

Apport des produits GNSS embarqués en mer pour la validation de la SSH SWOT en Méditerranée

Clémence Chupin (ENSTA / Lab-STICC), Aurélie Panetier (Shom), Aurélien Ponte (IFREMER / LOPS)

Contacts : clemence.chupin@ensta.fr, aurelie.panetier@shom.fr, aurelien.ponte@ifremer.fr

L'objectif de ce stage est d'exploiter les produits de hauteur GNSS de campagnes océanographiques en mer Méditerranée, pour la validation des observations du satellite altimétrique SWOT.

Contexte : La mission altimétrique SWOT (*Surface Water Ocean Topography*), lancée en décembre 2022, embarque un radar interféromètre en bande Ka nommé KaRIn pour mesurer la hauteur de la surface de l'océan (*SSH*) à haute résolution et sur deux larges fauchées (50 km de part et d'autre de sa trajectoire).

Au printemps 2023, une première phase a permis le survol de zones d'intérêt une fois par jour, mettant ainsi à disposition des données hautes fréquences pour la calibration et la validation (Cal/Val) des mesures SWOT. Dans ce contexte, la campagne océanographique duale C-SWOT-2023/WemSWOT [1] (Ifremer et Shom) menée au printemps 2023 en mer Méditerranée Occidentale, avait pour objectif principal l'observation de la circulation océanique et de la dynamique méso-échelle sous le passage de SWOT. Elle a été suivie par une seconde campagne, BioSWOT [2] (IFREMER), qui s'est concentrée sur les processus biologiques sous la trace du satellite.

L'objectif de ce stage est de valoriser les données GNSS d'opportunité de ces campagnes pour estimer une mesure de la hauteur d'eau in-situ sous la trace du satellite. Cela permettra notamment de quantifier les performances de l'interféromètre KaRIn pour la mesure de *SSH* dans différentes configurations maritimes, telles que les zones à forts courants ou les régions de transition entre les océans et les côtes.

Méthode : Au cours des différentes campagnes, des mesures de hauteur de la surface d'eau ont en effet été collectées par différents porteurs (Figure 1) :

1. Données GNSS d'opportunité du N/O L'Atalante (missions WemSWOT et BioSWOT) ;
2. Observations GNSS du DriX, un drone de surface développé par la société IxBlue et déployé par l'Ifremer ;
3. Mesures du système Cyclopée de l'Université de La Rochelle [3], combinant un altimètre acoustique et un système GNSS positionné sur le pont à l'avant du N/O Thetys II (mission C-SWOT-2023).

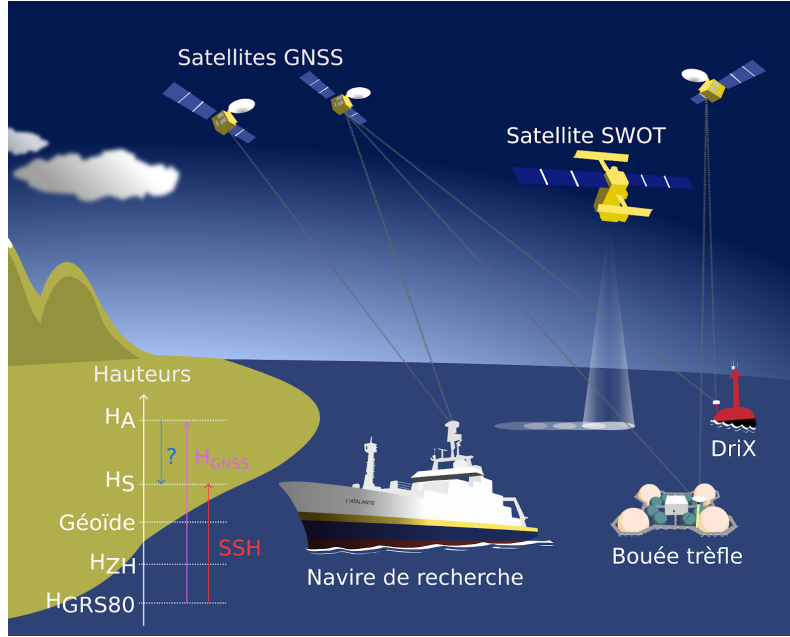


FIGURE 1 – Techniques utilisées pour la mesure de la SSH durant les campagnes (sauf Cyclopée), et références altimétriques en jeu (géoïde, ellipsoïde - H_{GRS80} , zéro hydrographique - H_{ZH}). H_A et H_S représentent les hauteurs d'antenne et de surface de l'eau.

L'ensemble de ces données GNSS ont déjà fait l'objet d'un premier traitement permettant de restituer la hauteur d'antenne (H_{GNSS} sur la Figure 1), en testant deux solutions logicielles : GipsyX (JPL, NASA [4]) et GINS (CNES, [5]). Dans les cas 1 et 2, la méthode développée lors d'un précédent stage [6] sera appliquée pour ramener cette mesure au niveau de l'eau, et ainsi dériver la $SSH_{in-situ}$ (en rouge sur la Figure 1). Pour le capteur Cyclopée (cas 3), cette étape sera faite en exploitant les mesures de l'altimètre acoustique.

L'objectif principal de ce stage est donc de qualifier les différentes solutions de $SSH_{in-situ}$ (bateau, drone et Cyclopée), en utilisant notamment les sessions statiques ou à quai. Pour la validation dynamique, une méthodologie d'analyse sera développée en se basant sur des points en mer revisités plusieurs fois à des époques différentes, ou sur des transects réalisés en parallèle par les différents systèmes. Elle pourra notamment se baser sur les travaux de Tranchant et al. (2021) [7]. L'objectif est de valider les corrections dynamiques utilisées lors du traitement (paramètres du traitement GNSS GipsyX ou GINS, modèle de marée, Mean Sea Surface, correction atmosphérique,...).

Le second attendu du stage est la prise en main des données SWOT sur la zone durant les campagnes, et l'analyse de la SSH dérivée des observations du satellite. La validation de ces observations sera réalisée grâce aux données de $SSH_{in-situ}$ obtenues précédemment.

Réalisations attendues :

1. Qualification des solutions de positionnement GNSS issues de GipsyX et GINS pour le DriX, Cyclopée et les navires ;
2. Intercomparaison des niveaux d'eau lors des sessions de mesures statiques ou à quai, afin de qualifier les performances des différents capteurs ;
3. Implémentation et test d'une méthode de comparaison des hauteurs d'eau aux points de

revisites pour valider l'ensemble des corrections utilisées lors du traitement des données GNSS ;

4. Prise en main des données SWOT durant les campagnes, et validation des différents paramètres de corrections utilisés pour calculer la *SSH* ;
5. Interpolation spatiale et temporelle des *SSH_{in-situ}* et comparaison avec les données SWOT ;
6. Exploration de l'impact de différentes corrections troposphériques sur la mesure *SSH*, notamment la réanalyse ERA5, les mesures du radiomètre embarqué sur SWOT et les produits troposphériques des GNSS embarqués.

Références

1. DEMOL, M. et al. **C-SWOT2023 / WEMSWOT. Two combined campaigns dedicated to the mesoscale dynamics under SWOT swaths in the Mediterranean Sea in Journées Scientifiques LEFE/GMMC 2023** (2023). <https://archimer.ifremer.fr/doc/00847/95923/>.
2. ANDREA, D. & GÉRALD, G. **BioSWOT-Med cruise, L'Atalante R/V** in (2023). <https://campagnes.flotteoceanographique.fr/campagnes/18002392/>.
3. CHUPIN, C. et al. Mapping Sea Surface Height Using New Concepts of Kinematic GNSS Instruments. **Remote Sensing** **12**. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2656> (2020).
4. BERTIGER, W. et al. GipsyX/RTGx, a new tool set for space geodetic operations and research. **Advances in Space Research** **66**, 469-489. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0273117720302532> (2020).
5. MARTY, J. C. et al. **GINS : The CNES/GRGS GNSS scientific software in ESA Proceedings WPP326** (Copenhagen, Denmark, 2011).
6. DUCARME, A. **Mesure de la hauteur d'eau océanique par GNSS embarqué sur un drone marin de surface** Mémoire de fin d'études, CNAM/ESGT. Encadrants : C. Chupin (Lab-STICC, ENSTA), P.Bosser (Lab-STICC, ENSTA), A. Ponte (IFREMER). 2023.
7. TRANCHANT, Y.-T., TESTUT, L., CHUPIN, C., BALLU, V. & BONNEFOND, P. Near-coast tide model validation using GNSS unmanned surface vehicle (USV), a case study in the pertuis charentais (France). **Remote Sensing** **13**, 2886 (2021).

Compétences recherchées : Le stagiaire est actuellement en préparation d'un diplôme de niveau Bac + 5 (Master 2, école d'ingénieur) et devra démontrer :

- Des compétences en programmation (Python) et en analyse de données.
- Des connaissances en GNSS, en altimétrie ou en océanographie seraient un plus.
- Une capacité à travailler de manière autonome et à prendre des initiatives.

Informations pratiques :

- Stage de 6 mois, hébergé au sein de l'ENSTA à Brest.
- Date de démarrage envisagée : entre février et avril 2026.
- Un hébergement à la résidence des élèves est possible entre mars et juillet 2026.
- Collaborations : Shom, Ifremer.
- Gratification : les gratifications seront calculées selon les textes en vigueur.