

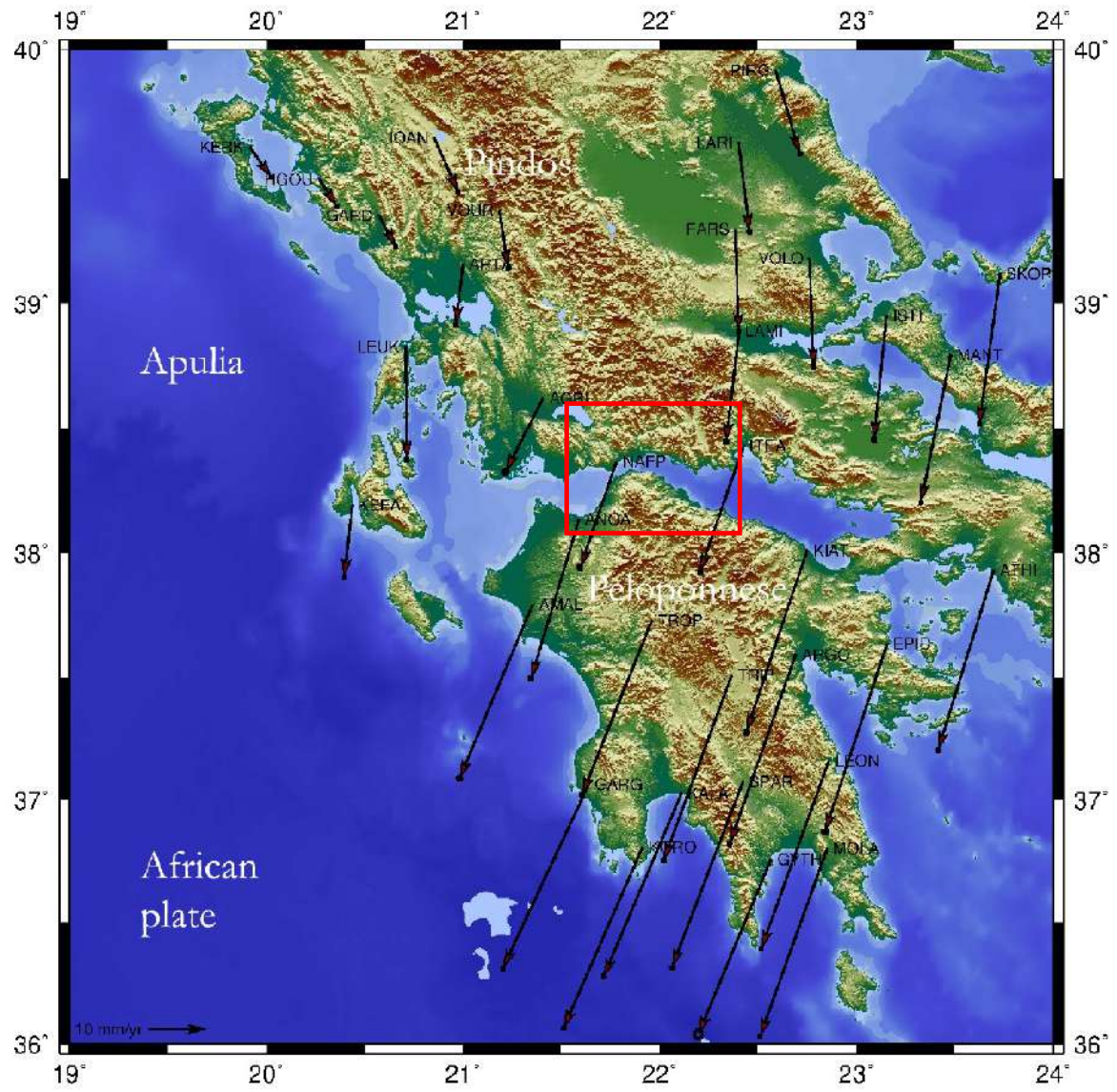
Le PPP à usage scientifique (le cas du rift de Corinthe, Grèce)

Commission GeoPos du CNIG

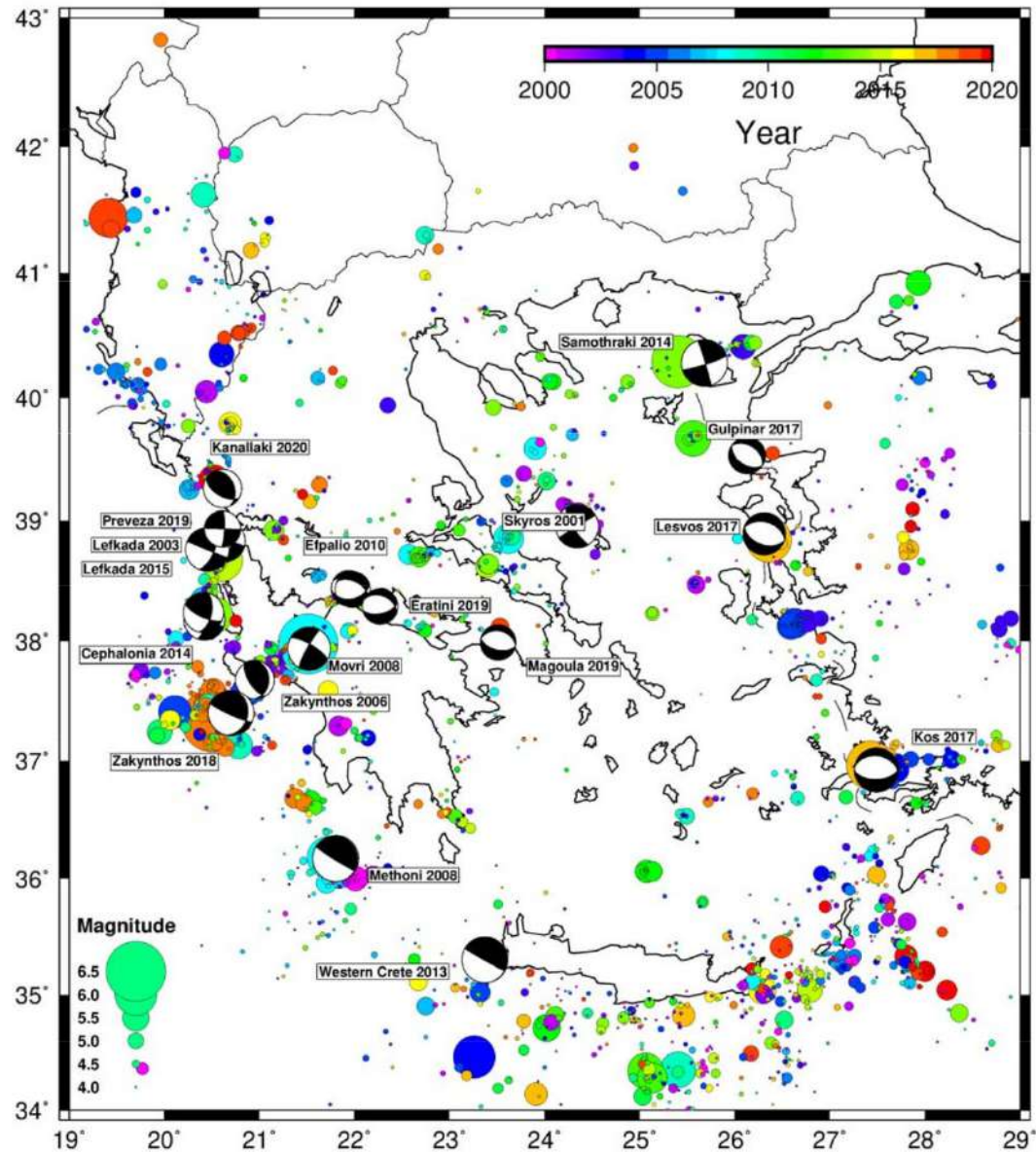
Groupe de travail GNSS et positionnement

Pierre Briole - Mercredi 22 mars 2023

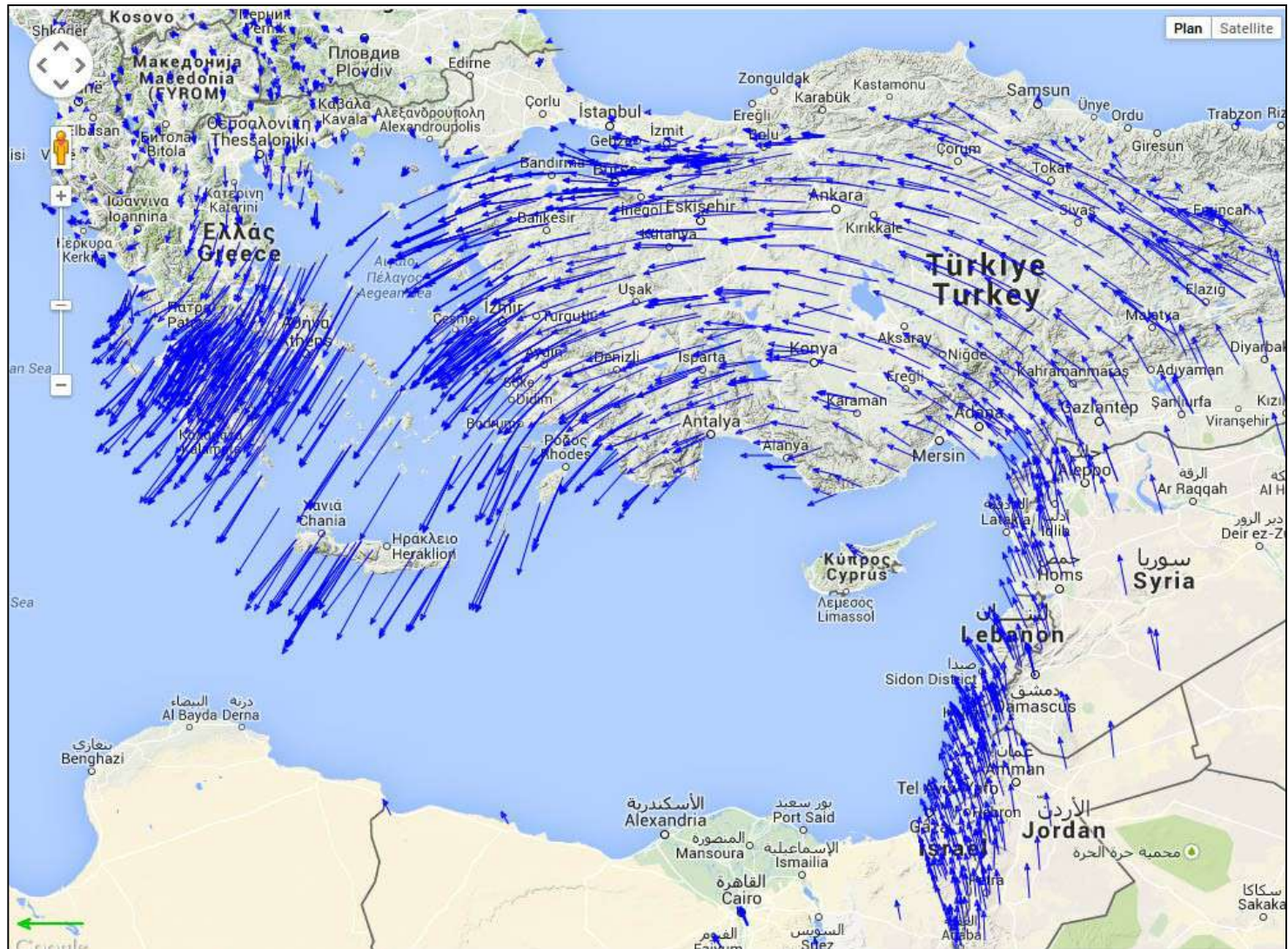
Zone étudiée (vitesses relatives à la plaque Afrique)



Sismicité de la Grèce de 2000 à 2020



Géodynamique de la Méditerranée orientale



Le rift de Corinth

Le rift de Corinth, Grèce est une zone sismique en extension rapide (plus de 1 cm par an). Les sismologues européens en ont fait un site pilote pour l'étude de l'aléa sismique



Des grandes failles actives presque en ville



La faille de Psathopirgos à l'est de Patras

Des failles actives à la maison



La faille de Lakka, côté sud du Golfe

La main sur la faille d'Helike près d'Aigion

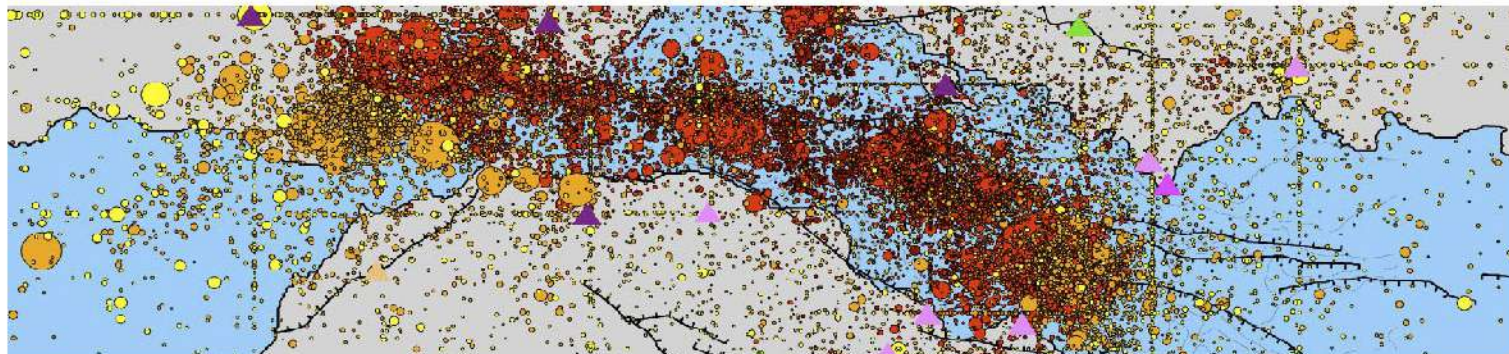


L'Observatoire du rift de Corinthe (NFO-EPOS)



Corinth Rift Laboratory

Partners ▾ Literature ▾ Projects ▾ Data-products ▾ About ▾ Education ▾ Links ▾ Events



The CRL Near Fault Observatory

News: [The 2020-2021 Trizonia-Lambiri sequence](#)

The Corinth Rift Laboratory ([CRL-NFO](#); 21.35°E-22.5°E; 38°N-38.65°N) is centered between the cities of Patras (west) and Aigion (east). It is one of the most seismically active zones in Europe. Scientists and engineers are joining their efforts to investigate fault mechanics, its relationship with earthquakes, fluid flow and the related hazards in the Corinth rift.



NETWORKS

- [Seismological array](#)
- [The GNSS array](#)

Un réseau GNSS permanent – Pour faire quoi?

The GNSS array



crl

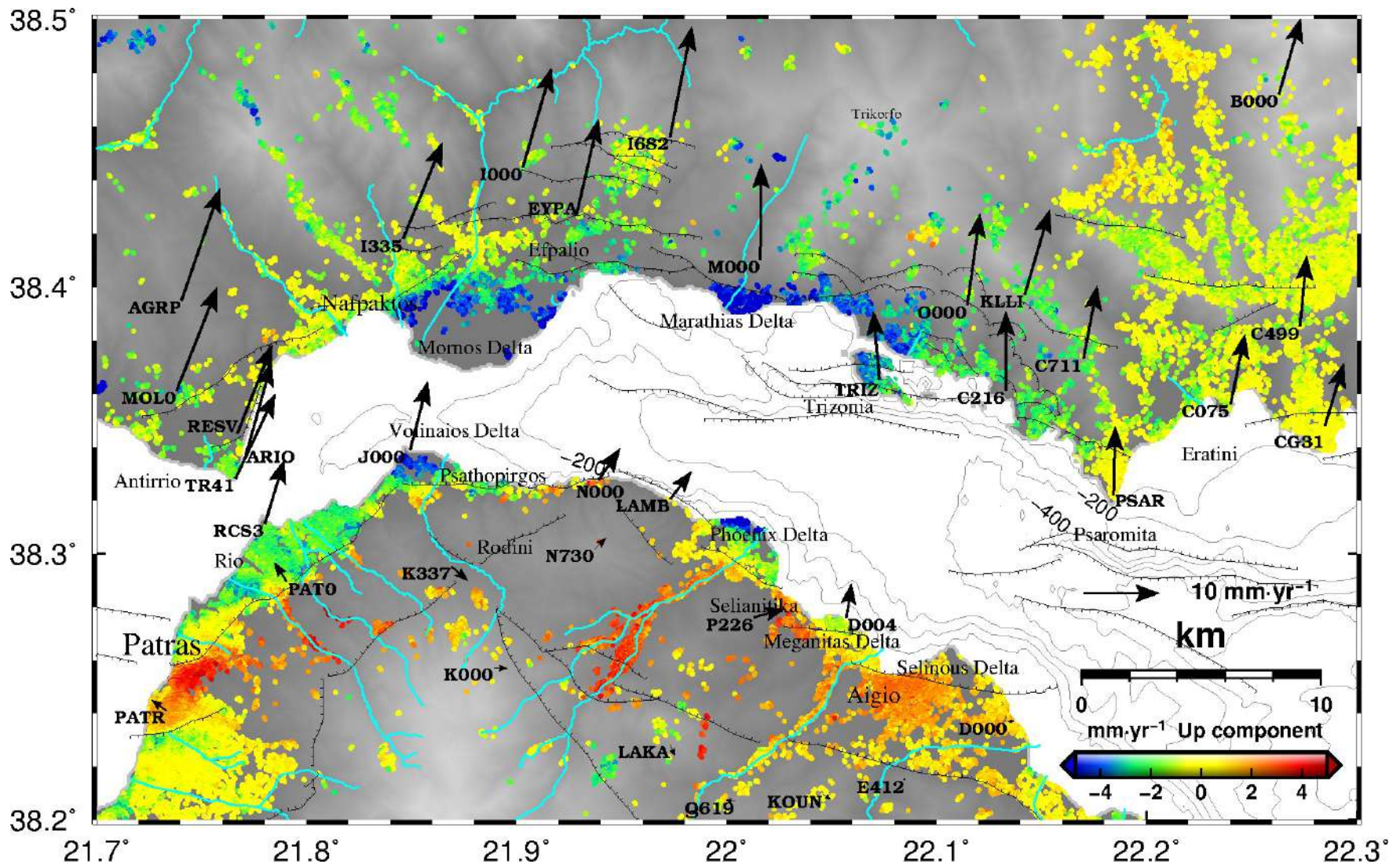
2016-11-06

Array, GNSS



-  Centre National de La Recherche Scientifique – [CL](#) GNSS instruments – Stations [AIGI](#), [ALIS](#), [ANOC](#), [ARSA](#), [EYPA](#), [GALA](#), [GEYB](#), [KALA](#), [KOUN](#), [KRIN](#), [LAMB](#), [LIDO](#), [MESA](#), [MESO](#), [PATO](#), [PSAR](#), [PSAT](#), [ROD3](#), [TRIZ](#), [VALI](#), [XILI](#)
-  National Observatory of Athens – Stations [RLSO](#), [EGIO](#), [PLAT](#)
-  University of Patras & Charles University Prague – Stations [PVO](#), [RETS](#)

Vitesse de déformation (séculaires?)



Besoin 1: suivi temporel des déformations

- Il s'agit d'un observatoire de recherche, pas d'une structure opérationnelle, l'observation temps réel n'est pas requise
- Toutefois l'accès aux données par des télémétries est utile parce qu'il permet (donc en temps peu différé):
 - La maintenance
 - Le calcul routinier
 - Le suivi des déformations à l'échelle journalière voire horaire qui est suffisant pour apporter des informations lors des crises
- Ces observations sont aussi utiles à la correction des allongements troposphériques dans les interférogrammes
- Les déformations transitoires du sol (ou de la mer) en lien avec l'activité tellurique sont importants à connaître car ils contribuent à caractériser les sources

Besoin 2: cartographie des déformations

- Les failles ont des tailles variables, typiquement de quelques kilomètres
- Pour discriminer la dynamique liée à chaque faille il faut un réseau dense, avec des espacements entre les points de 1 à 2 km si possible
- Le temps de récurrence des séismes est de plusieurs centaines d'années (500 ans estimé pour la faille de Psathopirgos), il faut donc une approche à très long terme pour l'observatoire (siècles)

Besoin 3: le relief et son évolution

- L'InSAR (interférométrie radar par satellite) apporte une connaissance globale et à haute résolution de l'évolution du relief (et de la côte) à l'échelle de quelques jours à quelques années
- Les modèles numériques de terrain très précis ainsi que les couvertures denses en GNSS cinématique peuvent apporter une capacité long terme (décennies, siècles) à la connaissance du relief
- Sur les temps courts, le GNSS cinématique peut aider à combiner les observations GNSS de campagne (et de stations permanentes) et les observations InSAR

Environ 25 stations permanentes sur le terrain



Alexandre Nercessian entretenant la station permanentes LIDO
située au nord du golfe (photo P. Briole)

Les (vieux) récepteurs des stations permanentes

Topcon net-g5 Topcon net-g3



1 NOA
7 ans

Topcon
GB-1000



4 CNRS
1 NOA
11 ans

Leica GR 10



17 CNRS
17 ans

Septentrio
PolarRx2



1 CUP
13 ans

Leica GMX902



1 CUP
10 ans



Aucun changement d'antenne sauf cas de panne



Antenne Topcon PG-A1 à la station GALA

Station PAT0 EUREF (Université Patras)



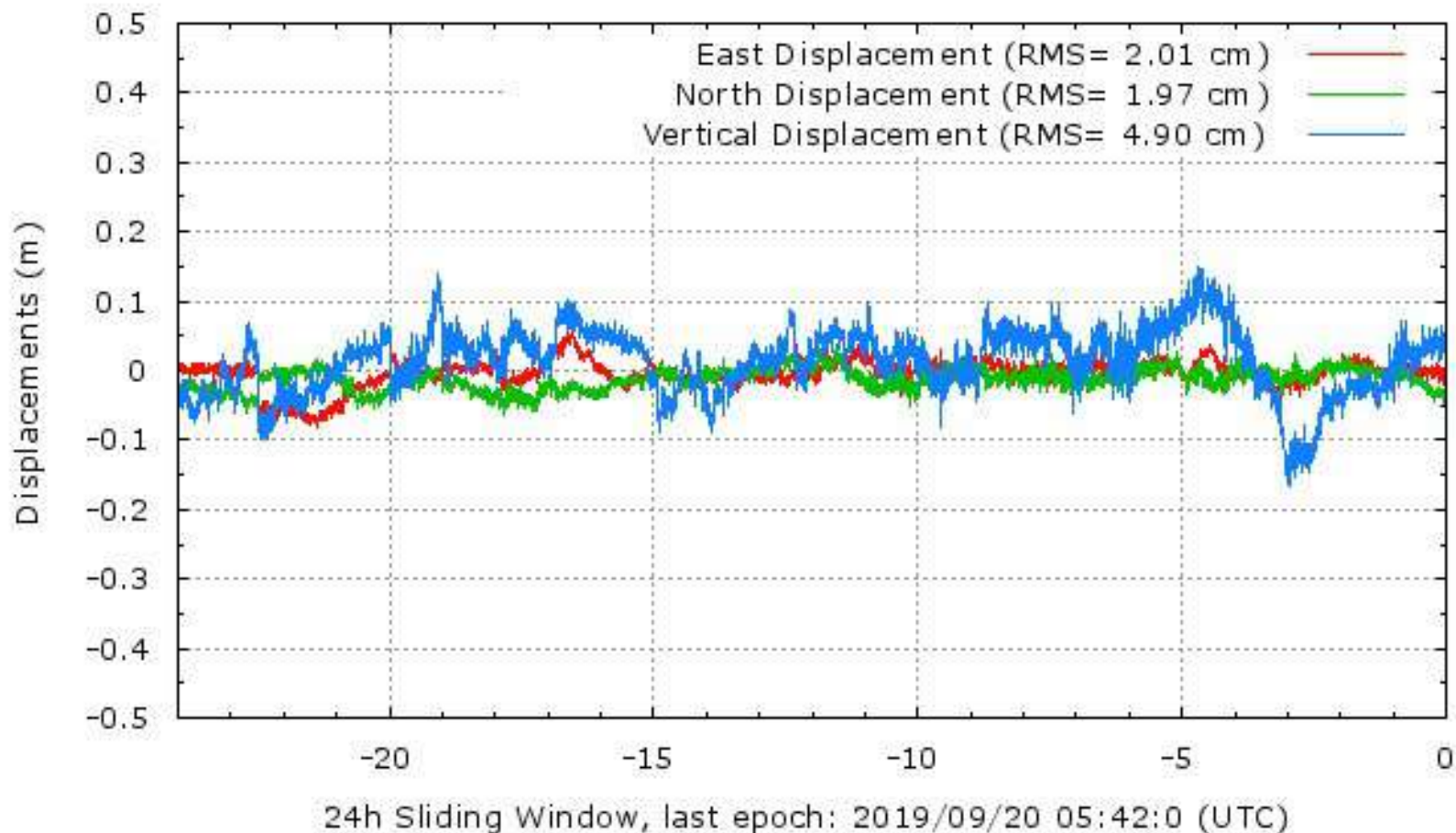
Station créée en 2006 – Récepteur changé en 2013

Calcul temps réel avec le PPP Wizard du CNES

2019

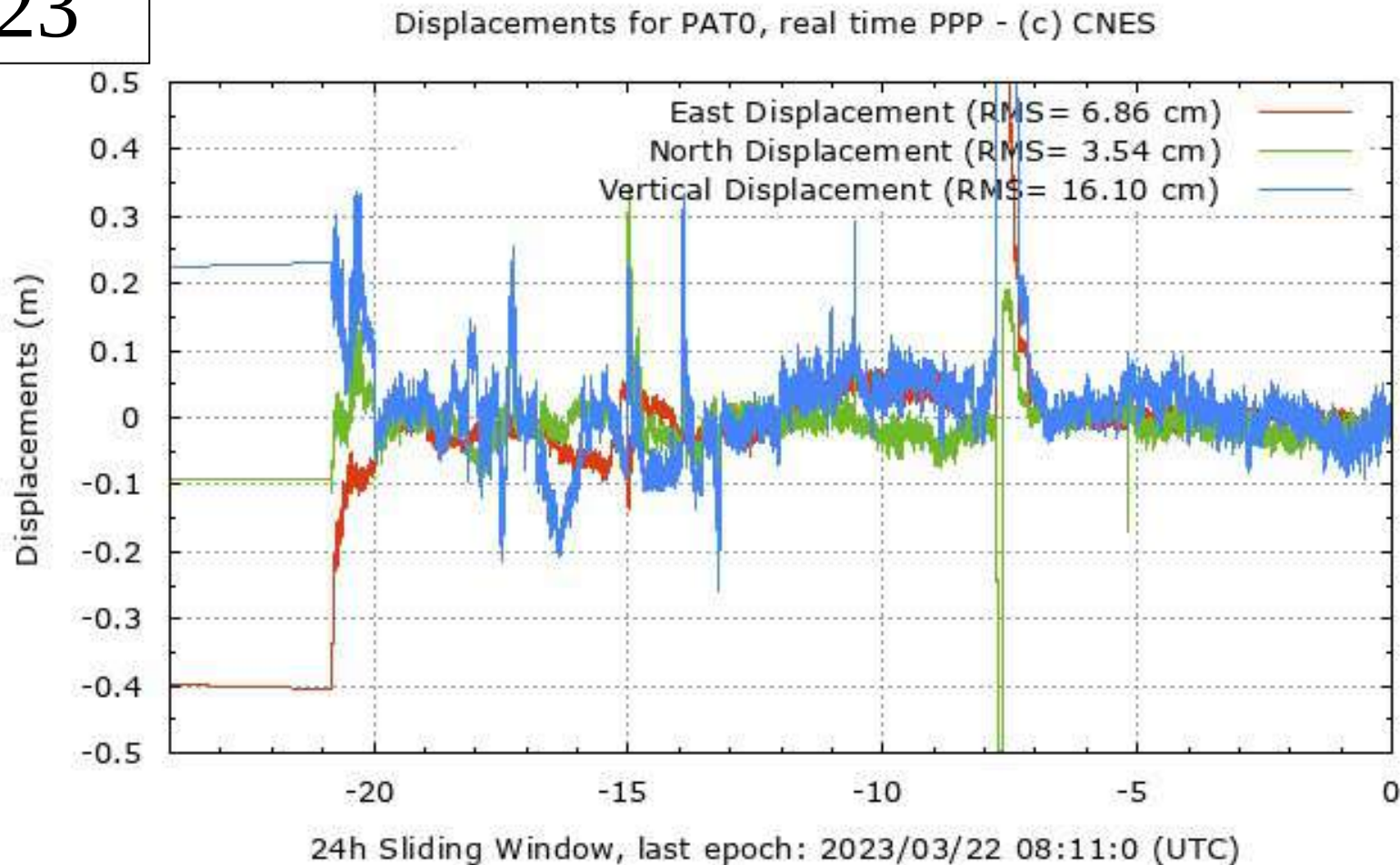
Real time GNSS at Patras (see the CNES [PPP Wizard](#))

Displacements for PAT0, real time PPP - (c) CNES



Calcul temps réel avec le PPP Wizard du CNES

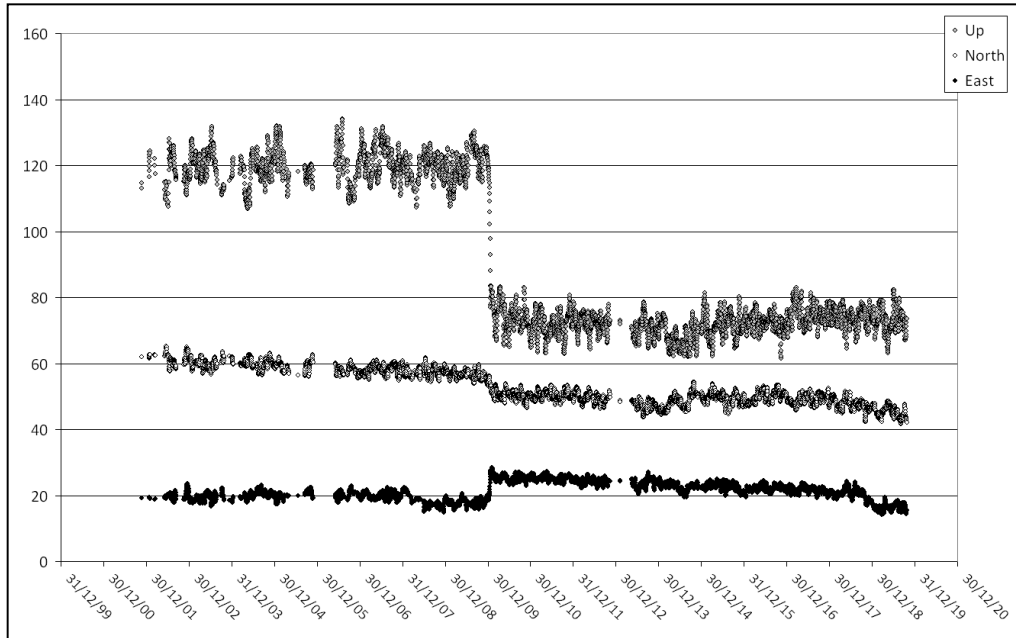
2023



Service robuste (fonctionne tout le temps) mais pas d'amélioration des performances entre 2019 et 2023

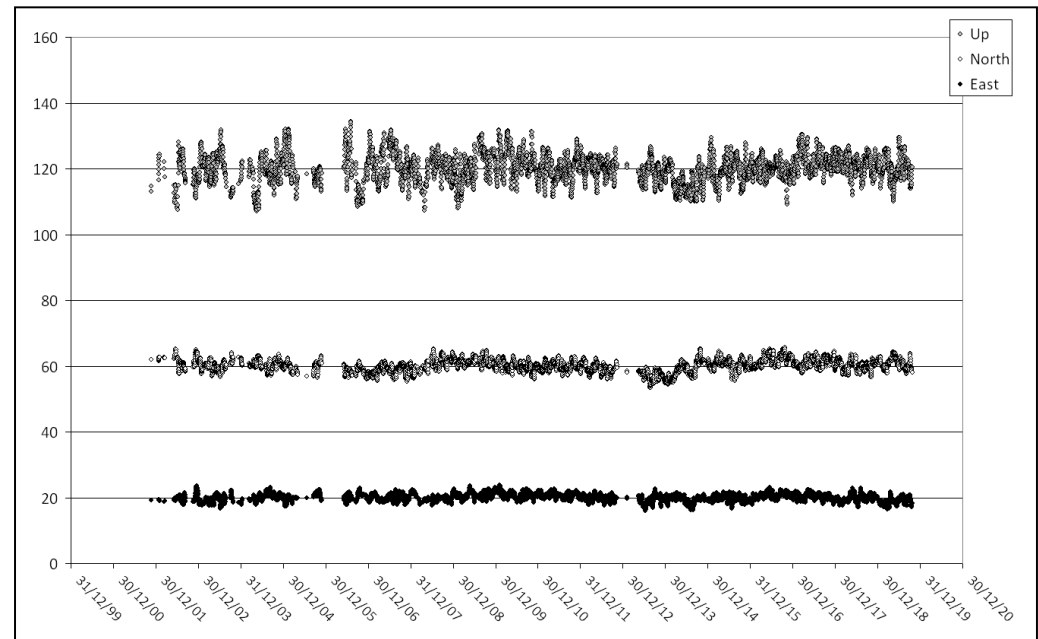
Séries temporelles de coordonnées

Exemple de la station
EYPA située sur la
côte nord du golfe



Série brute

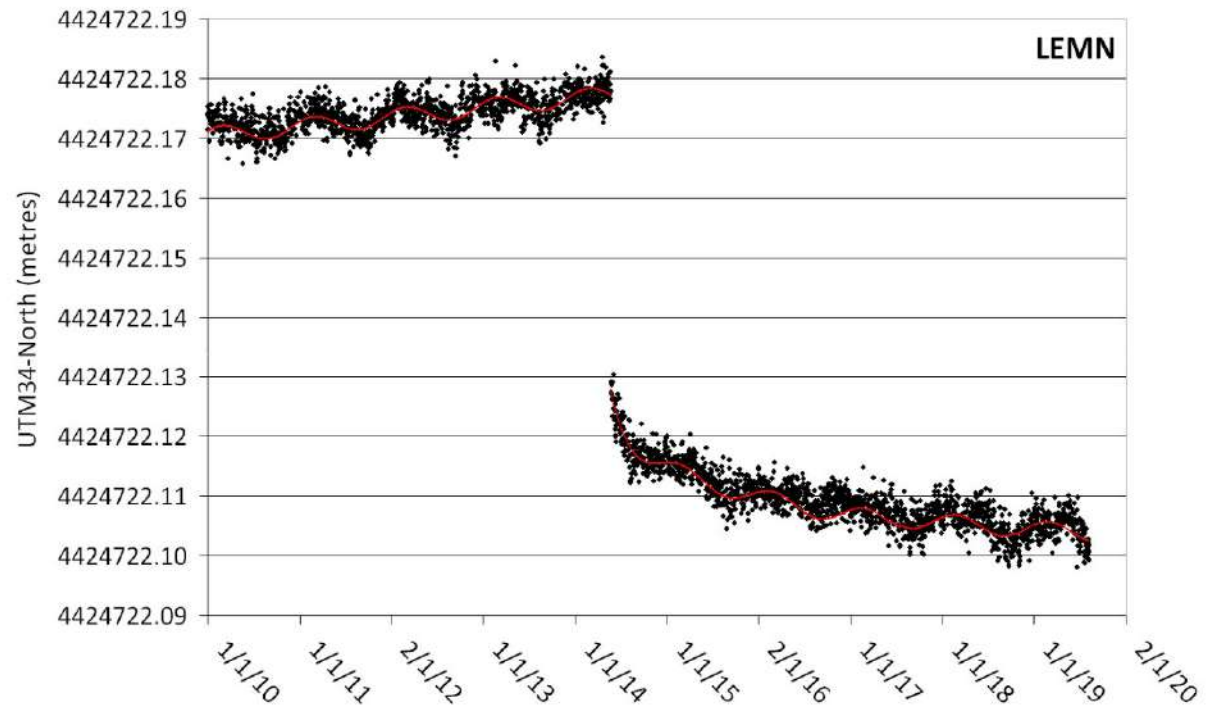
Série corrigé
des séismes



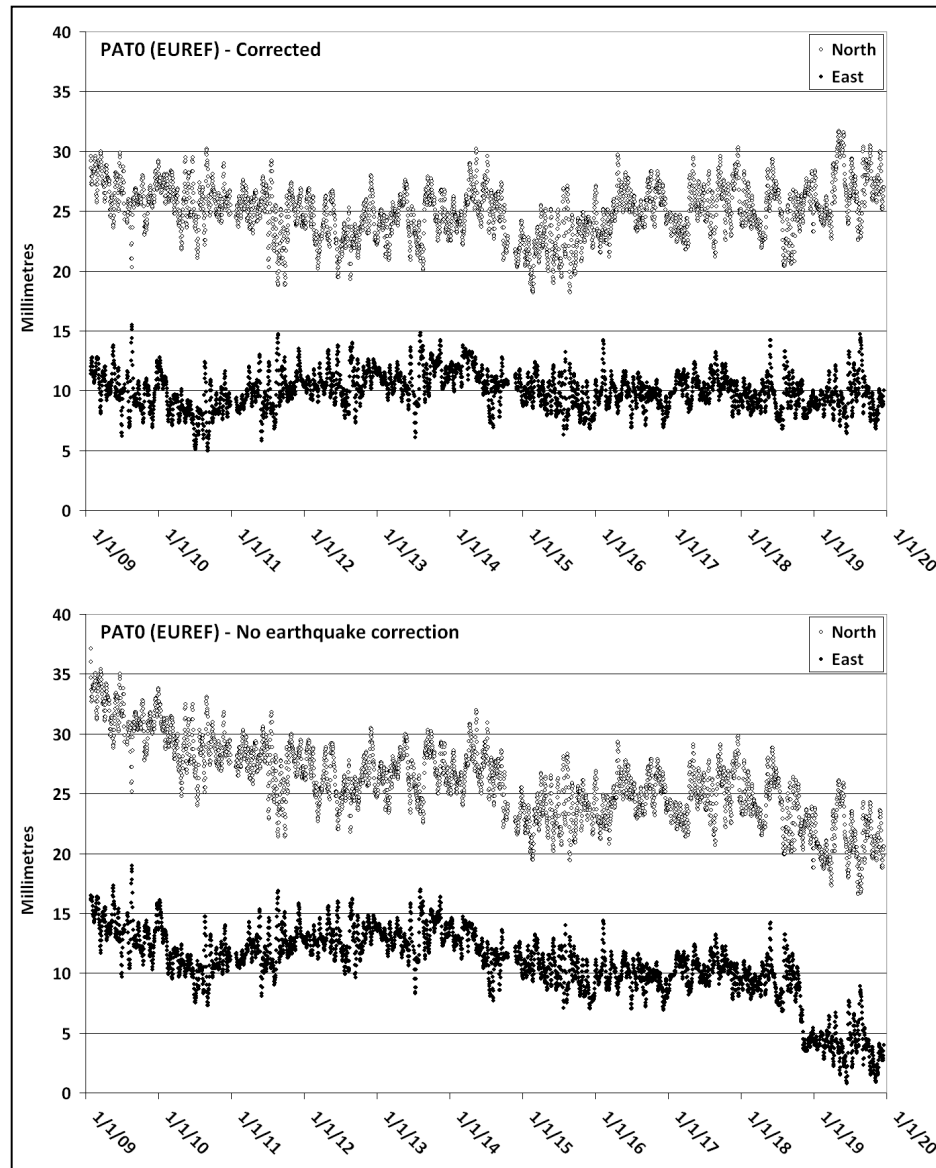
Les séismes affectent les séries temporelles

- Les séismes proches
- Les séismes plus éloignés de forte magnitude (typiquement entre $M=6$ et $M=7$)
- La réponse post-sismique de la lithosphère qui parfois dépasse la partie co-sismique

Exemple de réponse à un séisme de la station LEMN proche du séisme de Lemnos de 2014



Le cas de la station EUREF PATO

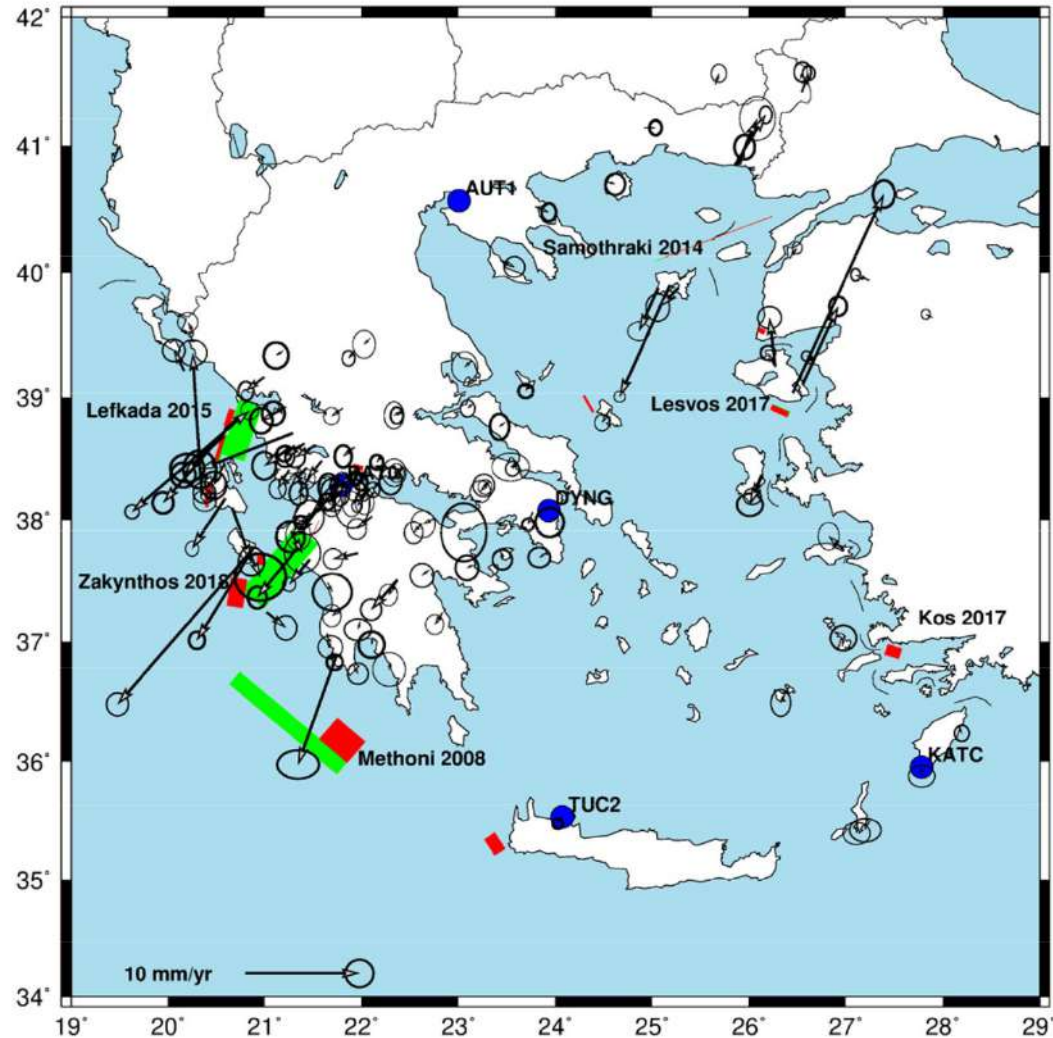


Vitesse séculaire de PAT0?

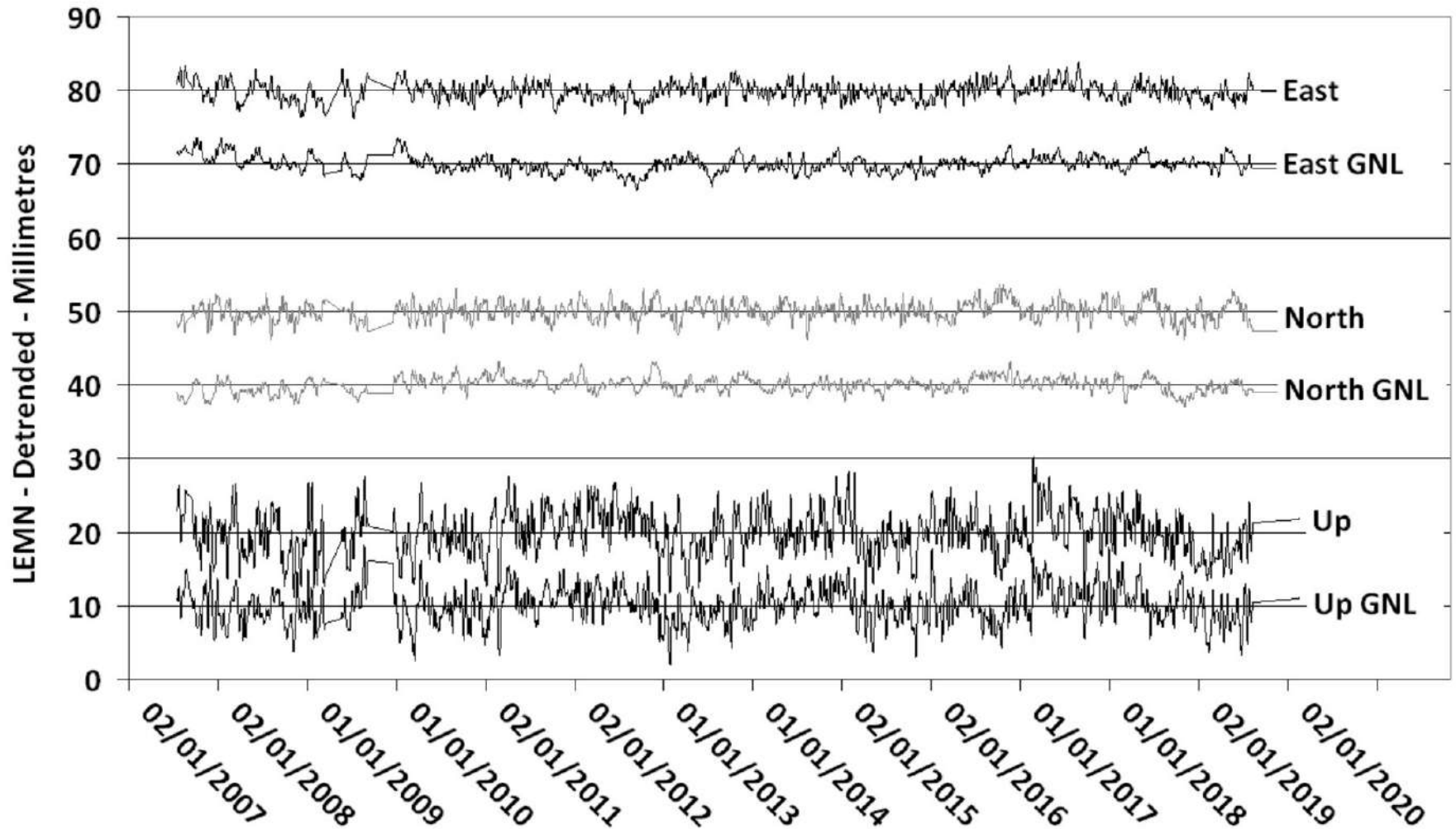
Solution	V_E	V_N mm yr ⁻¹	V_U	σ_E	σ_N mm yr ⁻¹	σ_U
ROB-EUREF	7.6	-6.76	0.61	0.05	0.05	0.06
LTK-EUREF	7.49	-7.06	-0.54	0.06	0.1	0.1
UGA-CNRS	7.19	-7.13	0.84	0.25	0.3	0.7
NGL	8.25	-6.04	-0.29	0.24	0.24	0.8
Average	7.63	-6.75	0.16			
r.m.s. deviation	0.45	0.50	0.67			
Our-not corrected	7.4	-6.7	-0.3			
Our – final	8.1	-5.8	-0.3	0.3	0.3	0.6

Table 6. Comparison of solutions (velocities and uncertainties) for the stations AUT1, DYNG, PAT0, TUC2 (blue dots in Fig. 12). The solutions ROB-EUREF, LTK-EUREF and UGA-CNRS are published by the European Plate Observing System (EPOS, <https://gnssproducts.epos.ubi.pt>). The solution NGL is published by the Nevada Geodetic Laboratory (<http://geodesy.unr.edu>). Our initial solution is the one before correcting the velocity biases induced by the coseismic and postseismic displacements.

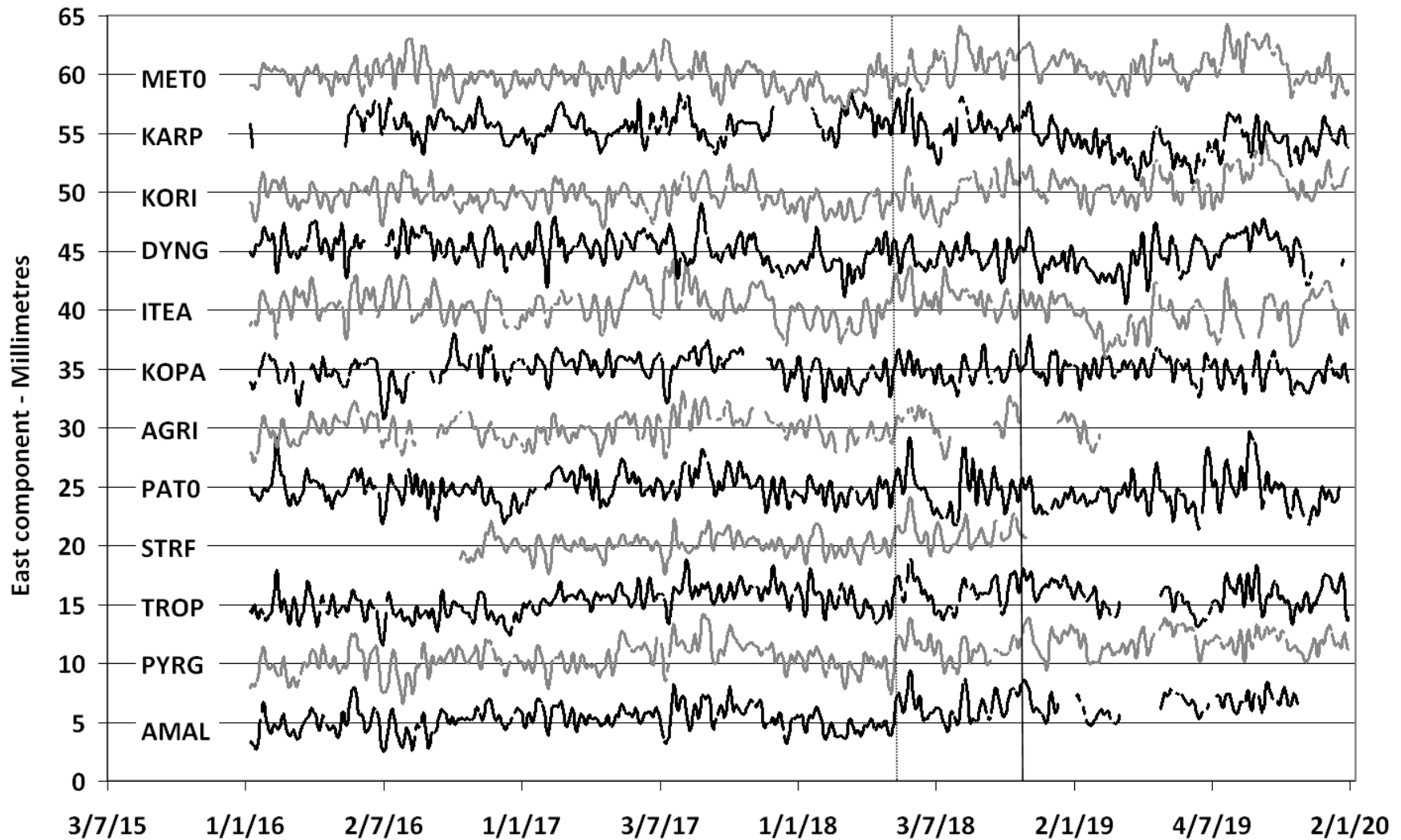
Impact des séismes sur l'estimation des vitesses séculaires



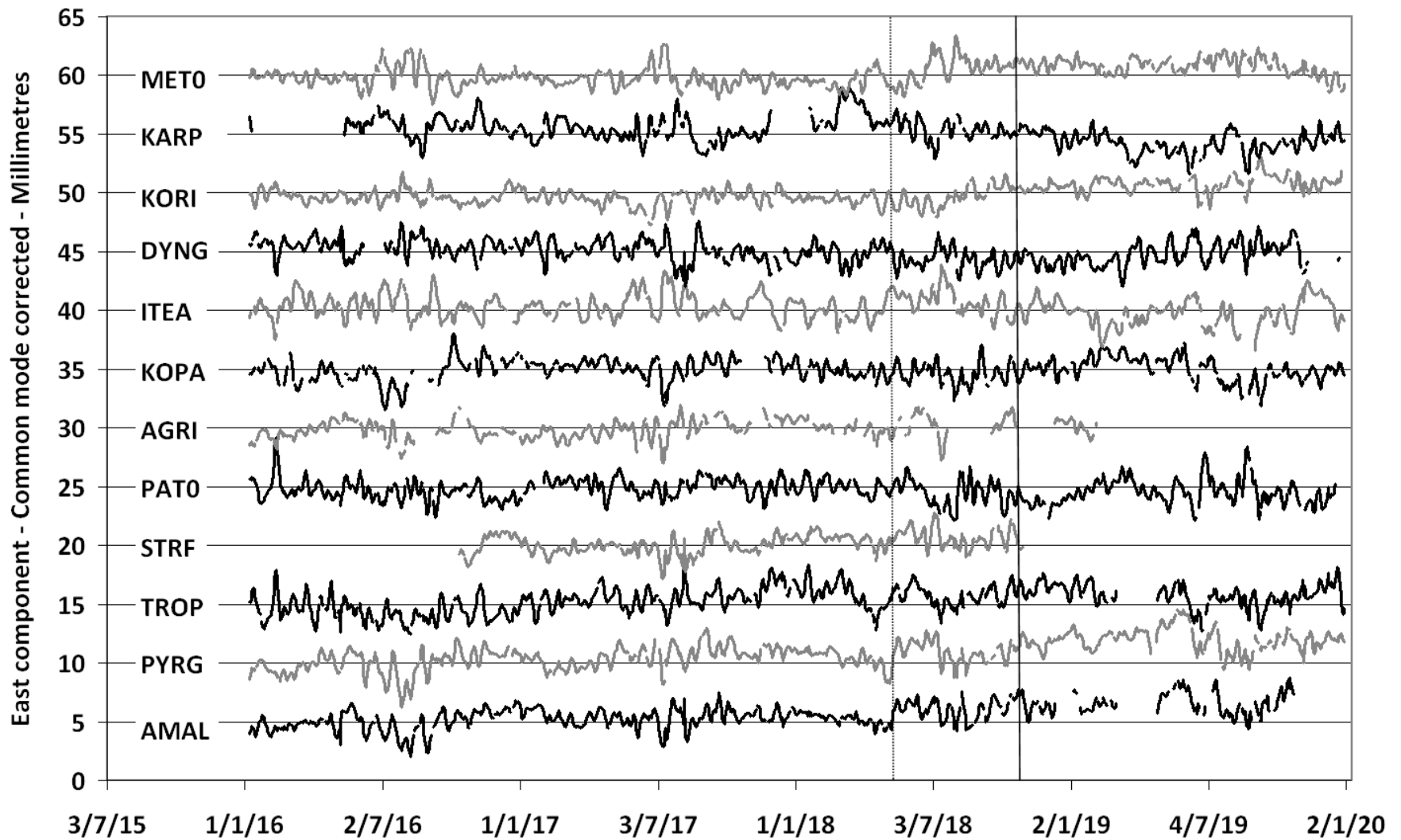
Comparaison de solutions PPP GIPSY avec différents réglages de paramètres



Mode commun des séries temporelles PPP



Mode commun rejeté



Intérêt du PPP pour le calcul des données de stations permanentes

- Rapidité des calculs
- Ressources informatiques nécessaires modestes
- Faibles écarts entre les solutions obtenues avec les différents logiciels testés (Gipsy, GipsyX, SCRS PPP, IGN PPP)
- Le problème réel, n°1, est celui des effets des séismes
- Le mode commun entre séries temporelles de stations voisines calculées en PPP existe mais est petit
- Pas de problème de mise en référence / réseau d'appui
- *Limitations*
 - Opacité des codes sources
 - Moins performant que les doubles différents dans un petit nombre de cas (déformations différentielles inférieures à 5mm en un jour entre stations voisines, lors de crises sismiques à l'intérieur du réseau)

Plus de 150 points de campagne



Exemple de matériel utilisé pour les campagnes (photo P. Briole)

Plus de 150 points de campagne



E. Konstantakopoulou réalisant des mesures sur un pilier situé au dessus de la faille d'Helike, côté sud du golfe (photo S. Bufféral)

Plus de 150 points de campagne



S. Bufféral réalisant des mesures sur un pilier situé au dessus de l'île de Trizonia, côté nord du golfe (photo P. Briole)

Plus de 150 points de campagne



D. Dimitrov et E. Klein réalisant des mesures sur un pilier situé au cap Psaromita, côté nord du golfe (photo P. Briole)

Intérêt du PPP pour le calcul des données de campagnes

- Rapidité des calculs
- Ressources informatiques nécessaires modestes
- Faibles écarts entre les solutions obtenues avec les différents logiciels testés (Gipsy, GipsyX, SCRS PPP, IGN PPP)
- Compatibilité avec les calculs PPP des stations permanentes
- Pas de problème de mise en référence / réseau d'appui
- *Limitations*
 - Nécessité d'observations suffisamment longues (à partir de quelques heures, mais 2-3 jours nécessaires pour une résolution d'environ 5mm)

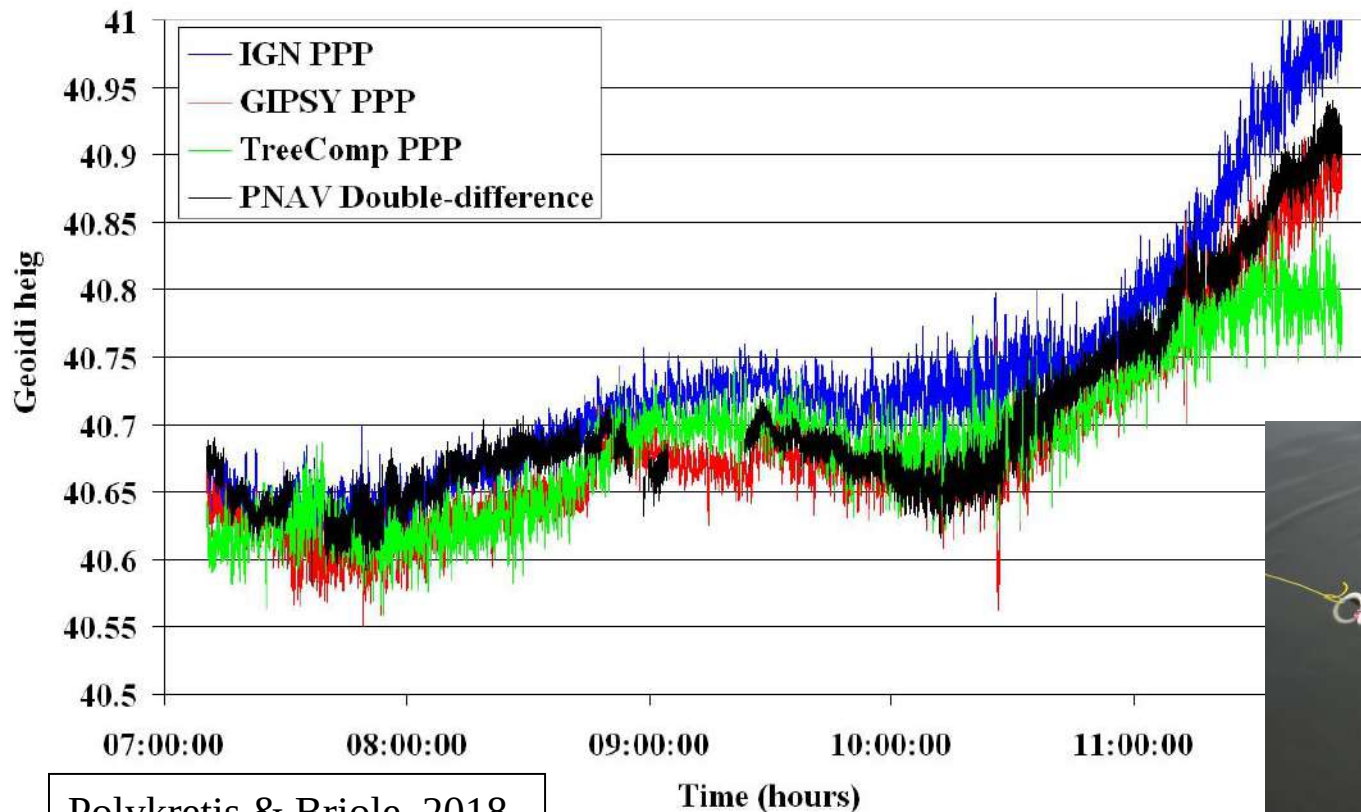
Des observations GNSS cinématiques en mer (marégraphie, tsunamis)



Bouée GNSS développée par l'INSU/CNRS (photo CNRS)

Les logiciels PPP fonctionnent assez bien dans des cas simples (bouées) mais assez mal dans les applications réelles embarquées sur des véhicules

Buoy vertical (comparison PPP - double difference)

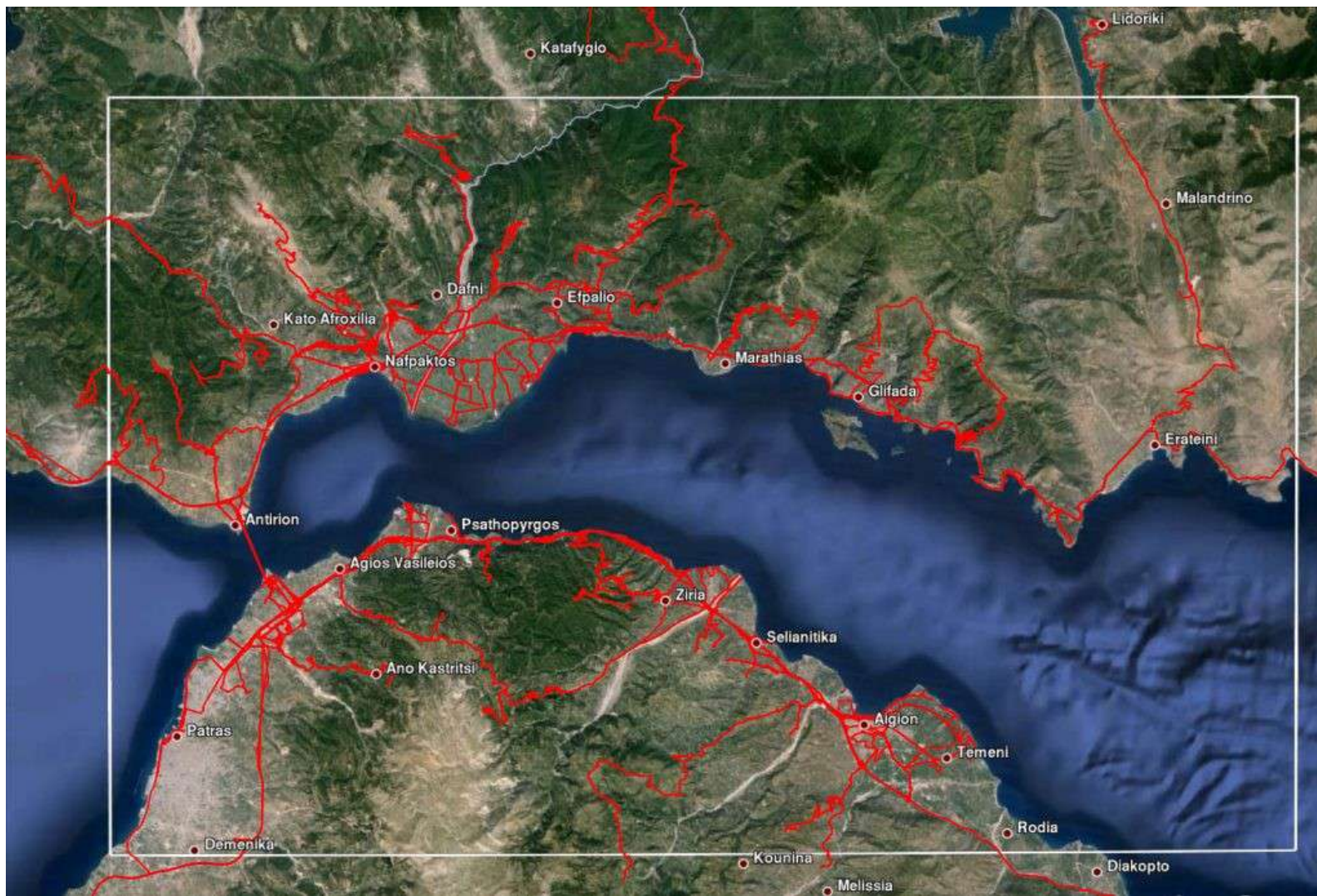


Des observations GNSS cinématiques à terre à l'interface géodynamique-géomorphologie

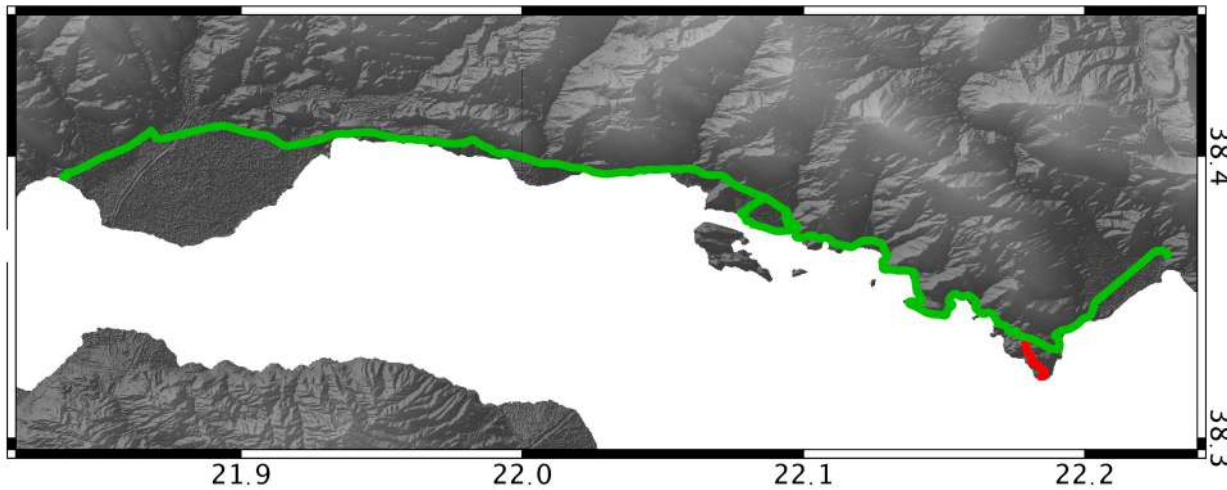


A. Avallone réalisant des observations GNSS cinématiques sur une route dans le nord du golfe de Corinthe (photo P. Briole)

Plusieurs milliers de km couverts entre 2000 et 2023

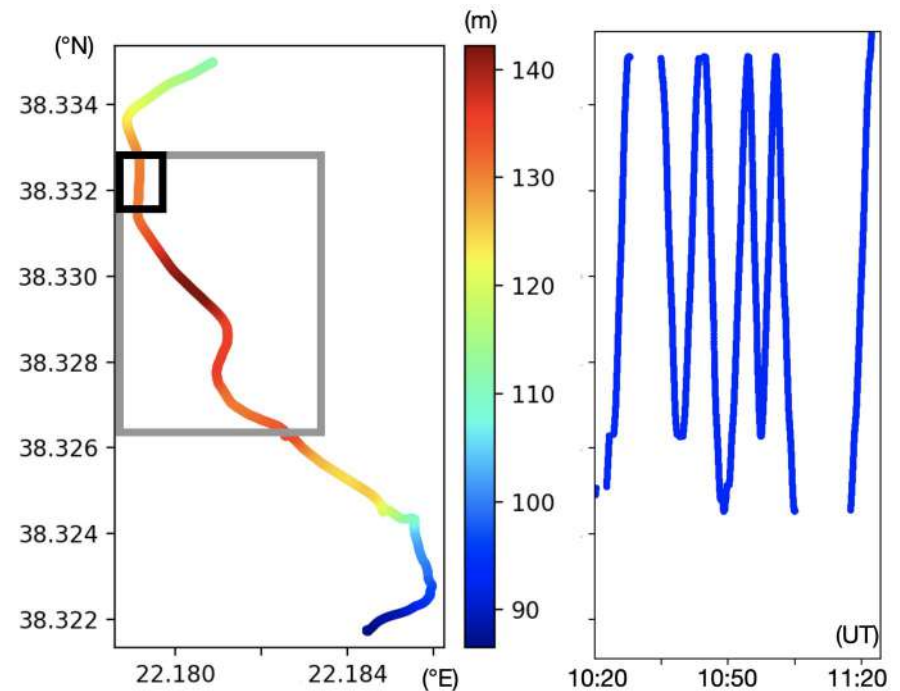


GNSS cinématique calcul en PPP



Précision?

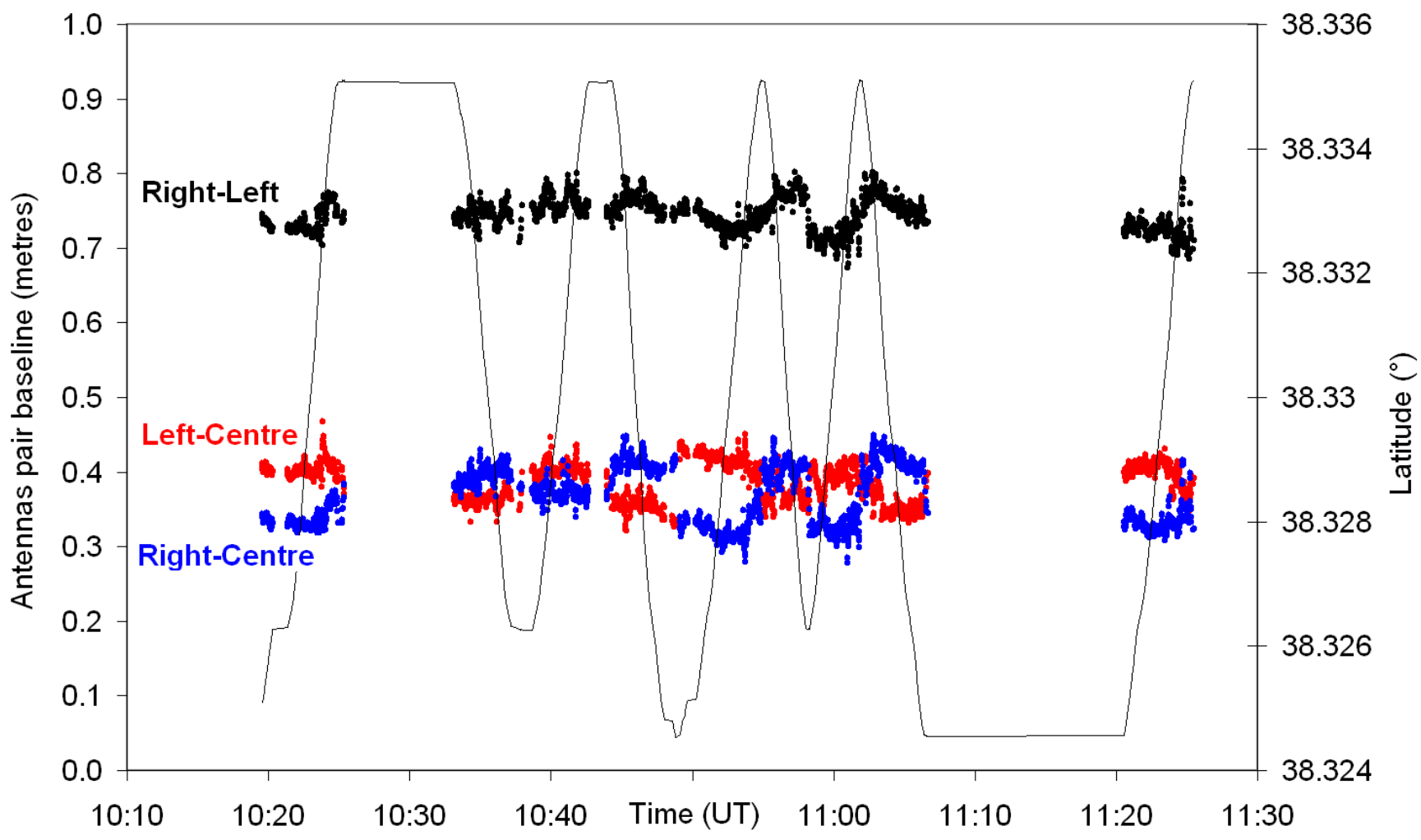
Applications?



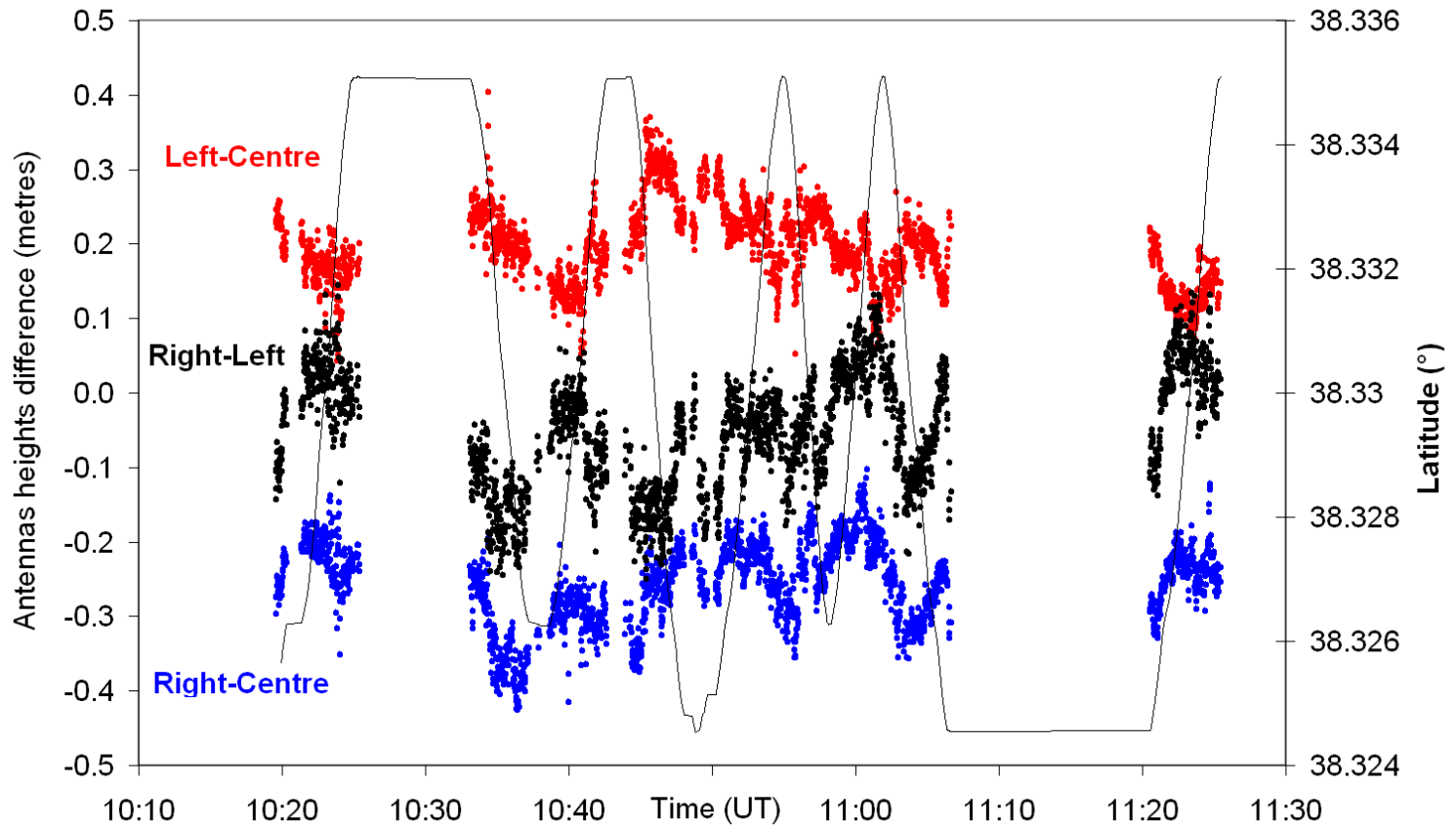
Logiciel utilisé: SCRS PPP

- Meilleure répétabilité que GIPSY et IGN PPP
- Bien meilleure continuité des solutions lors de présence de masques
- GINS pas testé
- Utilisation des données Glonass (cependant cette utilisation n'a qu'un impact mineur sur les résultats)
- Comparaison avec des calculs réalisés en double différence sur la zone qui est peu étendue

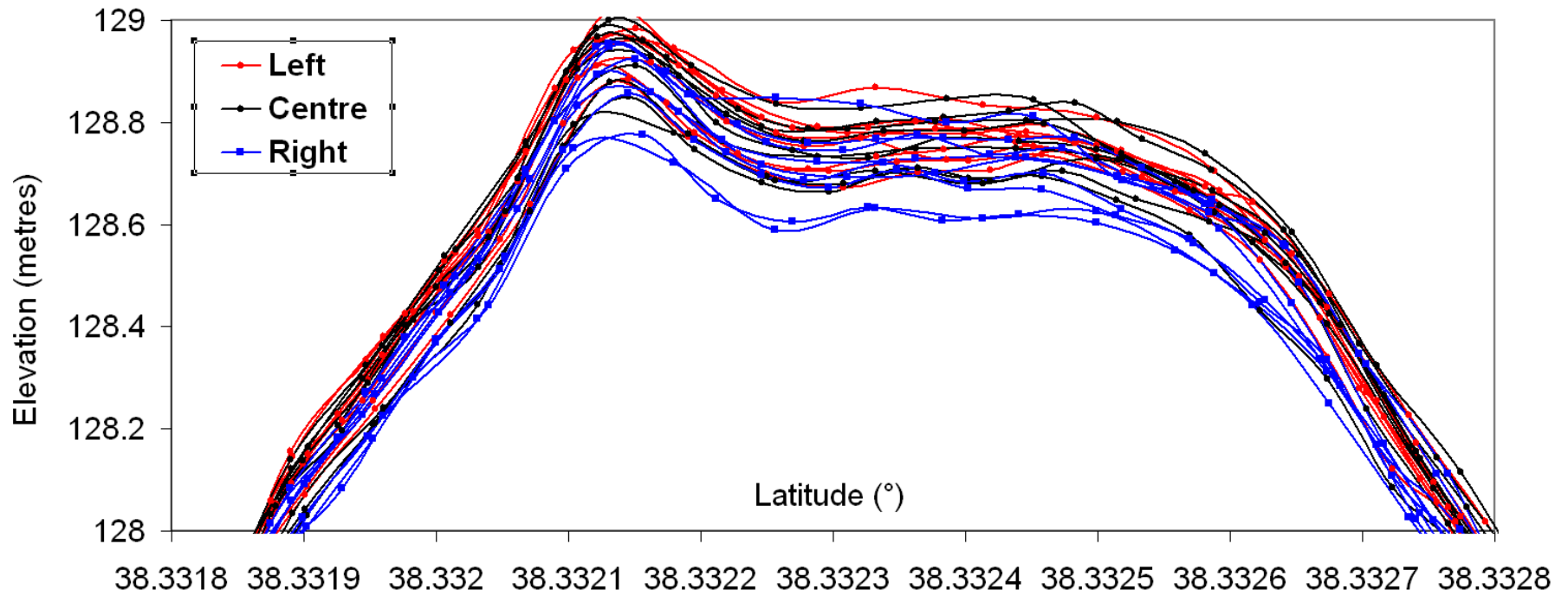
Distance calculée entre antennes



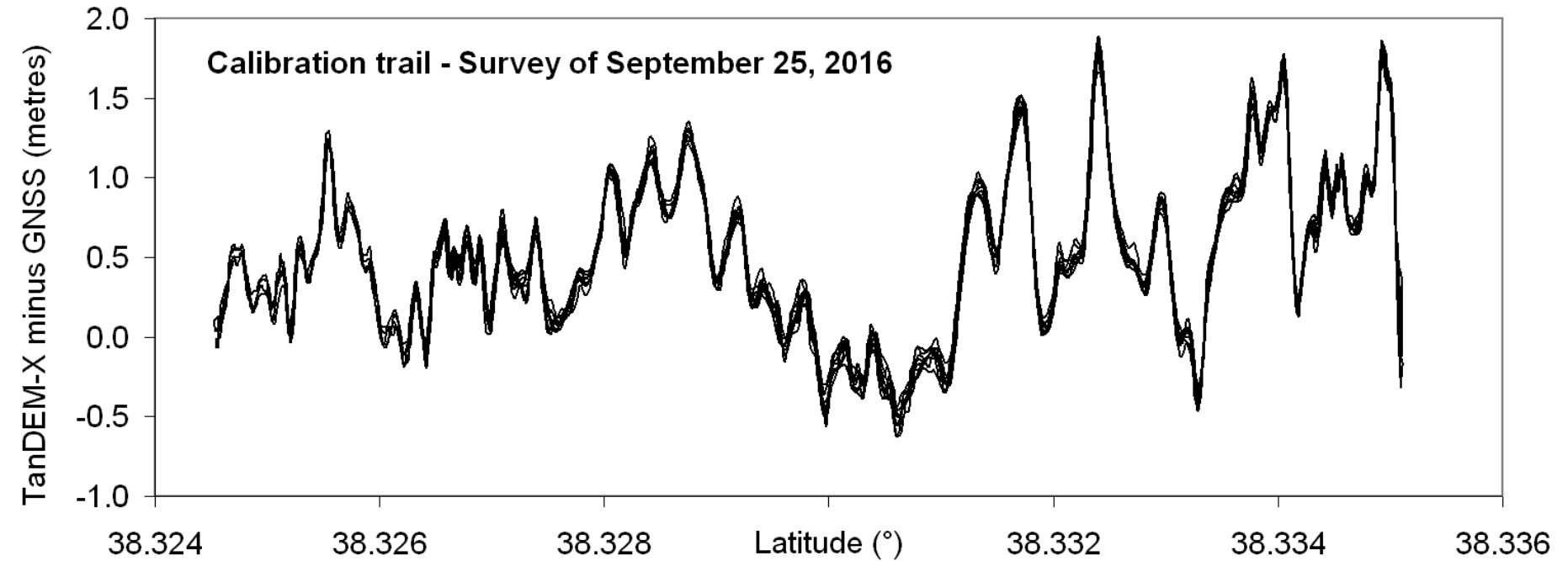
Différence de hauteur entre antennes



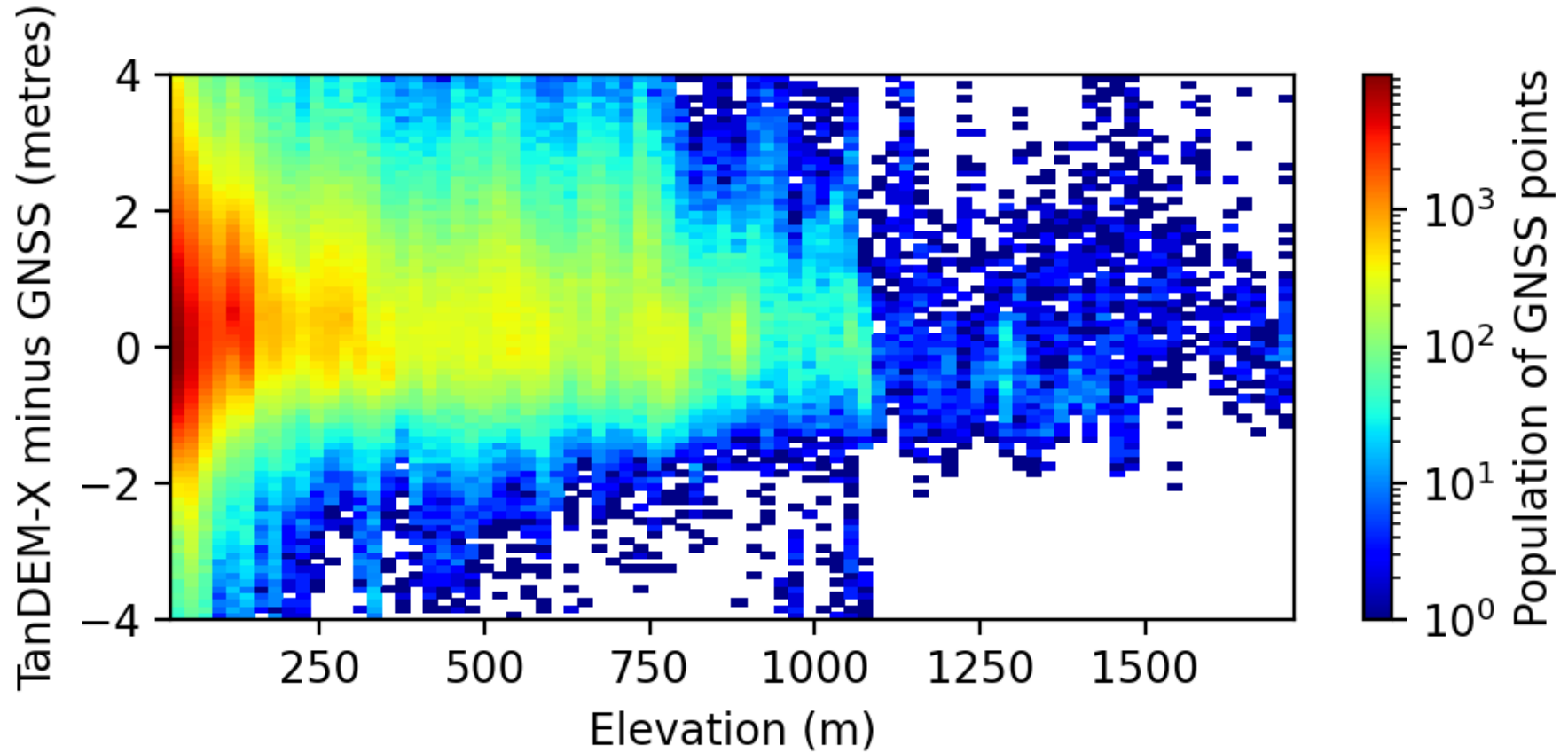
Répétabilité en vertical



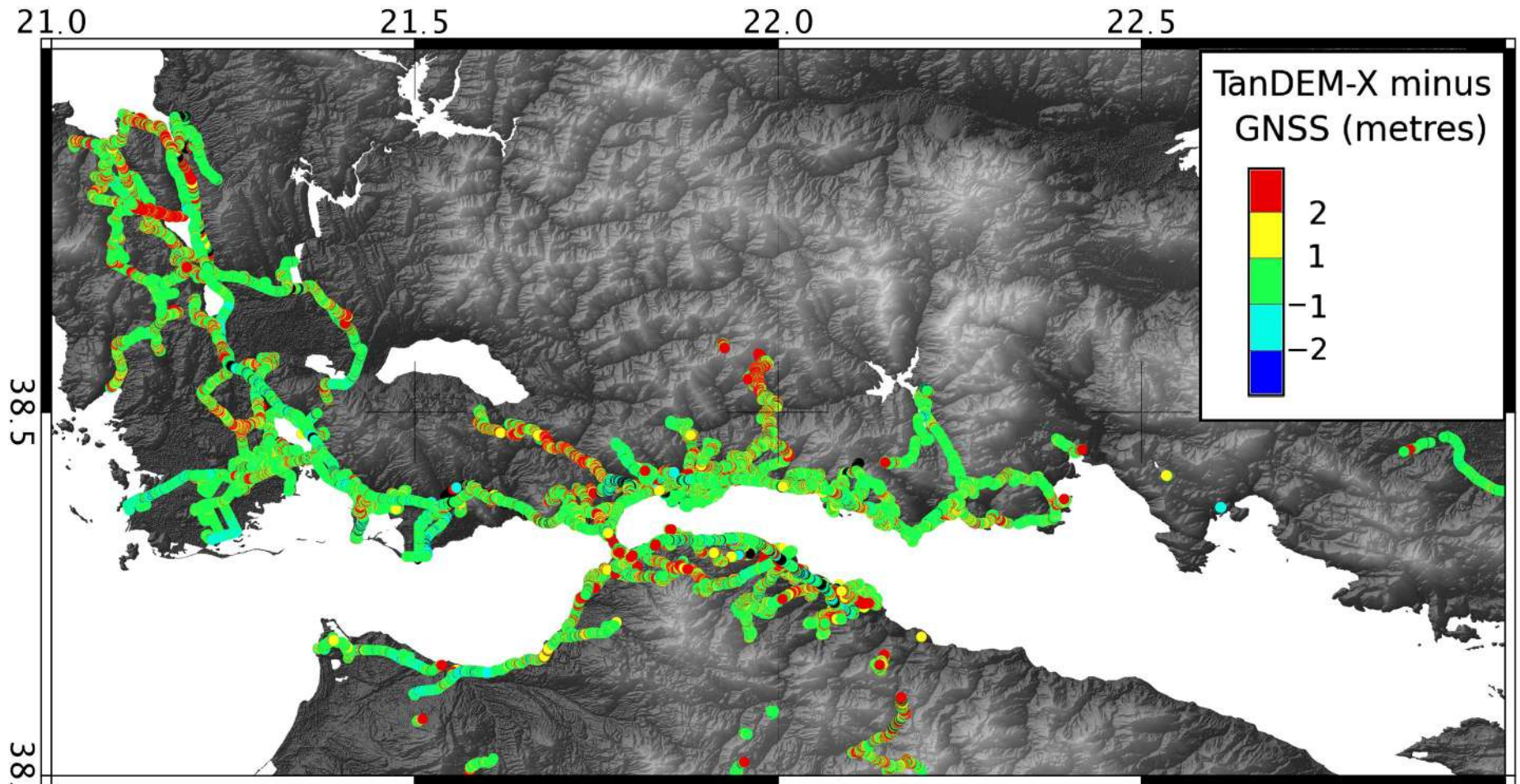
Comparaison avec le MNT TanDEM-X



Différence entre GNSS cinématique et TanDEM-X



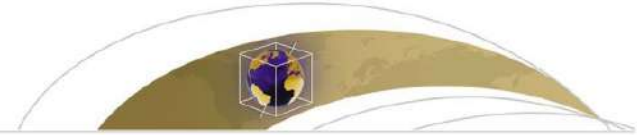
Différence entre GNSS cinématique et TanDEM-X



Intérêt du PPP pour le calcul d'observations cinématiques

- Rapidité des calculs
- Ressources informatiques nécessaires modestes
- Très facile à mettre en œuvre (pas besoin de station de base)
- Pas de problème de mise en référence / réseau d'appui
- *Limitations*
 - Importants écarts entre les solutions obtenues avec les différents logiciels testés (Gipsy, GipsyX, SCRS PPP, IGN PPP)
 - Prise en compte du relief (de l'allongement troposphérique) pas toujours bien effectuée par les logiciels lors de changements rapides de l'altitude du mobile
 - Sensible à la qualité de l'horloge des récepteurs utilisés
 - Précision encore insuffisante pour une utilisation tectonique (donc réalisant le pont entre GNSS réseaux et InSAR), mais espoir

Elias & Briole, G3, 2018



Geochemistry, Geophysics, Geosystems

RESEARCH ARTICLE

10.1029/2018GC007574

Key Points:

- PSInSAR is combined with GPS to calculate vertical and east-west ground deformation rate maps of the Corinth rift for the period 2002 to 2010
- Several deformed zones are detected, quantified, classified and discussed; they are of deltaic and urban subsidence, and tectonic origin
- Aigion's fault shallow part is slow slipping due to postseismic relaxation; the Rio-Patras fault is locked at shallows and creep at depth

Ground Deformations in the Corinth Rift, Greece, Investigated Through the Means of SAR Multitemporal Interferometry

P. Elias¹  and P. Briole² 

¹Institute for Astronomy, Astrophysics, Space Applications and Remote Sensing, National Observatory of Athens, Penteli, Greece, ²Laboratoire de Géologie, UMR CNRS 8538, Ecole Normale Supérieure, PSL Research University, Paris, France

Abstract The Corinth Rift is one of the narrowest and fastest extending continental regions worldwide and has one of the highest seismicity rates in the Euro-Mediterranean region. At its western termination, several active faults are located beneath the city of Patras and the surrounding area, a region of major socioeconomic importance for Greece. Displacement rates for the period 2002–2010 obtained from ascending and descending ASAR/ENVISAT multitemporal interferometry are combined with Global Positioning System measurements from permanent and campaign stations to produce a map of vertical and east-west ground velocities. Cross sections are produced in order to quantify the deformation rates with

Briole et al., GJI, 2021

Geophysical Journal International



Geophys. J. Int. (2021) **0**, 1–0
gji/200

doi: 10.1093/gji/ggab089

The GPS velocity field of the Aegean. New observations, contribution of the earthquakes, crustal blocks model

Pierre Briole¹, Athanassios Ganas², Panagiotis Elias³ and Dimitar Dimitrov⁴

¹UMR 8538 CNRS - École Normale Supérieure - PSL Research University, F-75005 Paris, France. E-mail: briole@ens.fr

²National Observatory of Athens, Institute of Geodynamics, GR-11810 Athens, Greece

³National Observatory of Athens, IAASARS, GR-15236 Penteli, Greece


⁴Bulgarian Academy of Sciences, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, BG-1113 Sofia, Bulgaria

Accepted 2021 March 2. Received 2021 February 23; in original form 2020 July 27

SUMMARY

We calculate and analyse the coordinate time-series of 282 permanent GPS stations located in Greece and 47 in surrounding countries. The studied period is 2000–2020. The average GPS time-series length is 6.5 yr. The formal velocity uncertainties are rescaled to be consistent with the velocity scatters measured at 110 pairs of stations separated by less than 15 km. We remove the effect of the crustal earthquakes of $M_w \geq 5.3$. We quantify and model the post-seismic deformations. Two relaxation times are usually needed: one short of some weeks and

Using Kinematic GNSS Data to Assess the Accuracy and Precision of the TanDEM-X DEM Resampled at 1-m Resolution Over the Western Corinth Gulf, Greece

Pierre Briole , Simon Bufféral, Dimitar Dimitrov, Panagiotis Elias, Cyril Journeau, Antonio Avallone, Konstantinos Kamberos, Michel Capderou, and Alexandre Necessian

Abstract—We assess the accuracy and the precision of the TanDEM-X digital elevation model (DEM) of the western Gulf of Corinth, Greece. We use a dense set of accurate ground coordinates obtained by kinematic Global Navigation Satellite Systems (GNSS) observations. Between 2001 and 2019, 148 surveys were made, at a 1 s sampling rate, along highways, roads, and tracks, with a total traveled distance of $\sim 25\,000$ km. The data are processed with the online Canadian Spatial Reference System precise point positioning software. From the output files, we select 885 252 coordinates from epochs with theoretical uncertainty below 0.1 m in horizontal and 0.2 m in vertical. Using specific calibration surveys, we estimate the mean vertical accuracy of the GNSS coordinates at 0.2 m. Resampling the DEM by a factor of 10 allows one to compare it with the GNSS in pixels of metric size, smaller than the width of the roads, even the small trails. The best fit is obtained by shifting the DEM by 0.47 ± 0.03 m upward, 0.10 ± 0.1 m westward, and 0.36 ± 0.1 m southward. Those values are 20 times below the nominal resolution of the DEM. Once the shift is corrected, the root mean square deviation between TanDEM-X DEM and GNSS elevations is 1.125 m. In forest and urban areas, the shift between the DEM

and the GNSS increases by ~ 0.5 m. The metric accuracy of the TanDEM-X DEM paves the way for new applications for long-term deformation monitoring of this area.

Index Terms—Digital elevation model (DEM), geophysics, Global Navigation Satellite Systems (GNSS), land applications, quality control, surface topography.

I. INTRODUCTION

THE western Gulf of Corinth, Greece is one of the most seismic areas in Europe. For 30 years, it has been gathering the efforts of a wide community of European geophysicists seeking for better observing and deciphering the physics of earthquakes and the processes occurring before them [1]. The long-term scientific and social objectives are to contribute to the forecasting of earthquakes. The area is monitored by the Corinth Rift Laboratory (CRL),¹ one of the Near Fault Observatories of the European research infrastructure EPOS (European Plate