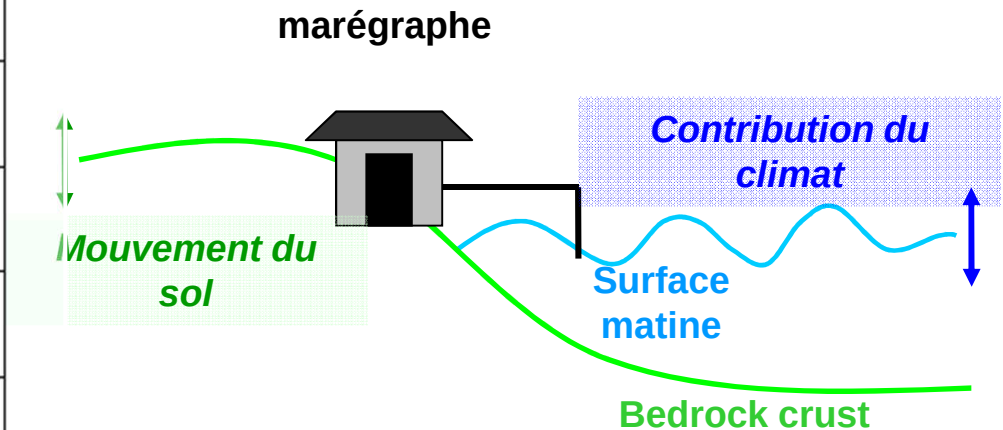
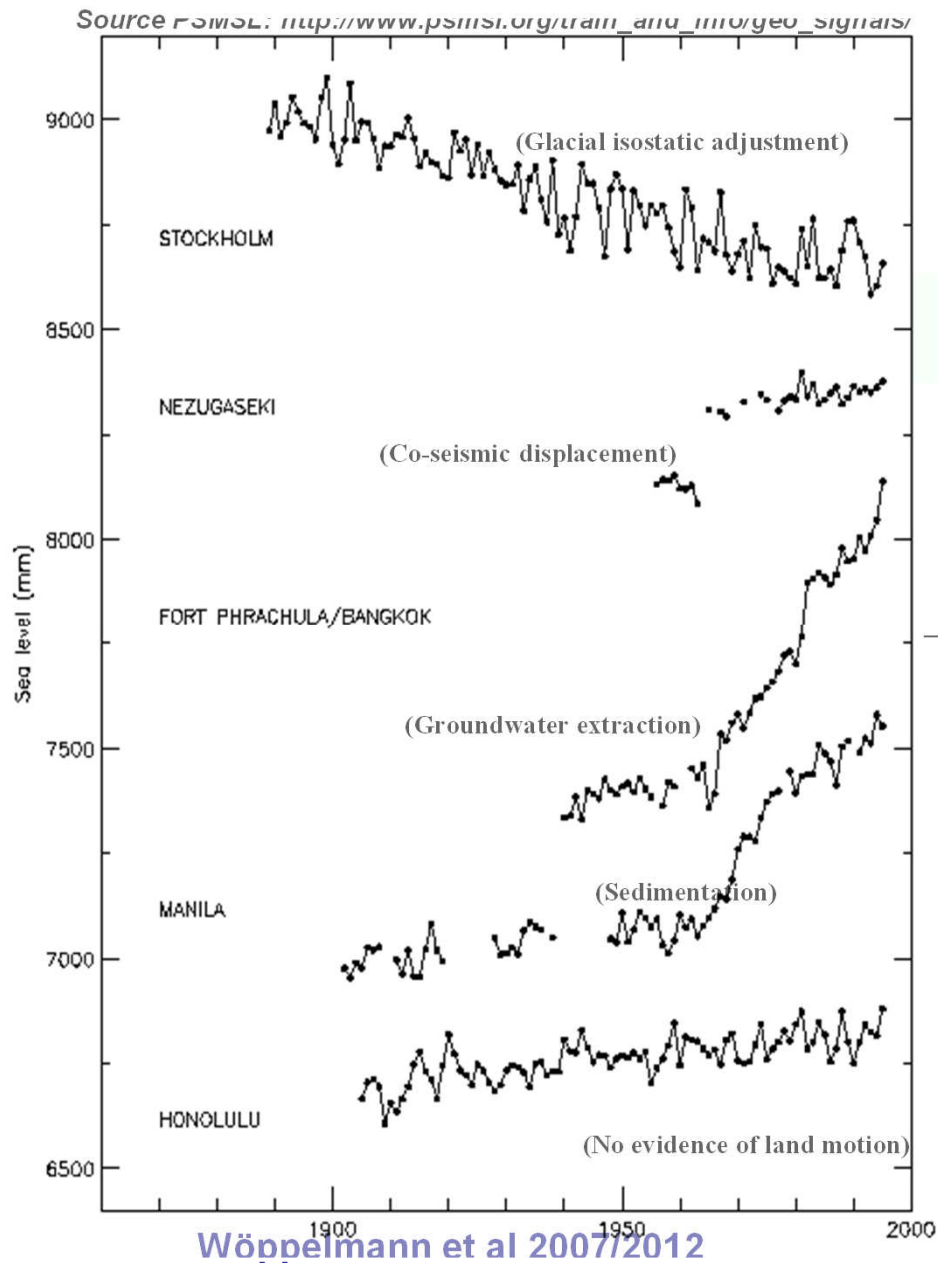




Etude de phénomènes de subsidence (Alexandrie/Manille) à partir d'interférométrie radar différentielle satellitaire et de mesures GPS. Conséquences pour l'estimation de la remontée du niveau marin.

Raucoules D., Wöppelmann G., Le Cozannet G., de Michele M., Garcin M., Hanson S., Marcos M., Santa Maria Gomez A., Cazenave A., Gravelle M., Daag A.

Niveau marin à partir de mesures marégraphiques : la contribution du mouvement vertical de la surface du sol



□ Determination

→ modélisation: seulement rebond post-glaciaire

↳ Incertitudes importantes

↳ Prise en compte d'autres phénomènes locaux ?

→ Mesure de mouvement : Géodésie spatiale

□ Challenges

→ Vitesse de niveau marin à mettre en évidence : ~2 mm/an

→ Il faut avoir des incertitudes moindres sur la mesure géodésique.

Hypothèses pour permettre une correction de la contribution de mouvement du sol à partir d'un GPS:

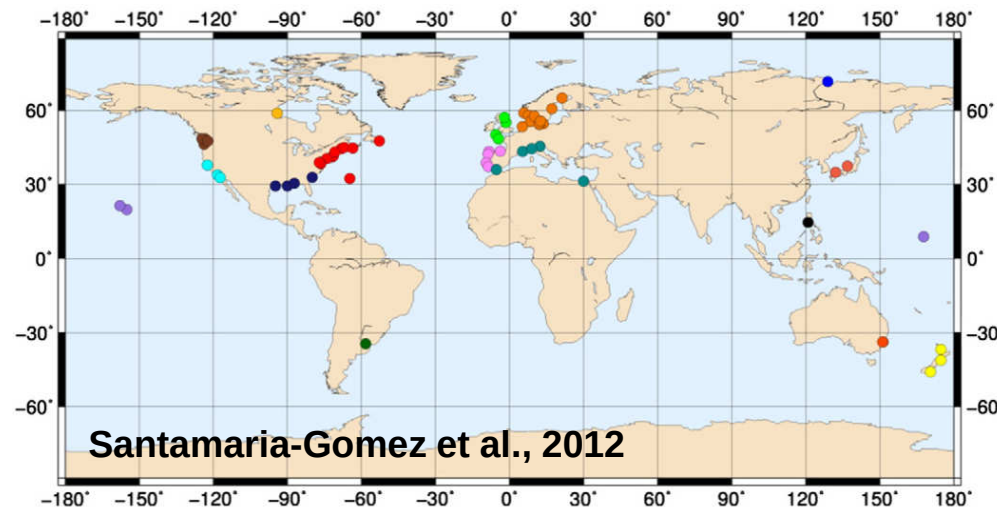
- *Le mouvement à partir du GPS sur une période donnée est représentatif du mouvement par le passé.*
- *Le mouvement du GPS est représentatif du mouvement du marégraphe.*

En d'autres termes: GPS localisé sur le marégraphe et vitesse constante

Que faire si :

- a) GPS $\neq$ marégraphe ?
- b) mouvement non linéaire ?

Que peut apporter l'interférométrie radar ?



Utilisation de l' Interférométrie radar différentielle

Utilisation possible dans ce cadre:

- 1° contrôler la stabilité de la surface au niveau du marégraphe**
- 2° si un mouvement est mis en évidence: estimer le mouvement différentiel entre marégraphe et GPS**

Intérêt:

- archive ERS 1-2 EnviSAT/ASAR depuis 1993**
- Précision variable suivant technique mais fraction de mm/an envisageable (requis pour mesurer une variation de niveau marin de l'ordre de 2 mm/an)**

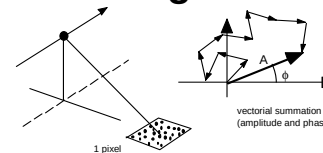


Principe l'interférométrie radar

- SAR : système actif (il émet sa propre radiation) embarqué sur une plateforme se déplaçant (en particulier des satellites).
- Interférométrie radar: basée sur la combinaison de 2 images radar . Il permet soit d'extraire la topographie locale soit de détecter et quantifier la déformation du sol ayant eu lieu entre deux acquisitions d'images SAR.

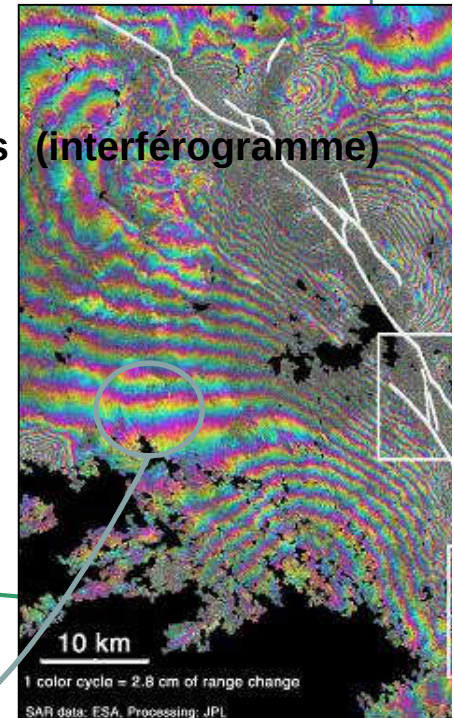
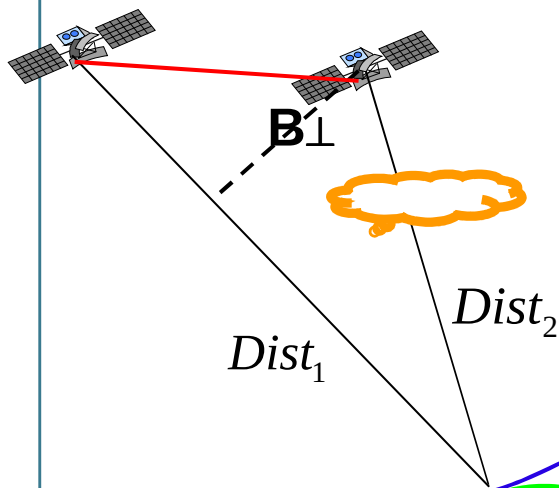
- utilisation de la phase de l'image SAR

$$\delta = \frac{4\pi \cdot \text{dist.}}{\lambda}$$



- différence de deux images coréregistrées

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} (\text{Dist}_2 - \text{Dist}_1)$$



$$\Phi = \phi_{\text{topo}} + \phi_{\text{mvt}} + \phi_{\text{atmos}} + \phi_{\text{orbital}} + \phi_{\text{ellips}} + \text{bruit} \quad [2\pi]$$

Phase modulo $2\pi \rightarrow$ « franges »

Approches multi-interférogrammes

Idée: effets atmosphériques corrélés spatialement mais non corrélés dans le temps



**Interféros indépendants : même déformation;
atmosphère différente**

- **Combinaisons linéaires d'interférogrammes cohérents**
- **Utilisation d'une série importante d'interférogrammes cohérents pour extraire l'information temporelle (SBAS, Usai et al., ...)**
- **Persistent Scatterers: approche ponctuelle (Permanent Scatterers, Interferometric Point Target Analysis, Stable Point Analysis, ...)**

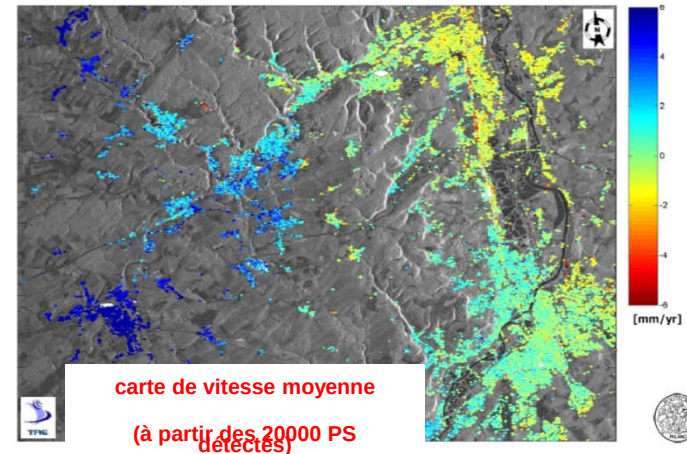
Approche par réflecteurs persistants (PSI)

But: tirer profit d'archives importantes de données SAR pour réduire les effets négatifs précédemment décrits

Spécifique au PSI par opposition à d'autres techniques MT (SBAS, moindres carrés, etc..)

- identification de points rétrodiffuseurs forts (μ/σ) stables dans le temps
- utilisation de l'ensemble des images disponibles (pas de $B_{\perp}$ limite)
- estimation de la composante atmosphérique (et retrait) pour chaque date; (d, h) pour les PS

- Vitesse moyenne + séries temporelles
- 30-50 images
- précision 0,1 mm/an ?

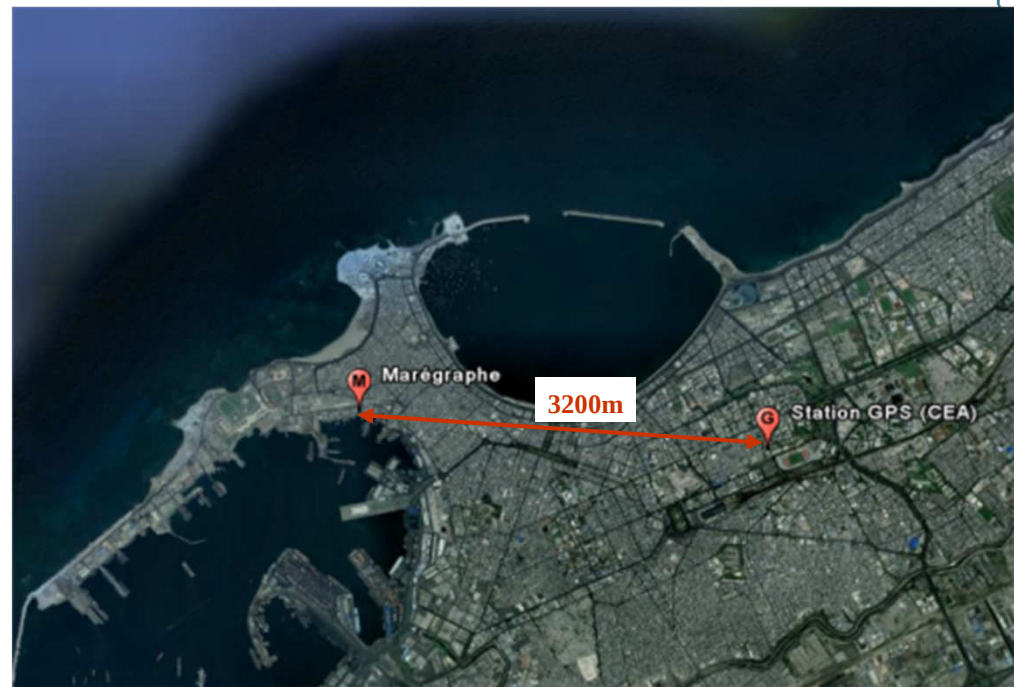


$$\Phi = \phi_{topo} + \phi_{mvt} + \phi_{atmos} + \phi_{orbital} + \phi_{ellips} + \text{bruit}$$

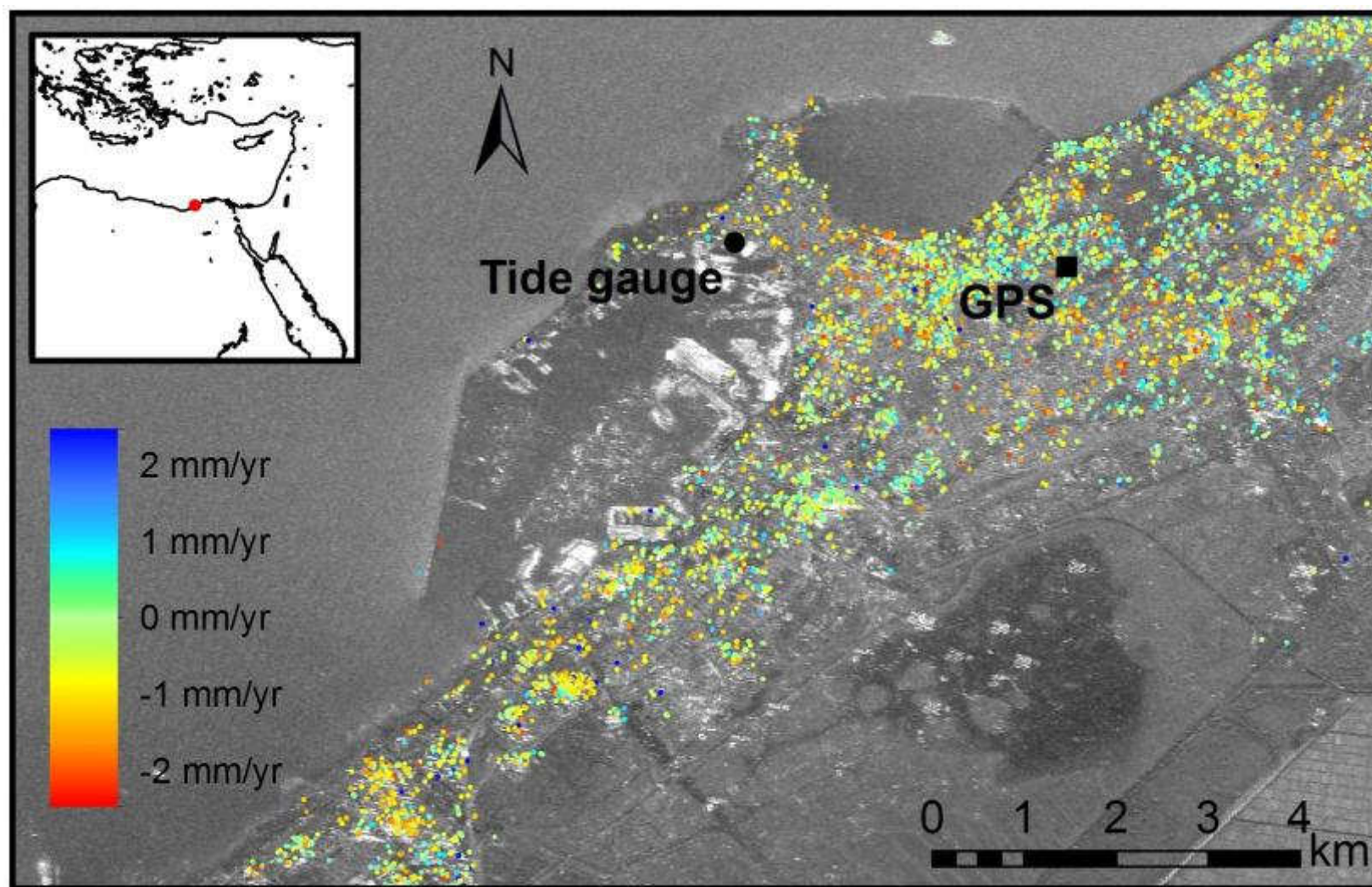
Alexandrie, Egypte

objectifs:

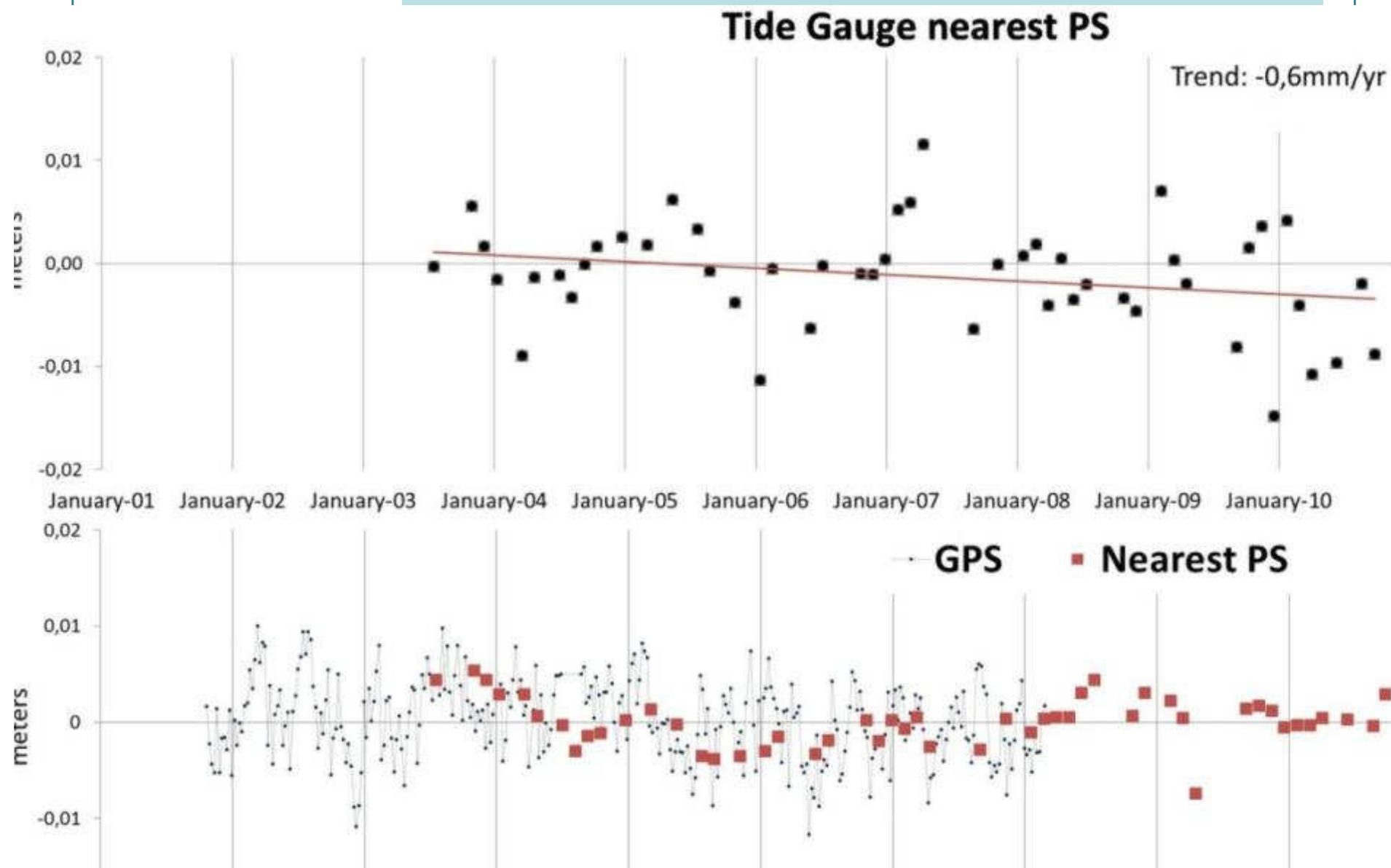
1. Stabilité du marégraphe et éventuelle correction ?
2. Est-ce qu'un phénomène de subsidence augmente la vulnérabilité du littoral face à la remontée du niveau marin ?



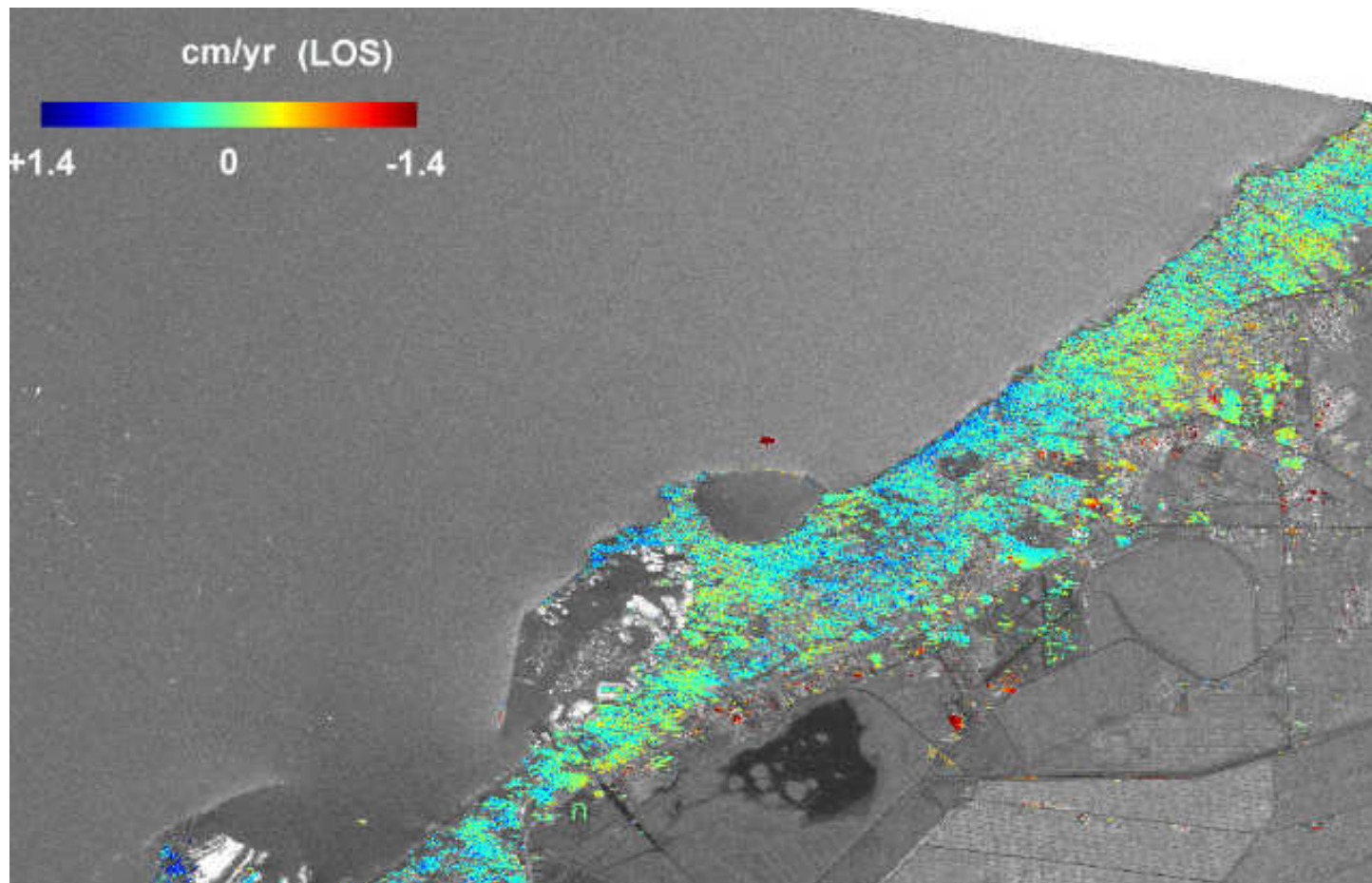
Résultats PS : estimation du mouvement relatif entre GPS et marégraphe



Résultats PS : estimation du mouvement relatif entre GPS et marégraphe



Résultats SBAS : observation de subsidence près du lac Mariut



Conclusion Alexandrie

1. Stabilité du marégraphe et éventuelle correction ?

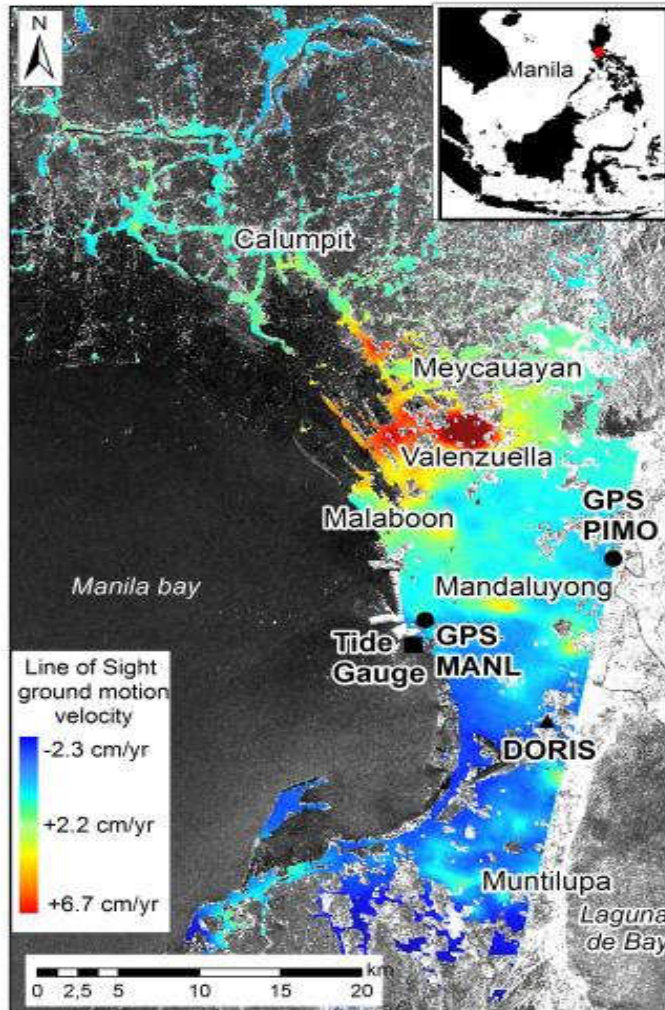
- Mouvements très faibles (environ 0,6 mm/an +/- 0,3 , à la limite de la sensibilité de la technique)
- Cohérent avec 0,4 mm/an +/- 0,2 [*Wöppelmann and Marcos, 2012*] (marégraphe/ altimétrie)

2. Est-ce qu'un phénomène de subsidence local augmente la vulnérabilité du littoral face à la remontée du niveau marin ?

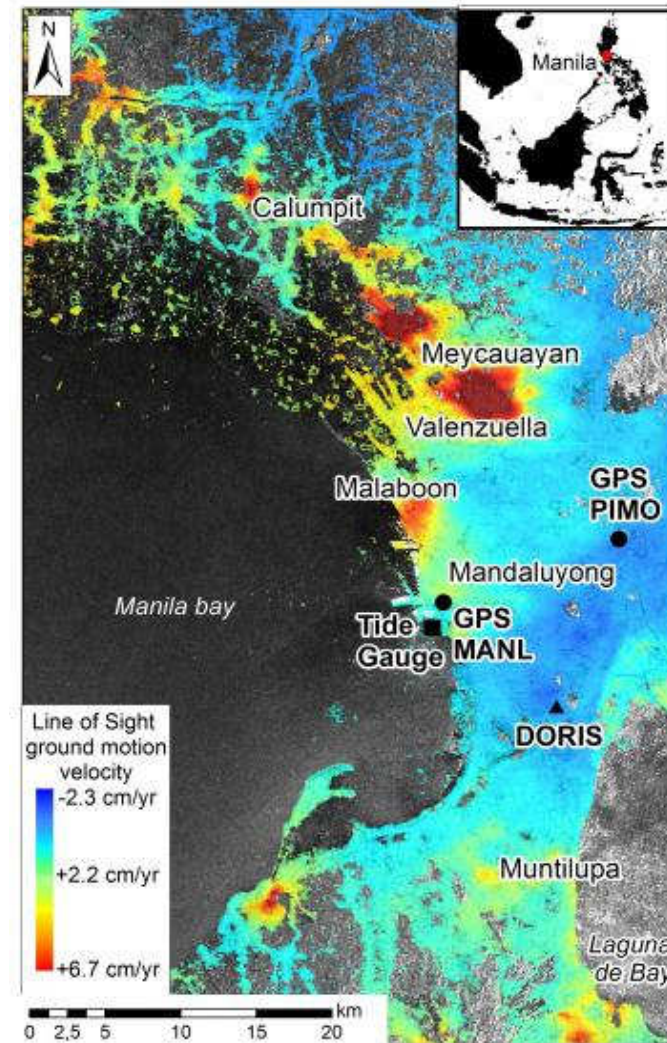
- Probablement pas sur la période d'observation (faibles mouvements)
- A plus long terme: failles, séismes

**Exemple de mouvement rapide et non linéaire:
Manille**

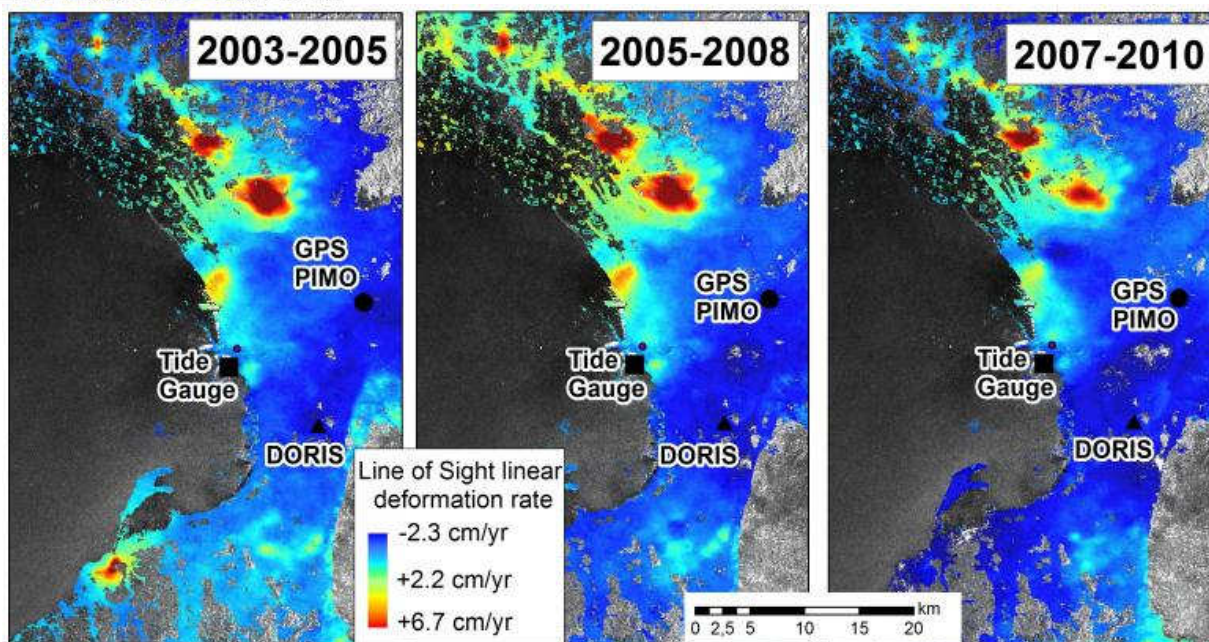
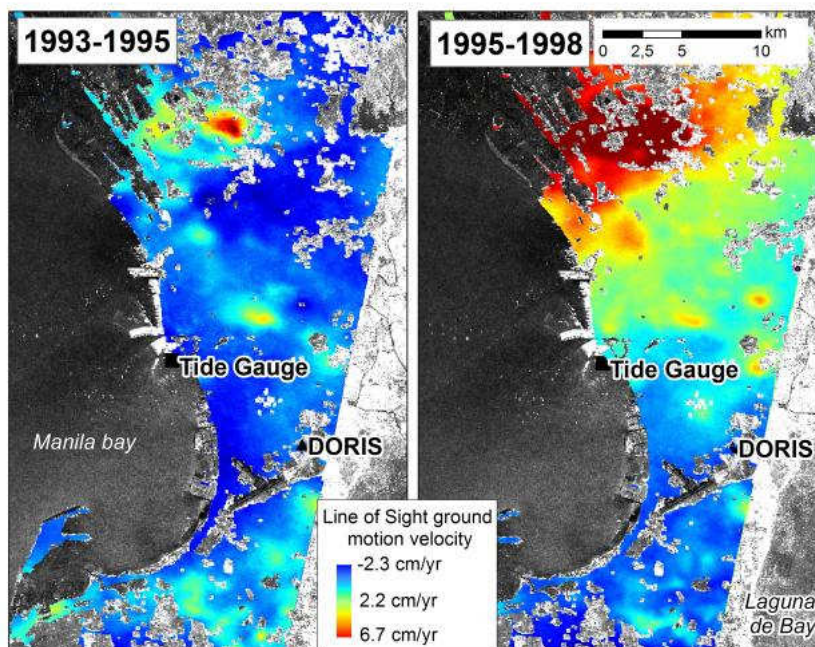
Données ERS (1993-1998)



Données ASAR/EnviSAT (2003-2010)

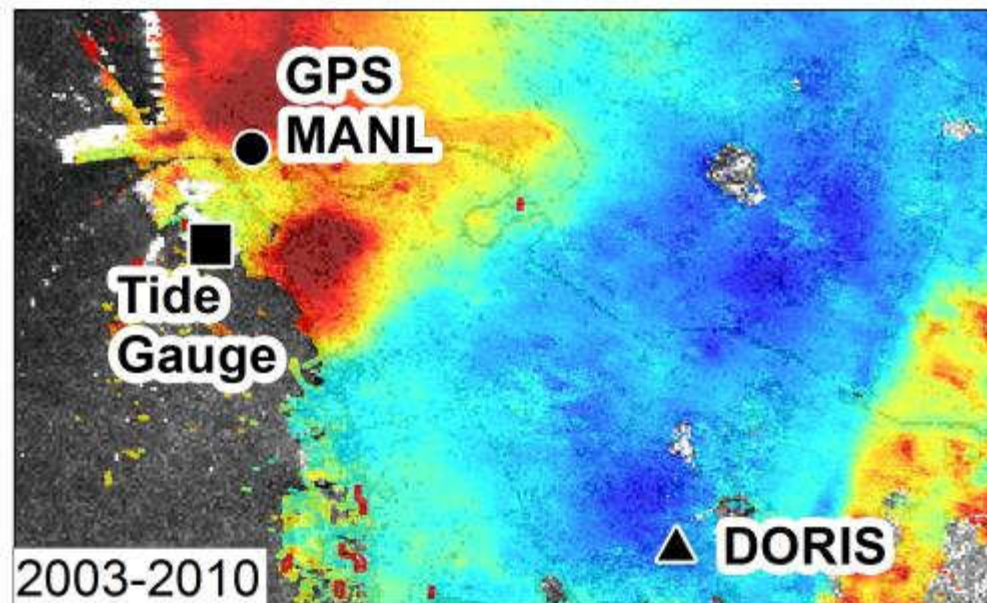
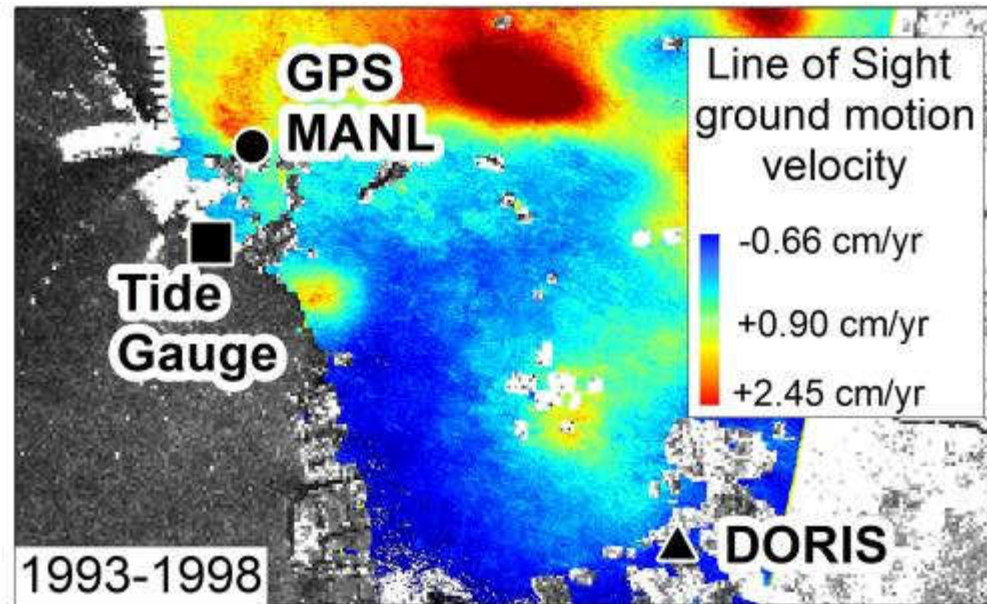


Line of Sight displacements in cm/yr Negative values correspond to displacements towards the sensor (i.e uplift).

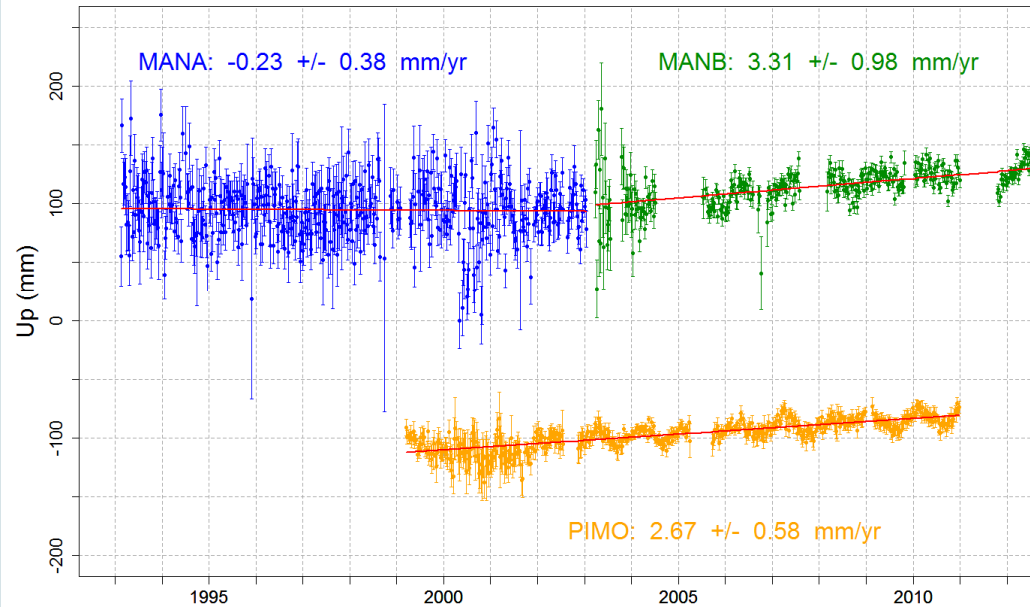


Line of Sight displacement rate in cm/yr

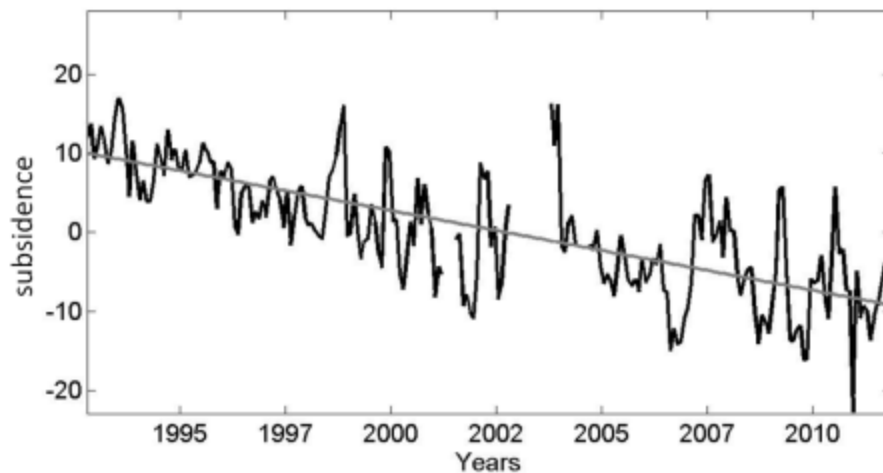
Conséquence pour la mesure de niveau marin



Mesures géodésiques et marégraphiques



DORIS (blue before 2003, green after) and GPS PIMO (orange) station time series . Both points are affected by uplift phenomena with similar rates. MANA and MANB refer to successive DORIS instruments located at the same location

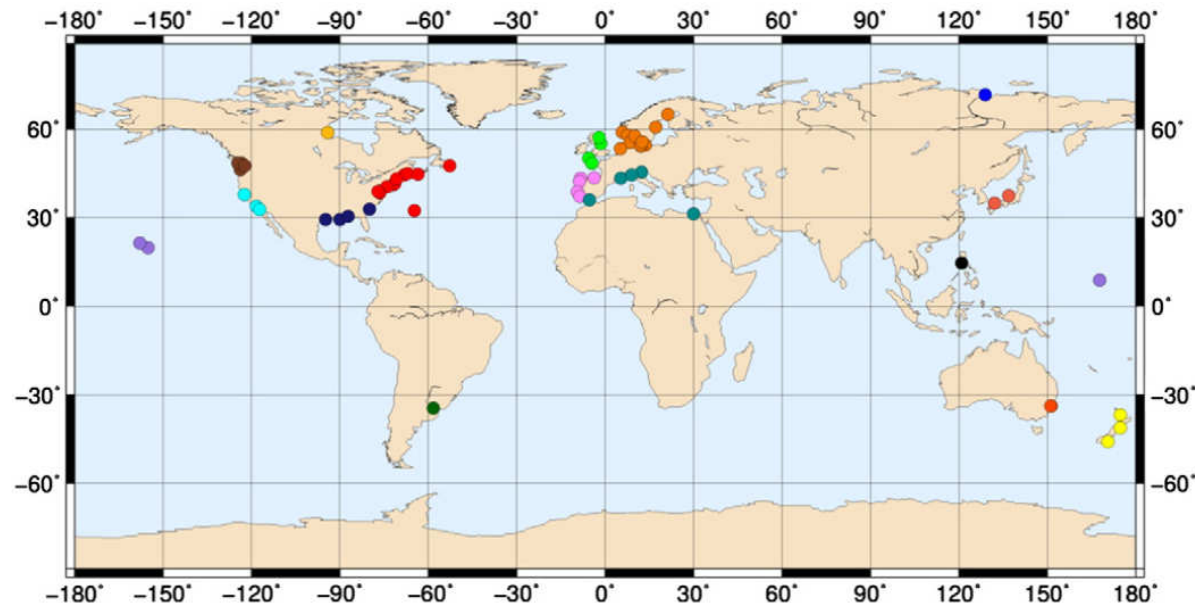


Estimation of the Tide Gauge subsidence based on the difference between sea level derived from altimetry (AVISO data) and tide gauge measurements (estimated subsidence rate 10,1 mm/yr).

Conclusion Manille

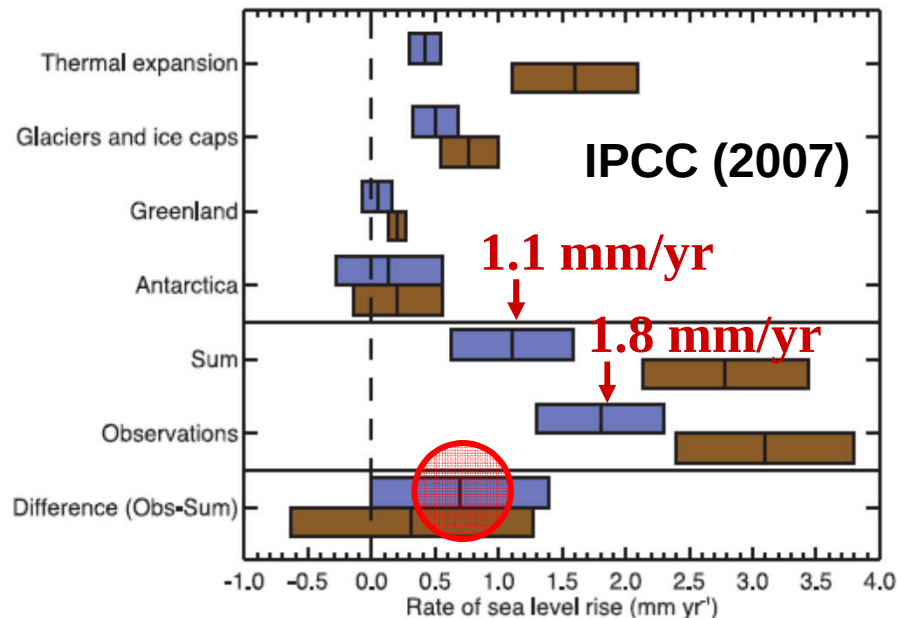
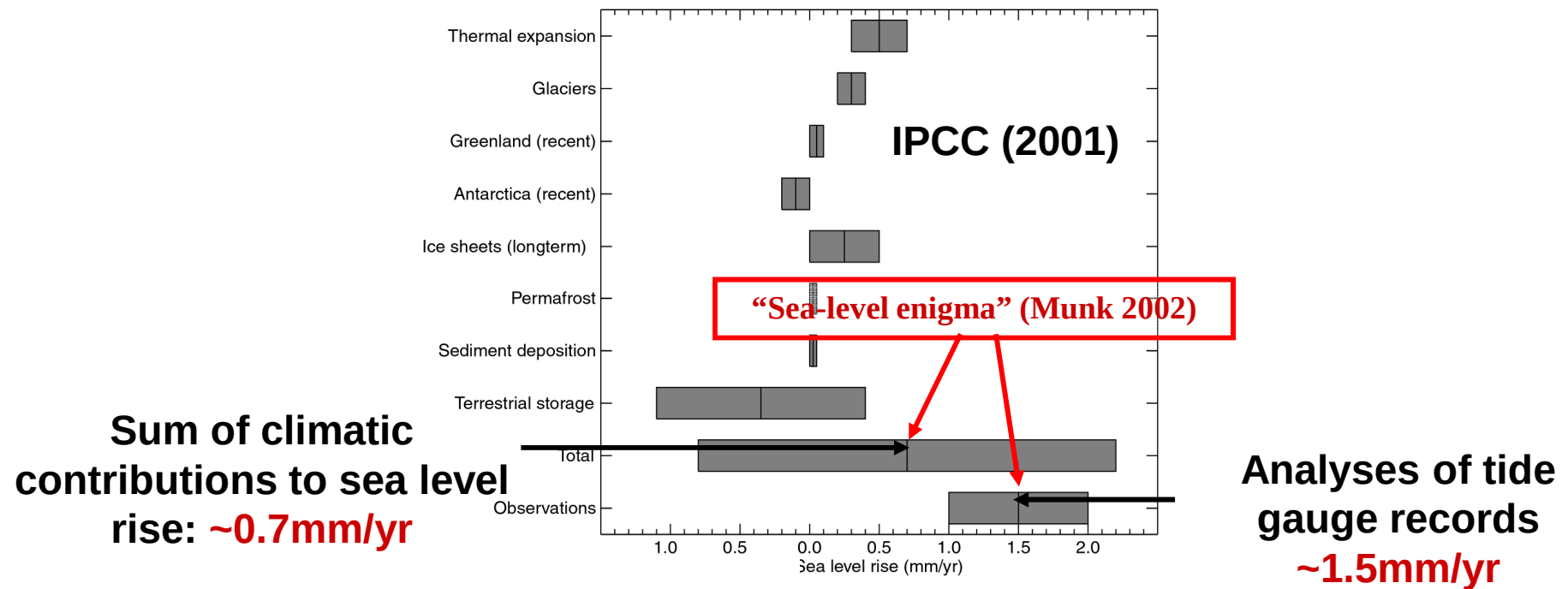
Contrairement à Alexandrie:

- Forte variabilité spatiale et temporelle du mouvement de la surface du sol
- La déformation affecte la zone du marégraphe et du GPS supposé permettre la correction
- Utilisation des données marégraphiques antérieures à 1993 problématique
- Compte tenu de l'importance du mouvement on peut s'interroger sur les conséquences en termes de vulnérabilité du littoral



Merci pour votre attention

The “Sea level enigma” (Munk 2002)



→ D’où vient le désaccord entre observations et somme des contributions?