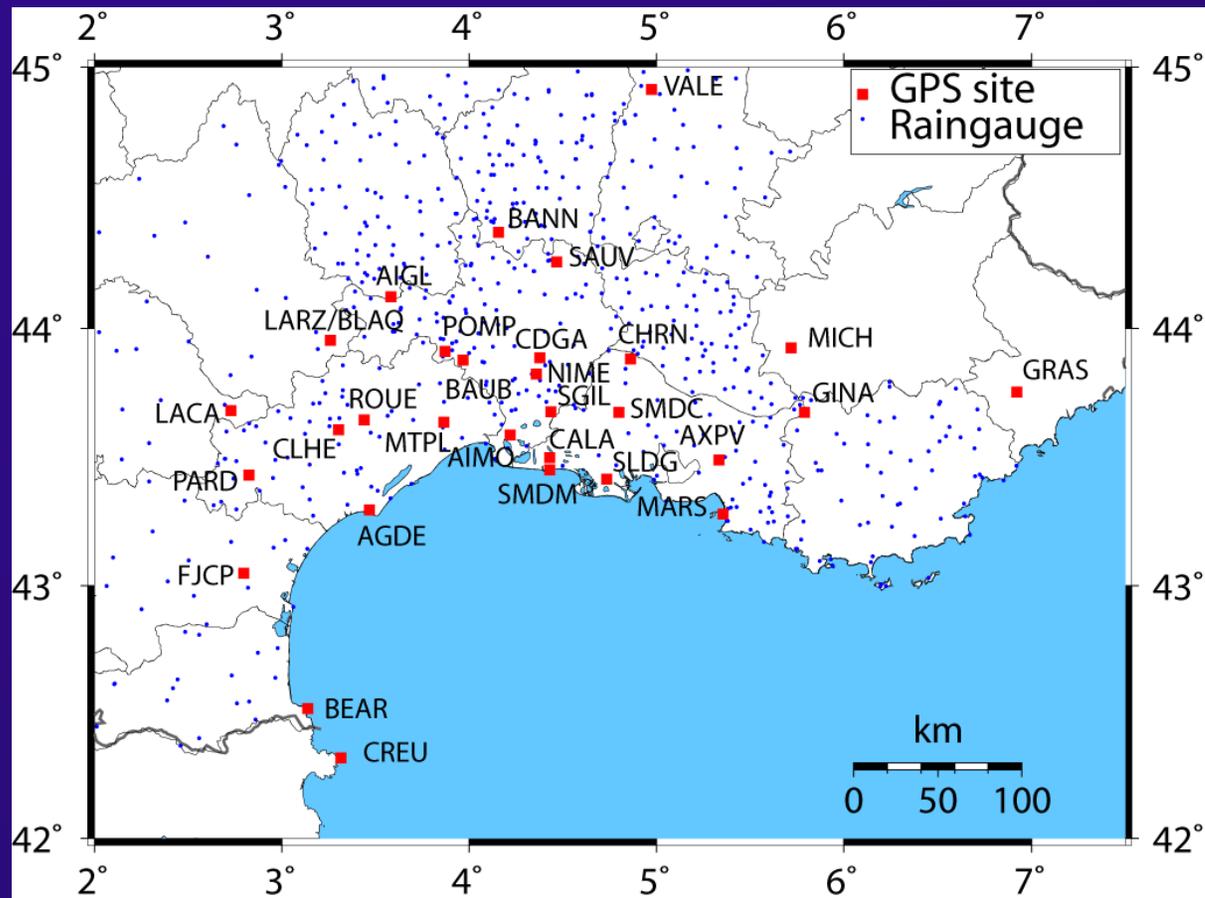
- ALADIN 06
- ▲ RS
- GPS
- Pluie



Flatau et al. (1992)

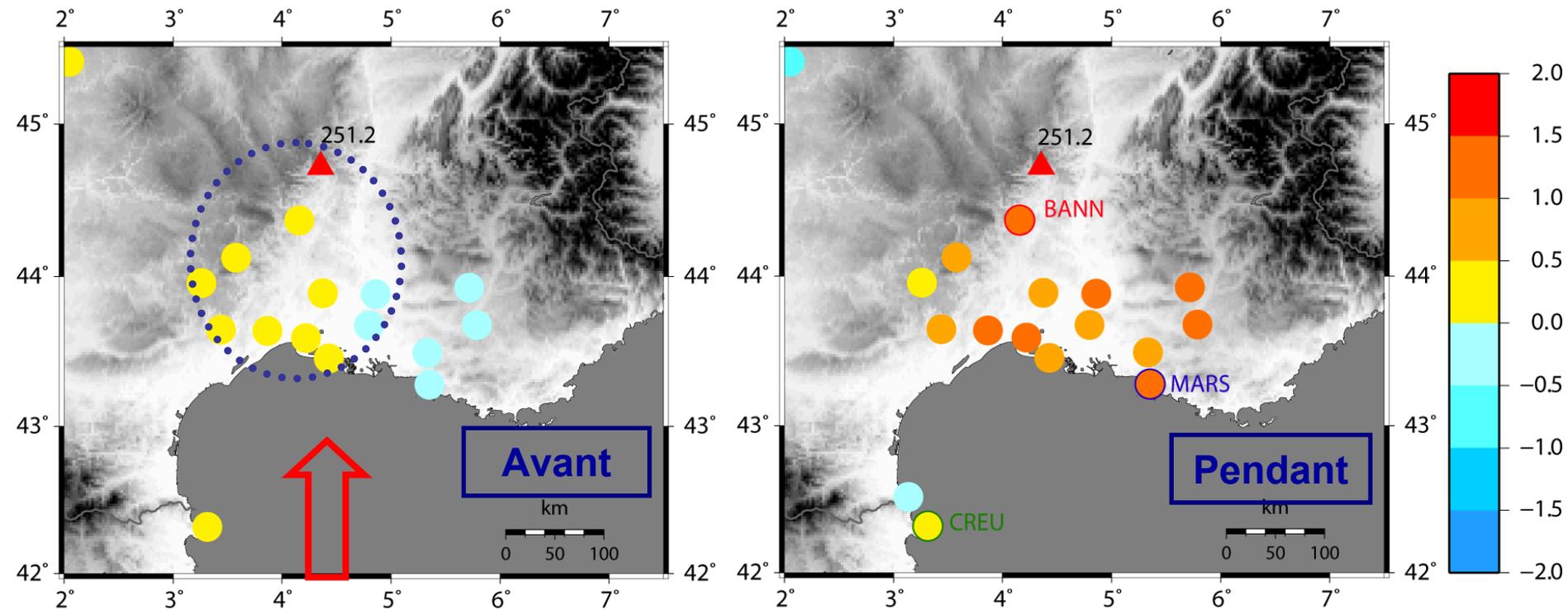
$$P_{VS} = f(\text{coeff Flatau}, T)$$

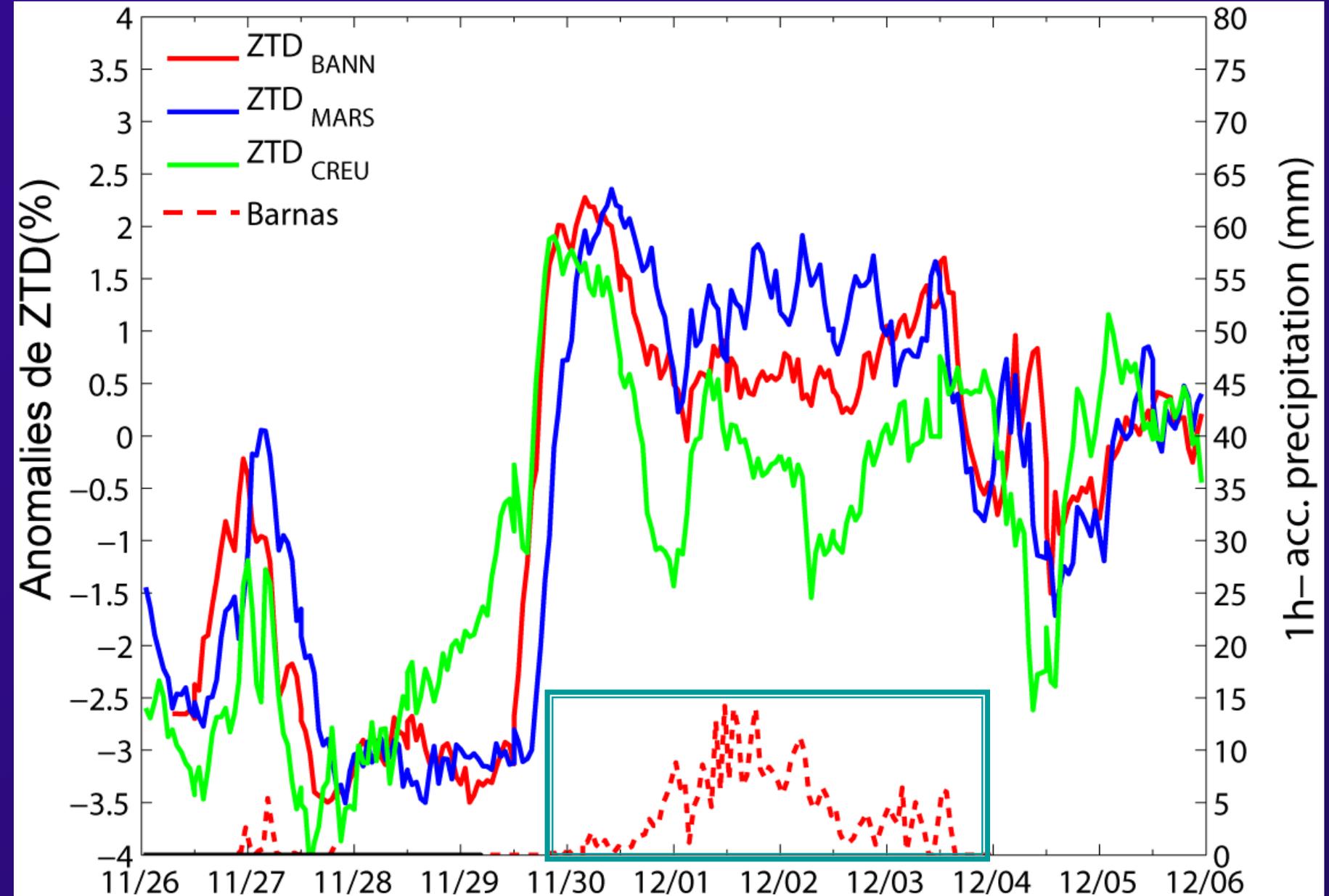
- Données de pluviomètres analysées dans le cadre de l'OHMCV
- Données GPS de 2003 à 2006

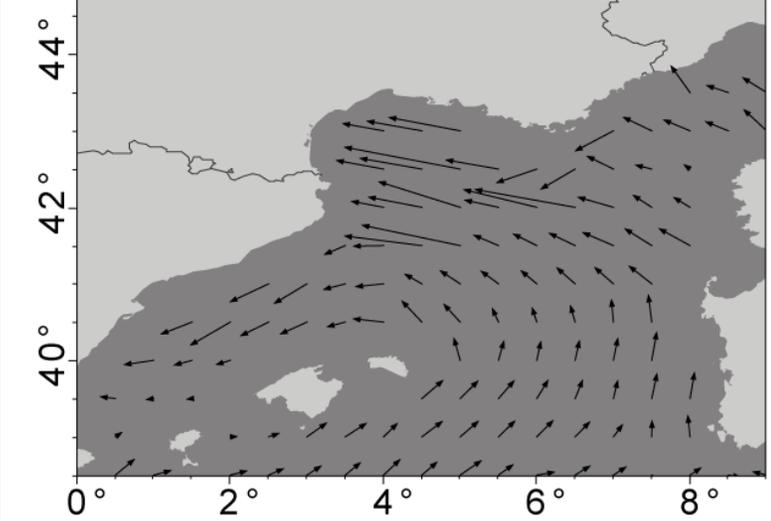
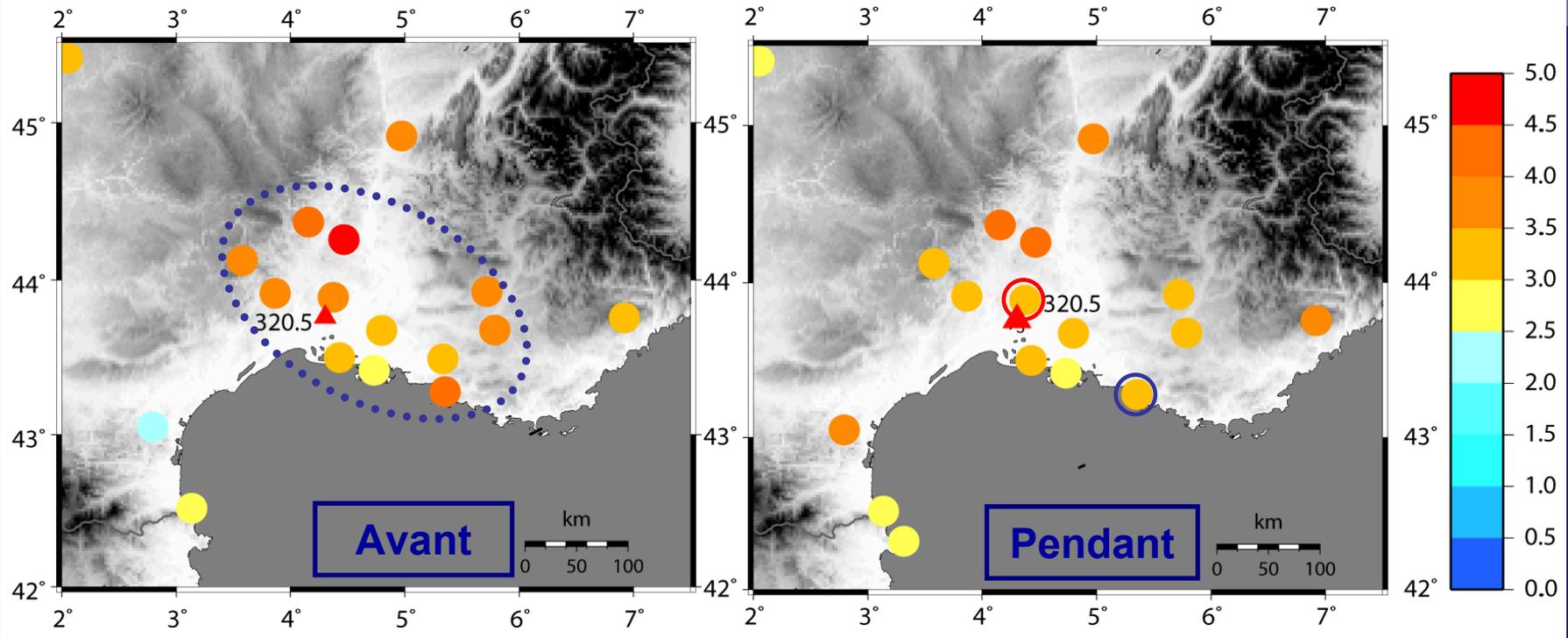


- Données de vent de surface sur mer : QuikSCAT (après 2005)

## Anomalies de ZTD (%)

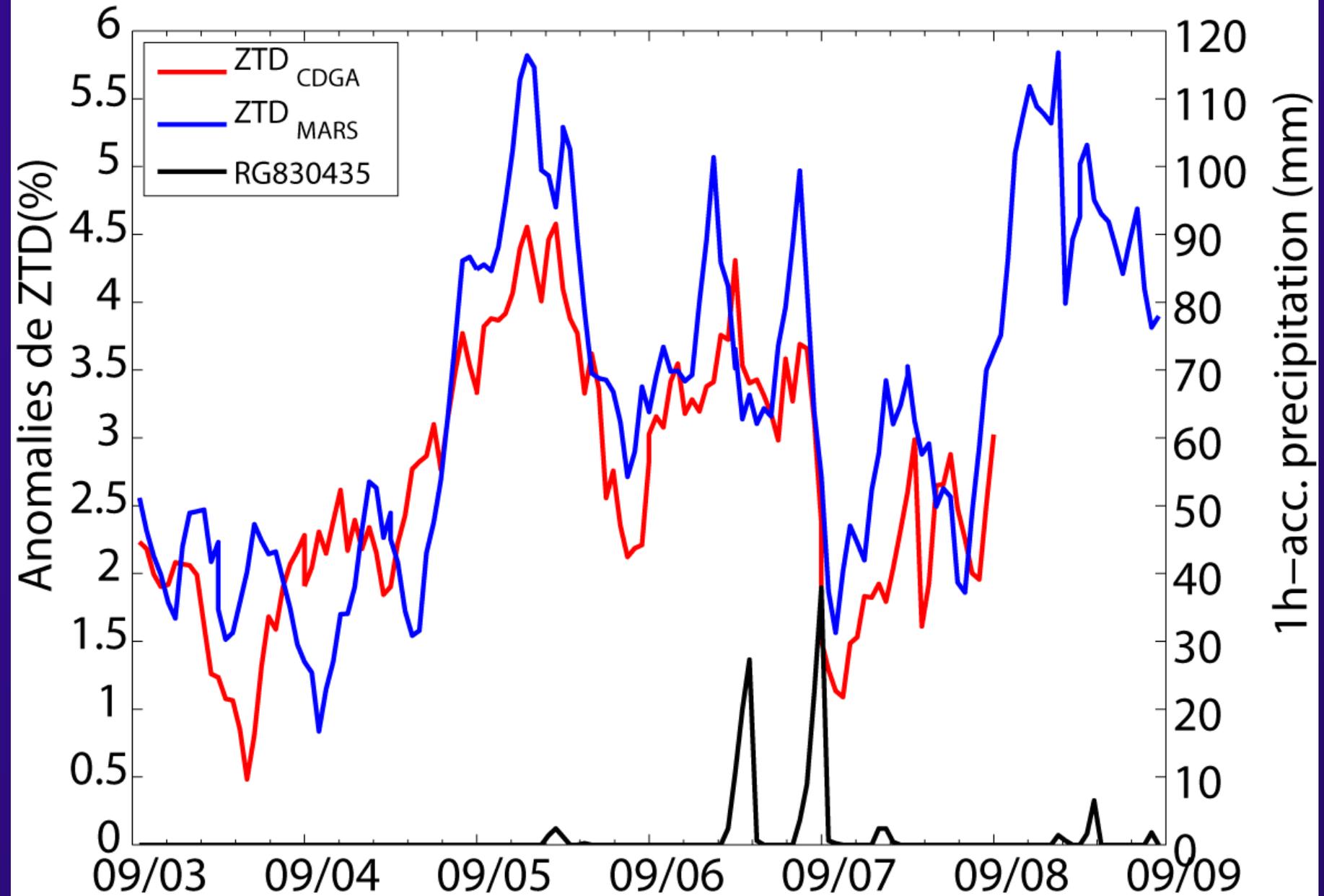
1<sup>er</sup> Décembre 2003





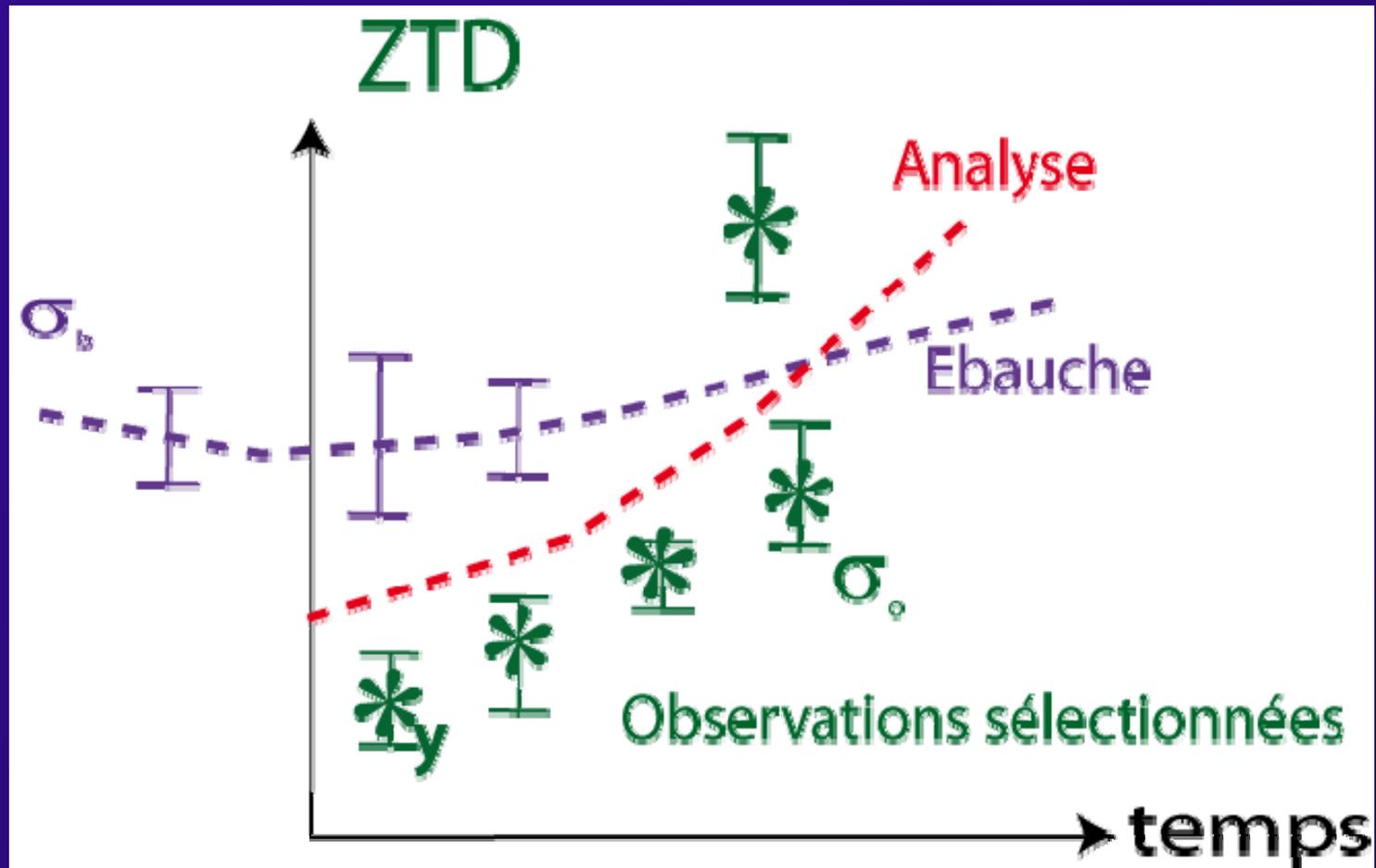
→ Zonal Wind, Meridional Wind (10.0 m/s)

Image QuikScat, 6 Sept 05 – 12 UTC  
Courtesy of NOAA Coastwatch



- Possibilité de comprendre les mécanismes à l'origine des pluies à l'aide du GPS ?
- Variations temporelles de ZTD :
  - logique pour certains cas (1-3 Décembre 03)
  - incompréhensibles pour d'autres cas
- Nécessité d'utiliser la modélisation

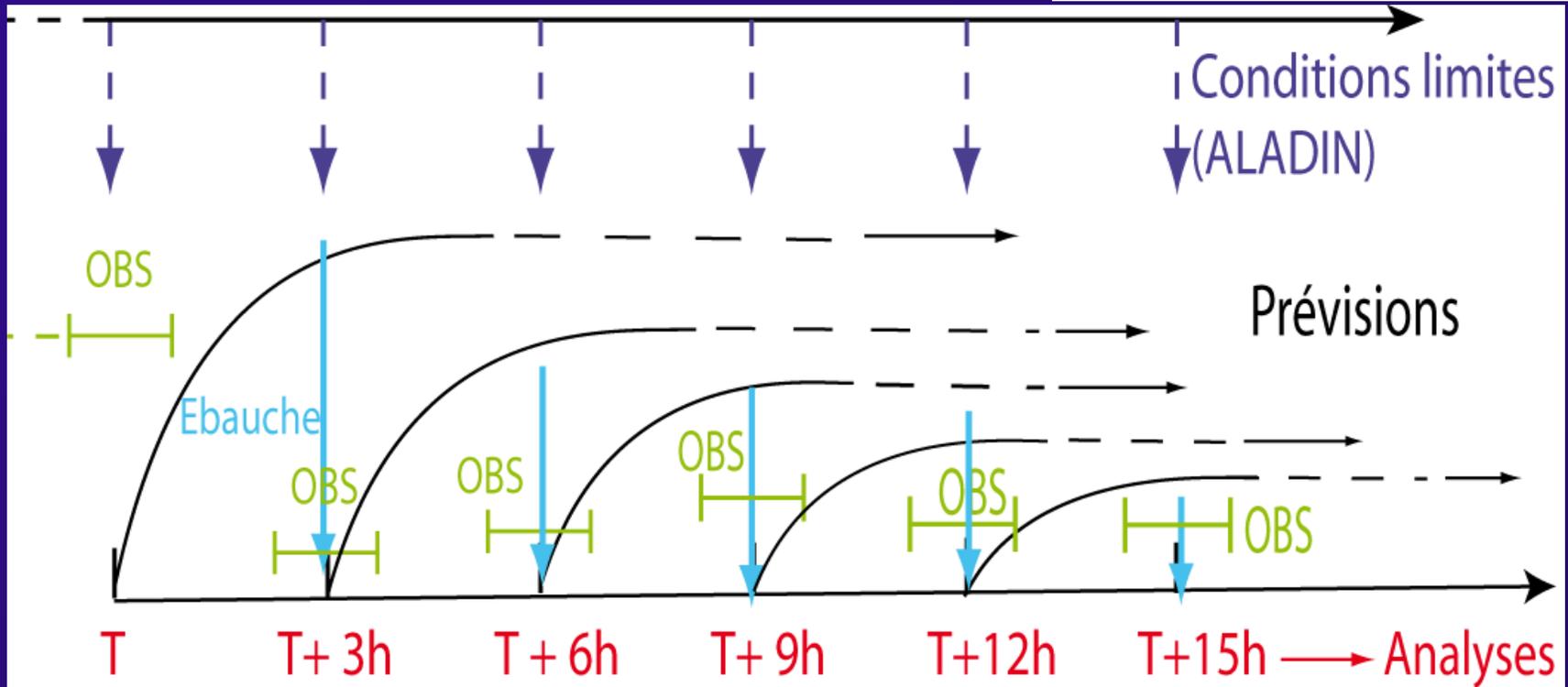
- Détermination de l'analyse au cours du temps



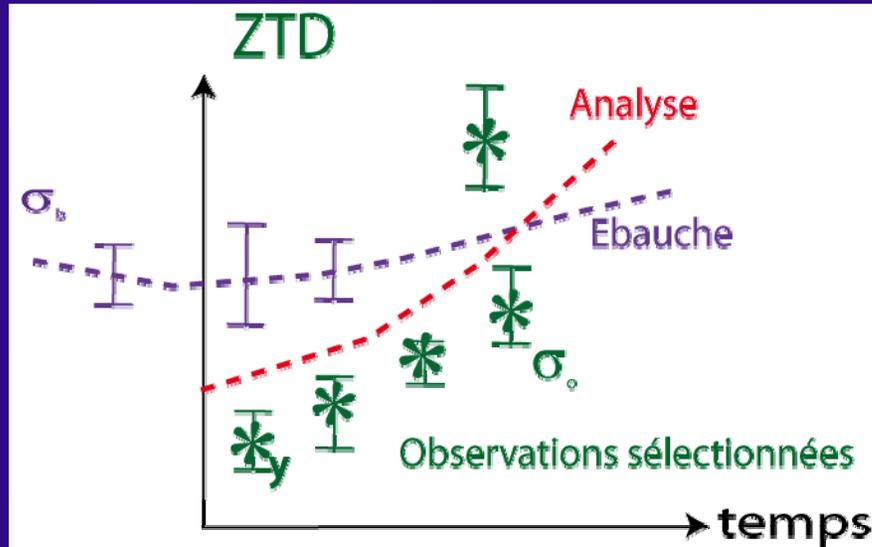
BUT : Minimiser les écarts entre ébauche et **observations**



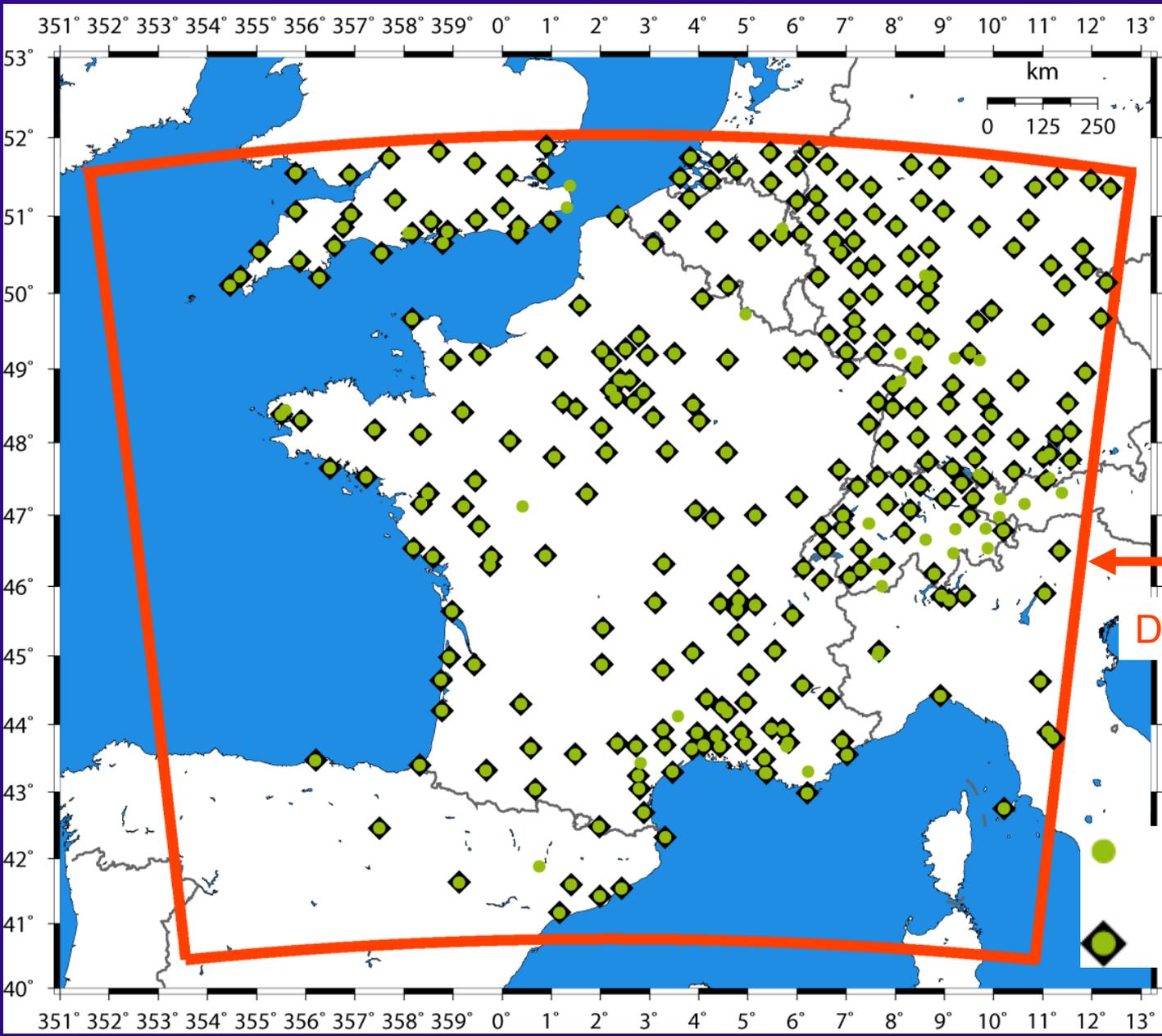
- Modèle à 2.5km de résolution
- Fréquence cycle d'assimilation = 3h



## 1) Sélection des observations GPS : ZTD

Les critères :

- Distribution Gaussienne des différences de ZTD :  $y - H(x_b)$
- 40% de données disponibles pour les 15 jours d'assimilation
- Critère de rejet prenant en compte les erreurs  $\sigma_o$  et  $\sigma_b$

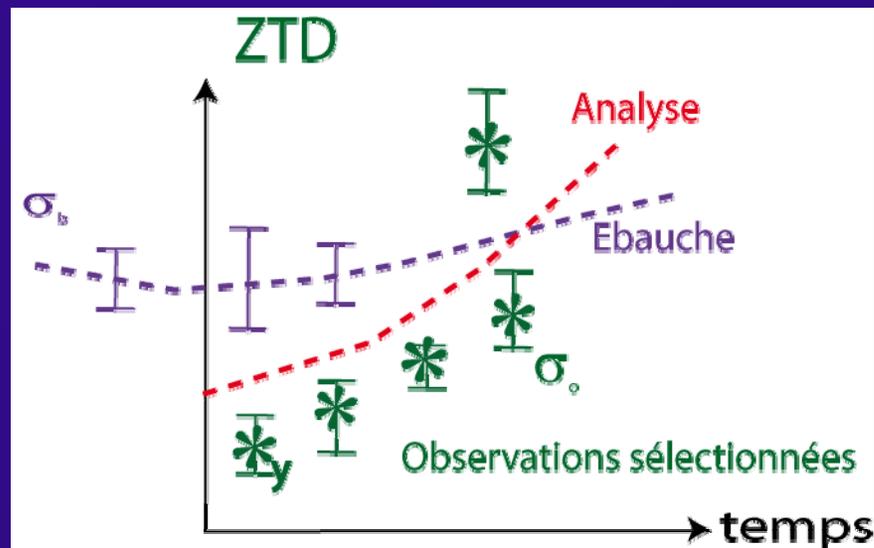


**Sélection finale :**  
**282 stations / 331**

Domaine AROME

- Total GPS available
- GPS selected

## 1) Sélection des observations GPS : ZTD

Les critères :

- Distribution Gaussienne des différences de ZTD :  $y - H(x_b)$
- 40% de données disponibles pour les 15 jours d'assimilation
- Critère de rejet prenant en compte les erreurs  $\sigma_0$  et  $\sigma_b$

## 2) Expériences d'assimilation (cas d'étude 29-30 Sept 2007)

- **sans GPS** : Analyse CTRL
- **avec GPS** : Analyse GPS

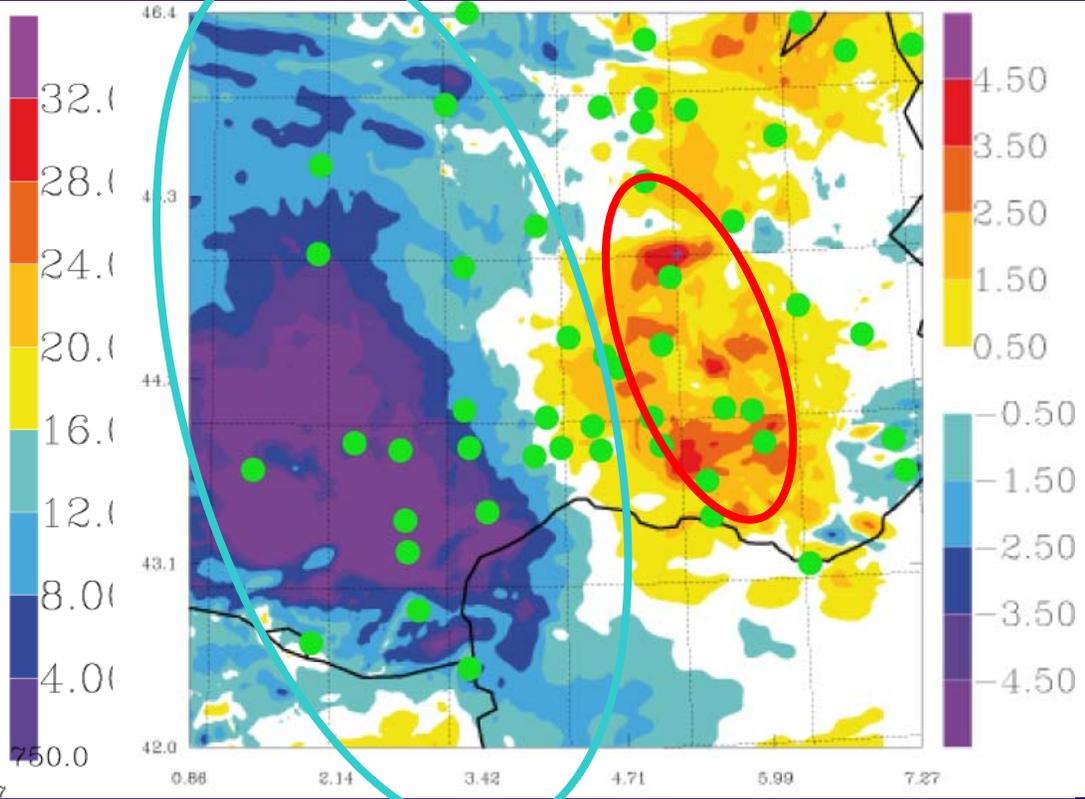
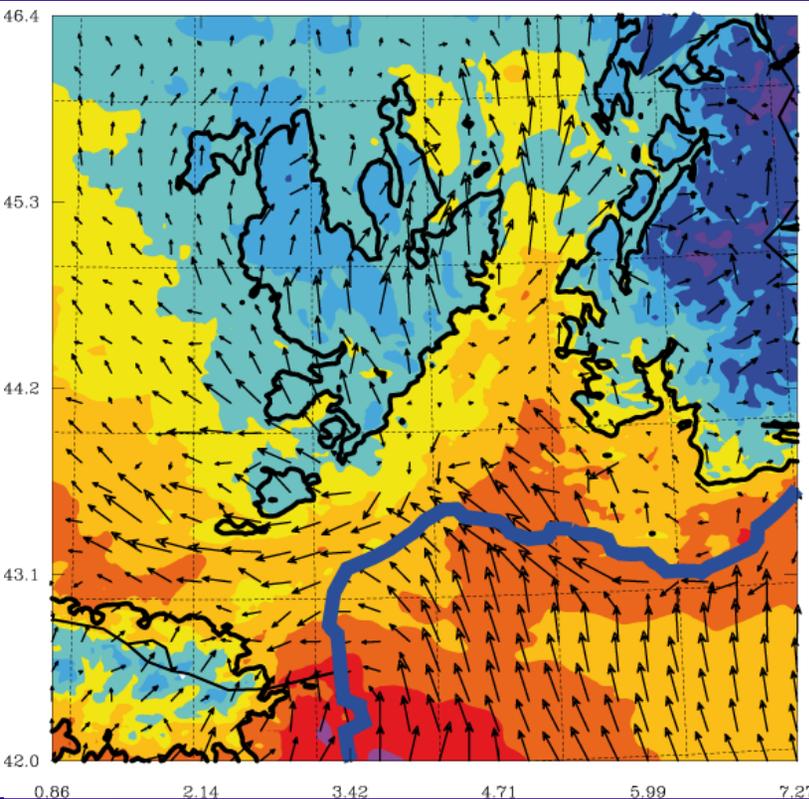
3) Modélisation → Cycle de prévisions

$IWW_{GPS}$

$Kg.m^{-2}$

$IWW_{GPS} - IWW_{CTRL}$

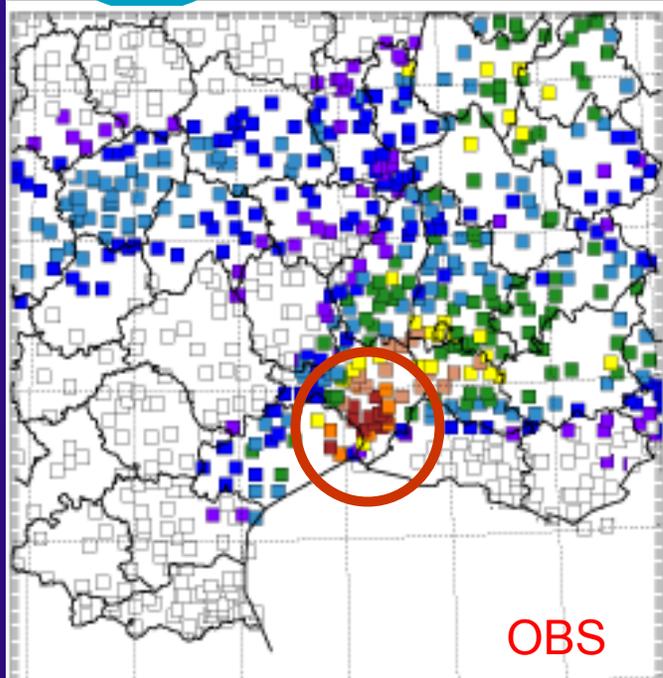
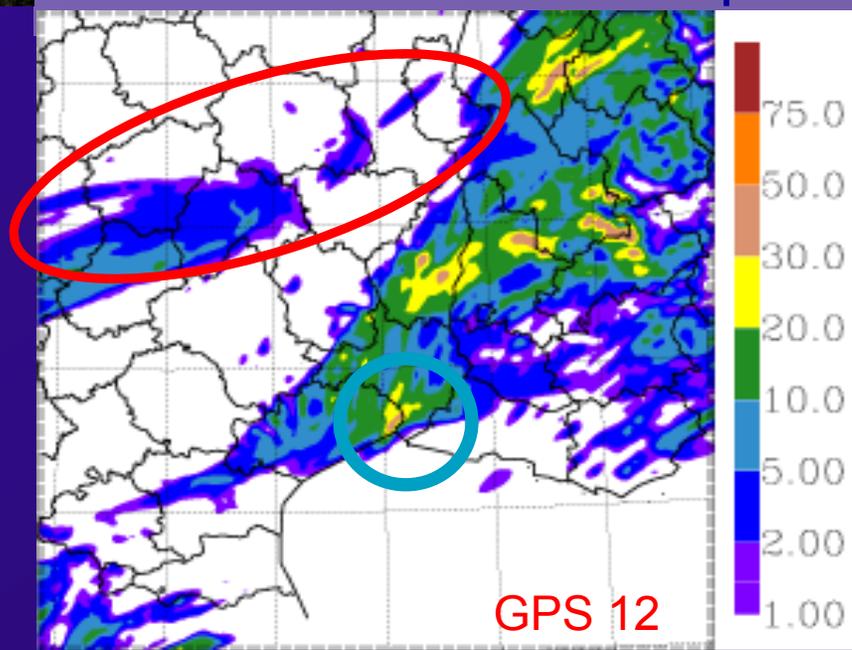
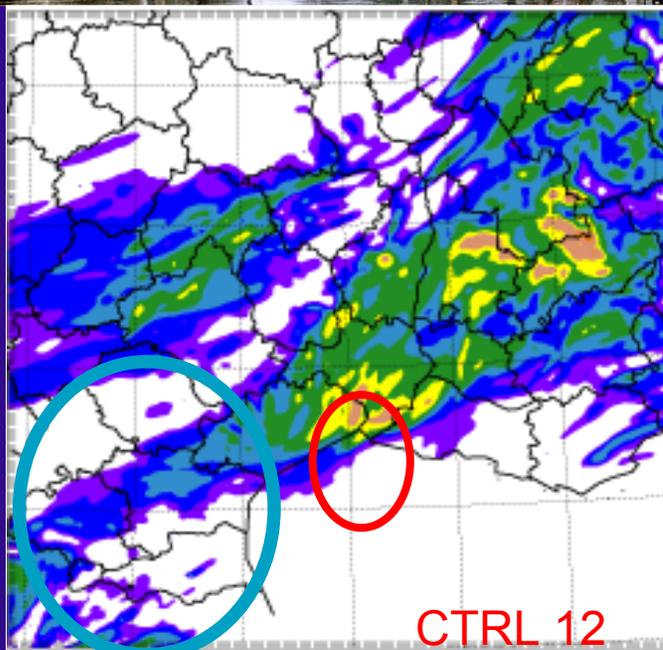
$Kg.m^{-2}$



GPS plus sec    GPS plus humide

≈ 3 mm en moyenne

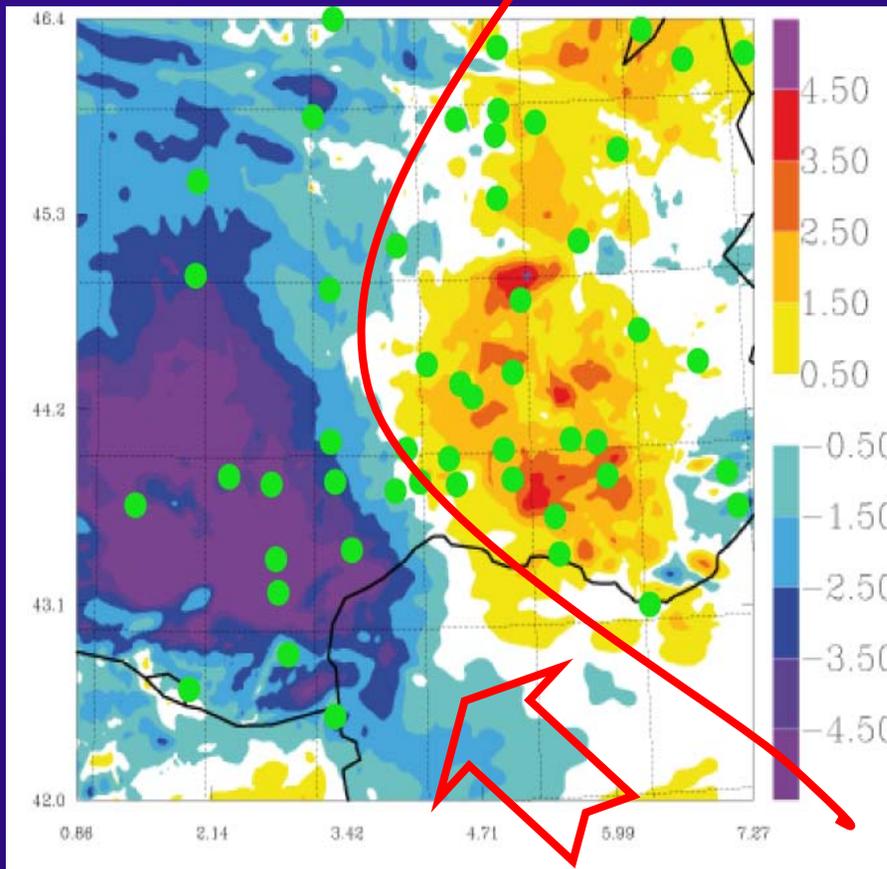
L'amplitude des différences représente 20 % du signal total



Impact dans l'expérience GPS (+12 h)

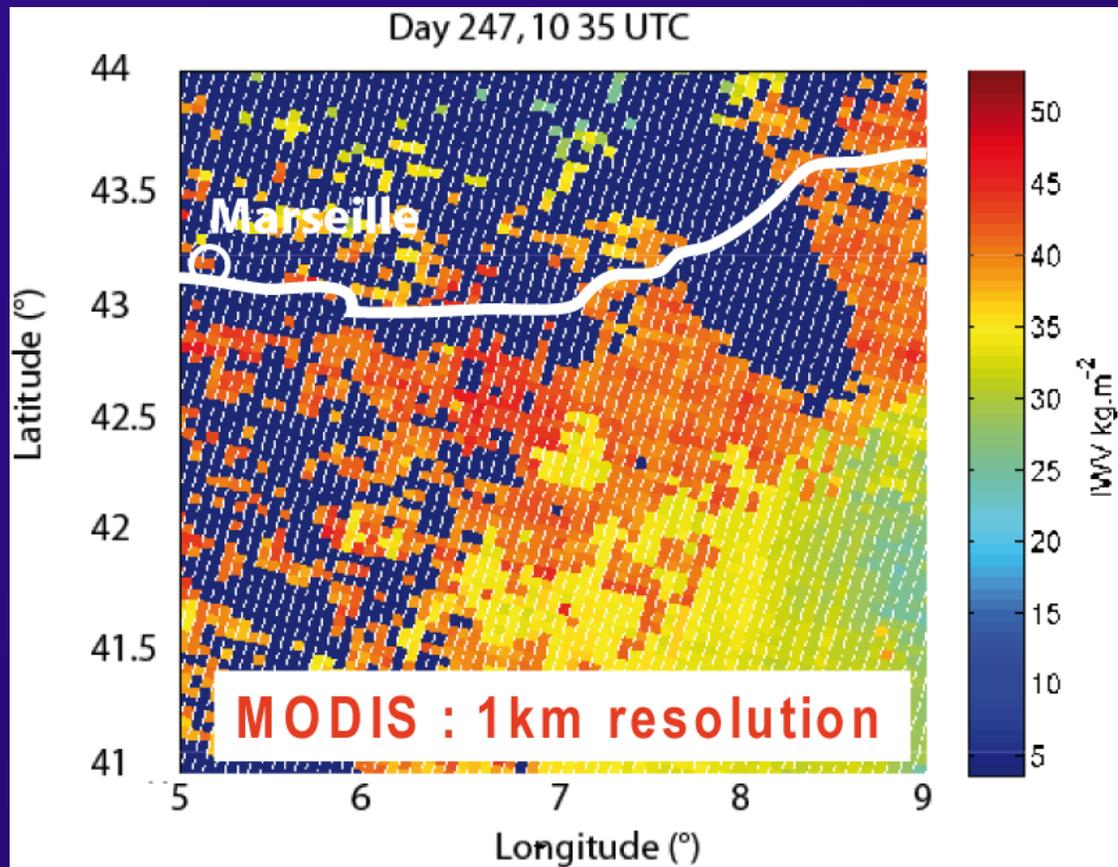
- + Distribution des précipitations
- + Prévisions des légères précipitations
- Sous estimation des fortes pluies  
≈ 25 mm au lieu de 40 mm / CTRL

- Impact significatif sur l'analyse (IWV)
- Information non maintenue → cycle de prévision

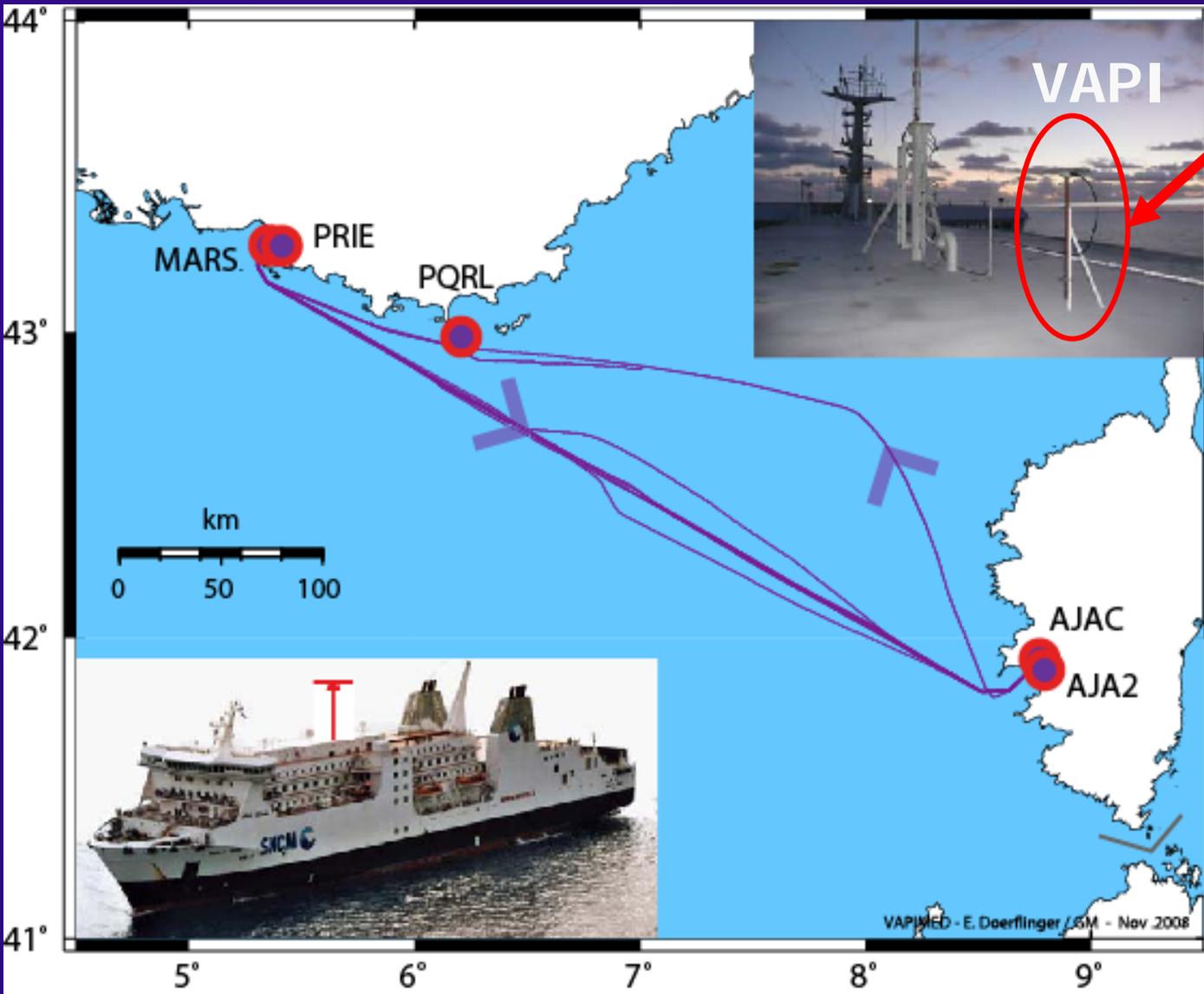


- Problème de modélisation ?
- Densité trop faible ?
- Manque de données en amont ?

- Peu de mesures d'humidité en mer
- Flux d'humidité provenant de la mer Méditerranée mal connu
- Données satellitaires : SSM/I, MODIS



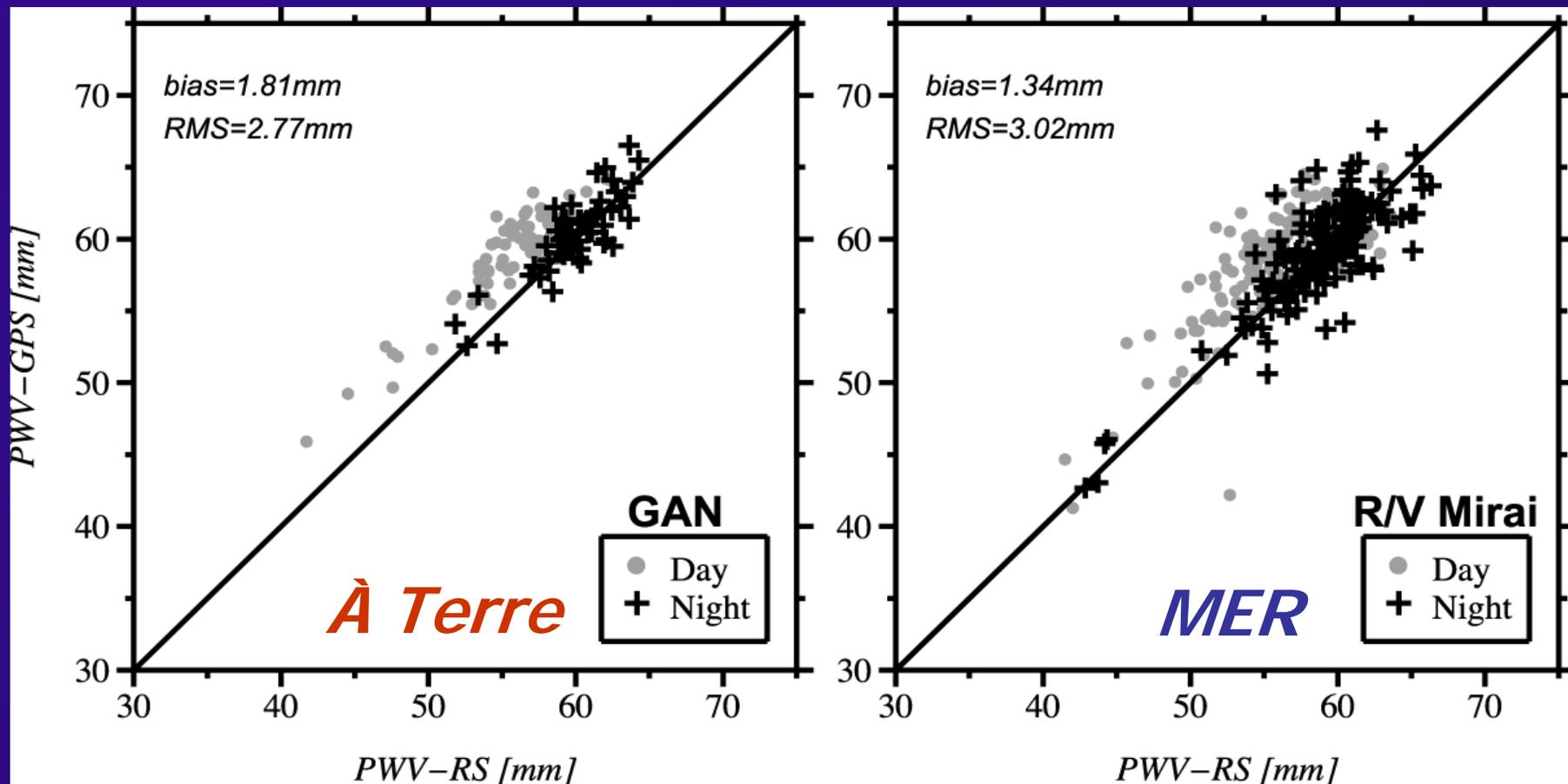
4 mois de campagne : Septembre 2008 à Janvier 2009



VAPI

Antenne GPS  
+ capteur PTU

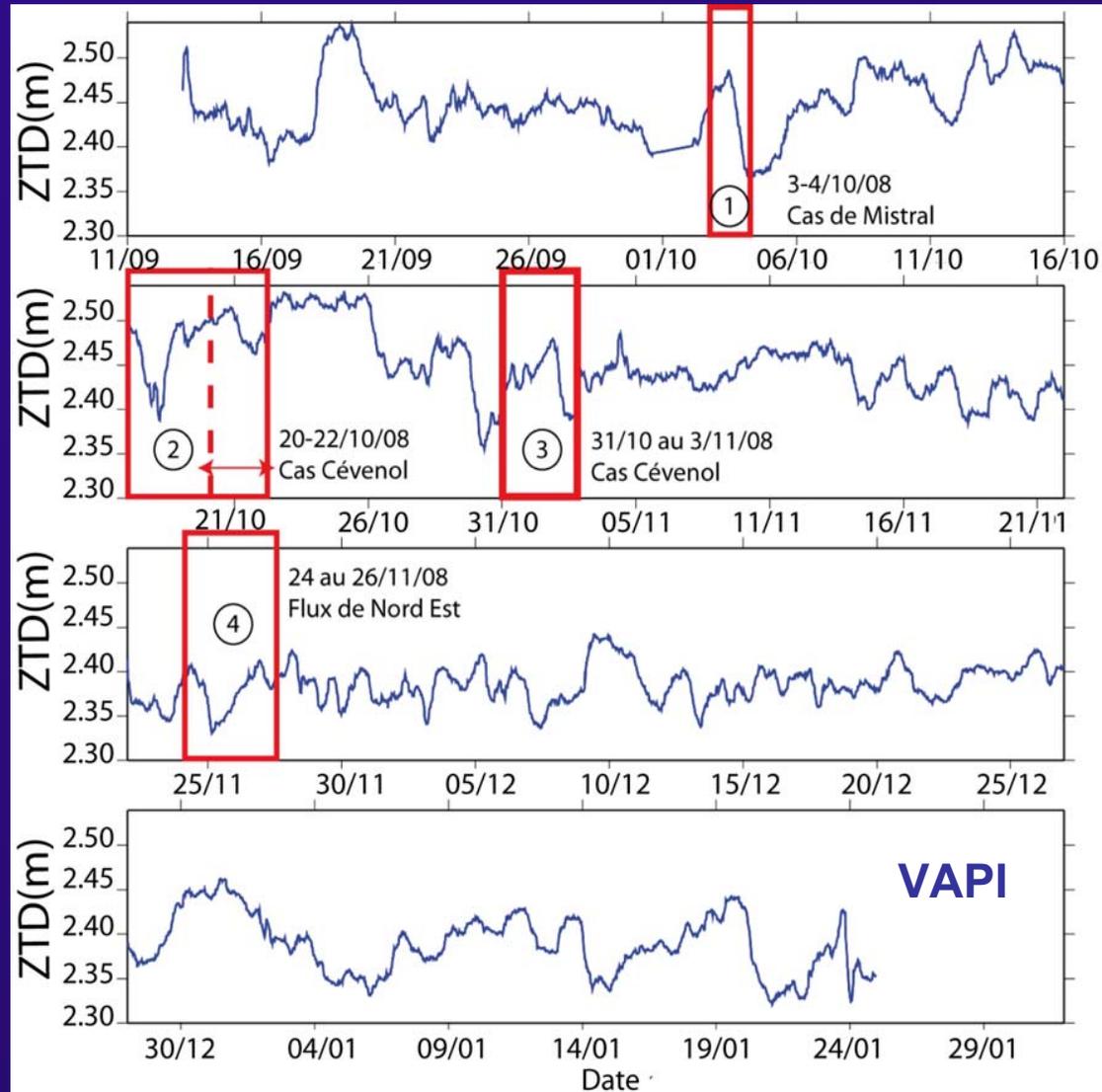
- Les difficultés :
  - résolution des ambiguïtés entières
  - traitement PPP privilégié



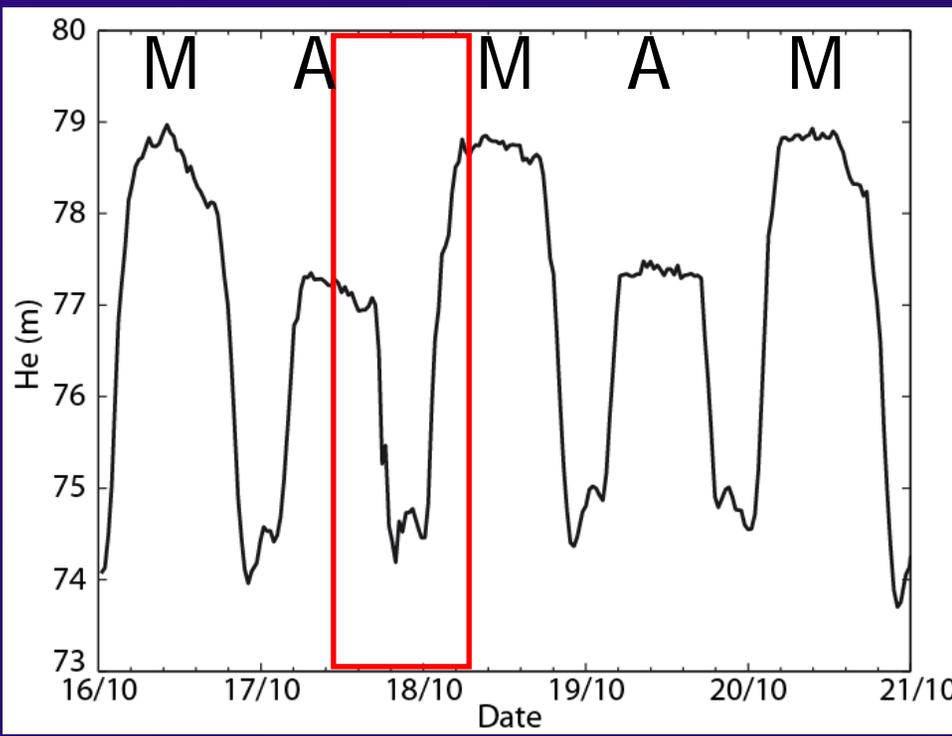
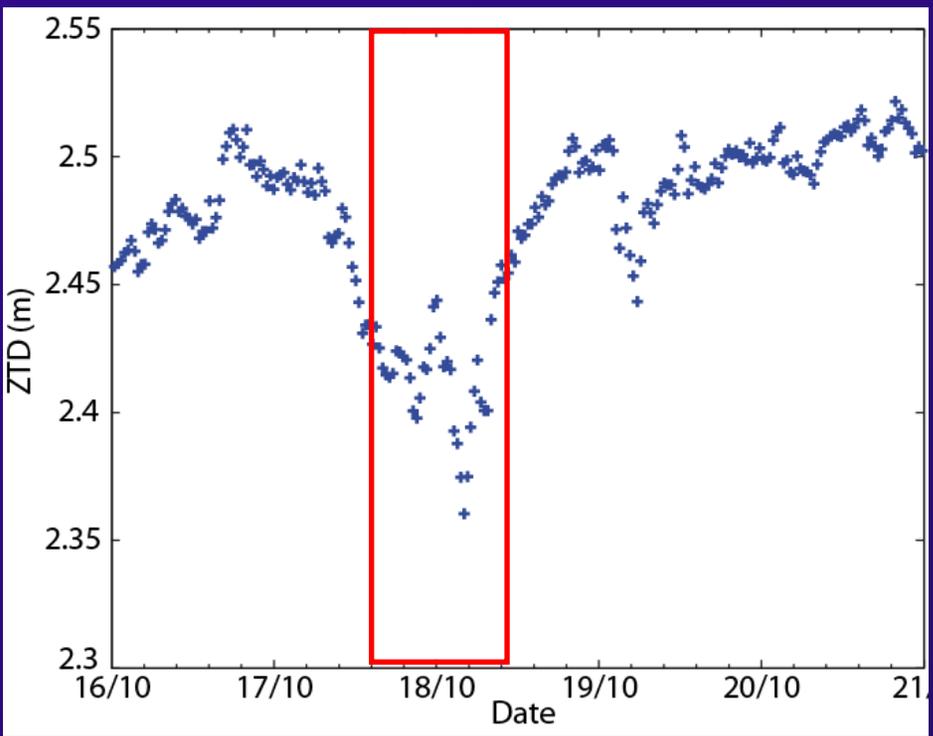
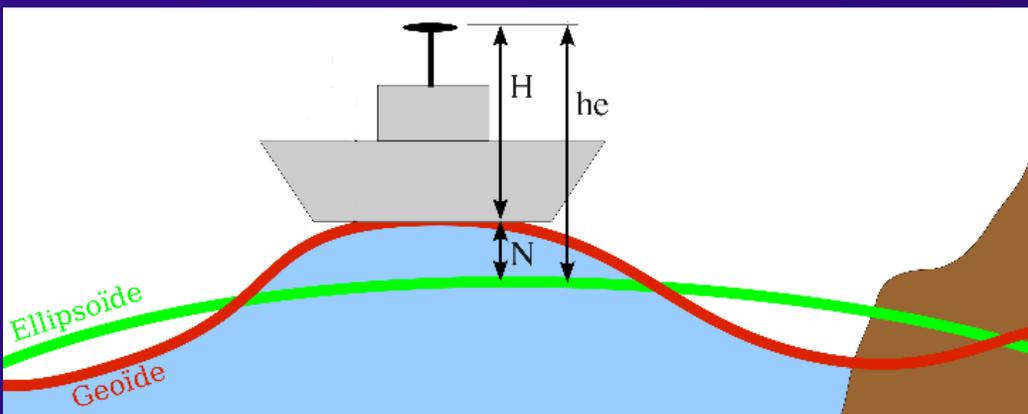
Précision sur PW  $\approx$  2 - 3 mm (RMS)

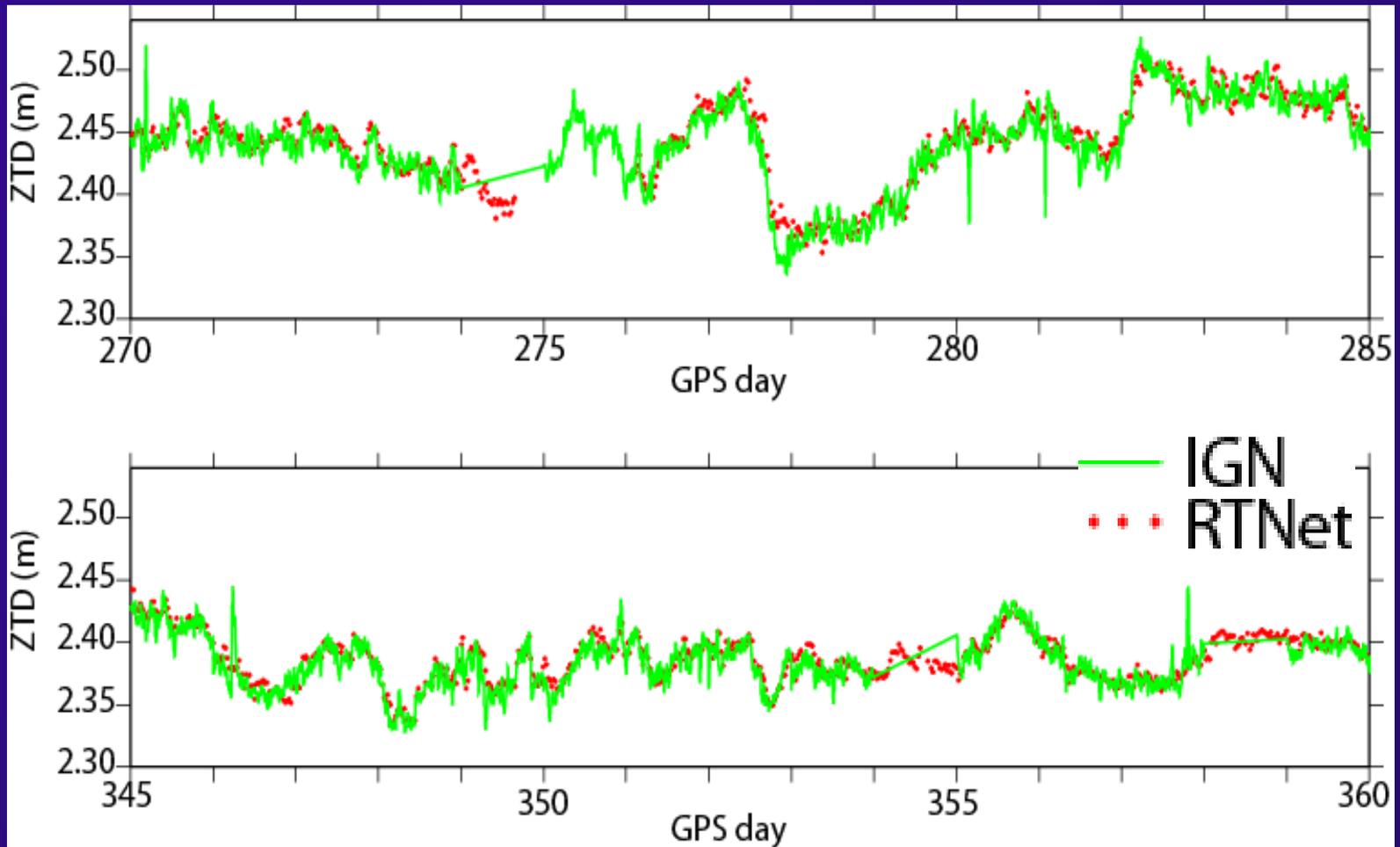
Fujita et al. (2008)

- 2 Traitement GPS : RTNet et IGN/Bernese modifié
- Prévisions ALADIN : T, P, Hu  $\rightarrow$  ZTD<sub>ALADIN</sub>
- Analyses AROME  $\rightarrow$  ZTD<sub>AROME</sub> sur 4 cas d'études



→ Les variations de ZTD ne sont pas corrélées aux variations de hauteur ellipsoïdale

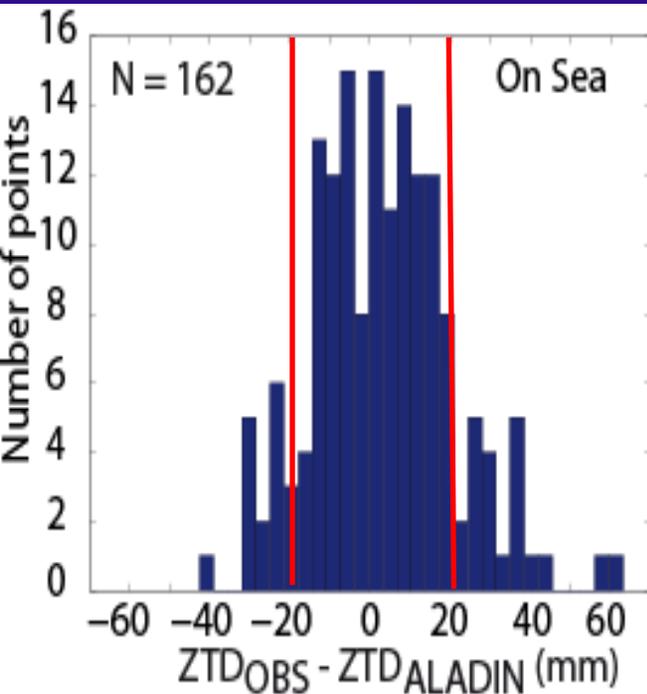




RMSE	Biais
13.80 mm	3.00 mm

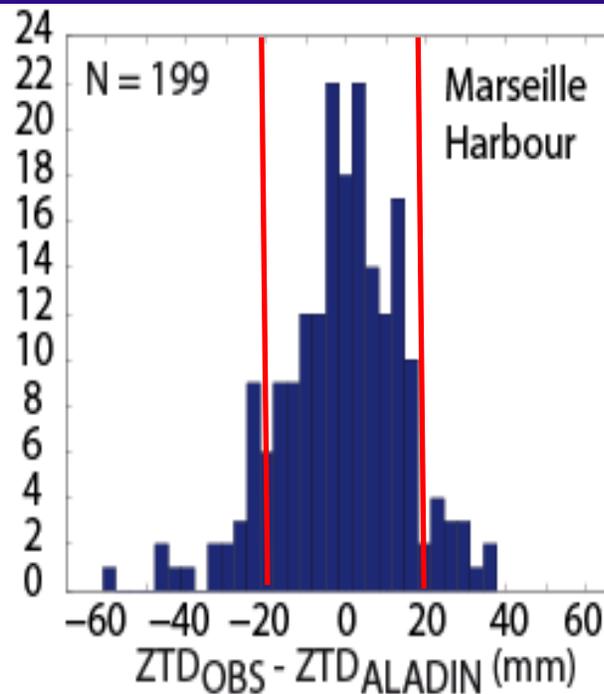
Coeff corr = 96 %

Nb points = 6297



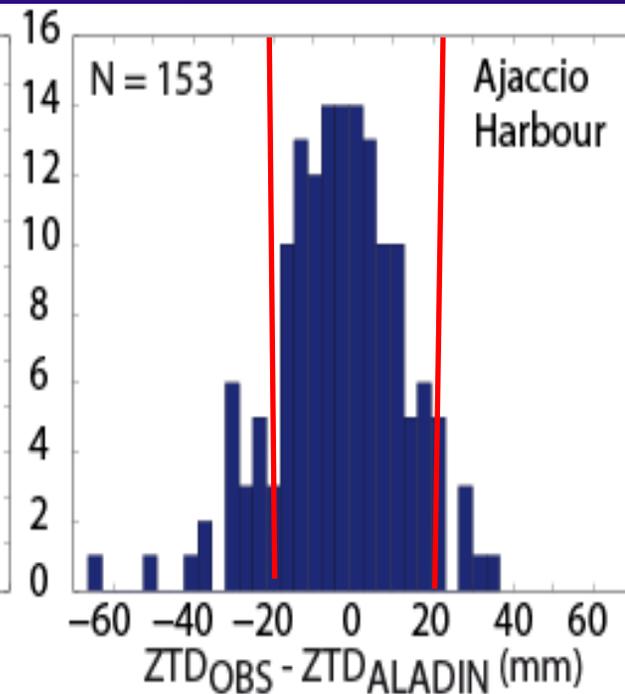
**RMSE = 17.9 mm**

**Biais = 3.2 mm**



**RMSE = 15.8 mm**

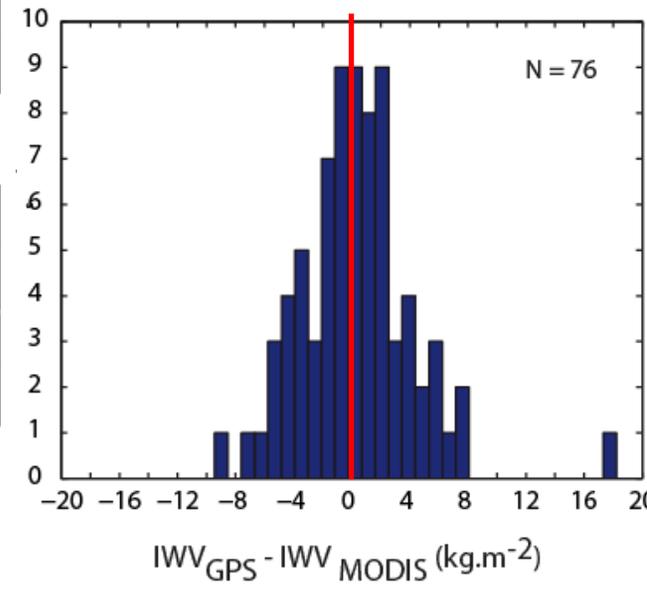
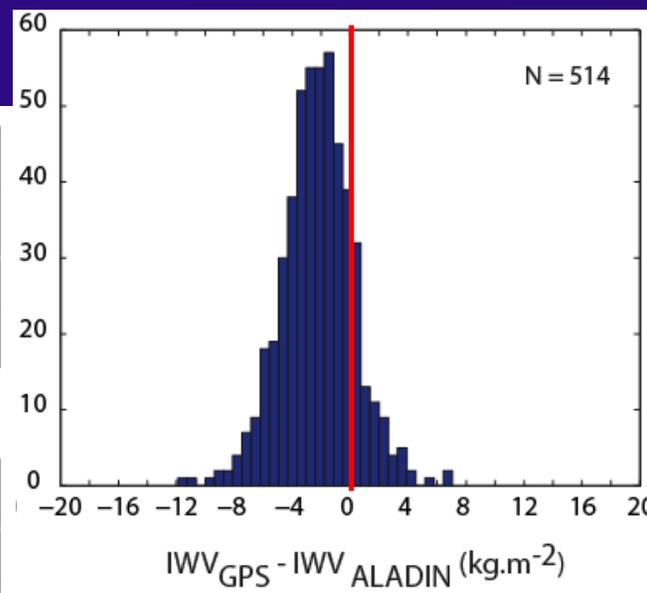
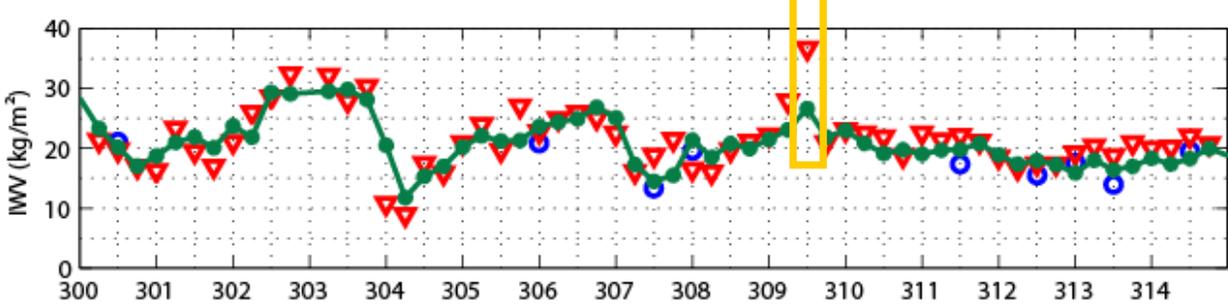
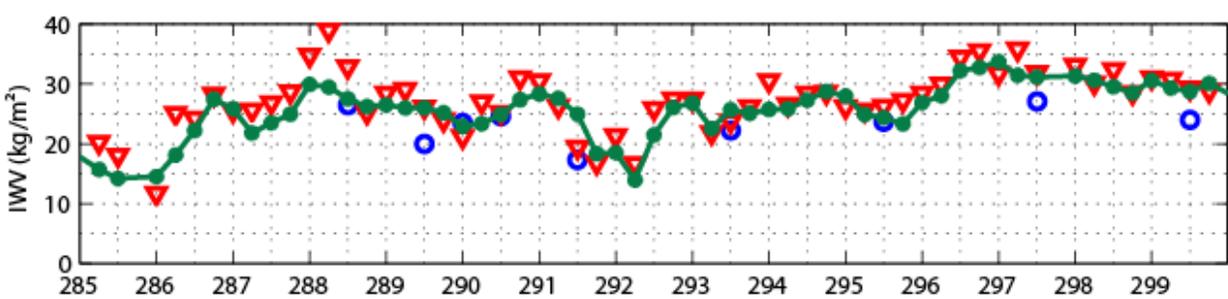
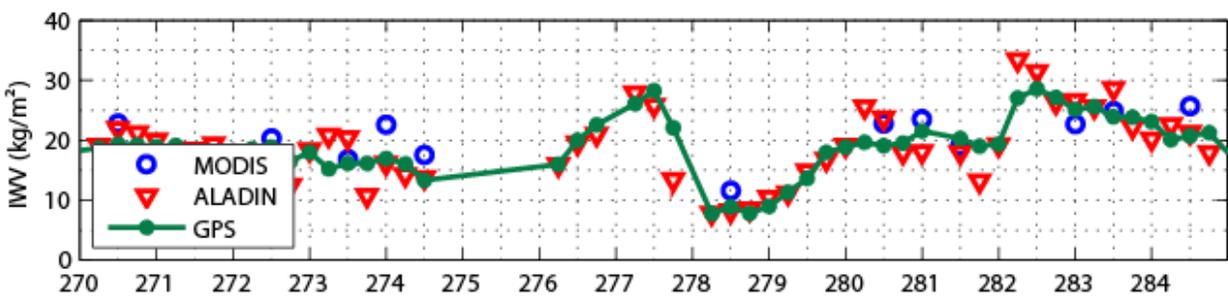
**Biais = -1.4 mm**



**RMSE = 16.3 mm**

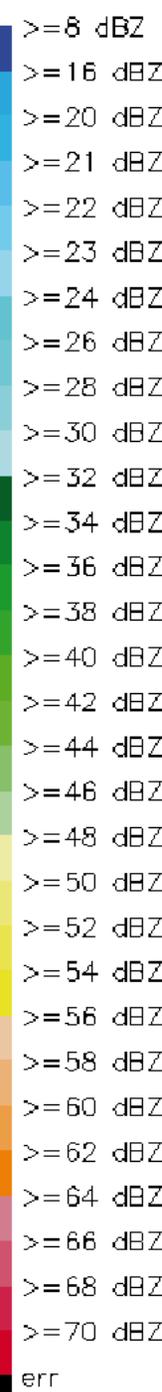
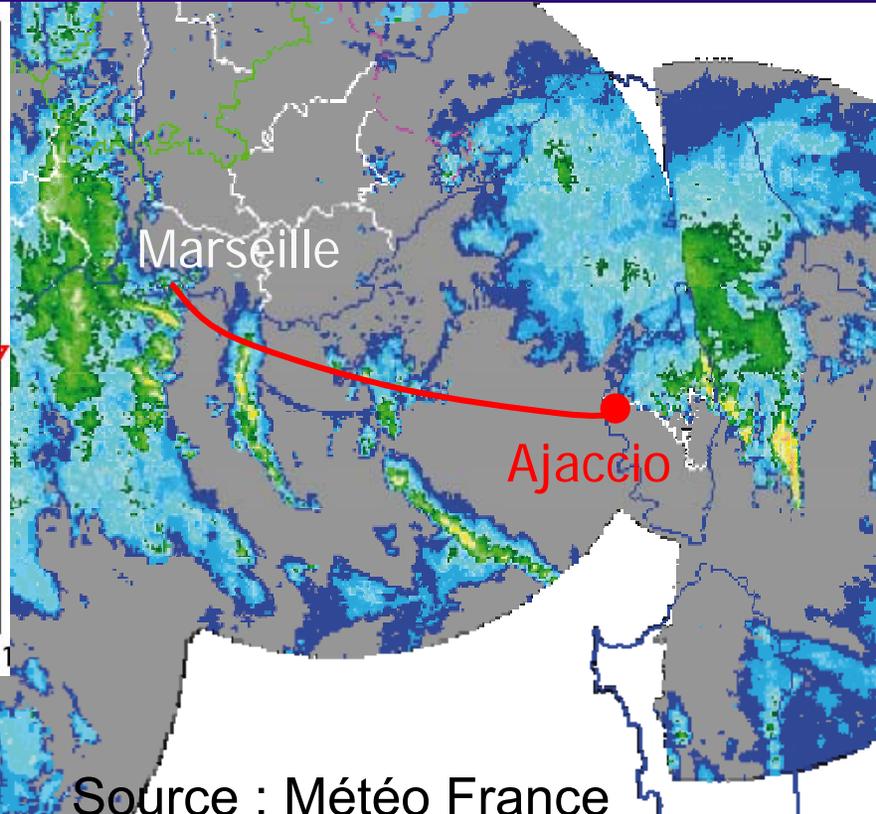
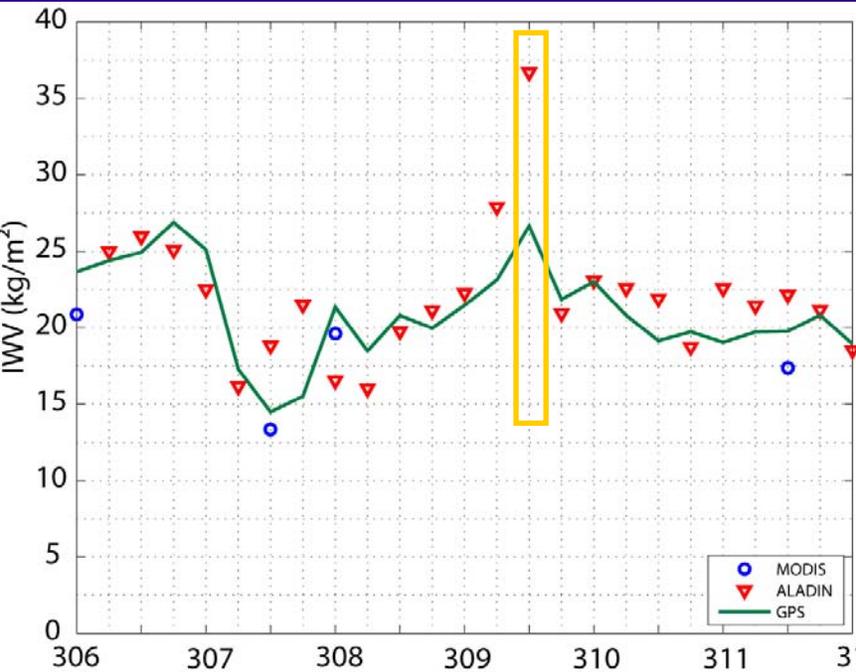
**Biais = -3.7 mm**

- Différences significatives  $> \pm 20$  mm sur les ZTD



Quelles sont les causes possibles des **écarts observés** ?

- données GPS ?
- estimation modèle ?



- Confirmation de la fiabilité du traitement GPS en mer  
→ 3 – 4 mm sur IWV
- Bon accord statistique global sur l'IWV  
→ GPS / ALDIN et MODIS
- Mise en évidence d'excursions significatives :  
→ Ecart  $\approx 15$  mm sur l'IWV : GPS / ALADIN



- Campagnes OHMCV :
  - Interprétation de l'information spatio-temporelle GPS à poursuivre
- Assimilation de ZTD dans AROME :
  - **Fort impact de l'assimilation des délais GPS** sur la vapeur d'eau comme condition initiale du modèle
  - Nécessité de documenter le flux d'humidité amont ?
- VAPIMED :
  - Fiabilité du traitement GPS en mer
  - Origines des différences marquées GPS/ALADIN ?

- Importance du flux d'humidité amont  
→ systématiser les mesures GPS en mer (Projet HyMex)
  - Assimilation 4D-VAR d'observations GPS denses ?
- Postdoc à EC / ARMA ( J. Aparicio)
- complémentarité GPS-sol utilisation sur terre
  - GPS-RO étude de la réflexion sur les océans



**Merci de votre attention**