

Déplacements verticaux par GNSS et leur importance dans l'étude du niveau de la mer

Guy Wöppelmann & Médéric Gravelle

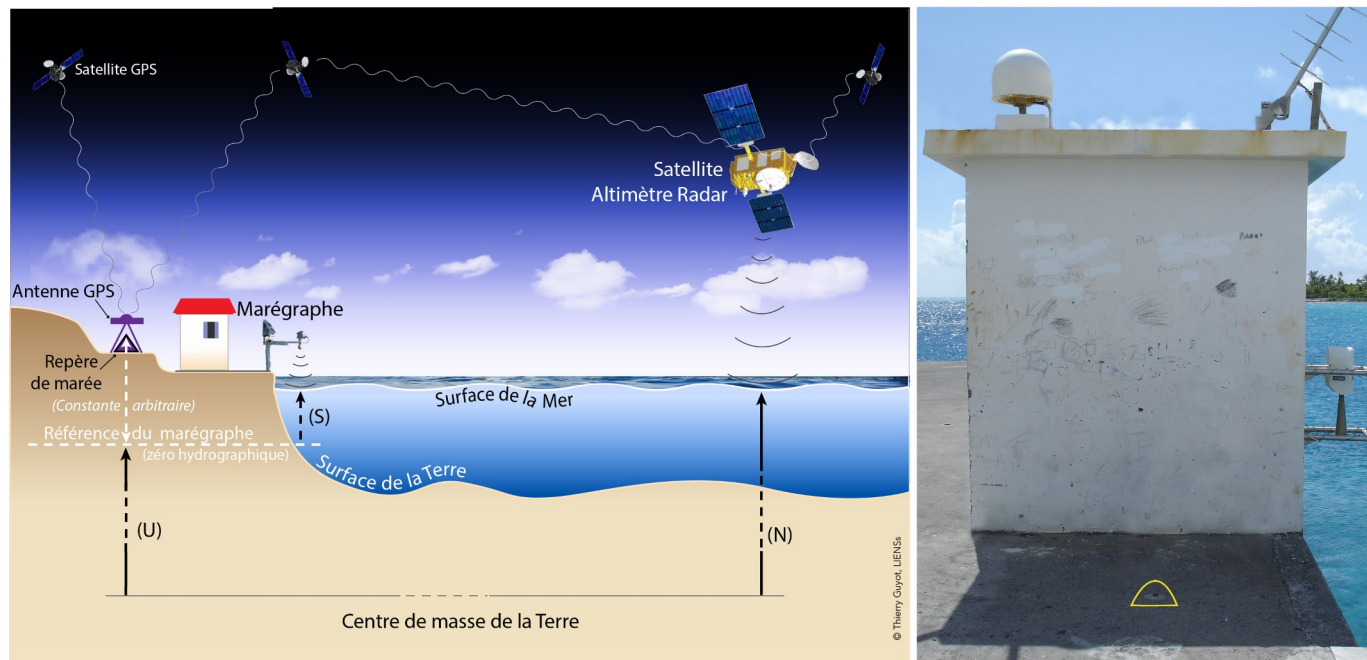


Action item 6.3 from 16th GLOSS GE Meeting (Busan, April 2019):
« Make GNSS vertical land motion rates from other [than ULR Analysis Centre] processing sources [i.e., GFZ, JPL, NGL] available on SONEL web-site »



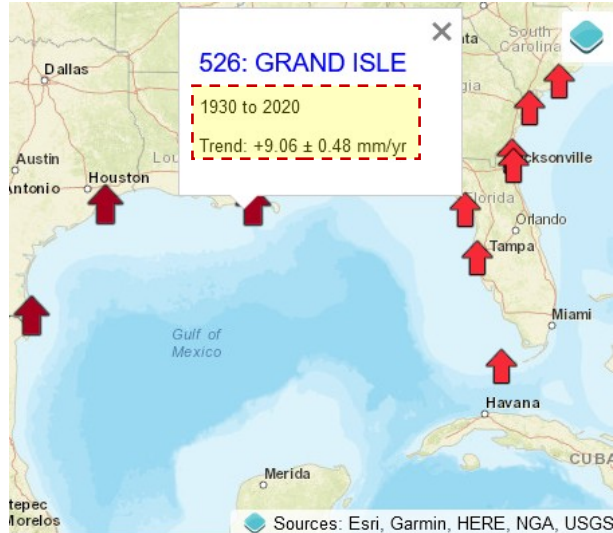
3rd international GNSS data re-analysis campaign (2019-2021)
(New release of the International Terrestrial Reference Frame, ITRF2020)

Observations du niveau de la mer à la côte



- Besoin des déplacements verticaux (U) pour corriger (S) → accès à (N) pour isoler les signaux océaniques et climatiques
- Besoin des déplacements verticaux (U) pour corriger (N) → accès à (S) pour étude et aménagement côtiers
- Autres applications : CAL/VAL des satellites, unification des références verticales, ...

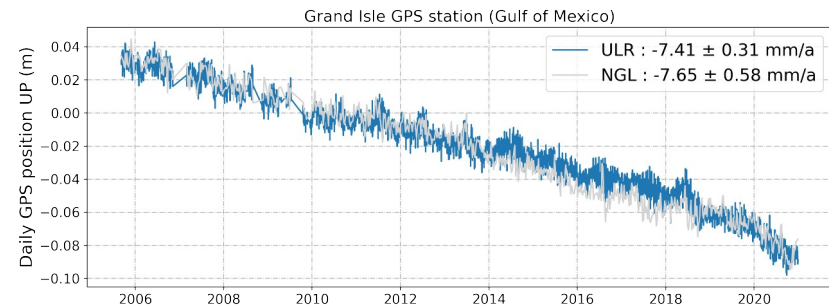
Exemple de déplacements verticaux à la surface terrestre enregistrés à la côte (niveau relatif de la mer)



Maps by NOAA Climate.gov team (Stephen Gill)

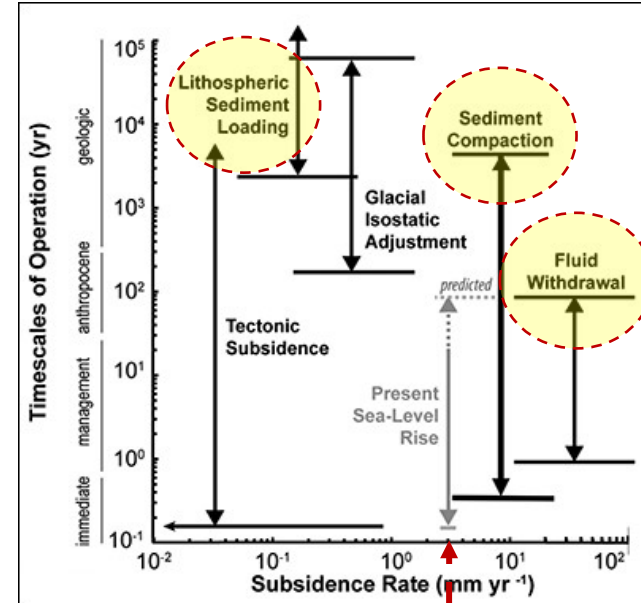
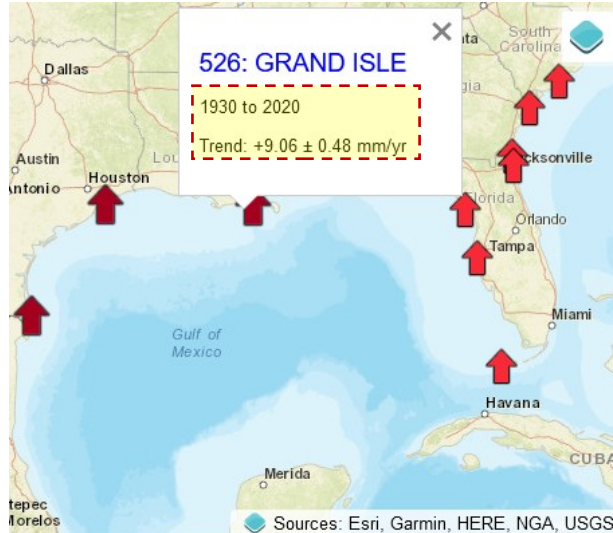


Click to view land: 2011 | 1932



Marégraphe de Grand Isle

Exemple de déplacements verticaux à la surface terrestre enregistrés à la côte (niveau relatif de la mer)

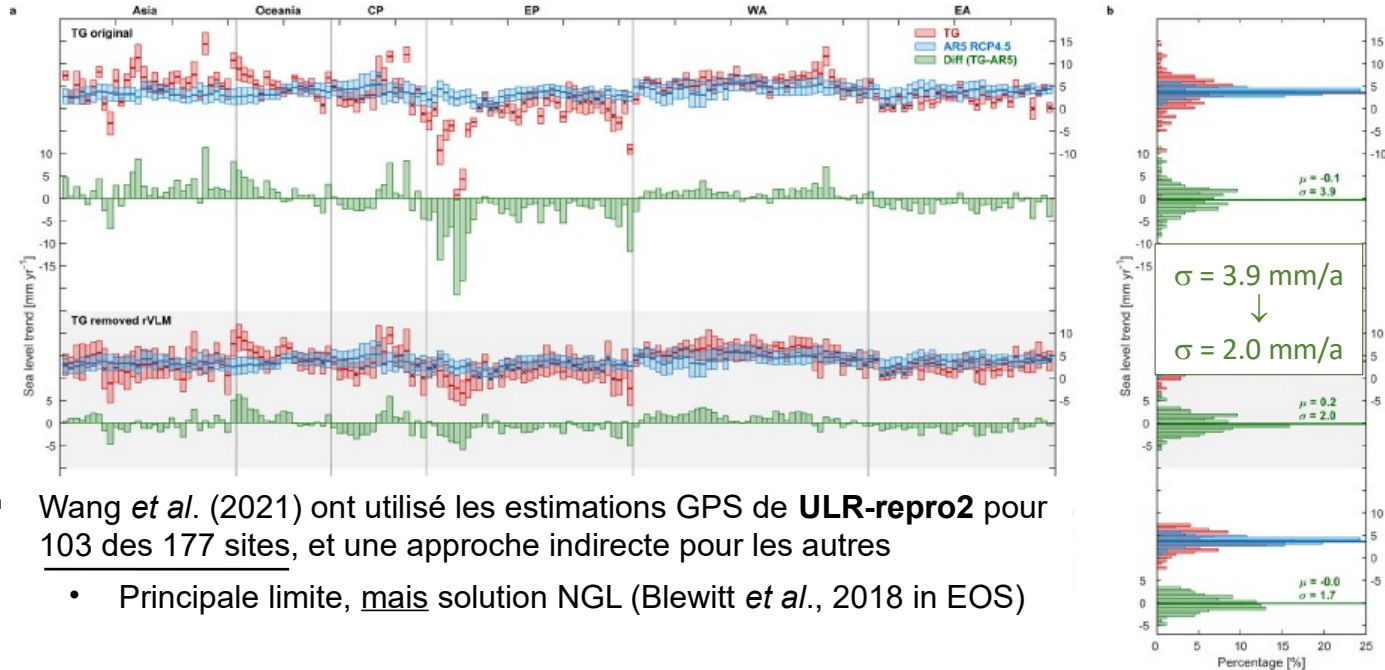


Allison et al. (2016)

~ 1.5 mm/an



« Proof of concept » du GNSS (global & régional) et importance des déplacements verticaux de la côte

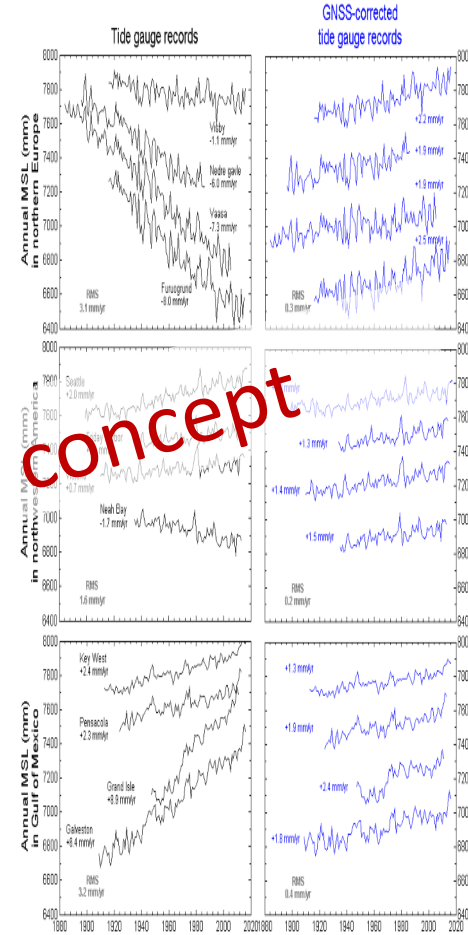
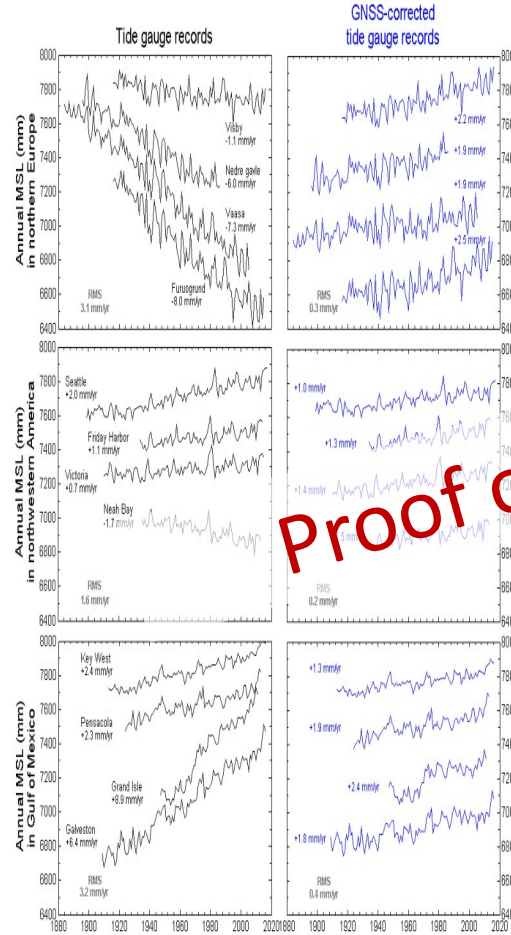
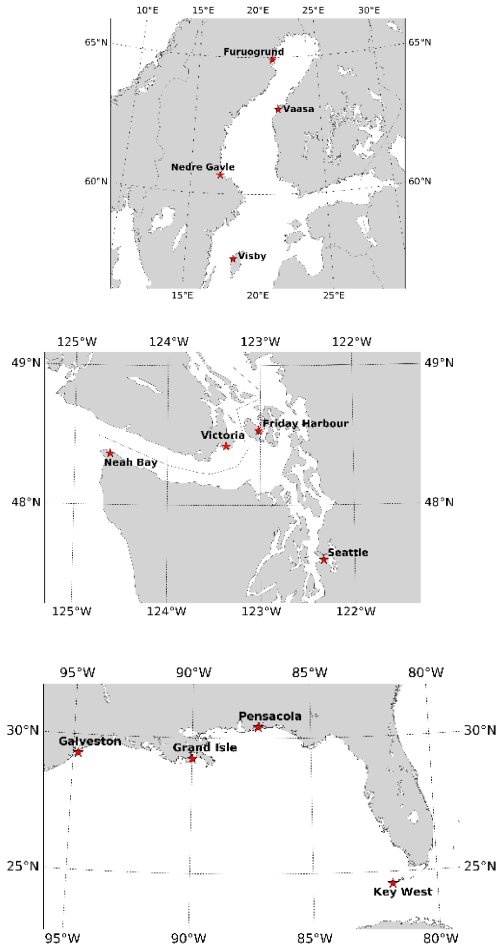


- Wang *et al.* (2021) ont utilisé les estimations GPS de **ULR-repro2** pour 103 des 177 sites, et une approche indirecte pour les autres
 - Principale limite, mais solution NGL (Blewitt *et al.*, 2018 in EOS)



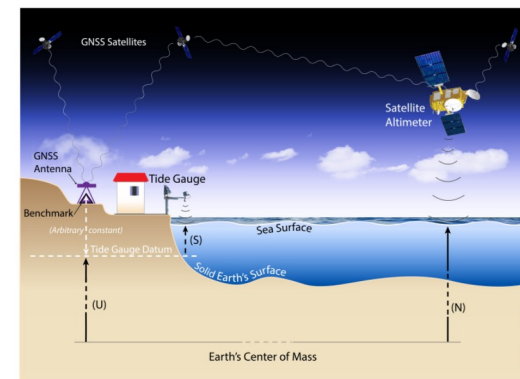
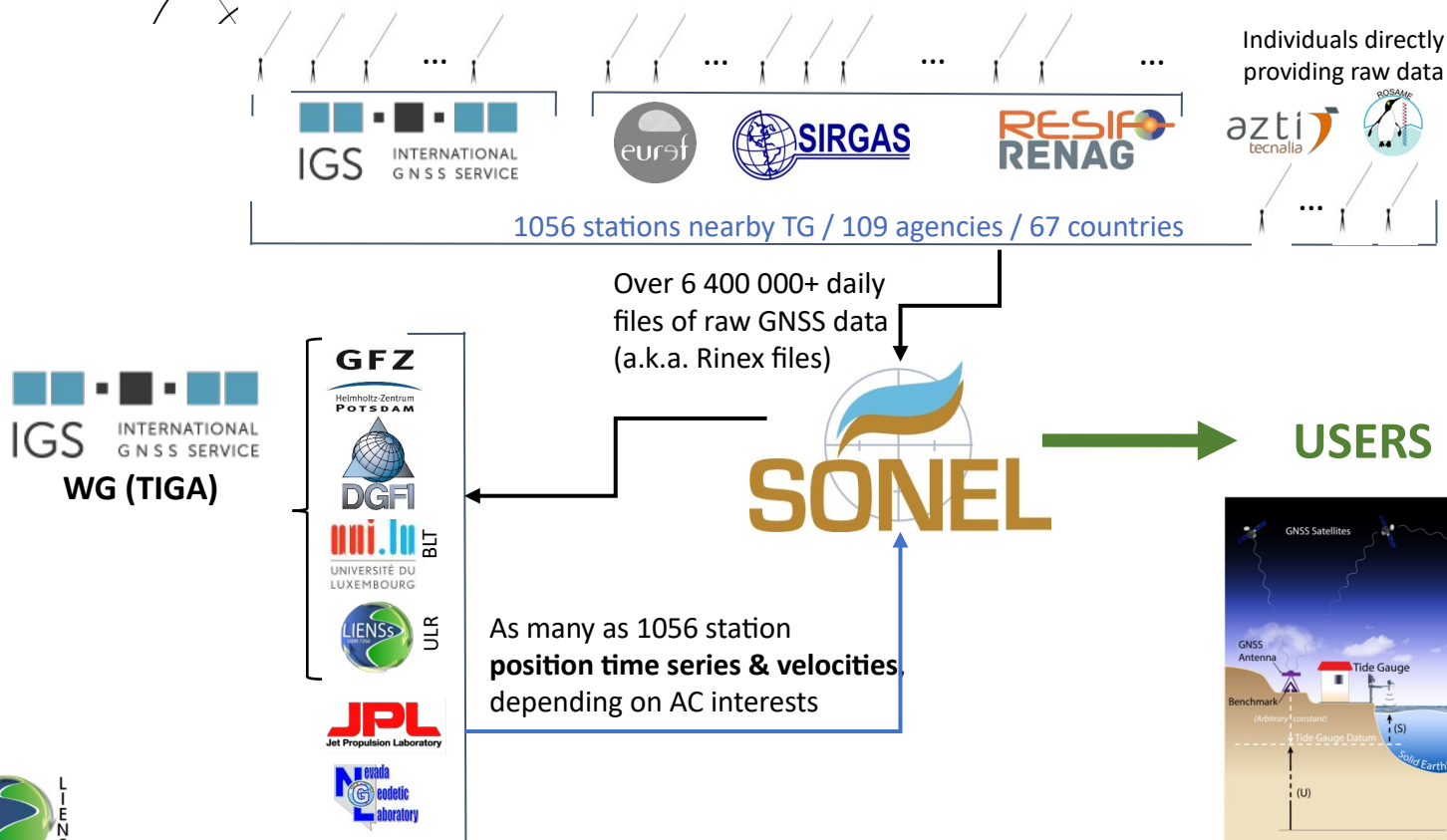
Action item 6.3 from 16th GLOSS GE Meeting (Busan, April 2019):
« Make GNSS vertical land motion rates from other [than ULR Analysis Centre] processing sources [i.e., GFZ, JPL, NGL] available on SONEL web-site »

Woodworth *et al.* (2019) updated from Wöppelmann *et al.* (2007)
using ULR6 (repro-2) solution by Santamaria-Gomez *et al.* (2017)

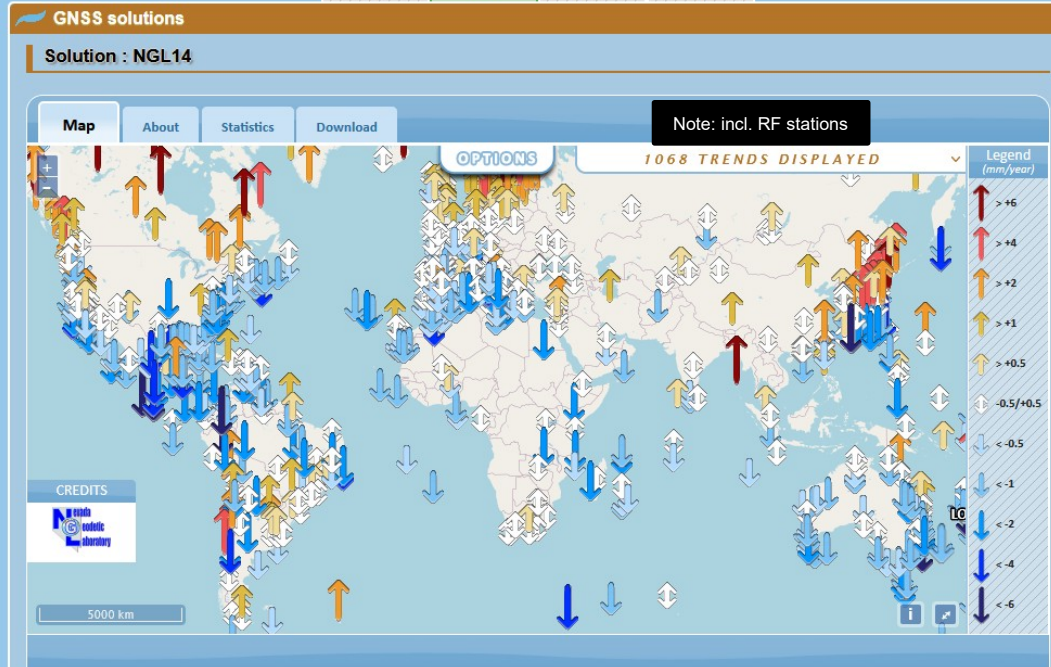


Proof of concept

Background on SONEL Data Assembly Center (GNSS component)



GPS vertical velocity fields



Citation

► Please cite this paper if you find the results useful:

For the time series:

Blewitt G., W. C. Hammond, C. Kreemer (2018). Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science. *Eos*, 99, doi:10.1029/2018EO104623.

GPS vertical velocity fields



Repro-3

ULR

NGL



JPL

GFZ

GNSS solutions

Solution : JPL14

Map

About

Statistics

Download

OPTIONS

366 TRENDS DISPLAYED

Legend
(mm/year)

CREDITS



5000 km

Citation

► Please cite this paper if you find the results useful:

Heflin, M., Donnellan, A., Parker, J., Lyzenga, G., Moore, A., Ludwig, L. G., et al. (2020). Automated estimation and tools to extract positions, velocities, breaks, and seasonal terms from daily GNSS measurements: illuminating nonlinear Salton Trough deformation. *Earth and Space Science*, 7, e2019EA000644. <https://doi.org/10.1029/2019EA000644>

GPS vertical velocity fields



Repro-3

TIGA

ULR

NGL

JPL

GFZ

GNSS solutions

Solution : GT2

Map

About

Download

OPTIONS

579 TRENDS DISPLAYED

Legend
(mm/year)

CREDITS

GFZ

PROCESSED

DATA

FOR

ANALYSIS

AND

MODELING

OF

THE

EARTH

SURFACE

DEFORMATION

AND

TECTONIC

MOTION

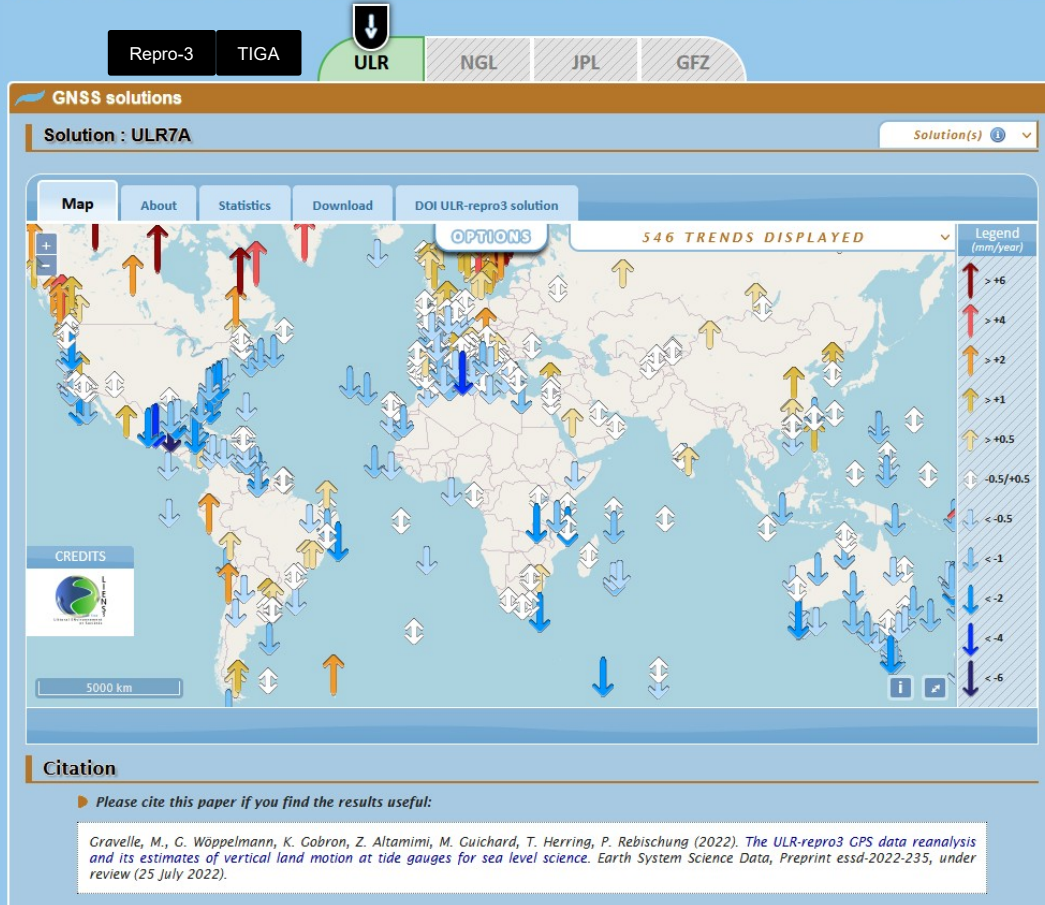
Citation

► Please cite this paper if you find the results useful:

Deng Z., Cendt G., Schöne T. (2015) Status of the IGS-TIGA Tide Gauge Data Reprocessing at GFZ. In: Rizos C., Willis P. (eds) IAG 150 Years. International Association of Geodesy Symposia, vol 143. Springer, Cham https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1345_2015_156

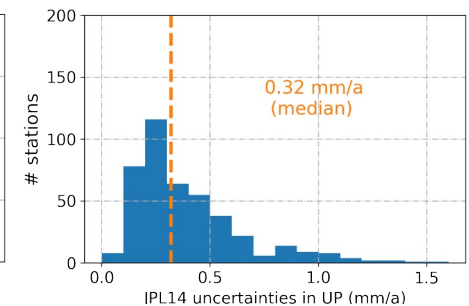
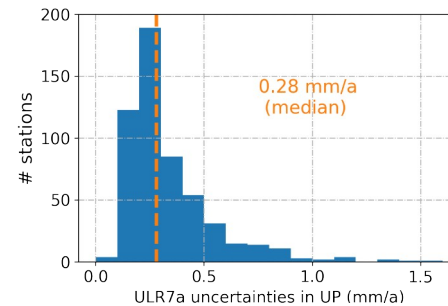
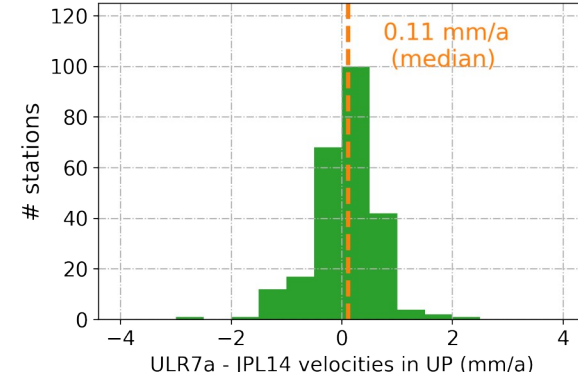
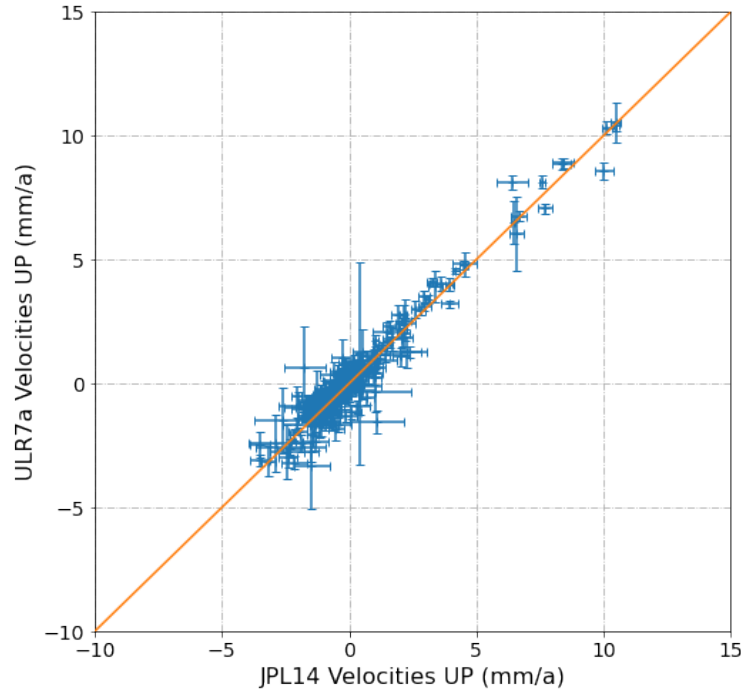
Work in progress (SONEL) to
update with GFZ-repro3

GPS vertical velocity fields



Estimations GPS des vitesses : ULR vs JPL (NASA)

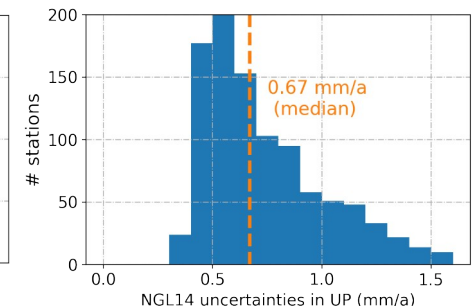
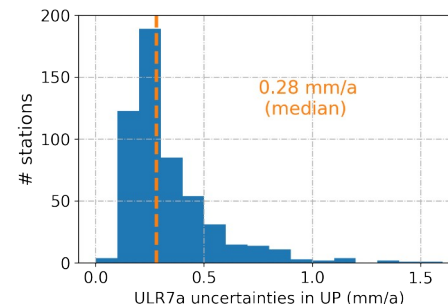
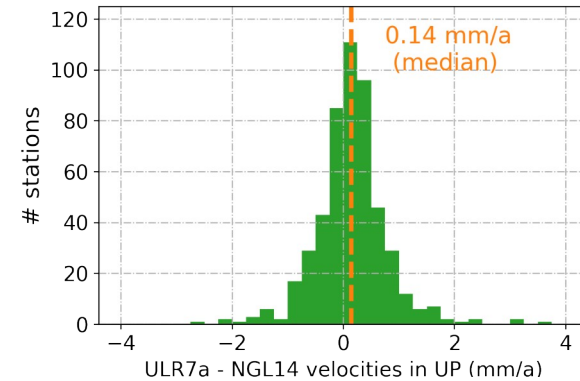
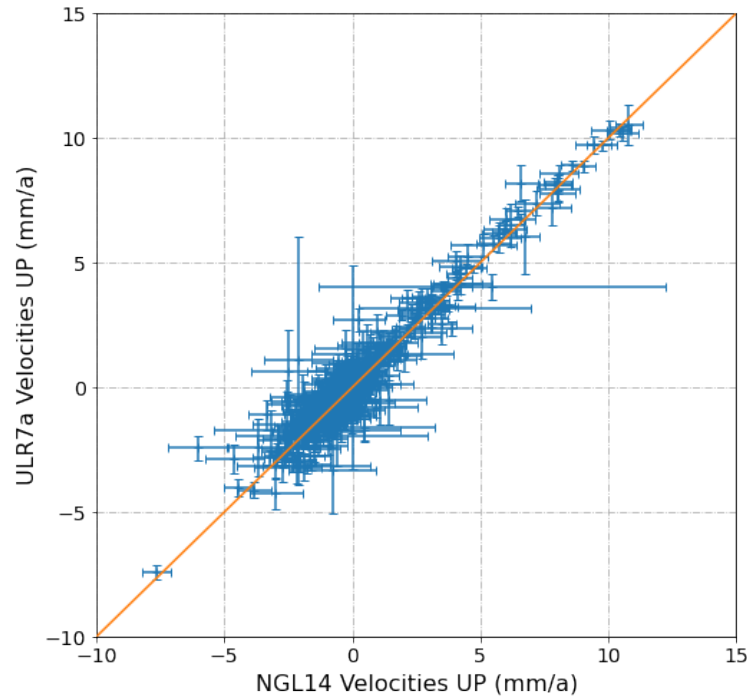
Source: <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> (Hefflin *et al.* 2019)



- # stations en commun : 248
- RMSE : 0.58 mm/a (WRMSE = 0.44 mm/a)
 - RMSE de 1.0 mm/a avec versions IGS-repro2

Estimations GPS des vitesses : ULR vs NGL

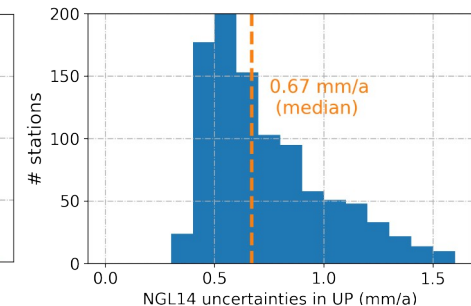
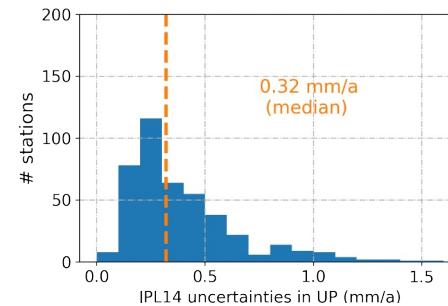
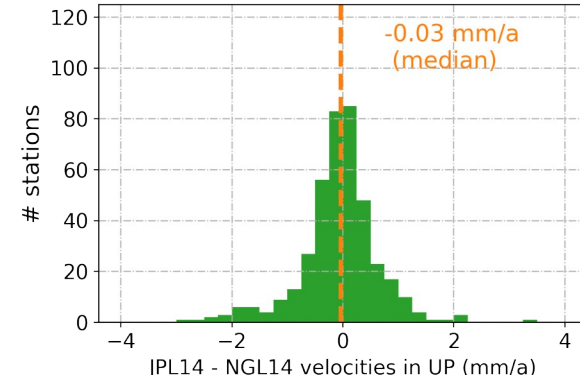
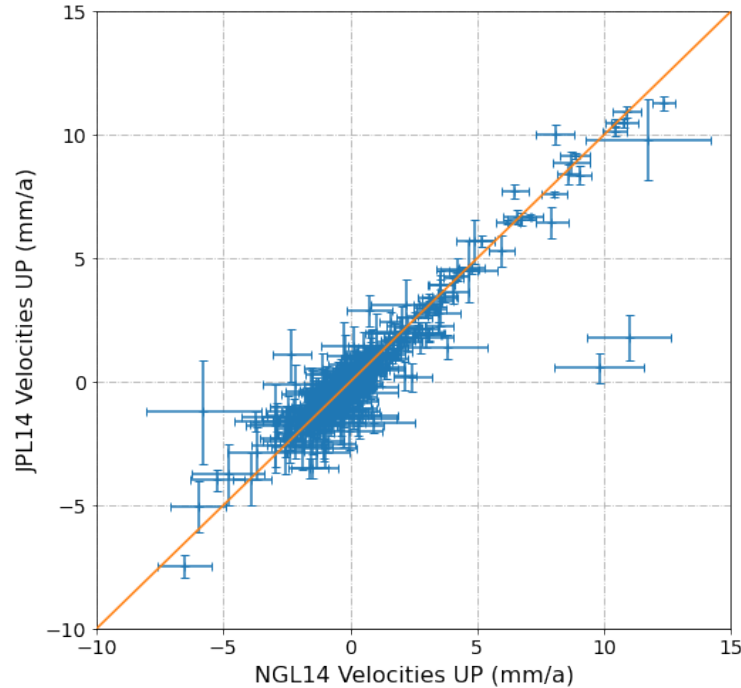
Source: <http://geodesy.unr.edu/> (Blewitt *et al.* 2018)



- # stations en commun : 504
- RMSE : 0.67 mm/a (WRMSE = 0.49 mm/a)
 - RMSE de 0.85 mm/a avec versions IGS-repro2

Estimations GPS des vitesses : JPL vs NGL

Sources: <https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html> (Heflin *et al.* 2019)
<http://geodesy.unr.edu/> (Blewitt *et al.* 2018)



- # stations en commun : 408
- RMSE : 1.01 mm/a (WRMSE = 0.58 mm/a)
- Même logiciel et même stratégie d'analyse en amont (modèles, corrections) : GipsyX

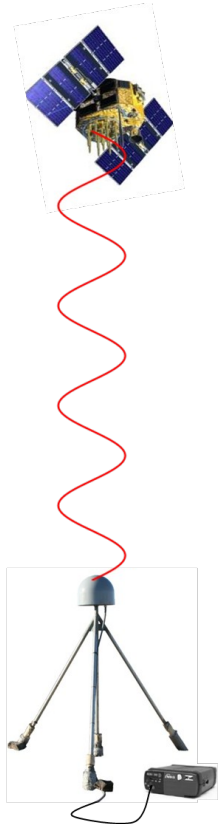
Des mesures (brutes) GNSS à l'estimation de positions → séries temporelles → vitesses verticales

1. Analyse des mesures GNSS → position(s)

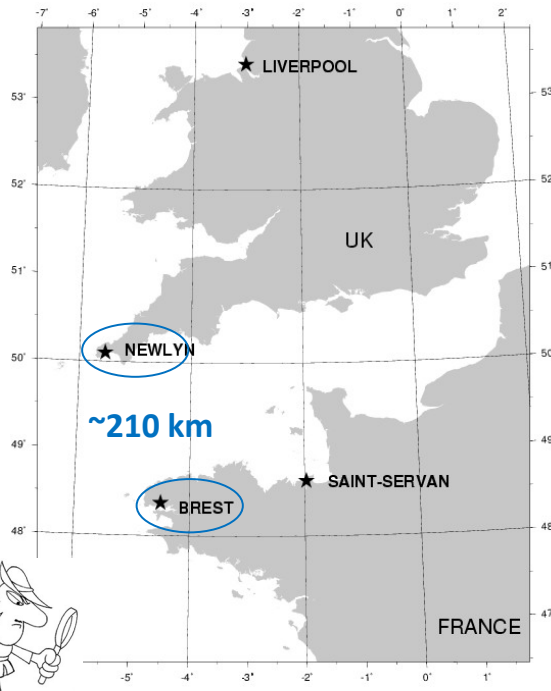
- Les mesures GNSS sont des délais de propagation de signaux EM
- Chaque position (jour) est obtenue après modélisation et inversion des mesures de phase de ces signaux, qui se sont propagés à travers l'atmosphère depuis des satellites de position (approximativement) connues
- Alignement de façon à exprimer la position dans le repère terrestre souhaité (le meilleur possible, stable et précis, l'ITRF)
- **Différents choix (stratégie d'analyse) → valeurs de position différentes**

2. Analyse des séries temporelles de positions → vitesses verticales

- Modélisation et paramétrisation des séries inclus : discontinuités de position ou de vitesse, signaux périodiques, relaxation post-sismiques, mais aussi la nature du bruit (corrélé, ...)
- **Différents analystes ajusteront différents paramètres à des séries de positions (déjà) différentes (1^{ère} phase de l'analyse ci-dessus)**

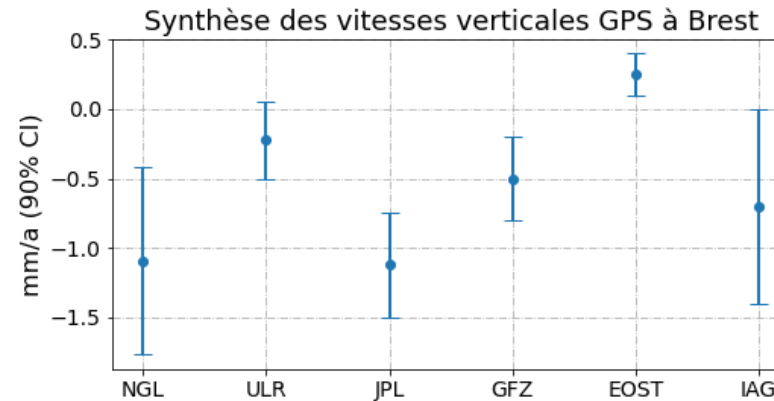


Une étude de cas : Brest versus Newlyn



Subsidence à Newlyn (-0.4 mm/a) ?

	Newlyn	Brest	Différence
Marégraphe	1.8 ± 0.1 mm/a	1.4 ± 0.1 mm/a	0.4 mm/a

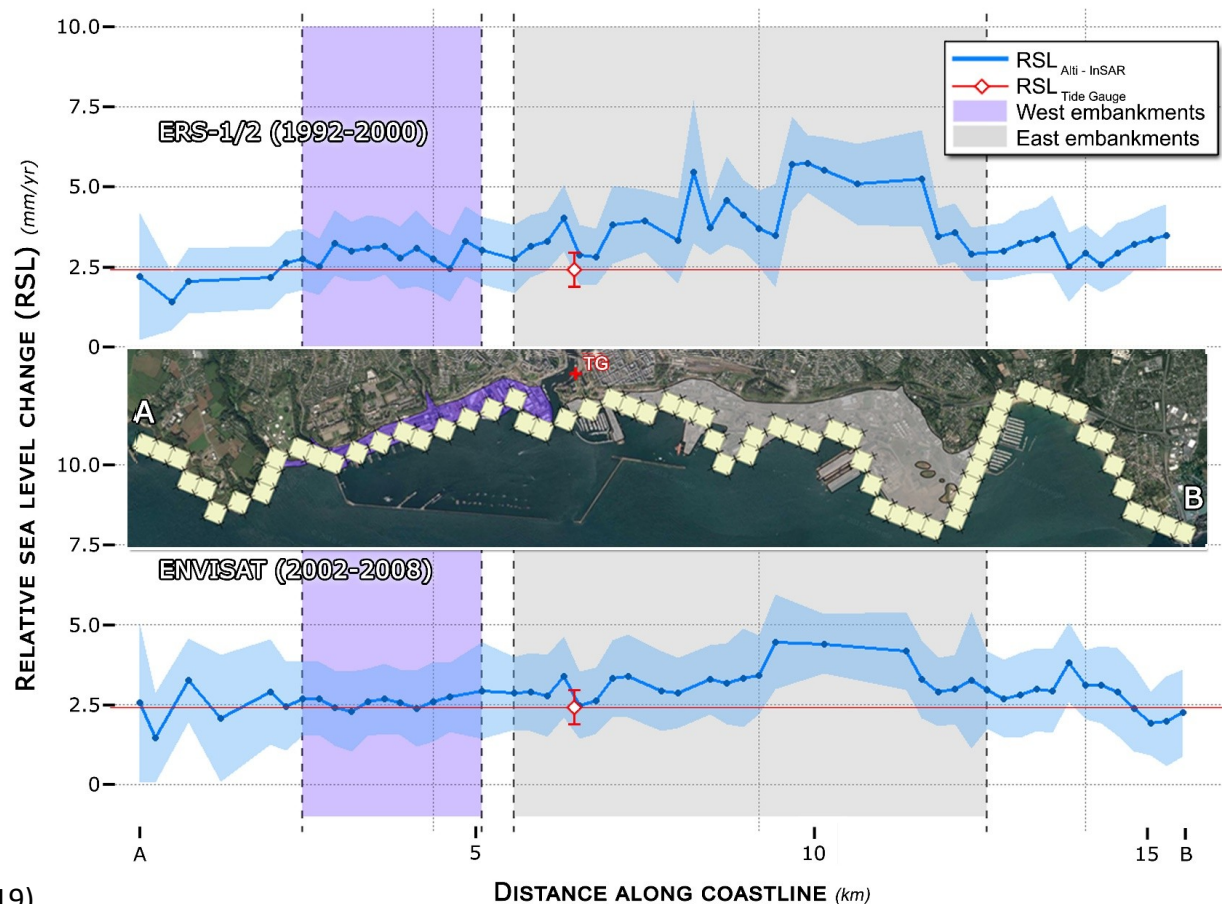
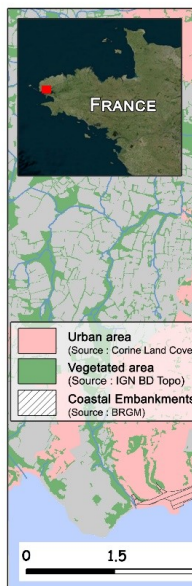


GPS (JPL)	-0.45 ± 0.3 mm/a	-1.1 ± 0.3 mm/a	0.65 mm/a
GPS (NGL)	-1.2 ± 0.4 mm/a	-1.1 ± 0.4 mm/a	-0.1 mm/a
GPS (ULR)	-0.5 ± 0.2 mm/a	-0.2 ± 0.2 mm/a	-0.3 mm/a
GPS (GFZ)	-0.7 ± 0.3 mm/a	-0.5 ± 0.3 (< 2015.9)	
GPS (IAG WG)	-0.7 ± 0.1 mm/a	-0.7 ± 0.1 mm/a	
GPS (EOST/ITES)	-0.8 ± 0.2 mm/a	$+0.3 \pm 0.2$ mm/a	-0.5 mm/a

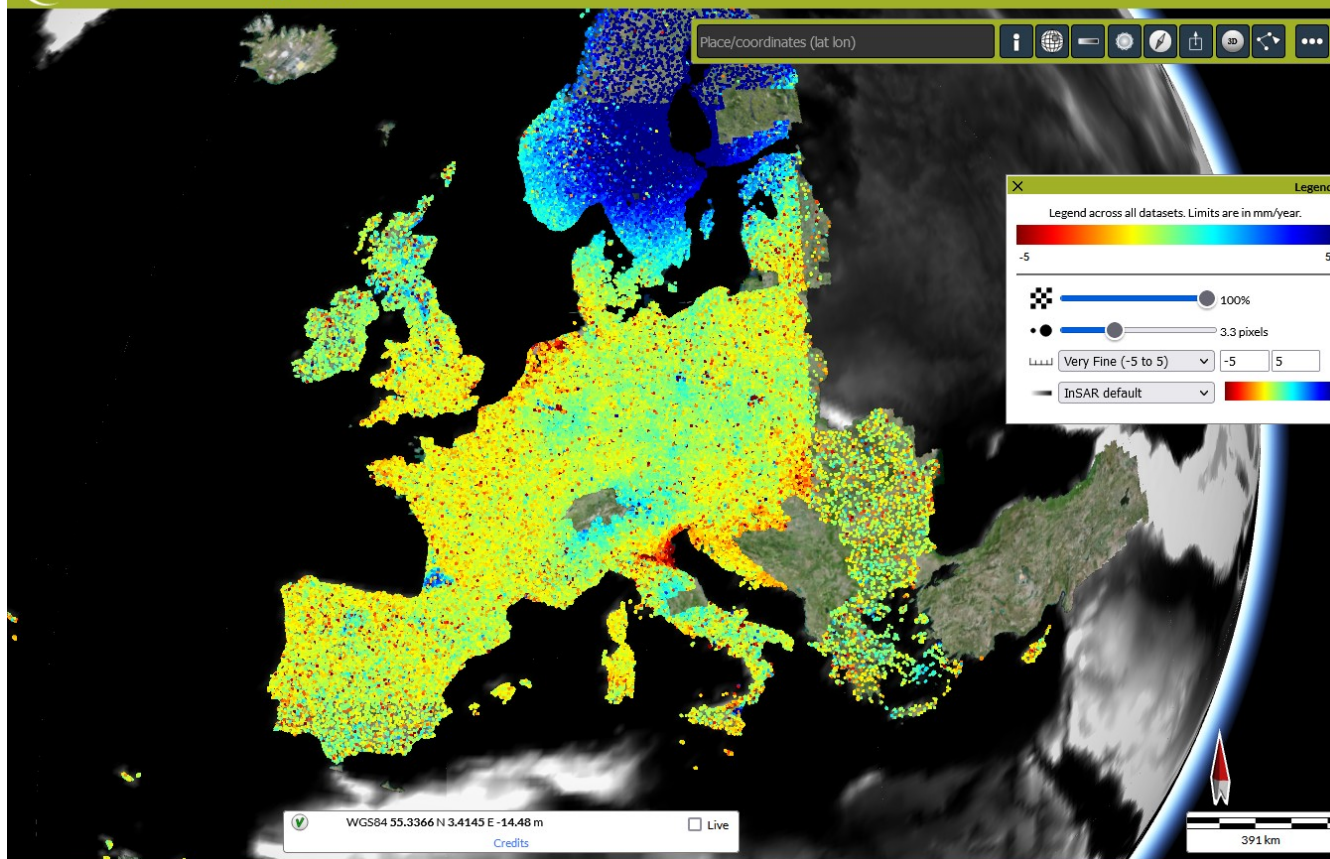
Conclusions & Perspectives

- Le GNSS (GPS) ne mesure pas des positions
 - Des mesures brutes à la position : une 1^{ère} phase (**estimation**),
et des séries temporelles à la vitesse : une 2^{ème} phase (**estimation**)
- Le positionnement (3D) requiert un cadre abstrait
 - Système de référence terrestre : une coordonnée **n'est pas accessible directement**
- Multiples solutions GNSS de groupes reconnus, dans l'IGS et au-delà (NGL)
avec des différences parfois significatives issues des **choix réalisés par les analystes** dans
 - la modélisation de la mesure brute (e.g., propagation atmosphérique, forces agissant sur les satellites)
 - l'analyse des séries temporelles (e.g., discontinuités en position dues à un changement de matériel)
 - le repère de référence terrestre (réalisation numérique, alignement)
 - la modélisation stochastique (bruit corrélé) et l'estimation des incertitudes
- Premiers retours des utilisateurs de SONEL dès février 2020
 - « Disposer de plusieurs solutions est très utile, du moins pour moi, car cela permet de se faire une idée de la cohérence et robustesse des estimations GPS en chaque site d'intérêt »
- Des perspectives possibles
 - Apporter un service ajouté aux utilisateurs non experts du GNSS : inter-comparaison, combinaison
 - Explorer des approches combinées (GNSS & InSAR) : Poitevin *et al.* (2019) *in* RSE journal
 - ...

Complément InSAR pour compléter la connaissance des déplacements verticaux à la côte



Poitevin *et al* (2019)



<https://egms.land.copernicus.eu/>