

# Un repère cinématique est-il adapté pour Mayotte ?



X. Collilieux, R. Grandin, Inès Pasquier, José De Oliveira Pinheiro, Frederic Lhermitte

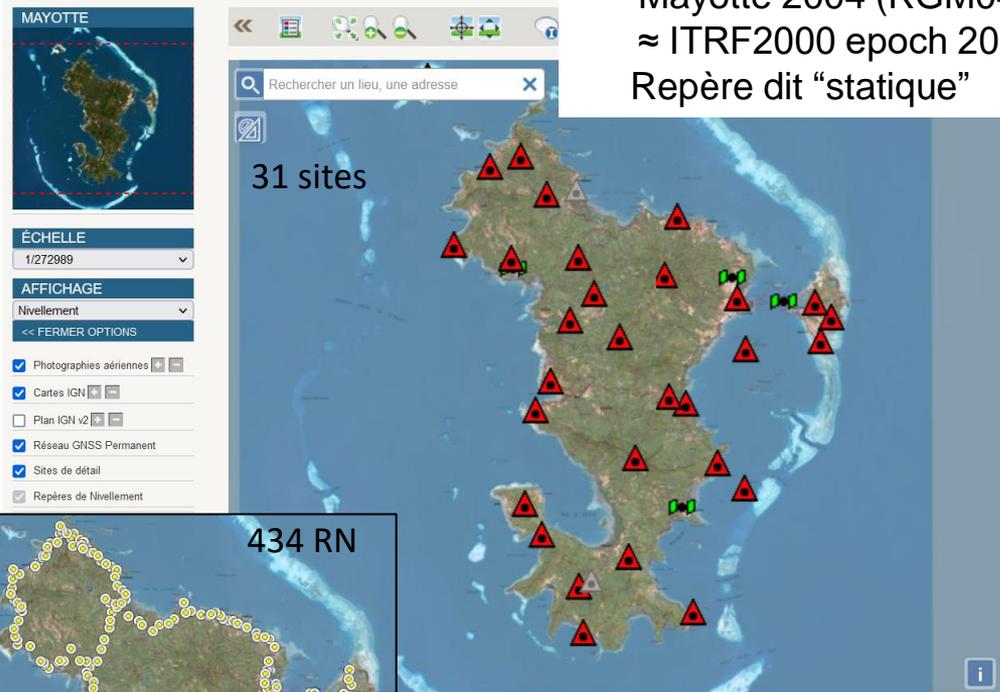
Remerciements:

Kristel Chanard, Bruno Garayt, Olivier Jamet, Didier Bouteloup

# Contexte

- Repère de référence terrestre: Réseau géodésique de Mayotte 2004 (RGM04)  $\approx$  ITRF2000 epoch 2004.0 Repère dit "statique"

Compte tenu de l'activité sismo-volcanique la précision des coordonnées publiée n'est plus garantie depuis mai 2018. Voir : <https://www.ipgp.fr/actualites-du-revosima>



- Système de référence verticale : IGN 1950 / SHOM 1953 (MAYO53)

**IGN** Réseau Géodésique Français

**COMBANI III**

**Point : b**

Base : Terme Nord 1950

Compte tenu de l'activité sismo-volcanique la précision des coordonnées publiée n'est plus garantie depuis mai 2018. Voir : <https://www.ipgp.fr/actualites-du-revosima/>

**Avertissement**

Compte-tenu des risques de déplacement des bornes ou autres points géodésiques, il est indispensable de rattacher vos opérations de topométrie à plusieurs points géodésiques proches, ceci afin de s'assurer de leur stabilité. La responsabilité de l'IGN ne saurait être engagée en l'absence d'un tel contrôle. Toute remarque concernant la destruction, la disparition ou le mauvais état des points géodésiques doit être signalée au Service de Géodésie et de Métrologie : [geodesie@ign.fr](mailto:geodesie@ign.fr)

Système : RGM04 (RESEAU GEODESIQUE DE MAYOTTE 2004) - Ellipsoïde : IAG GRS 1980

Point	Longitude (dms)	Latitude (dms)	Hauteur (m)	Précision
a	45° 08' 09.80560" E	12° 46' 37.26171" S	126.623	< 5 cm
b	45° 08' 09.8053" E	12° 46' 37.2575" S		< 50 cm

Système : RGM04 (RESEAU GEODESIQUE DE MAYOTTE 2004) - Projection : UTM SUD FUSEAU 38

Système altimétrique : SHOM 1953 (MAYOTTE)

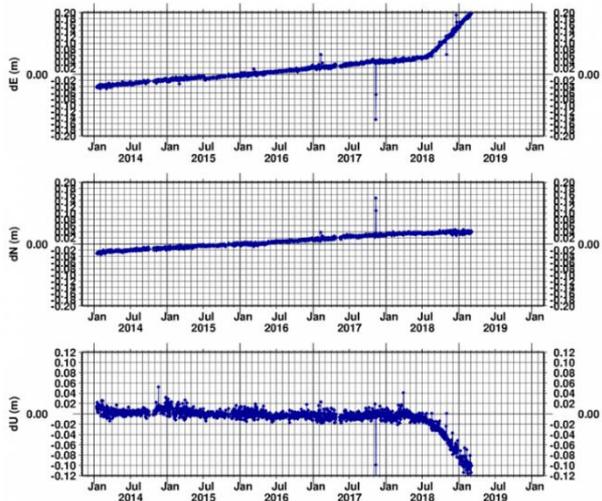
Point	e (m)	n (m)	Précision plani	Altitude (m)	Précision alti
a	514767.292	8587519.025	< 5 cm	145.60	< 50 cm
b	514767.28	8587519.15	< 50 cm		

Fig. Exemple de fiche d'un point du réseau matérialisé

\* source: Arrêté du 5 mars 2019 portant application du décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000

# Contexte

MAYG IGS\_DETRENDED.



CMF 2019 Mar 6 14:13:03

Fig. Série temporelle de positions de MAYG (IG14). Source: <http://mayotte.gnss.fr>



---

## Bulletin mensuel

Institut de physique du globe de Paris  
Réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte - RE  
ISSN 2680 – 1205

---

### Février 2024

### Bulletin de l'activité sismo-volcanique à Mayotte

Évolution au cours du dernier mois

- Entre le 1<sup>er</sup> et le 29 février 2024, 491 séismes Volcano-Tectoniques (VT) ; séismes dont la gamme de fréquence de 2Hz à 40Hz), 51 séismes Longue Période (LP ; basse fréquence, entre 0,5 et 5 Hz) et 1 séisme Très Long très basse fréquence, entre 5 et 100 secondes) ont été détectés par le REVOSIMA. L'activité sismique principalement concentrée à 5-15 km à l'est de Petite-Terre, à des profondeurs de 20-50 km.
- Depuis fin 2020, aucune déformation significative n'est enregistrée.

---

**Évènement en cours :** activité sismique en cours entre 5 et 50 km à l'Est de Mayotte et émissions de fluides sur la zone du Fer à Cheval. Dernière activité sous-marine observée au niveau du volcan Fani Maoré le 18/01/2021 lors de la campagne MAYOBS17. Arrêt probable de l'éruption. Aucune hypothèse n'est pour l'instant écartée quant à l'évolution de la situation à venir (arrêt définitif, reprise de l'activité éruptive sur le même site, reprise de l'activité éruptive sur un autre site), compte tenu de l'activité sismique persistante et d'émissions de fluides localisées dans la zone du Fer à Cheval qui étaient toujours présentes lors de la dernière campagne en mer MAYOBS22 réalisée en juillet 2022.

## Mission terrain IGN à l'automne 2023:

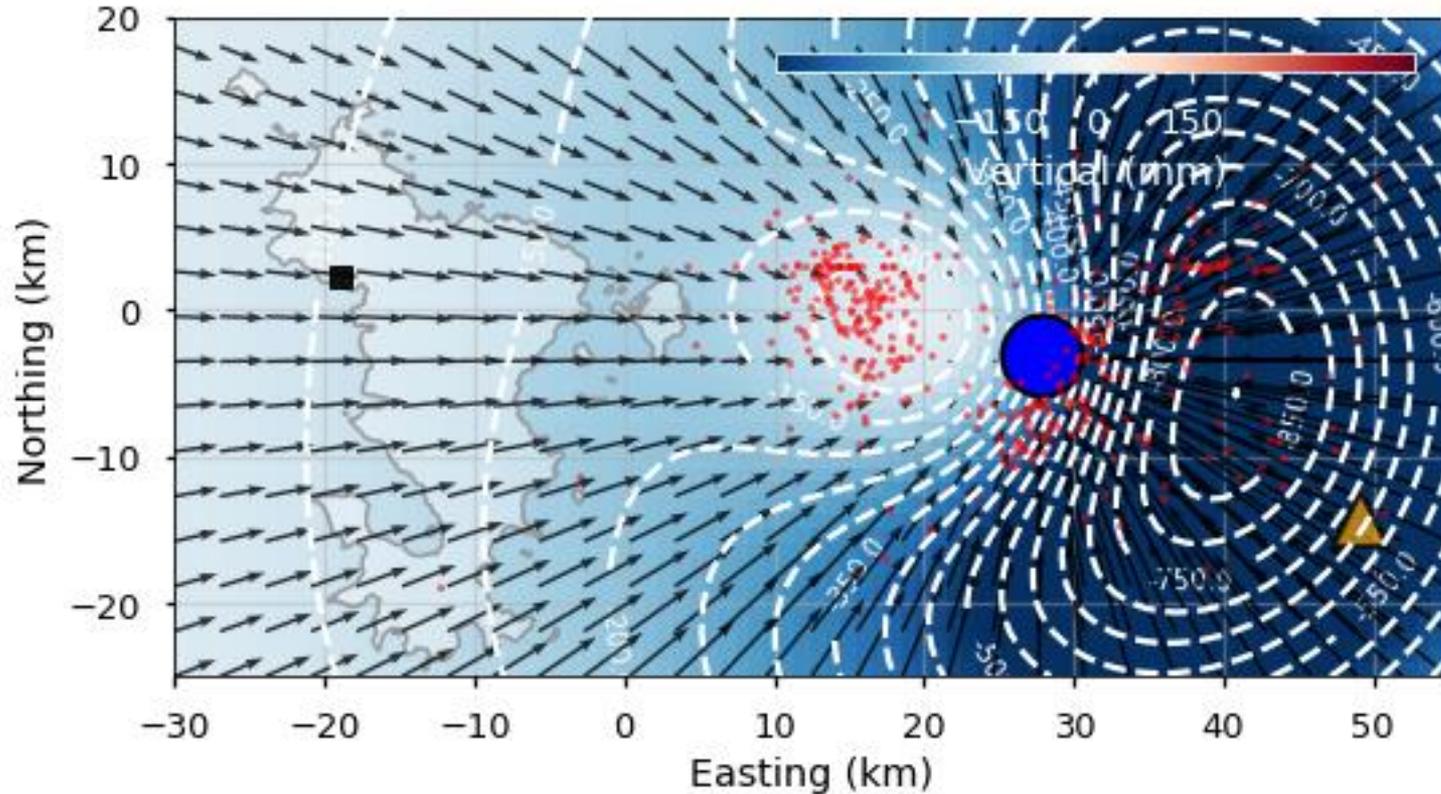
- O GNSS : sessions statiques
- O Nivellement (environ 260 km)
- O gravimétrie : 6 points absolus, 6 gradients complétés par une densification en relatif

Traitement des données en cours.

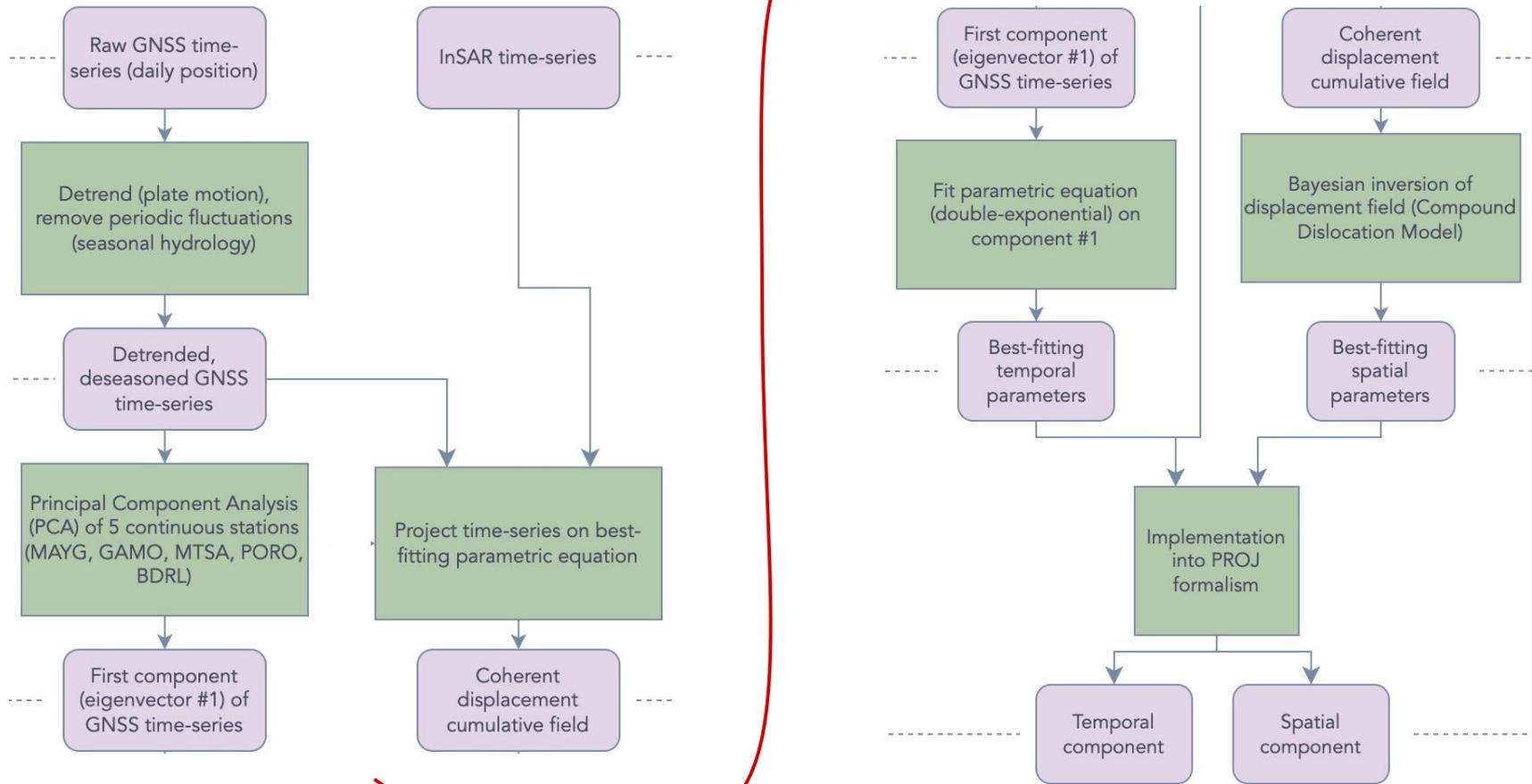
Source: <https://www.ipgp.fr/actualites-du-revosima/>

# Modèle de déformation

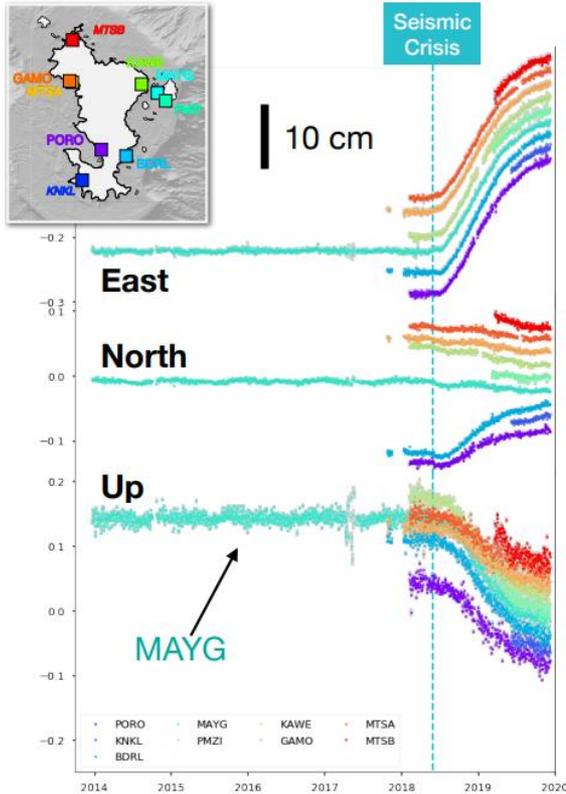
Grille régulière, 3 composantes



# Modèle de déformation



# Modèle de déformation



Source: Déplacements des stations permanentes GNSS. Grandin et al. (2019)

Analyse en Composante Principales (ACP) des déplacements GNSS

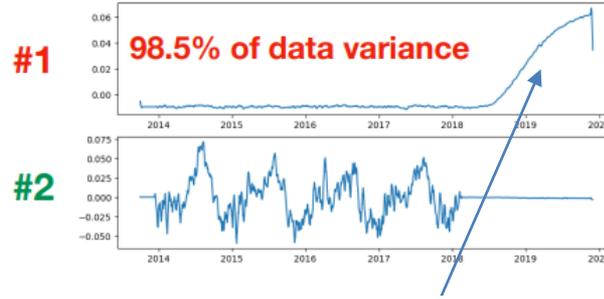


Fig. Deux premières composantes temporelles

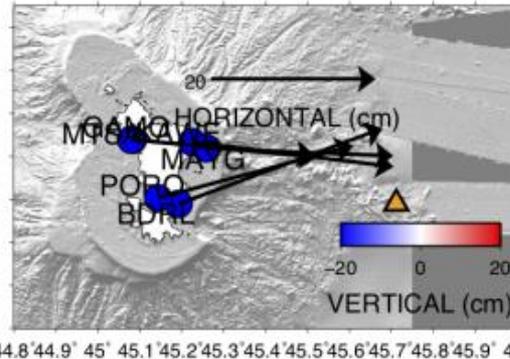


Fig. Composante spatiale associé à la première composante

# Modèle de déformation

Une telle allure de la composante temporelle peut être expliquée par une variation transitoire de la pression dans un réservoir (drainage d'un premier réservoir relié vers un second par un conduit)

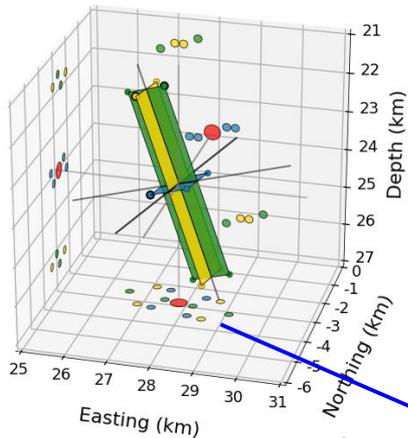
Une fonction composée de deux exponentielles modélise un tel phénomène (Mével et al., 2016)



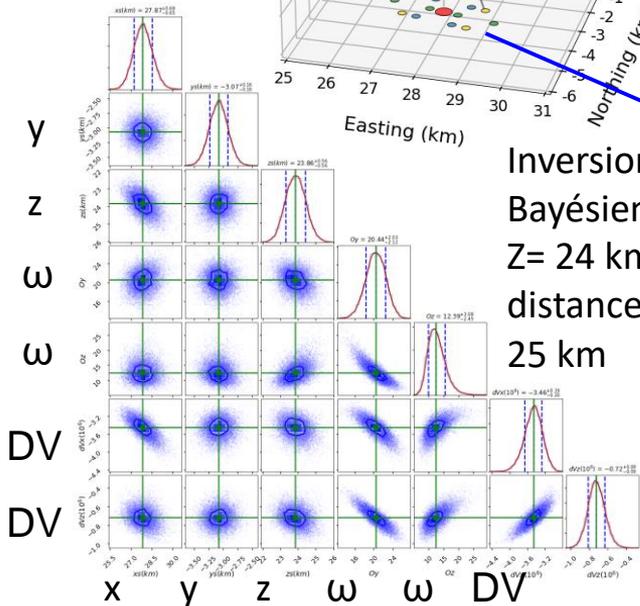
Fig. Rouge : première composante de l'ACP. Ligne noire : modèle estimé. Bleu : résidus. Vert : historique de la pression imposée à l'extrémité de la conduite.

# Modèle de déformation : géométrie de la source

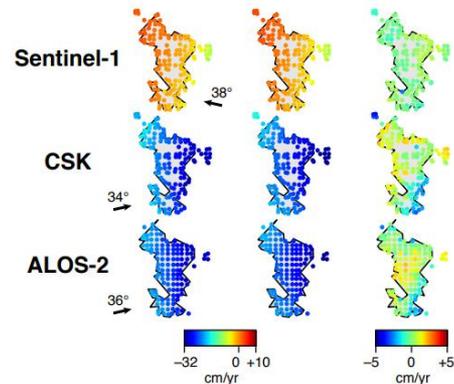
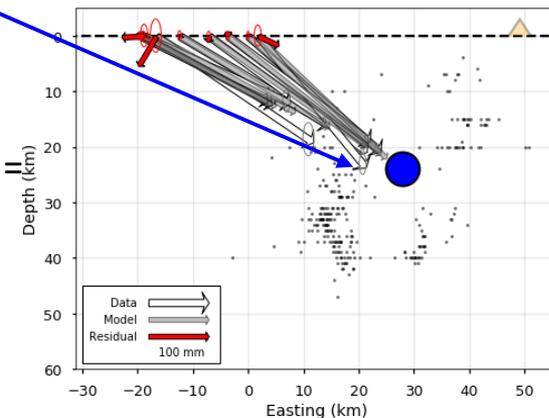
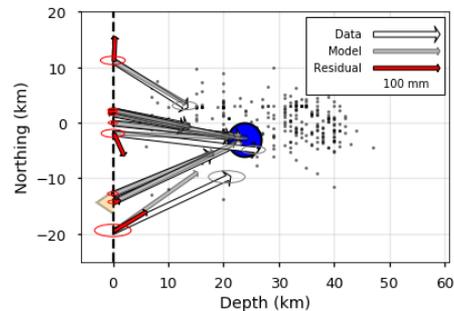
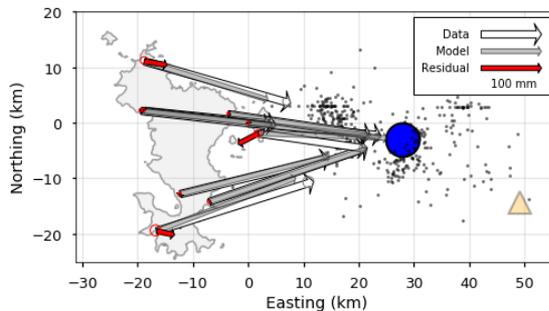
Compound  
Dislocation  
Model :  
«deflating  
pipe »  
(-5 km<sup>3</sup>)



Inversion  
Bayésienne :  
 $Z = 24 \text{ km} /$   
distance-MAYG =  
25 km



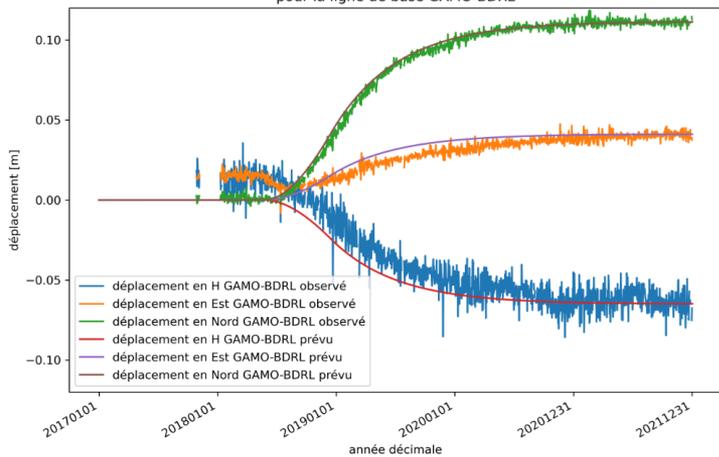
Ajustement des déplacements cumulés  
(2018–2022) : résidus < 1 cm



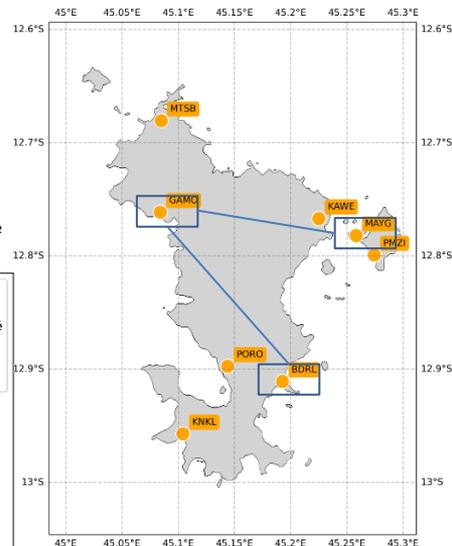
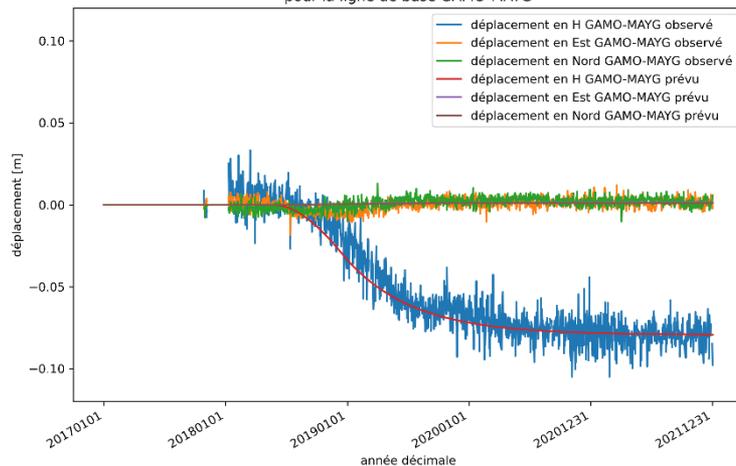
# Modèle de déformation

- Prévision de déformation interne de l'île (déplacements relatifs)  
Comparaison aux déplacements GNSS calculés par l'université du Nevada (<http://geodesy.unr.edu>)

Graphique de la différence entre le déplacement Est, Nord, Hauteur estimé par le modèle et celui enregistré par les stations GNSS (Calcul Nevada) en fonction du temps pour la ligne de base GAMO-BDRL



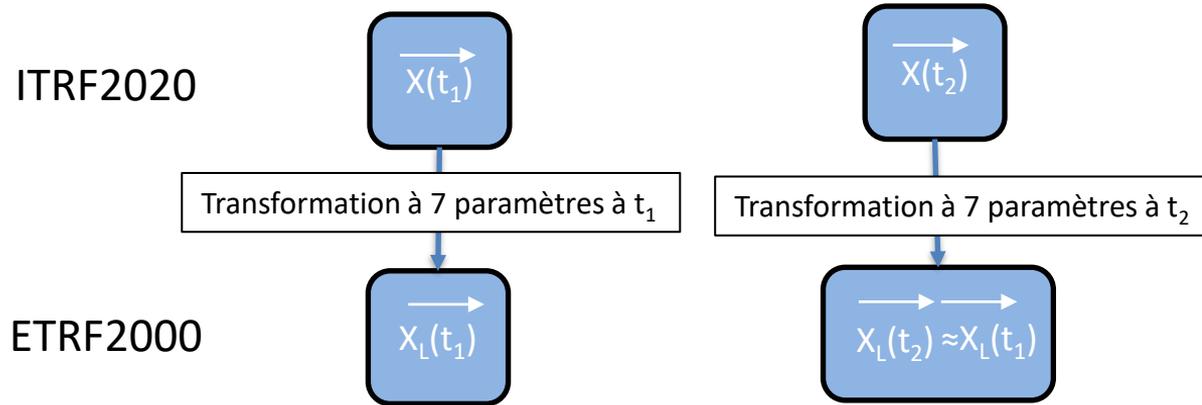
Graphique de la différence entre le déplacement Est, Nord, Hauteur estimé par le modèle et celui enregistré par les stations GNSS (Calcul Nevada) en fonction du temps pour la ligne de base GAMO-MAYG



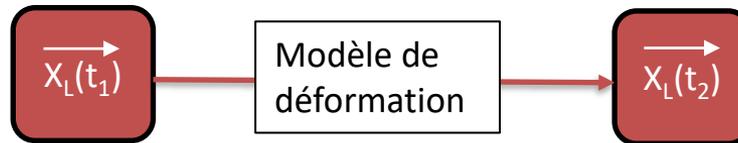
Différence 3D maximale en relatif (lignes de base GAM; moyenne 30j les plus anciens) : 2.0 cm

# Modèles de déformation en géodésie

Rappel: dans une zone stable d'une plaque tectonique, on peut définir un repère lié à cette plaque. Ex: ETRF2000



Dans une zone de déformation:  $X_L(t_2) \neq X_L(t_1)$



# Modèles de déformation en géodésie

Implémentation du modèle réussie dans la librairie « proj » !

Possible car la déformation peut être mise sous la forme:

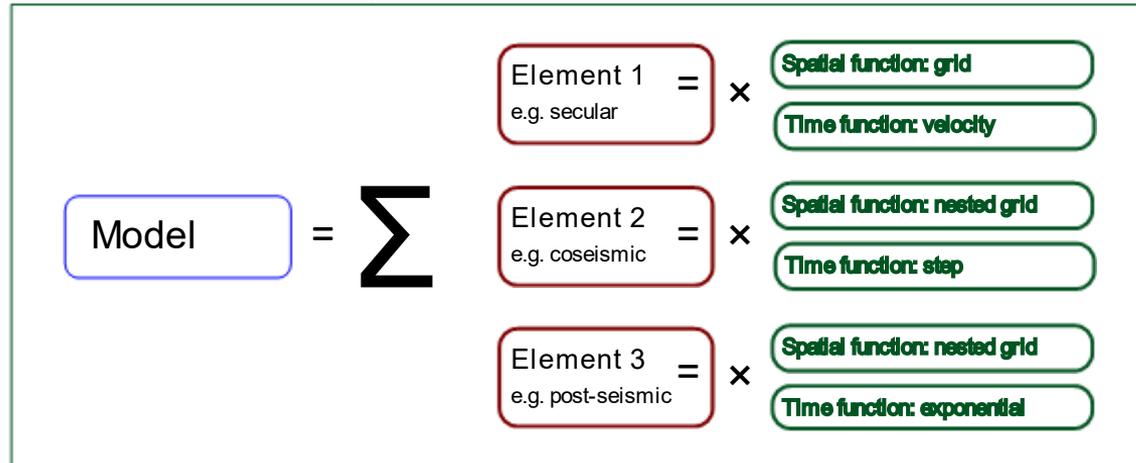
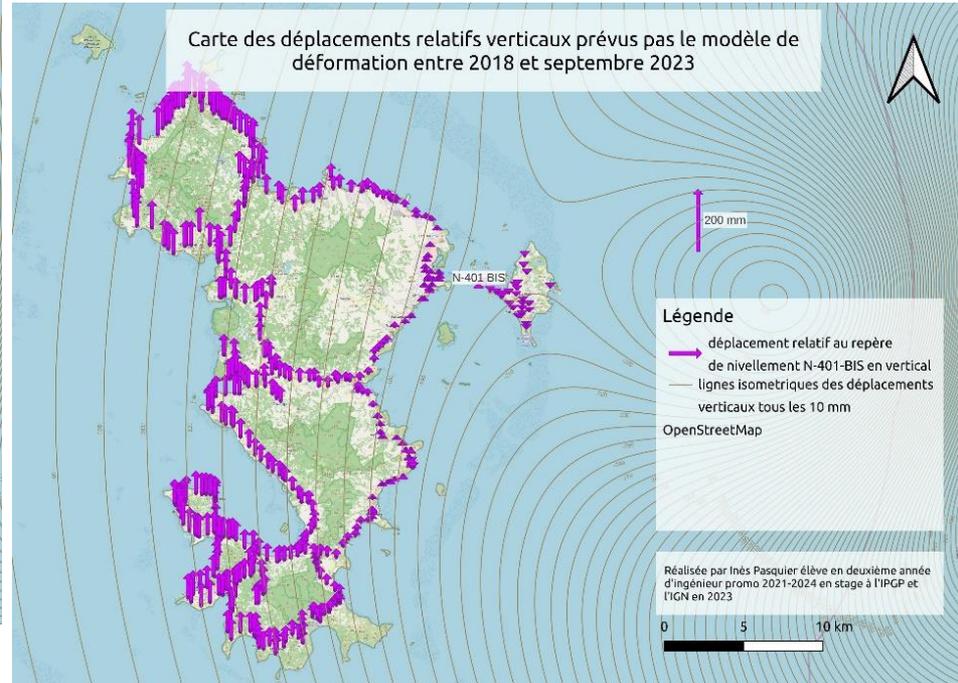
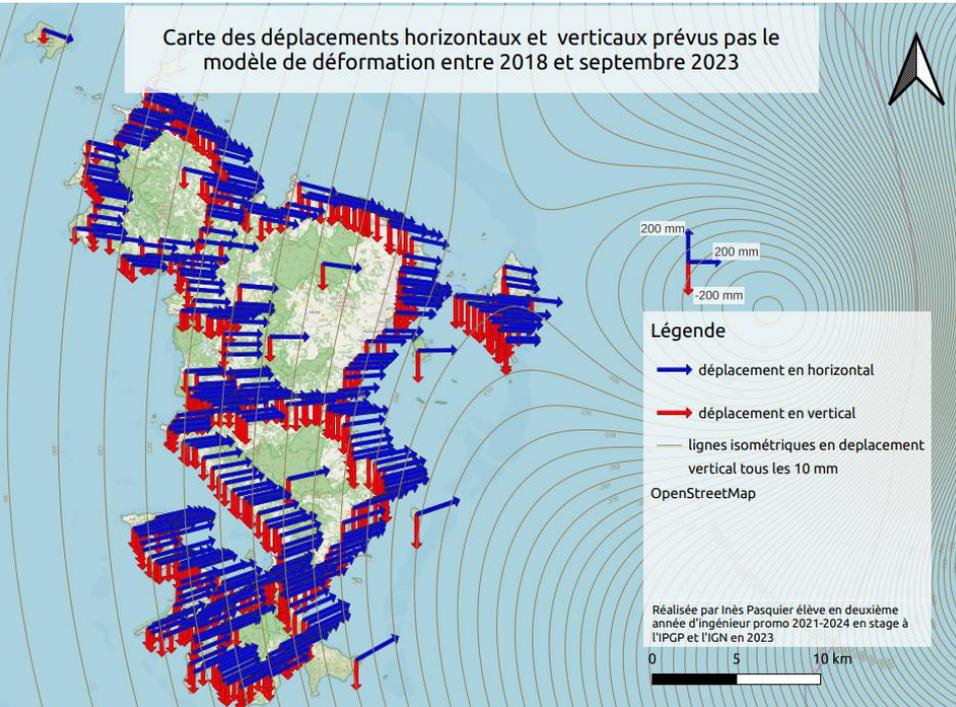


Fig. Adaptée de Crook C. (2019).

```
$ cct +proj=defmodel +model=path/RGM04_defmod.json coord.txt
```

# Prévision du modèle de déformation

Déplacement des points géodésiques (repères RGM04, RN) sur Mayotte





# Modèles de déformation en géodésie

Incorporation d'un modèle de déformation dans la définition du repère

## i) Repères semi-cinématiques (FIG, 2004):

- Les coordonnées sont toujours fournies à un instant de référence  $t_0$
- Un modèle de déformation est inclus dans la définition du repère

Avantage: le repère apparaît statique pour un utilisateur. Usage avec SIG actuels possible.

Remarque: en cas de séisme, les coordonnées de référence sont actualisées (coordonnées après séisme) et le repère renommé via un numéro de version (Donnelly et al., 2015).

Un modèle de déformation peut donc s'actualiser (ex: nouvelle Zélande).

## ii) Repère cinématique (FIG, 2004; Kierulf et al., 2019):

- Les coordonnées peuvent être diffusées à n'importe quelle époque
- Un modèle de déformation est inclus dans la définition du repère

Conséquence: le SIG doit savoir transformer les coordonnées pour les ramener à la même date.

# Perspectives d'intégration du modèle

## Un éventail de possibilités

- Repère statique « RGM23 ».  
Dédution d'une transformation grille « RGM23 vers RGM04 » comme  $X(t=2024.0) \rightarrow X(t=2018.35)$  issue/contraite par le modèle
- Repère semi-cinématique sur la base du RGM04
- Repère semi-cinématique sur la base du « RGM23 »  
Avantage: Les données acquises pendant la crise (2018-2020) pourront être converties rigoureusement en RGM23. Pas d'usage du modèle nécessaire après 2024.
- Repère cinématique « RGM23 » dans lequel les coordonnées dépendent du temps. La diffusion de coordonnées à tout époque a un sens.
- Définition une transformation ITRF2020 vers « RGM23 » à n'importe quelle époque.

# Références

- Crook C. (2019), Proposal for encoding of a Deformation Model, Land Information New Zealand
- FIG (2014), Reference Frames in Practice Manual, Commission 5 Working Group 5.2 Reference Frames, publication n°64
- Grandin, R., Beauducel, F., Peltier, A., Ballu, V., Chanard, K., Valty, P., ... & Komorowski, J. C. (2019, December). Surface deformation during the 2018-19 mayotte seismo-volcanic crisis from gnss, synthetic aperture radar and seafloor geodesy. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2019, pp. V52D-03).
- Kierulf, H. P., Valsson, G., Evers, K., Lidberg, M., Häkli, P., Prizginiene, D., ... Poutanen, M. (2019). Towards a dynamic reference frame in Iceland. *Geophysica*, 54(1), 3-17.
- Le Mével, H., Gregg, P. M., and Feigl, K. L. (2016). Magma injection into a long-lived reservoir to explain geodetically measured uplift: Application to the 2007–2014 unrest episode at laguna del maule volcanic field, chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(8):6092–6108.
- Nikkhoo, M., Walter, T. R., Lundgren, P. R., and Prats-Iraola, P. (2016). Compound dislocation models (cdms) for volcano deformation analyses. *Geophysical Journal International*, page ggw427.
- Peltier, A., Saur, S., Ballu, V., Beauducel, F., Briole, P., Chanard, K., ... & Van Der Woerd, J. (2022). Ground deformation monitoring of the eruption offshore Mayotte. *Comptes Rendus. Géoscience*, 354(S2), 1-23.