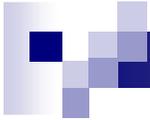


Tomographie de la vapeur d'eau atmosphérique à partir du GPS Application à Tahiti

Lydie Sichoix, Jean-Pierre Barriot, Abdelali Fadil, Pascal Ortéga
UPF – GEPASUD - OGT



Novembre 2009



Imagerie 3-D de la vapeur d'eau

Rôle important dans les processus météorologiques

Variabilité spatio-temporelle (diurne, saisonnière) en région tropicale

Contrainte dans les modèles de prévision météo par assimilation de données

Meilleure compréhension des phénomènes de formation et d'entretien de convection atmosphérique et de déclenchement des précipitations

Géométrie actuelle des observations GPS à Tahiti très peu dense

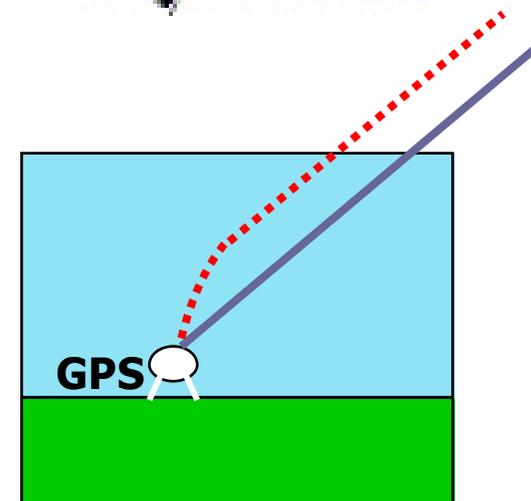
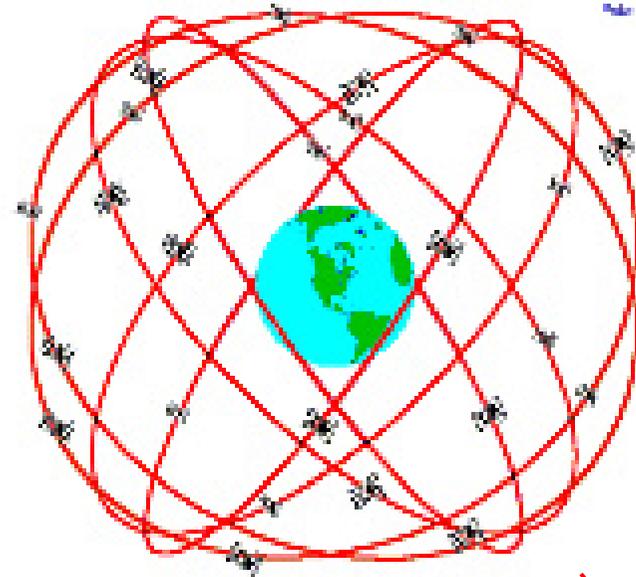
Systemes pour étudier la vapeur d'eau

| Mesures <i>in situ</i> | Mise en oeuvre | Fréquence | Résultats |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---|
| Radiosondages | ++ | toutes les 12 heures | profils |
| Radiomètres au sol | +++ | Continue Problème avec les nuages | coupes |
| Lidars | ++++ | Par beau temps | profils + coupes + répartition 3D possible |

| Systemes satellite | Mise en oeuvre | Fréquence | Résultats |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Radiomètres | ++ | 2 fois par jour | Couverture globale |
| GPS | + | Tout temps 24h/24h | Champ 3D réseau GPS dense |

Le GPS et la mesure de la vapeur d'eau

- **Constellation de ~ 30 satellites**
(altitude : 20200 km ; orbite quasi-circulaire ; répartis sur 6 plans orbitaux)
- **1 station GPS au sol voit entre 6 à 12 satellites simultanément**
- **Mesure du temps de propagation des ondes radioélectriques**
=> perturbation au cours de la traversée de l'atmosphère
=> **retard ou délai troposphérique**



Observable GPS et ses dérivés

- **ZTD: délai total au zénith**
- **ZTD=ZHD+ZWD**

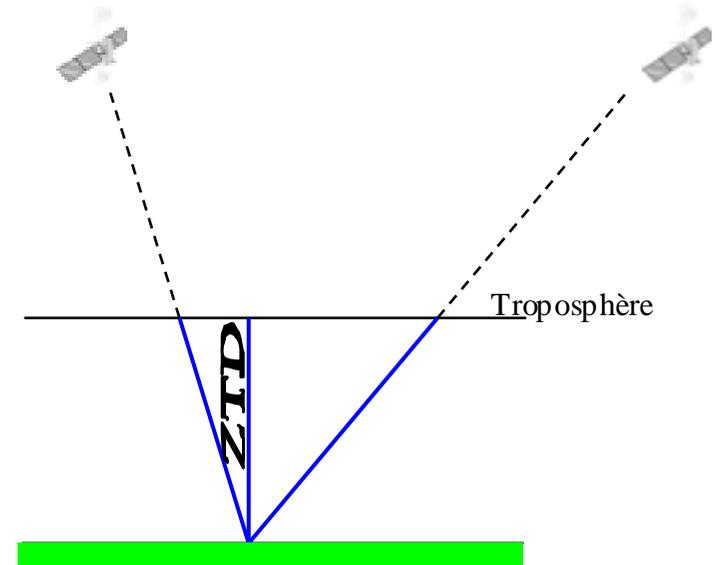
Hydrostatique

Humide

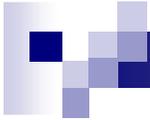
$$\sim 2\text{m}30 = 2\text{m}10 + 20\text{cm}$$

**Très variable:
entre 5 cm et 50 cm**

- **Mesure de la réfractivité atmosphérique**
- **Projection sur la ligne de vue des satellites pour obtenir les SWD**
- **Les SWD vont être inversés dans le cadre de la tomographie**



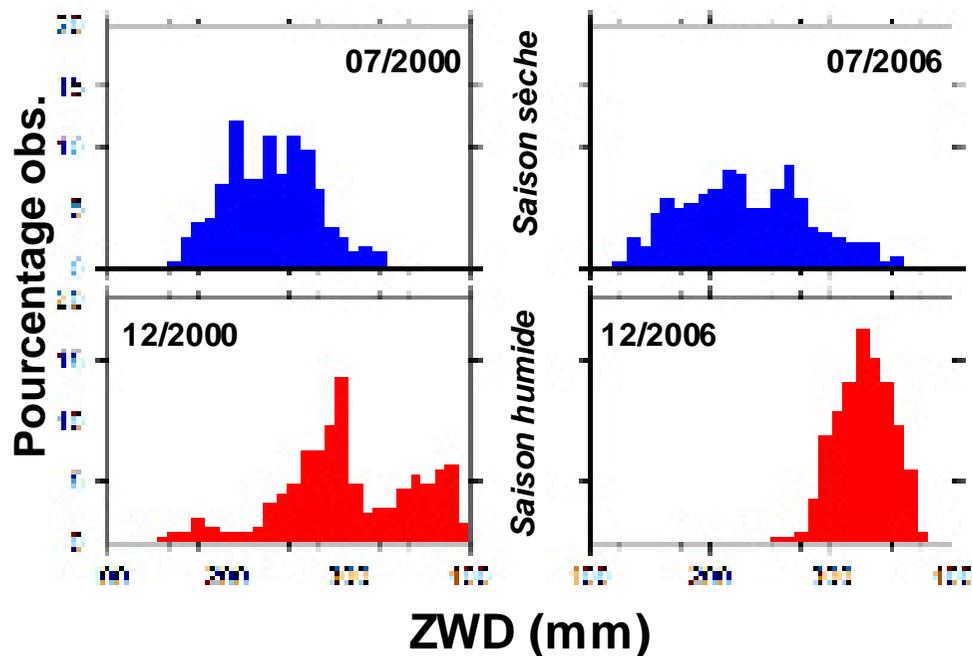
| | |
|------------|------------------------------|
| ZTD | Délai total au zénith |
| ZHD | Délai hydrostatique |
| ZWD | Délai humide |
| IPW | Vapeur d'eau intégrée |
| SWD | Délai humide oblique |



Observations GPS à l'OGT : variations saisonnières de ZWD et corrélation entre IPW et intensité de pluie

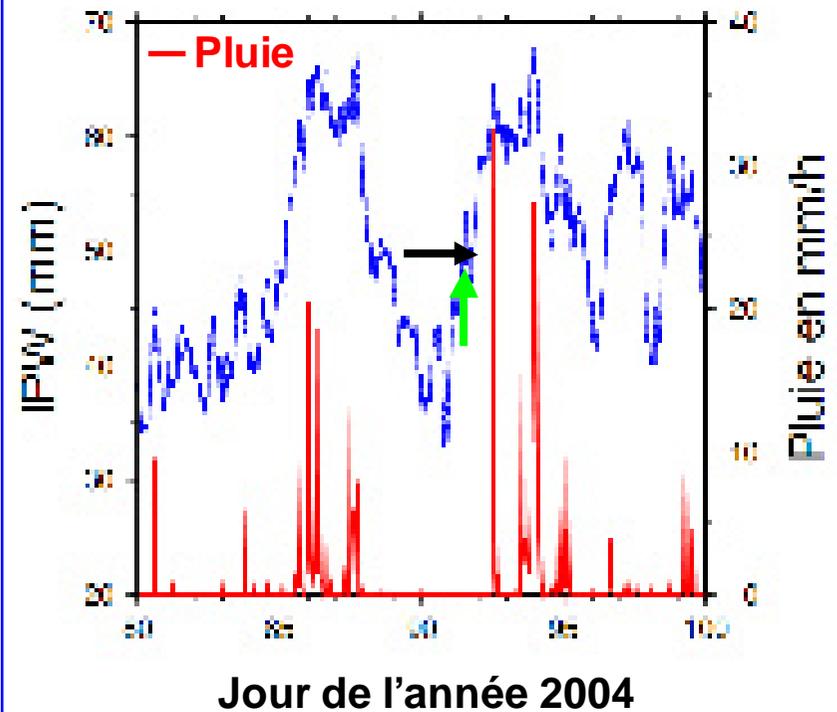
Décalage troposphérique et réfractivité

=> ZTD, gradients (NS et EO), ZHD,
ZWD, IPW



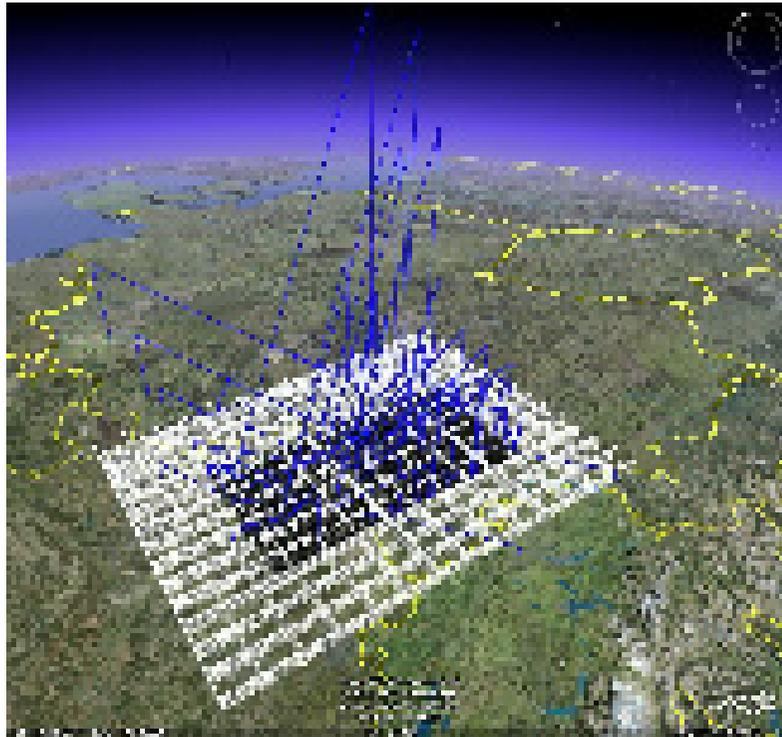
Signal GPS : précurseur

=> Prédiction météo court terme



Tomographie troposphérique par inversion 'locale'

Cas 'facile'

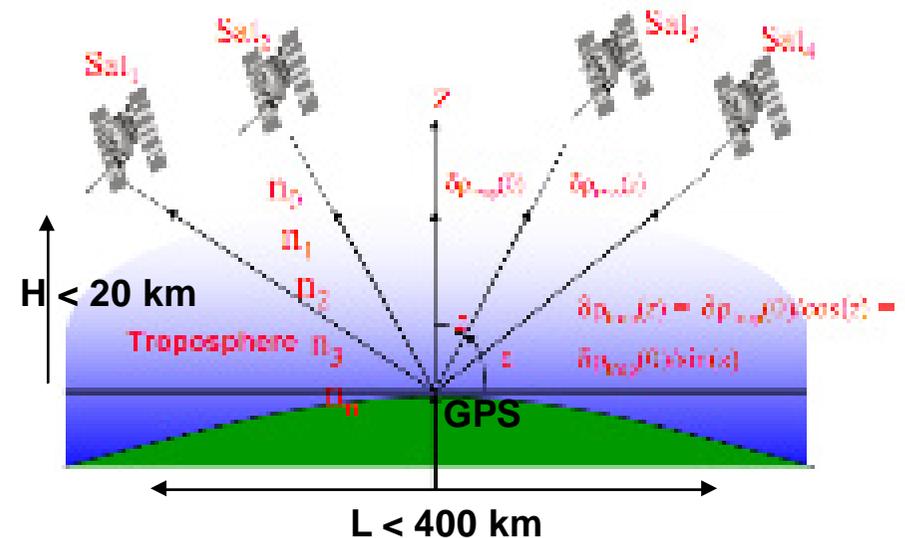


Configuration multi-GPS en géométrie cartésienne avec répartition de rais denses dans chaque voxel

1^{er} objectif :

Reconstruction tomographique à partir d'un seul GPS en **géométrie sphérique**

Observations dans un calotte avec élévation ε la + faible à 7°



Tomographie troposphérique par inversion 'locale'

Observables GPS : décalage humide oblique SWD

Notre étude : un seul GPS en géométrie sphérique

Transformée de Radon

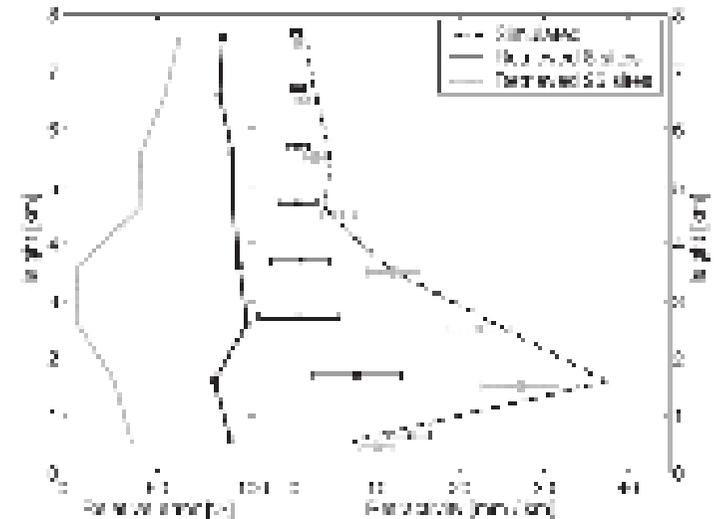
Originalité : décomposition en polynômes de Zernike (f. radiales et h. sphériques)

$$SWD \propto \int_{Trop.} N_w(s) ds =$$

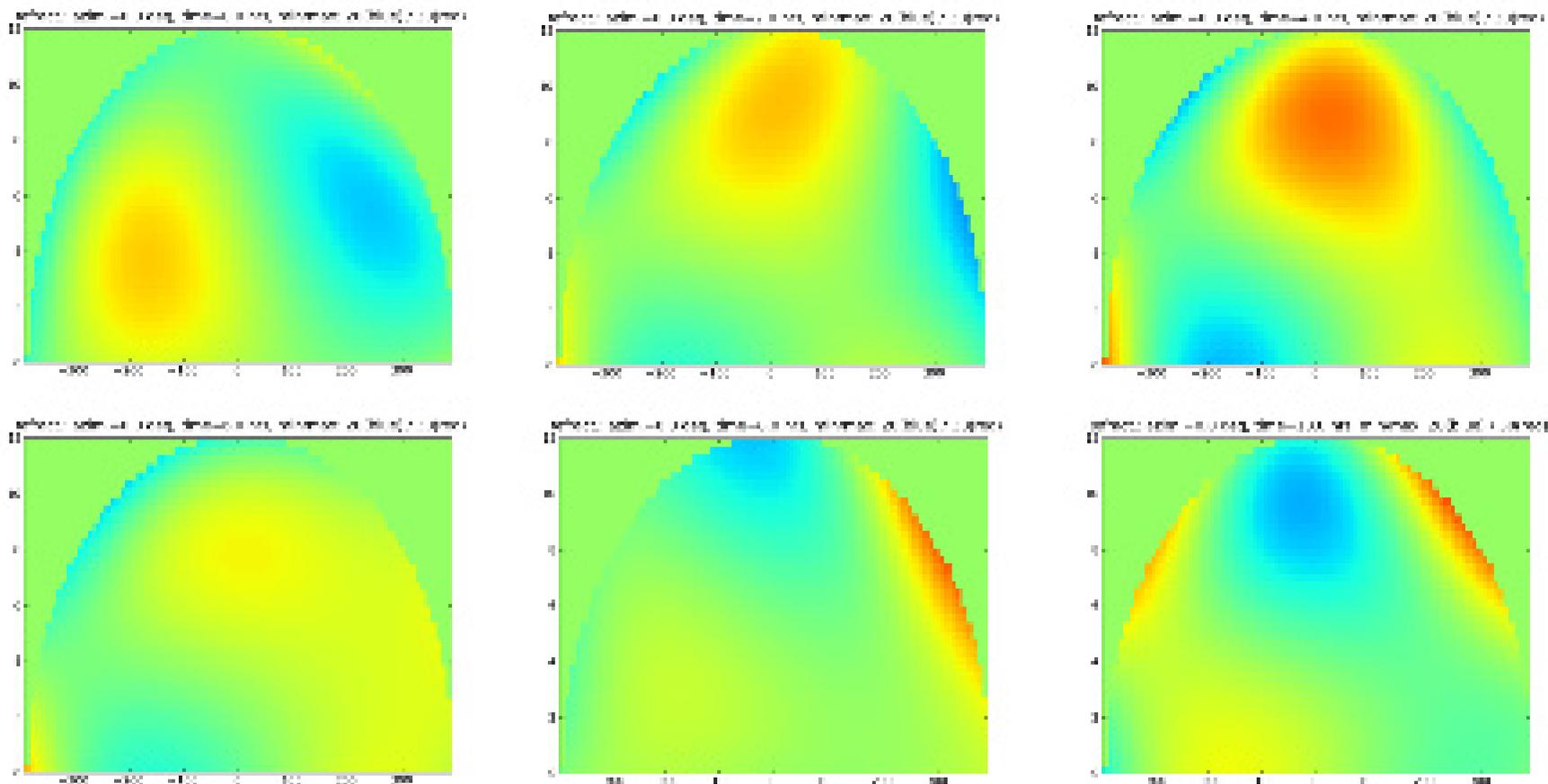
$$\int_{Trop.} \sum E_{nkml} \cdot R_k^{(l)}(\bar{\mathbf{r}}(s)) \cdot Y_l^{(m)}(\varphi, \varepsilon) \cdot e^{-i2\pi nt} ds$$

Résolution de : $A \mathbf{X} = \mathbf{B}$

$$\Rightarrow \mathbf{X}^* = (A^T C_B^{-1} A + a^2 C_X^{-1}) A^T C_B^{-1} \mathbf{B}$$

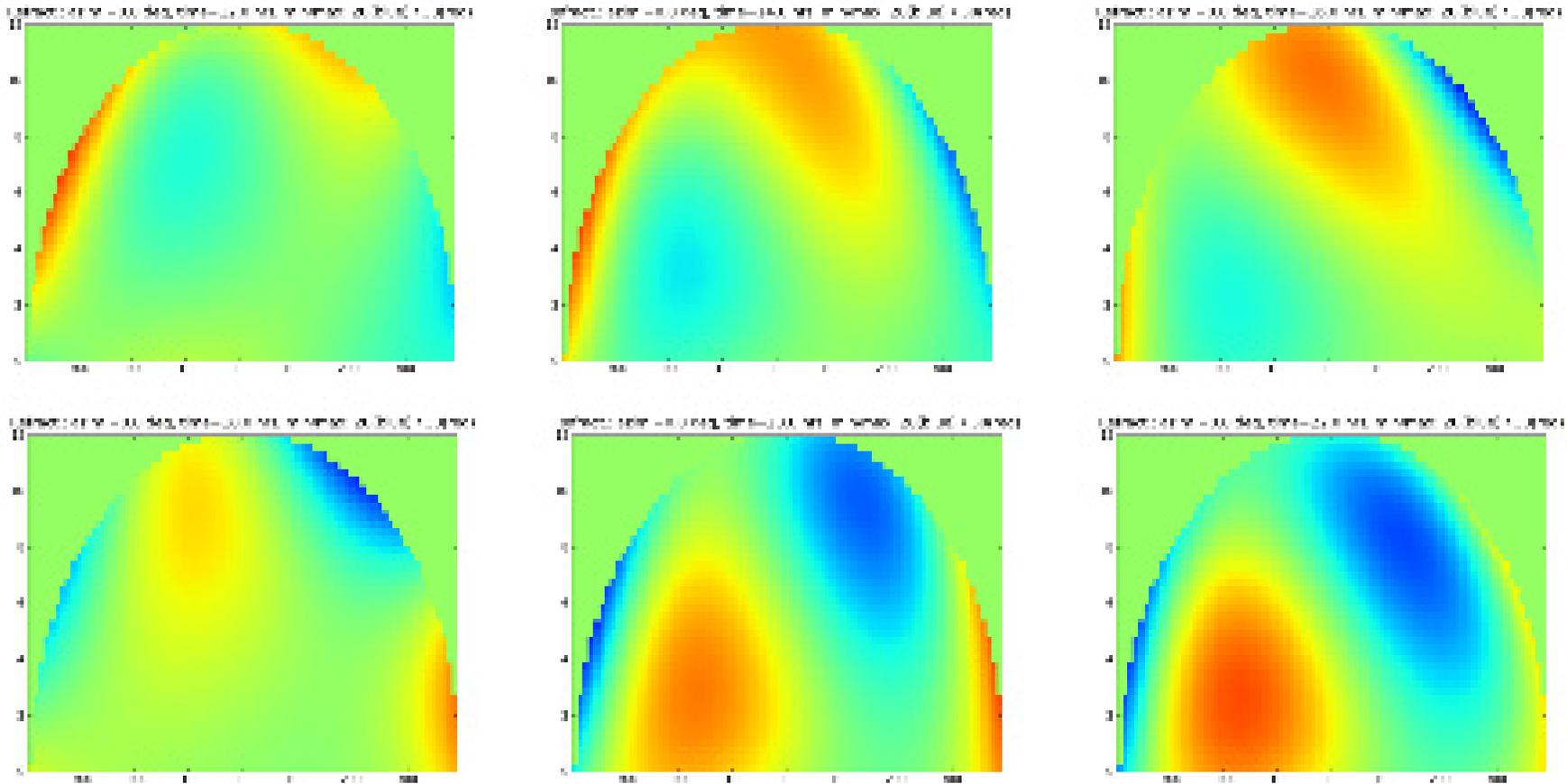


Tomographie troposphérique : premiers résultats : 0h à 10h



- Tomographie sur 24 h toutes les 2 h
- Restitution avec 75% de fidélité
- NB: Faibles degrés pour la décomposition en polynômes de Zernike

Tomographie troposphérique : premiers résultats : 12 h à 22 h



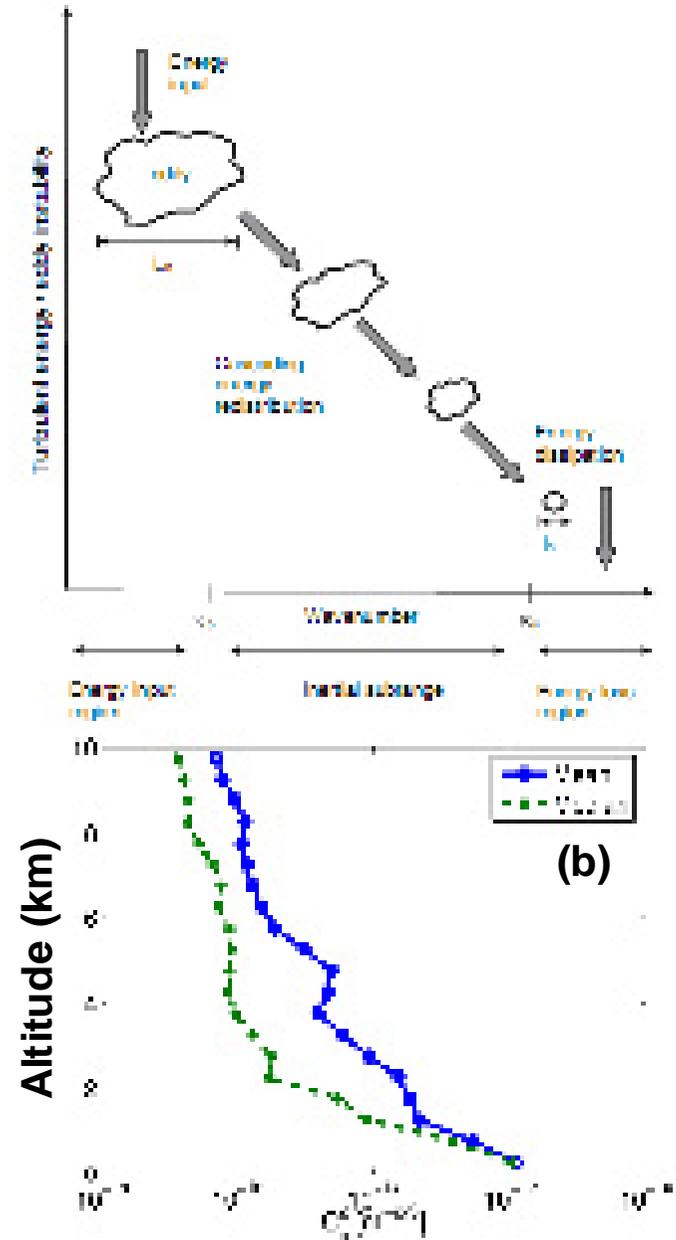
- Tomographie sur 24 h toutes les 2 h
- Restitution avec 75% de fidélité
- NB: Faibles degrés pour la décomposition en polynômes de Zernike

Tomographie troposphérique : reste à faire...

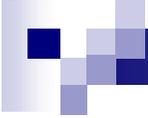
- **Turbulence atmosphérique de Kolmogorov (1941)**
(cf. *Tatarskii 1971, Treuhaft et Lanyi 1987*)

Coefficient de structure d'indice de réfraction C_n et déplacement radial infinitésimal

- **Hypothèse Frozen flow ou de turbulence 'gelée' (Taylor 1938)**
Transport des particules d'air par le vent moyen
- **Modèle de réfractivité en fonction de l'altitude**



D'après Nilsson (2007)



Programme POGENET de l'OGT

Réseau de GPS de l'OGT

3 sur site OGT + 1 (CNES) à Papeete + 1 à l'IRD

Extension du réseau marégraphique (TG)/CGPS continus co-localisés :

=> **Marquises (GPS), Tubuai (TG/CGPS), Rangiroa (TG/CGPS)**

Second GPS de Trimble (étude de l'ionosphère)

Financement contrat Etat/PF en 2010 pour un TG/CGPS à Rikitea (Akamaru) et acquisition de GPS portable

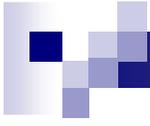
Projet de campagne de tomographie GPS (mobile) pendant la saison humide de 2010-2011 :

=> Déployer un mini – réseau de GPS portables prêtés par l'INSU

Nouvelle thèse :

=> Développer notre code pour une configuration multi-GPS en géométrie sphérique

Collaborations avec Grenoble, San Diego, Hawaii, Taiwan et Nouvelle-Zélande



Merci de votre attention.