

GdR « Radiométrie micro-onde pour l'étude de l'atmosphère »

La vapeur d'eau par GPS

Olivier Bock

LAREG, IGN

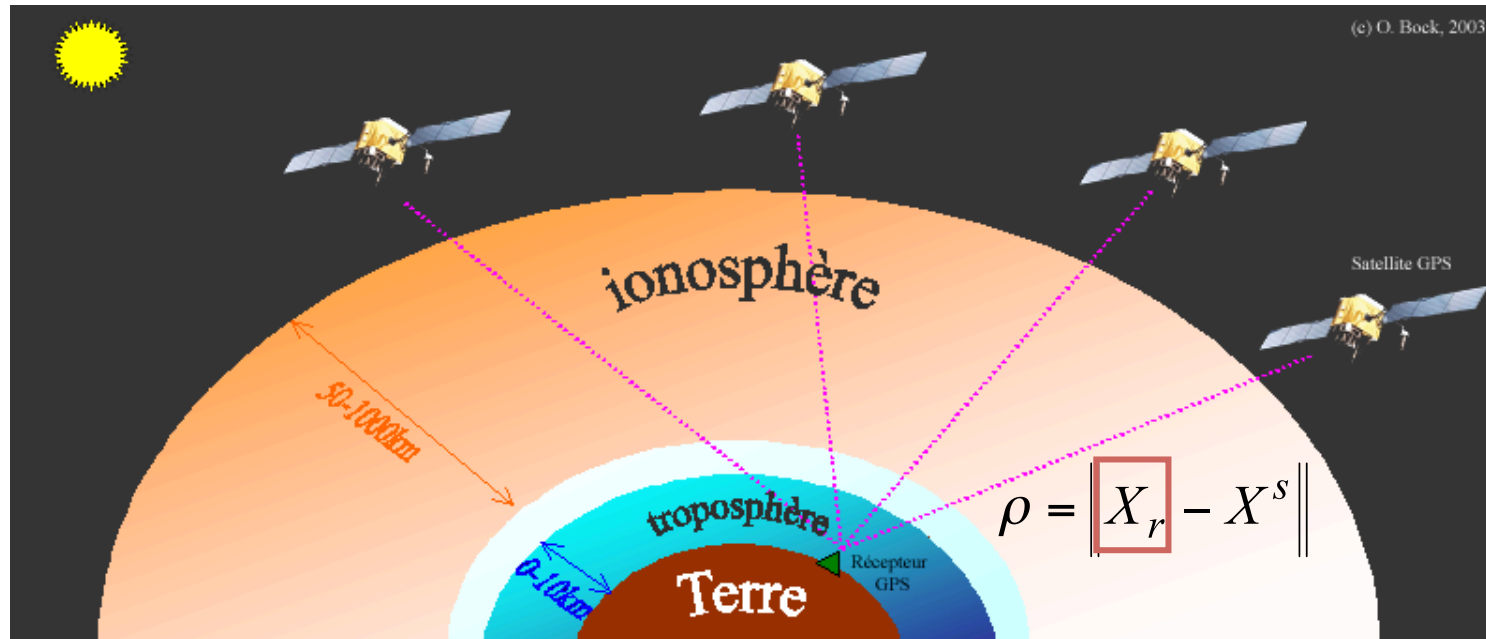
Journée de réflexion sur l'estimation de la vapeur d'eau atmosphérique
6 octobre 2010, Observatoire de Paris.

Plan de l'exposé

- Principes du sondage de VE par GPS
 - La mesure GPS et le traitement de la troposphère
 - Réseaux GPS permanents, services internationaux et produits opérationnels
 - Les campagnes et produits recherche
- Applications
 - Etude de processus
 - Multi-échelle (cycle diurne -> saisonnier)
 - étude locales à globales
 - Prévision
 - Calcul en temps quasi-réel et assimilation météo opérationnelle (projet E-GVAP)
 - Etudes de cas (assimilation / simulation)
 - Evaluation de produits
 - Modèles: temps quasi-réel et temps différé (prévisions, analyses, réanalyses)
 - Observations: radiosondes, satellites MO et VIS/IR
 - Inter-comparaisons et synergie entre observations
 - GPS, radiomètres, radiosondes, lidars ... (campagnes ARM, VAPIC, etc.)
 - Couplage lidar Raman et GPS (collab. IGN-LATMOS)
- Perspectives
 - Mesures absolues de l'humidité
 - Projet DéMéVap
 - Climatologie
 - Réseaux permanents, programmes AMMA, HyMeX...

Principes du sondage de VE par GPS

- La mesure GPS et le traitement de la troposphère



Observable: $L_{obs} = \rho + c \cdot (dt - dT) + \lambda \boxed{N} - \delta\rho_{iono} + \delta\rho_{trop} + \varepsilon$

Modèle troposphérique:

$$\delta\rho_{trop}(E, \phi) = ZHD \times m_h(E) + \boxed{ZWD} \times m_v(E) + \boxed{G_N} \cos \phi + \boxed{G_E} \sin \phi \times m_g(E)$$

Estimation (moindres carrés ou Kalman)

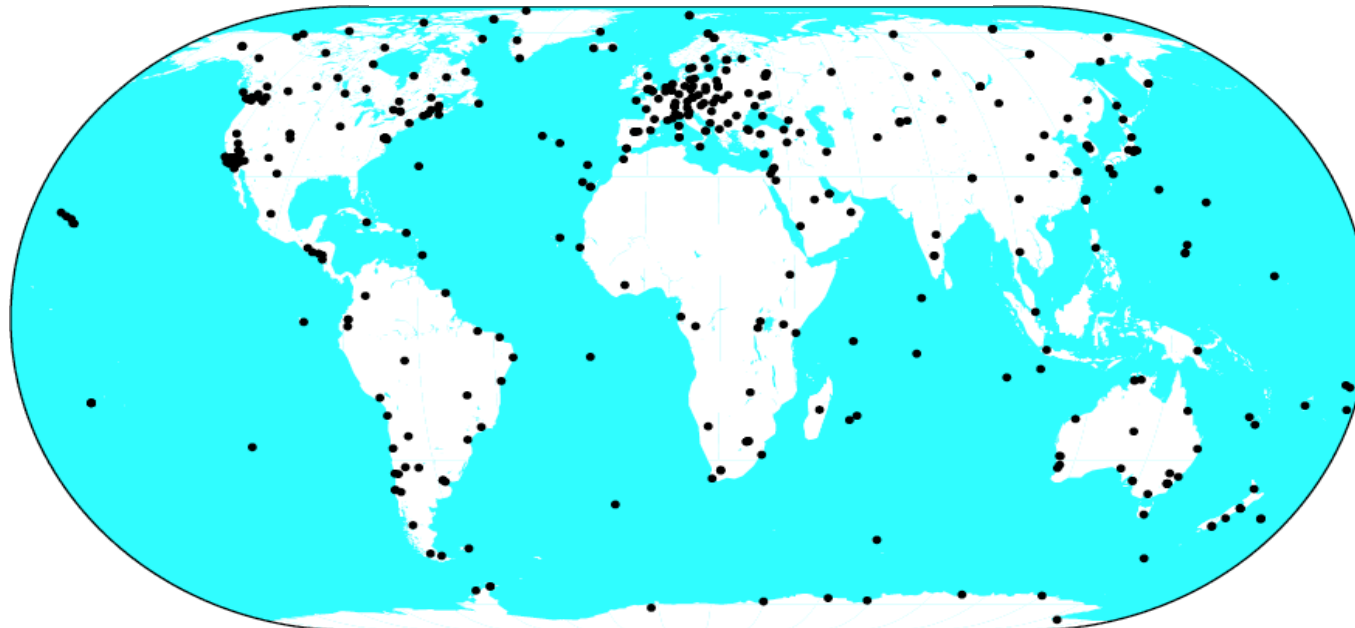
Conversion VEI: $TCWV = ZWD \times \kappa \boxed{(T_m)}$ $ZHD = 10^{-6} k_1 R_d \frac{\boxed{P_{sf c}}}{g_m}$

Principes du sondage de VE par GPS

- Réseaux GNSS, services internationaux, données et produits

IGS

International GNSS Service



<http://igsb.jpl.nasa.gov/>

~ 350 stations

Données: 1s/15', 30s/1h, 30s/24h (GPS+GLONASS)

Produits: crd, tropo, iono, éphémérides (orbites : igu, igr, igs; horloges; ERP)

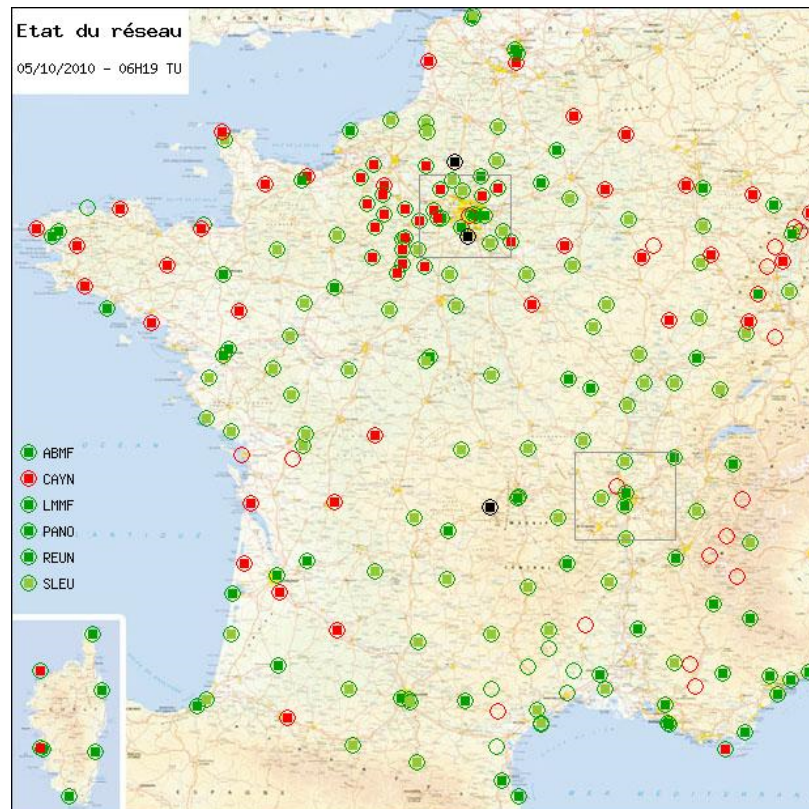
Conventions IERS + modèles (correction relativistes, marées, MF tropo...)

Principes du sondage de VE par GPS

- Réseaux GNSS, services internationaux, données et produits

RGP

Réseau GNSS Permanent



<http://rgp.ign.fr/>

~200 stations

Données: 1s/1h, 30s/24h

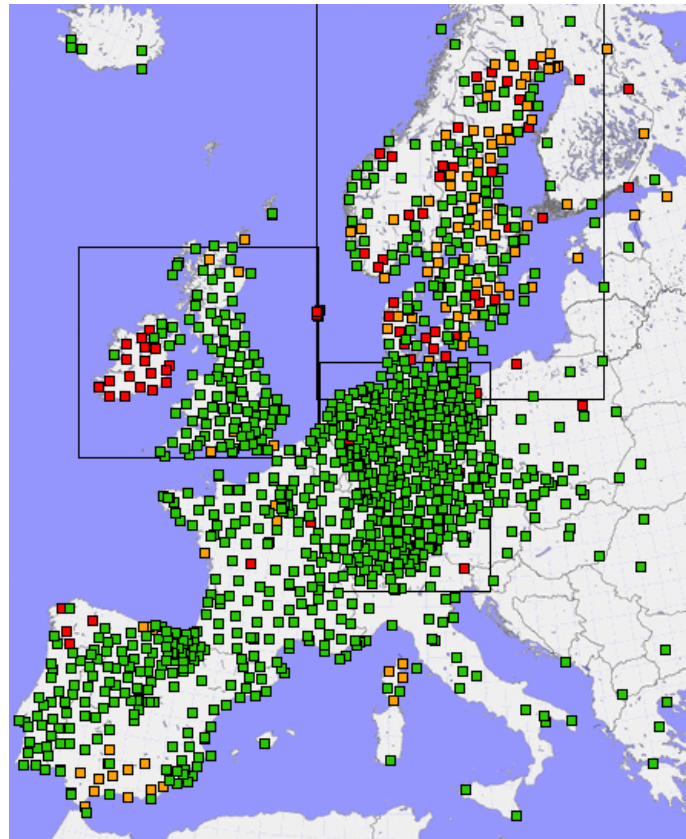
Produits: crd, tropo, iono, éphémérides (orbites, horloges, ERP)

Principes du sondage de VE par GPS

- Réseaux GNSS, services internationaux, données et produits

E-GVAP

Eumetnet-GPS WVapor Project



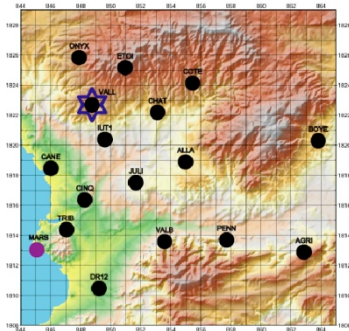
11 centres d'analyse GPS
13 centres de prévision
météo

~ 800 stations

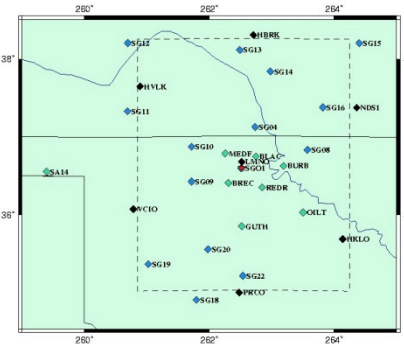
Produits: tropo (NRT uniquement)

Principes du sondage de VE par GPS

- Les campagnes et produits recherche (groupe GPS/météo Fr)



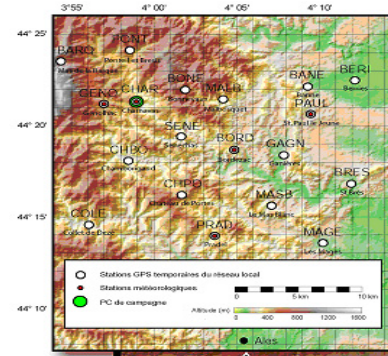
ESCOMPTE 2001
Marseille
Tomographie 3D
dSta~3 km



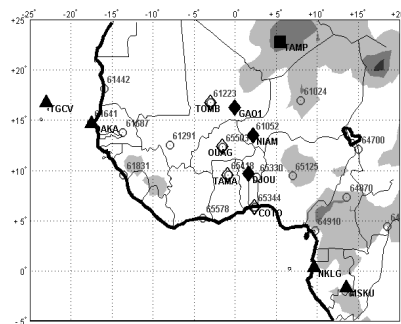
IHOP 2002
SGP, USA
Tomographie 3D
dSta~50 km



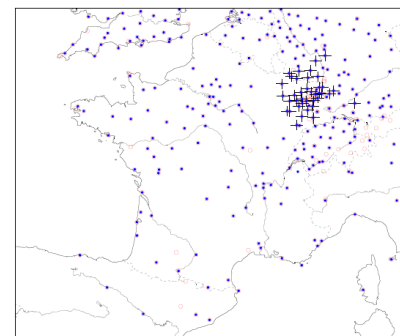
VAPIC 2004
Palaiseau
Intercomparaisons
MWR, lidar, SPM
dSta~20 km



OHM-CV 2002-06
Cévennes-Vivarais
Tomographie 2D
Assimilation
dSta~10 km



AMMA 2005-09
Mousson Africaine
dSta~400 km



COPS 2007
Vosges – Forêt-Noire
Tomographie 2D/3D
Assimilation
dSta~10 km

Applications

- Inter-comparaisons / inter-validations:
 - GPS, radiosondes, radiomètres, photomètres, lidars Raman...
campagnes : ARM WVIOPs (Revercomb, BAMS, 2003), VAPIC, etc.

| Comparaison | Lieu / durée | biais (kg/m ²) | STD (kg/m ²) | Corrélation | pente | NP | Sélection | Traitement X=GPS | Traitement/ version Y |
|-------------|------------------|----------------------------|--------------------------|-------------|-------|-----|-----------|------------------|-----------------------|
| RS – GPS | Palaiseau / 30j | 0,30 | 1,10 | 0,97 | 1,02 | 40 | | GAMIT | RS92 |
| " | Trappes / 30j | 0,6 | 1,30 | 0,98 | 0,94 | 41 | | GAMIT | RS90 |
| MWR – GPS | Palaiseau / 30j | 0,55 | 1,20 | 0,99 | 0,89 | 505 | | GAMIT | RESCOM |
| | " | 0,54 | 0,94 | 0,99 | 0,99 | 412 | | " | DRAKKAR |
| | " | -1,25 | 0,97 | 0,99 | 1,06 | 407 | | " | HATPRO |
| SPM – GPS | Palaiseau / 30j | -0,76 | 0,78 | 0,99 | 1,03 | 145 | | GAMIT | Aeronet |
| Lidar - GPS | Palaiseau / 4x6h | -2,20 | 2,30 | | | 33 | | GAMIT | RAMEAU |
| " | | -0,20 | 0,35 | 0,88 | | 272 | | GIPSY | RAMEAU |

Applications

- Pr evision:
 - Cas d' tude d'assimilation et pr evision ARPEGE 4D-Var,  v nement du 24/04/2005
 - E-GVAP solutions

Poli et al., JGR, 2007

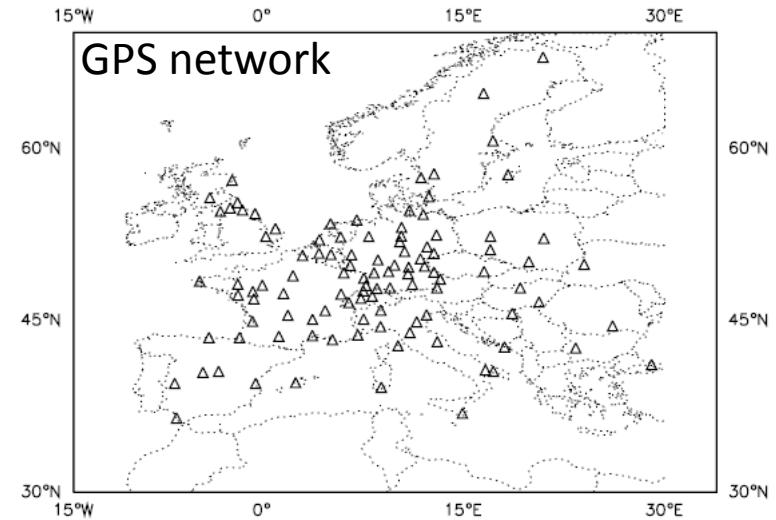


Figure 3. Map of the 106 GPS stations used in the first two assimilation trials.

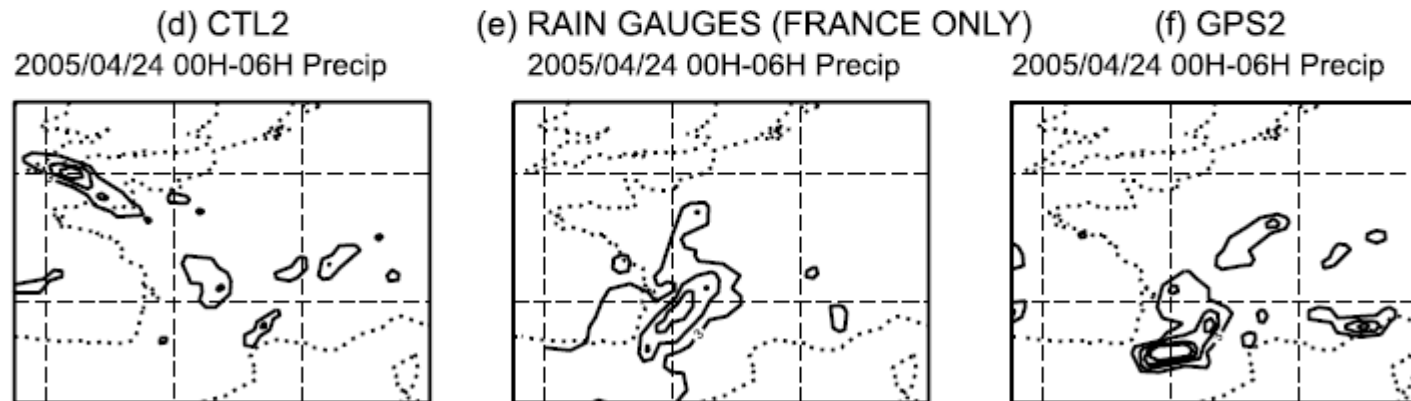


Figure 8. Maps showing precipitation over France, predicted by (a) CTL2, (b) observed by rain gauges, and (c) predicted by GPS2 for 23 April 2005 between 0000 and 1200 UTC. (d–f) Idem but for 24 April 2005 between 0000 and 0600 UTC. Contour is every 3 mm.

Applications

- Pr evision:
 - Cas d' tude, assimilation et pr evision AROME 3D-Var,  v nement du 19/07/2007 (COPS)

GPS network (E-GVAP+COPS)

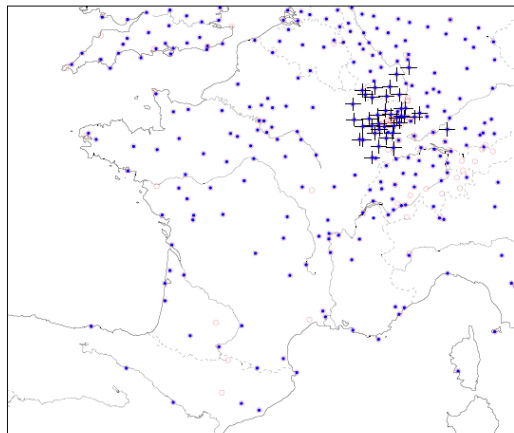


Figure 3: Location of the ground-based 316 GPS stations (circles) from the E-GVAP and COPS networks, plotted over the AROME domain. The 277 stations selected by the pre-processing and used after in the data assimilation are marked with a black bullet. The stations removed for the OPR experiments are marked also by a cross.

Yan et al., JGR, 2009

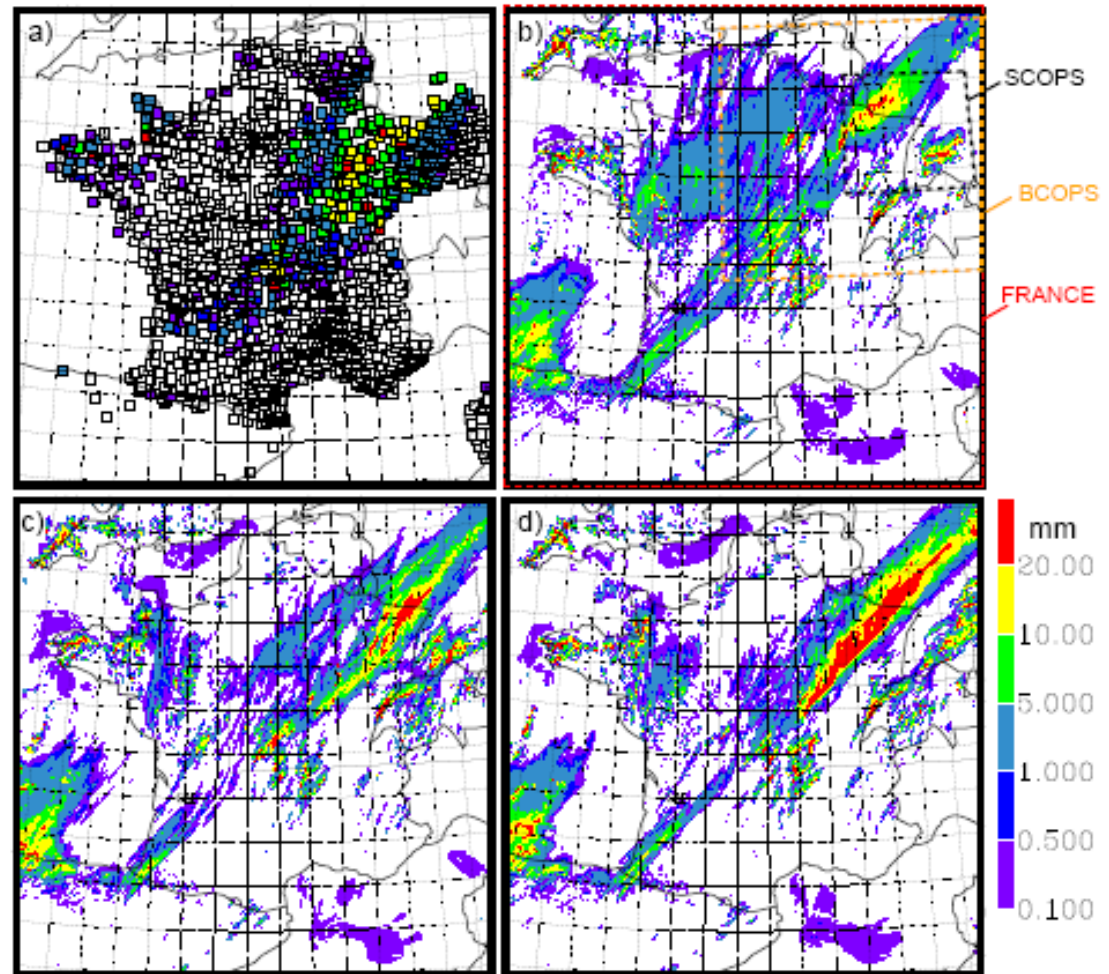
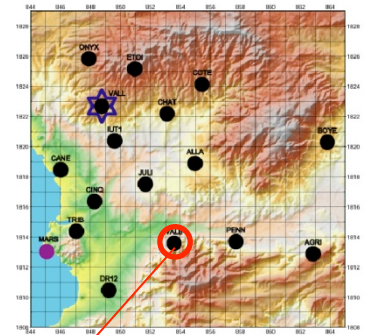


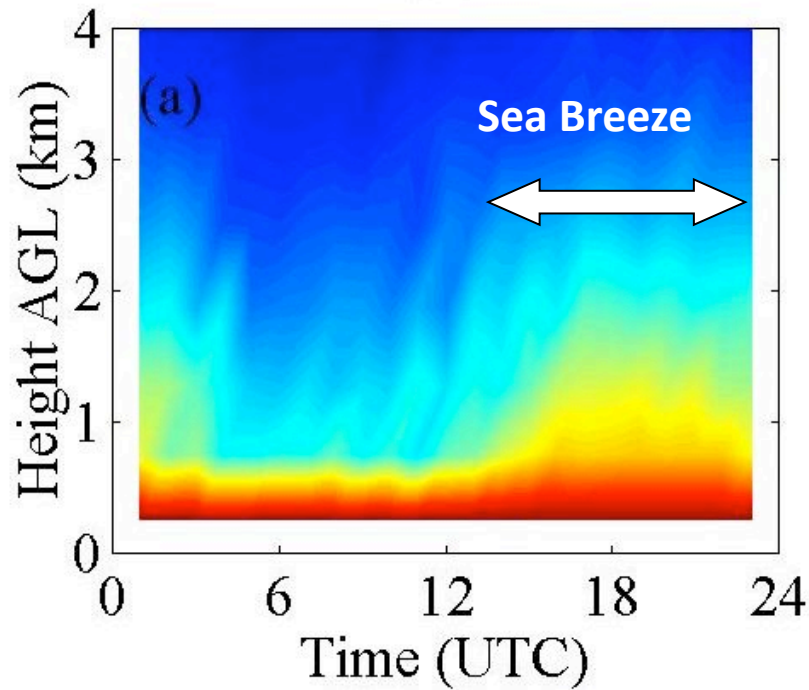
Figure 4: 12-h accumulated precipitation (mm) from 03 UTC to 15 UTC, 19 July 2007 from : a) raingauge observation; b) the REF AROME forecast; c) the COP AROME forecast; d) the OPR AROME forecast. The AROME forecasts start all at 00 UTC, 19 July 2007. In panel b, are delineated the domains used for computing the scores displayed in Fig. 5, 6, 4.1.4.1)

Applications

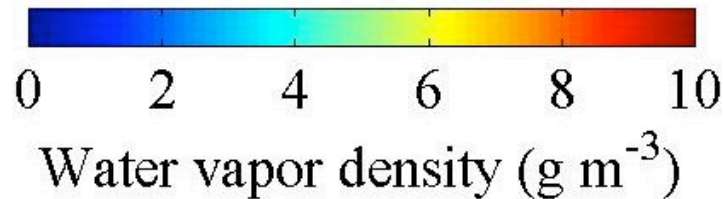
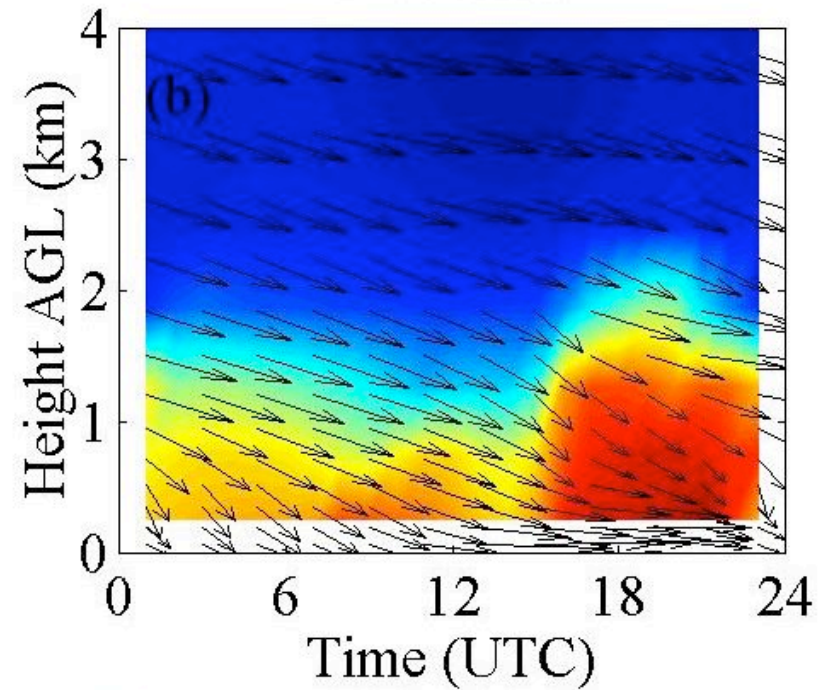
- Etude de processus:
 - ESCOMPTE 2001: cycle diurne / brise de mer



GPS



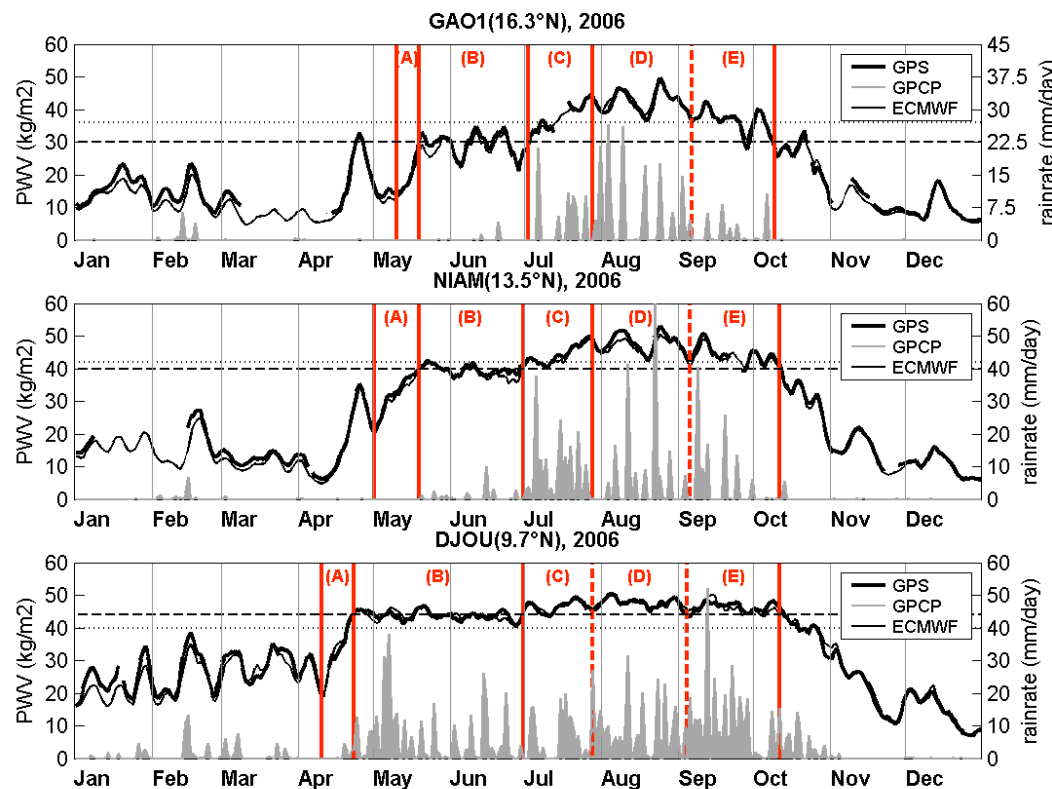
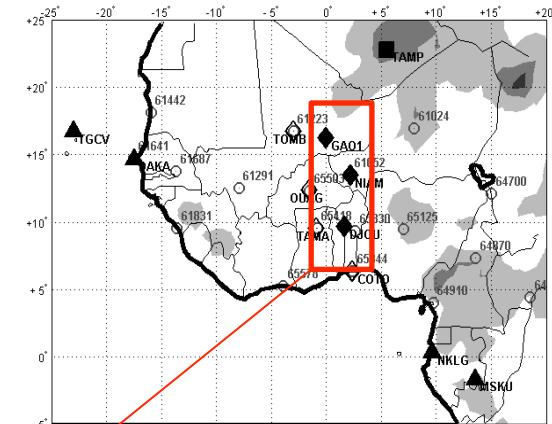
Simulation



S. Bastin et al., 2007

Applications

- Etude de processus:
 - AMMA: 4/5 ans d'observations sur 6 stations
 - Cycle diurne TCWV, bilans d'eau, MCS
 - Pulsations de mousson (3-5 j), ondes et variabilité intra-saisonnière
 - Cycle saisonnier et variabilité inter-annuelle



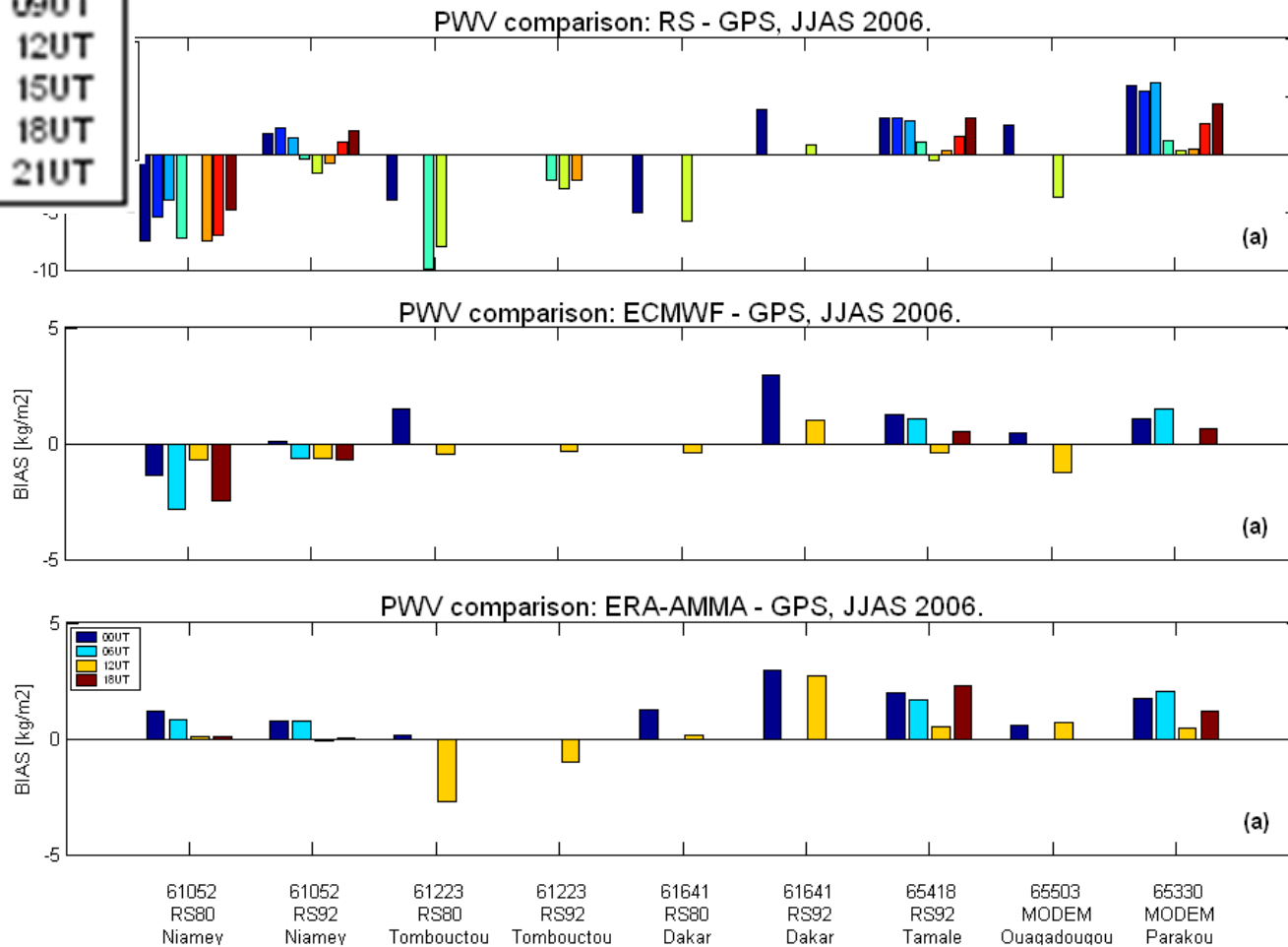
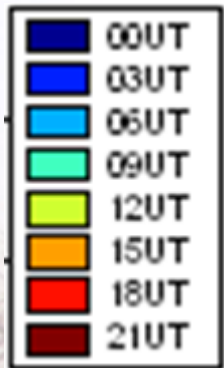
TCWV: GPS
ECMWF
Rainrate: GPCP

Bock et al., JGR, 2008

Applications

- Evaluation de produits:

- Modèles: temps quasi-réel et temps différé (prévisions, analyses, réanalyses)
- Observations: radiosondes, satellites MO et VIS/IR



Radiosonde - GPS

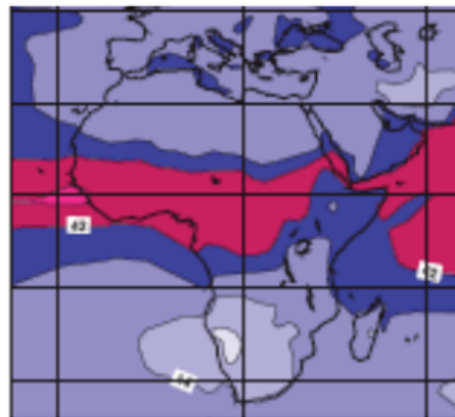
ECMWF AN - GPS

ERA-AMMA - GPS

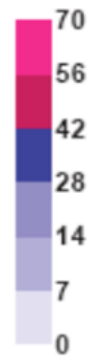
Bock and Nuret, 2009
Agusti-Panareda, 2010
Faccani, 2009

Applications

- Evaluation de produits:
 - Modèles: temps quasi-réel et temps différé (prévisions, analyses, réanalyses)
 - Observations: radiosondes, satellites MO et VIS/IR

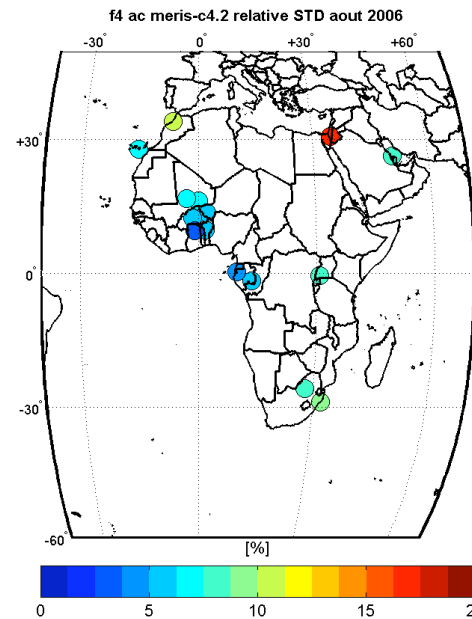


TCWV ECMWF AN



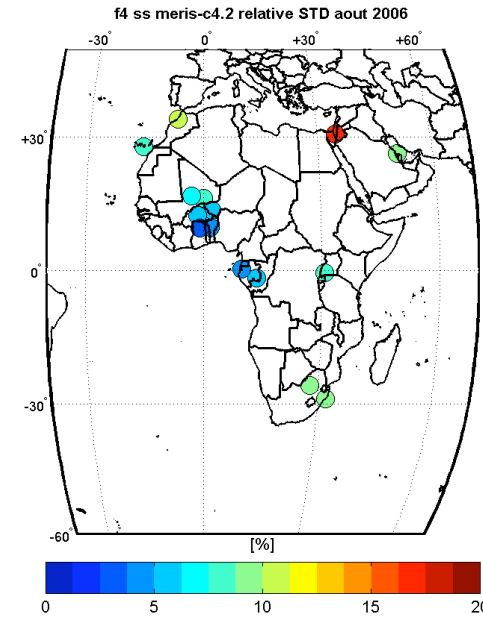
TCWV ECMWF AN - GPS

Avec MERIS

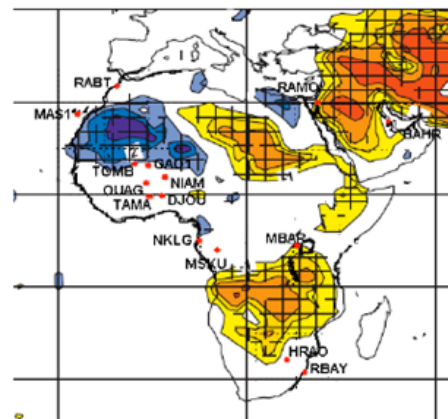


Ecart-type relatif [%]

Sans MERIS (CTL)



Ecart-type relatif [%]



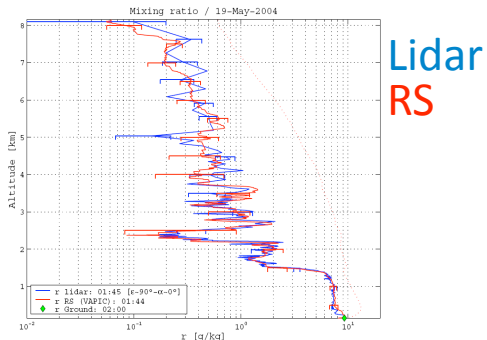
MERIS - CTL



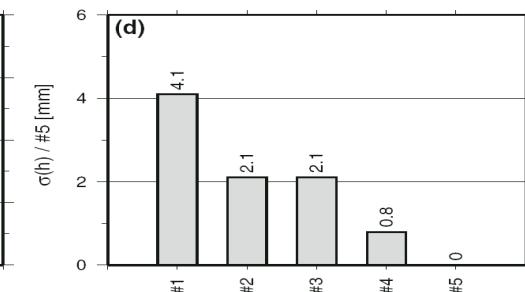
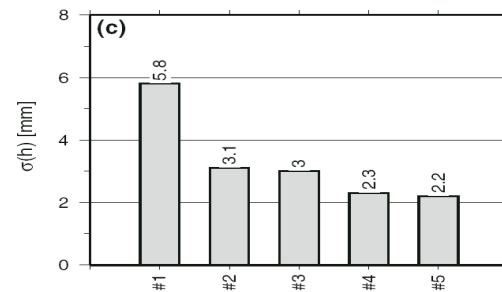
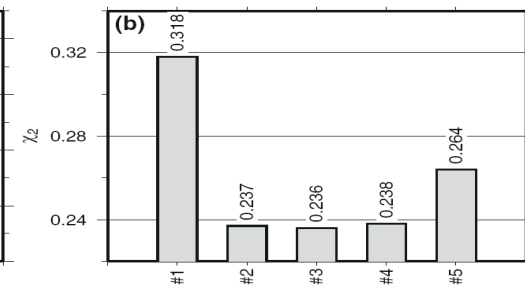
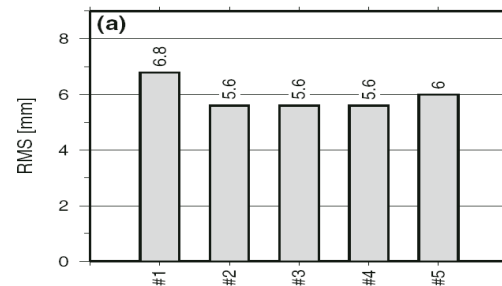
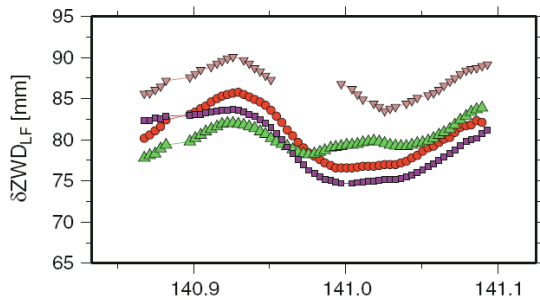
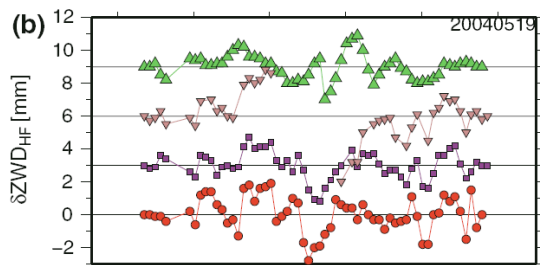
Bauer, QJRMS, 2009

Applications

- Inter-comparisons et synergie entre observations:
 - Couplage lidar Raman et GPS (collab. IGN-LATMOS), VAPIC 2004



| ID | A priori Wet delay | Uncertainty on a priori ZWD (mm) | Mapping function for wet delay estimation | Multipath correction | Lidar calibration |
|----|--------------------|----------------------------------|---|----------------------|-------------------|
| #1 | 0.1m + VMF1 | 500 | VMF1 | No | — |
| #2 | 0.1m + VMF1 | 500 | VMF1 | Yes | — |
| #3 | 0.1m + LMF | 500 | MMF | Yes | Radiosonde |
| #4 | Lidar + LMF | 10 | MMF | Yes | Radiosonde |
| #5 | Lidar + LMF | 500 | — | Yes | Estimated |

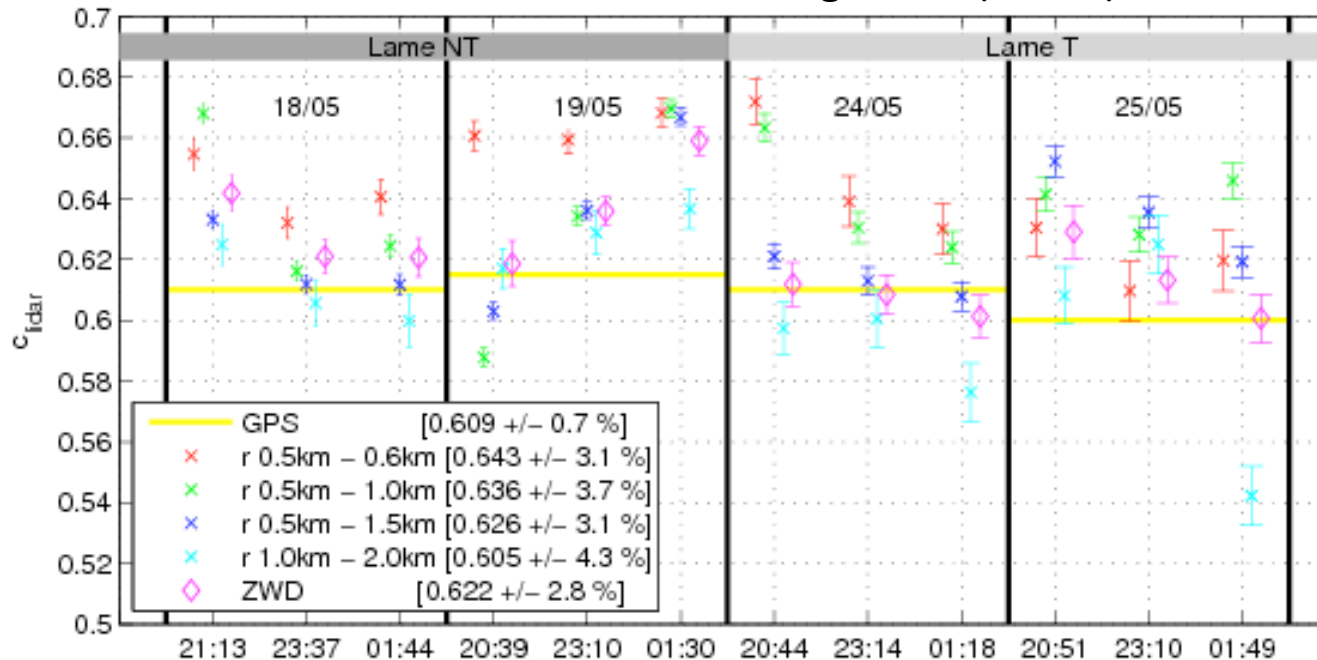


Bosser et al., 2010

Perspectives

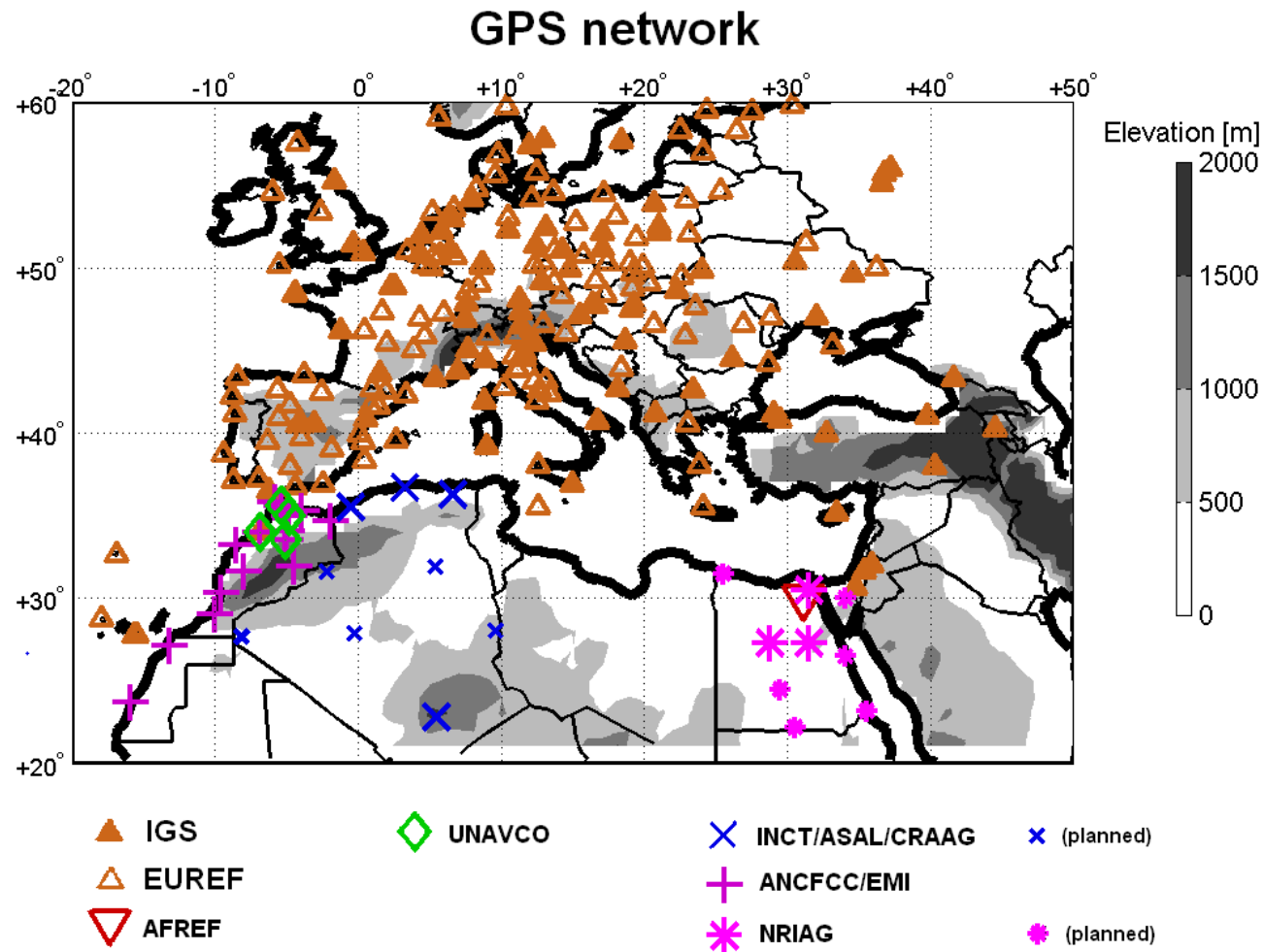
- Mesures absolues de l'humidité
 - Projet DÉMéVap (Développements méthodologiques pour le sondage de la vapeur d'eau troposphérique par lidar Raman, radiosondages et GPS) soumis au PNTS AO2011
 - Réaliser une campagne de mesures lidar Raman (IGN + OHP), RS, GPS
 - Tester des méthodes d'étalonnage lidar (précision ~1%)
 - Inter-comparaison / évaluation de biais (RS, GPS), transfert d'étalonnage

Variation de la constante d'étalonnage lidar (VAPIC)



Perspectives

- Météorologie / Climatologie
 - Réseaux permanents, programmes AMMA, HyMeX...



Données:

- Archive IGS: 1994-
- Ajout stations Africaines
- Centre de calcul (retraitement)

Applications:

- Validation modèles, données satellites
- Prévission: E-GVAP/AF
- Climatologie

Merci

Extra

Tombouctou



AMMA project

composants

Gao

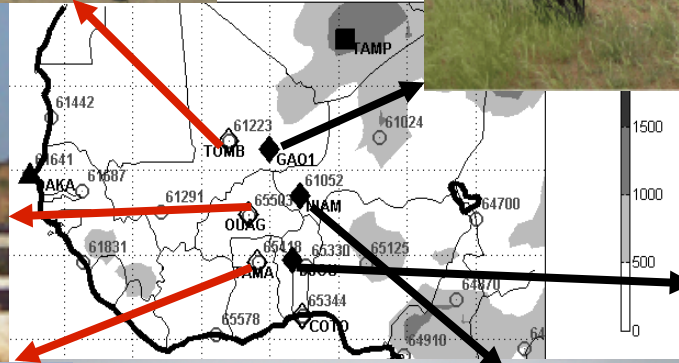


Tour de contrôle

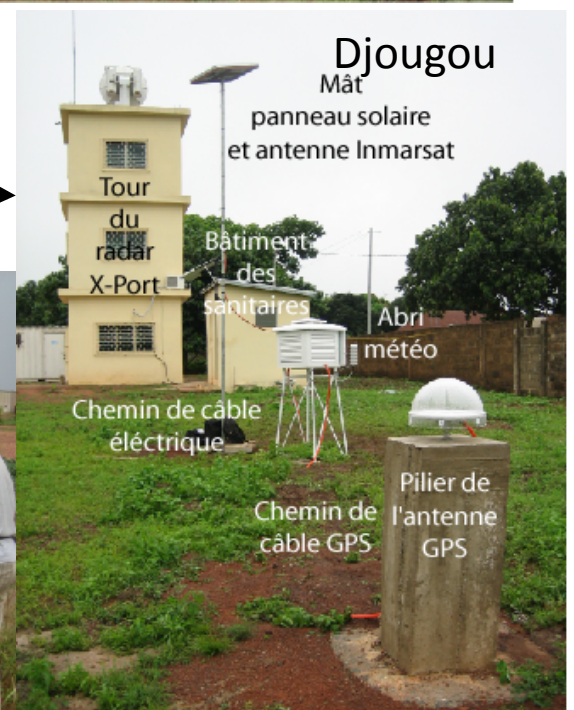
Chemin de câble GPS

Pilier de l'antenne GPS

Ouagadougou



Djouougou



Mât
panneau solaire
et antenne Inmarsat

Bâtiment
des
sanitaires

Abri
météo

Chemin de câble
électrique

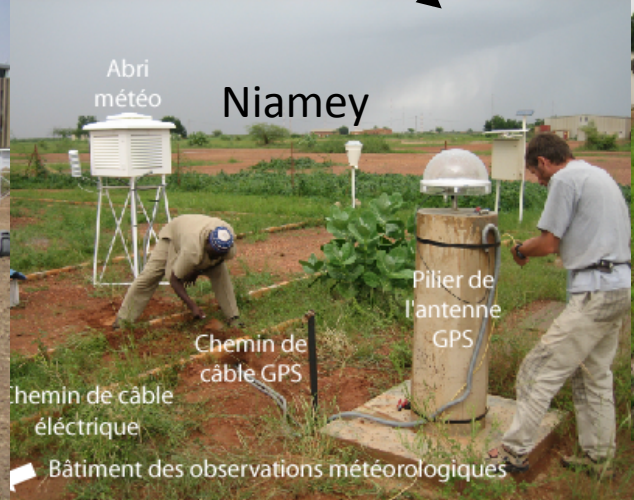
Chemin de
câble GPS

Pilier de
l'antenne
GPS

Tamale



Niamey



Abri
météo

Chemin de
câble
GPS

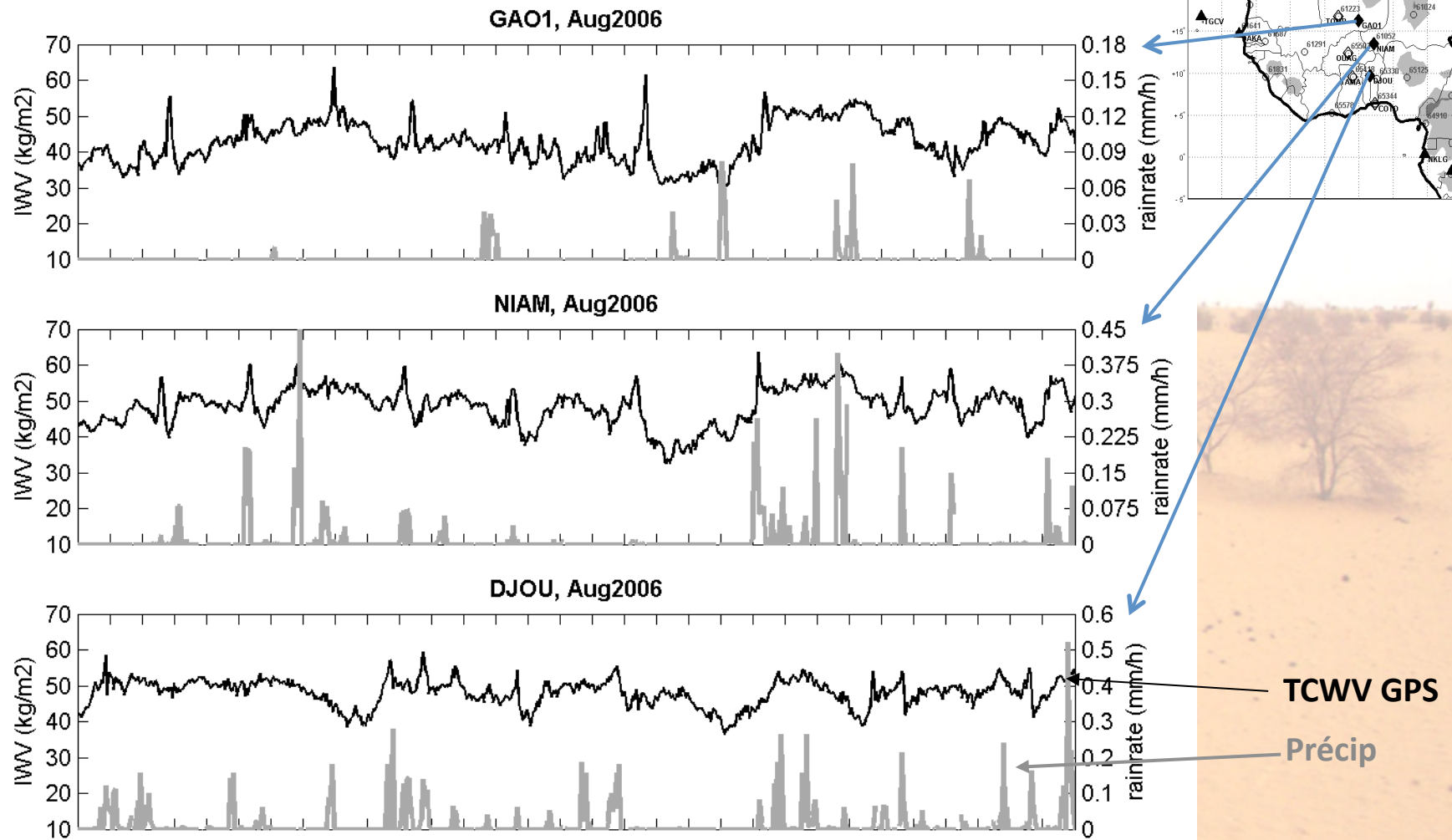
Chemin de câble
électrique

Pilier de
l'antenne
GPS

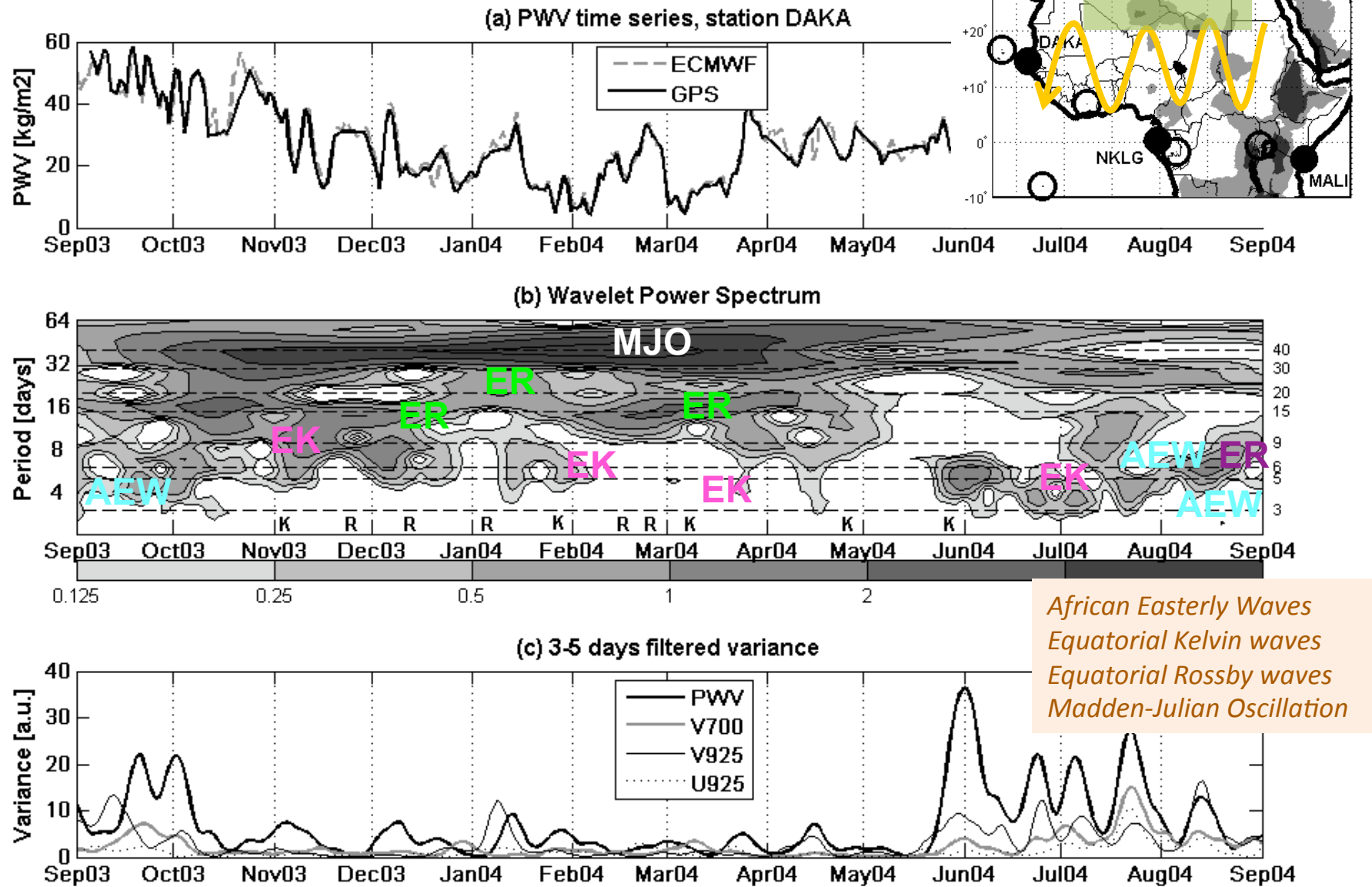
Bâtiment des observations météorologiques

Applications

- Etude de processus: lien TCWV-Précip multi-échelle (AMMA)



• Detection of synoptic-scale waves

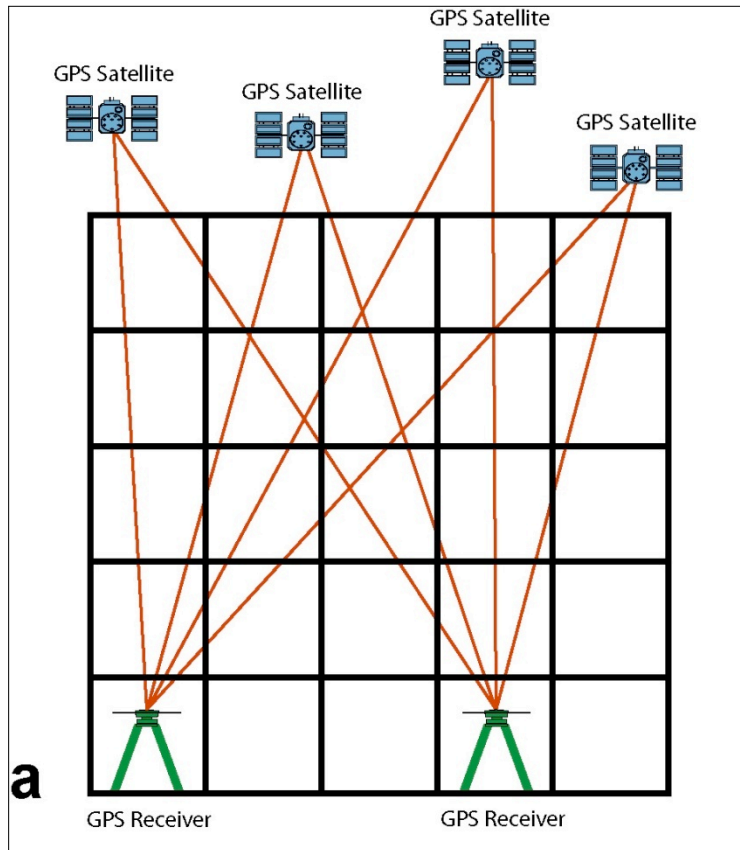


African Easterly Waves
Equatorial Kelvin waves
Equatorial Rossby waves
Madden-Julian Oscillation

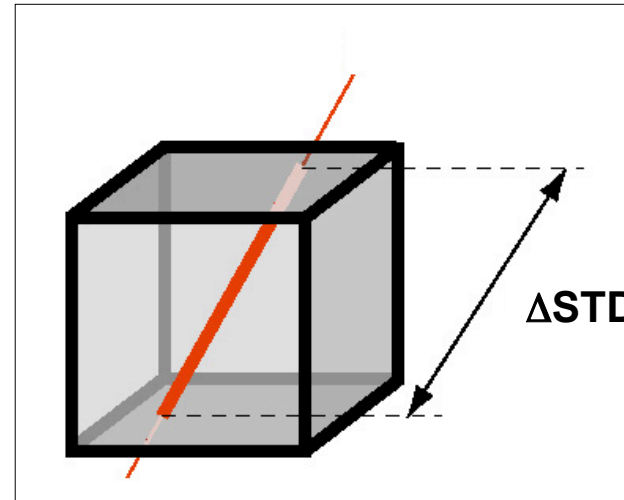
• Atmospheric GPS tomography

Principle:

- Retrieve a 3-D field of water vapor from slant tropospheric delay estimates provided by a dense GPS network



source: C. Champollion



$$\Delta L(e, \alpha) = \Delta L_h^{zen} \times m_h(e) + \Delta L_w^{zen} \times m_w(e) + [G_N \cos \alpha + G_E \sin \alpha] \times m_G(e) + v(e, \alpha)$$

Some examples of products

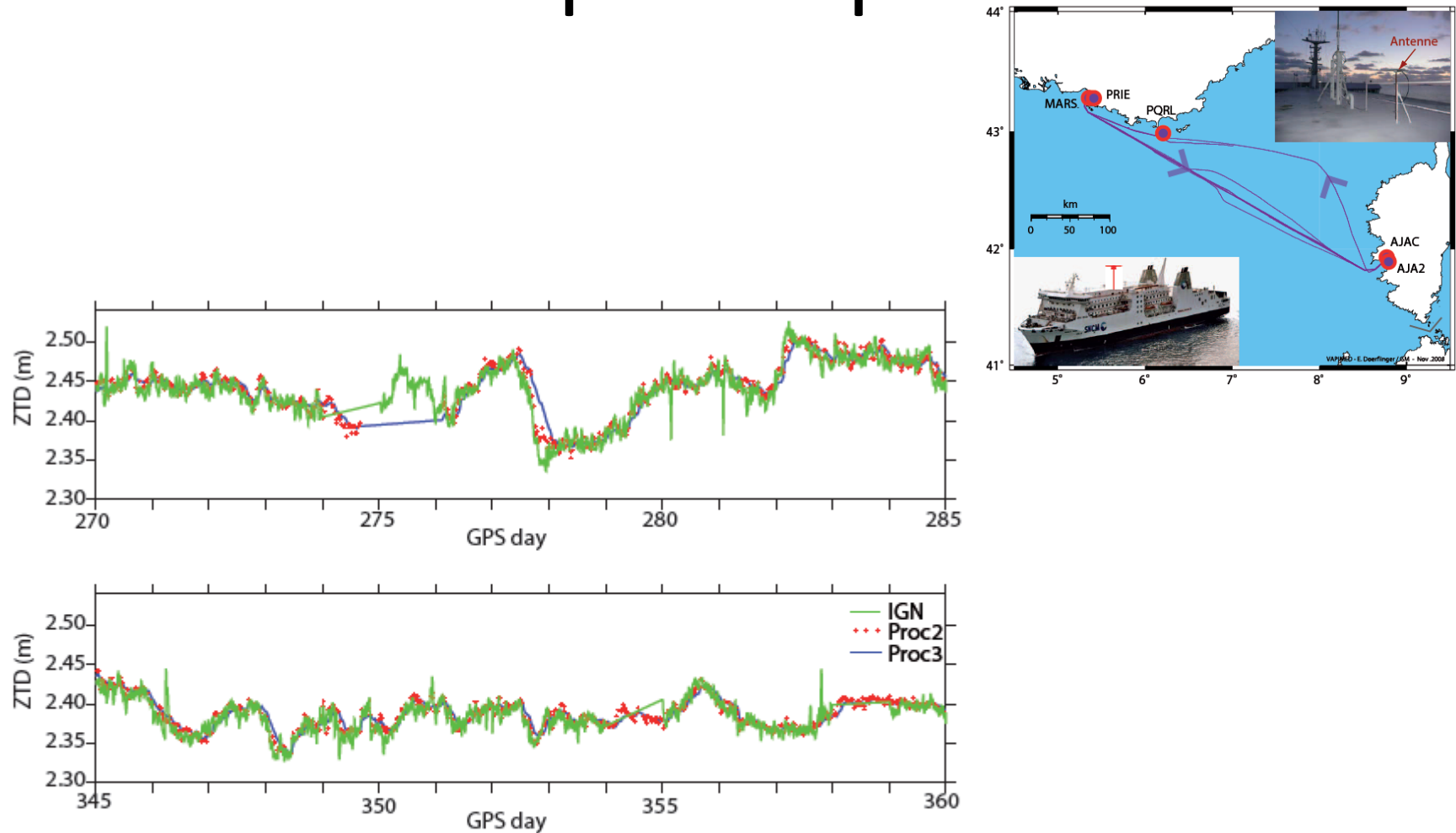


FIG. 5.4 – Séries temporelles de ZTD (en m) sur quelques jours : traitement RTNet et IGN pour la station VAPI.

D'après K. Boniface, 2009