

Mesure de la hauteur d'eau océanique par systèmes GNSS pour la validation des données altimétriques

Clémence Chupin

clemence.chupin@ensta-bretagne.fr

Commission Géopositionnement du CNIG
- 19 octobre 2023 -



Introduction

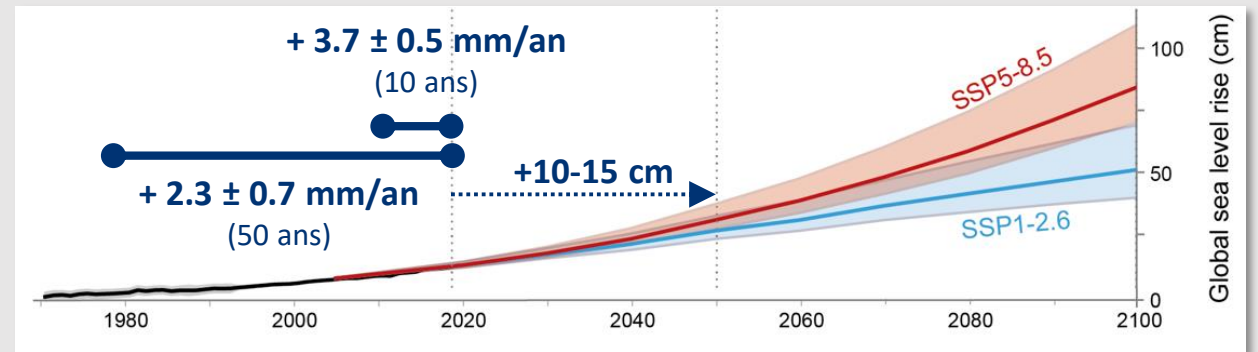
**Mesurer le niveau de la mer :
pourquoi chercher le centimètre ?**



➔ Augmentation du niveau moyen des océans

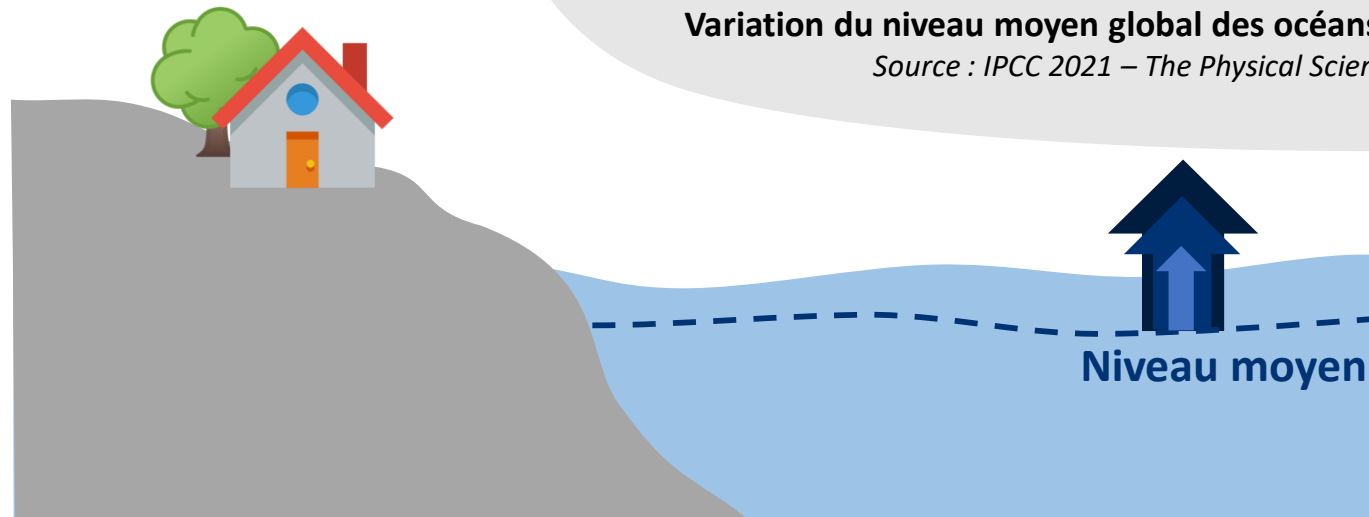
[IPCC, 2021]

- Accélération
- Variabilité régionale
(+/- 20% par rapport au niveau moyen global)



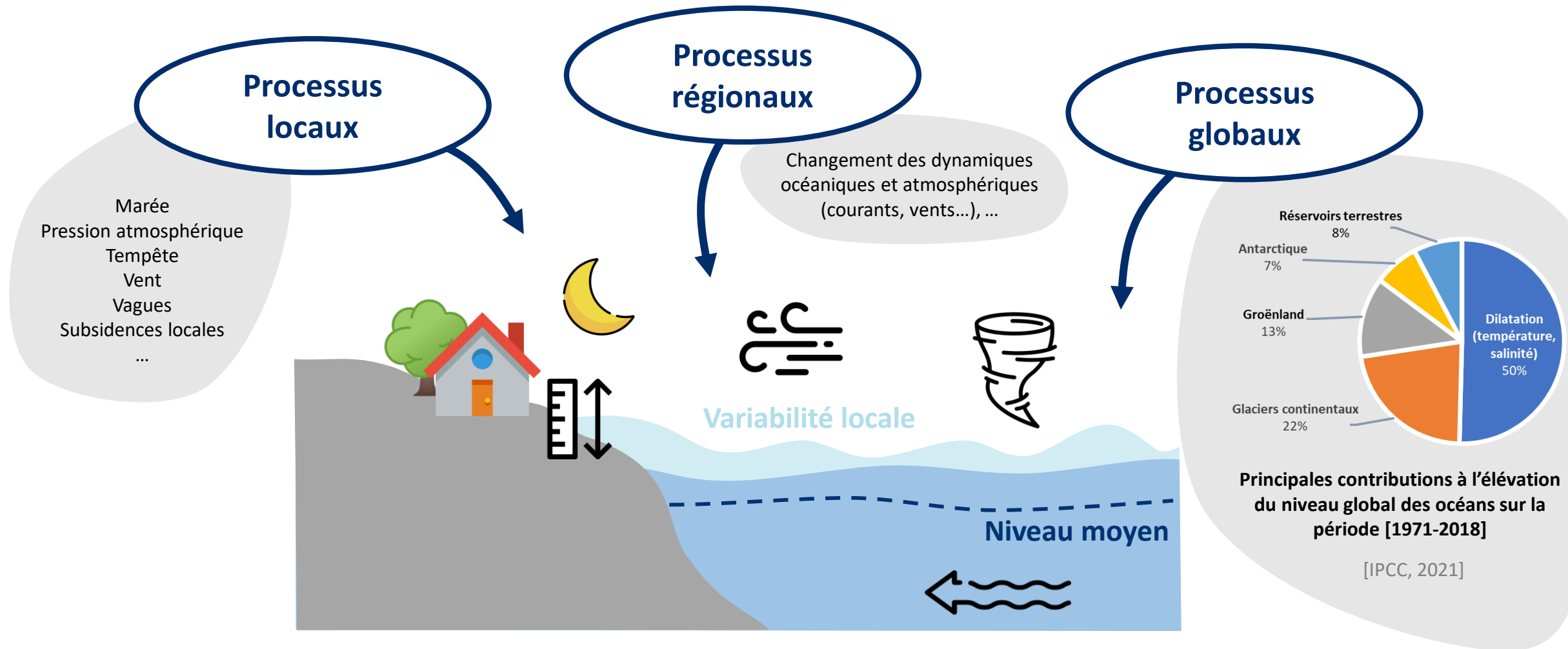
Variation du niveau moyen global des océans par rapport à l'année 1971

Source : IPCC 2021 – The Physical Science Basis – FAQ 9.1





➔ Multitude de processus impactant les variations du niveau de la mer





➔ Multitude de processus impactant les variations du niveau de la mer



En 2010, ~ 11 % de la population mondiale vit dans les zones côtières de faible altitude (< 10m).

[Merkens et al., 2016]



Variabilité locale

Niveau moyen



➔ Multitude de processus impactant les variations du niveau de la mer



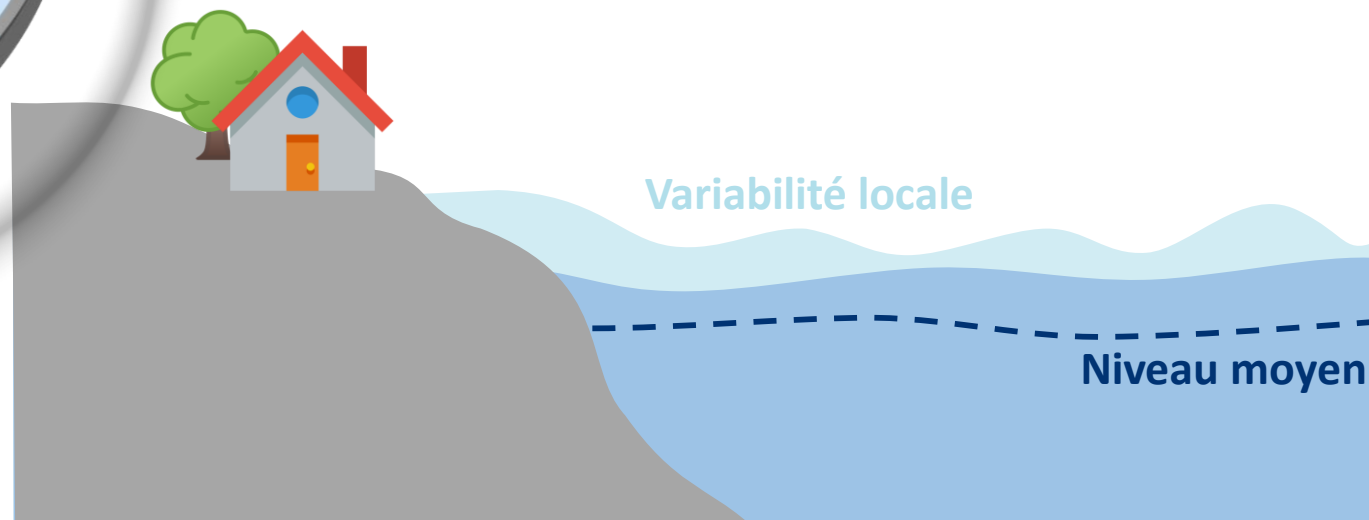
**Observations
globales et
locales
précises**

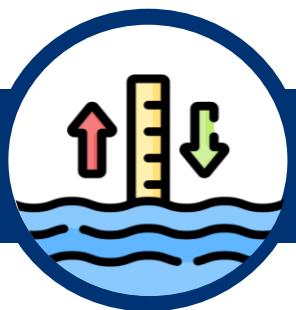
Évaluer et séparer
les processus
océaniques

Comprendre
leurs interactions

Modéliser leur
évolution

Adapter les
mesures de
protection





Première partie

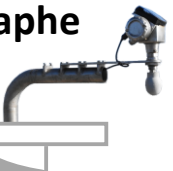
La mesure GNSS du niveau de la mer



MESURES IN-SITU

- Précision, haute fréquence, long-terme
- Observations localisées
- Disparités spatiales, temporelles
- Peu adapté au suivi global

Marégraphe



Localisation des marégraphes du réseau international GLOSS

Source : www.psmsl.org/gloss/

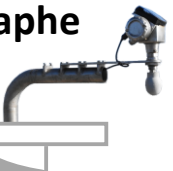




MESURES IN-SITU

- Précision, haute fréquence, long-terme
- Observations localisées
- Disparités spatiales, temporelles
- Peu adapté au suivi global

Marégraphe



ALTIMETRIE

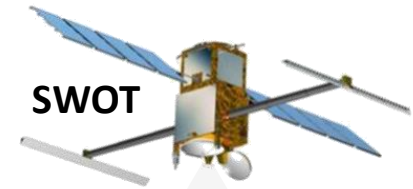
- Couverture globale et homogène
- Données temps réel / long-terme
- Accès à des zones non/peu instrumentées
- Limitations à l'approche de la côte

➔ Nouvelles observations grâce à la mission SWOT

Cartographie de la surface des océans/rivières/lacs grâce à un radar interférométrique large fauchée



Altimètres nadirs

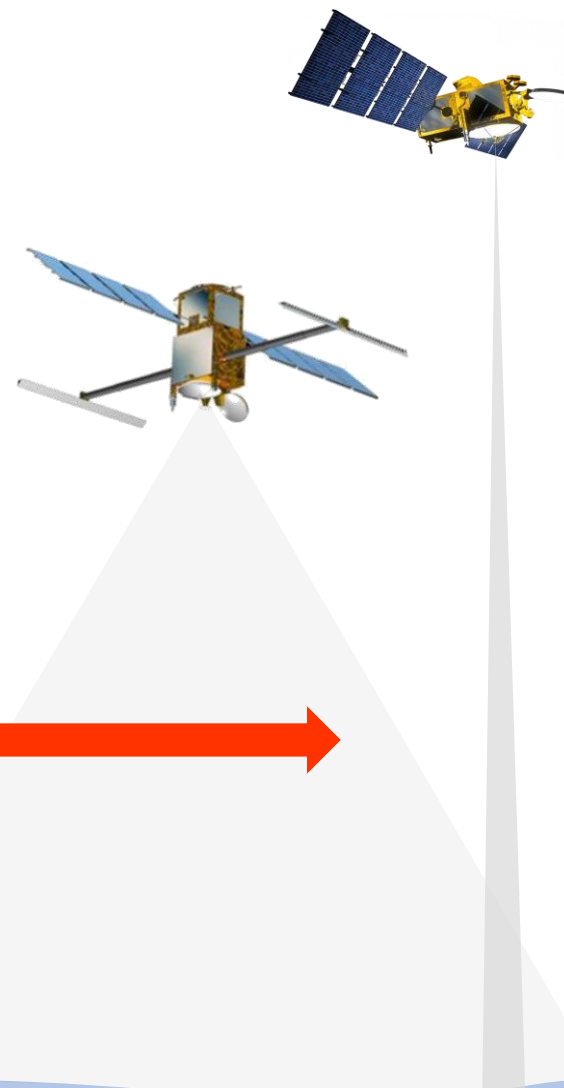


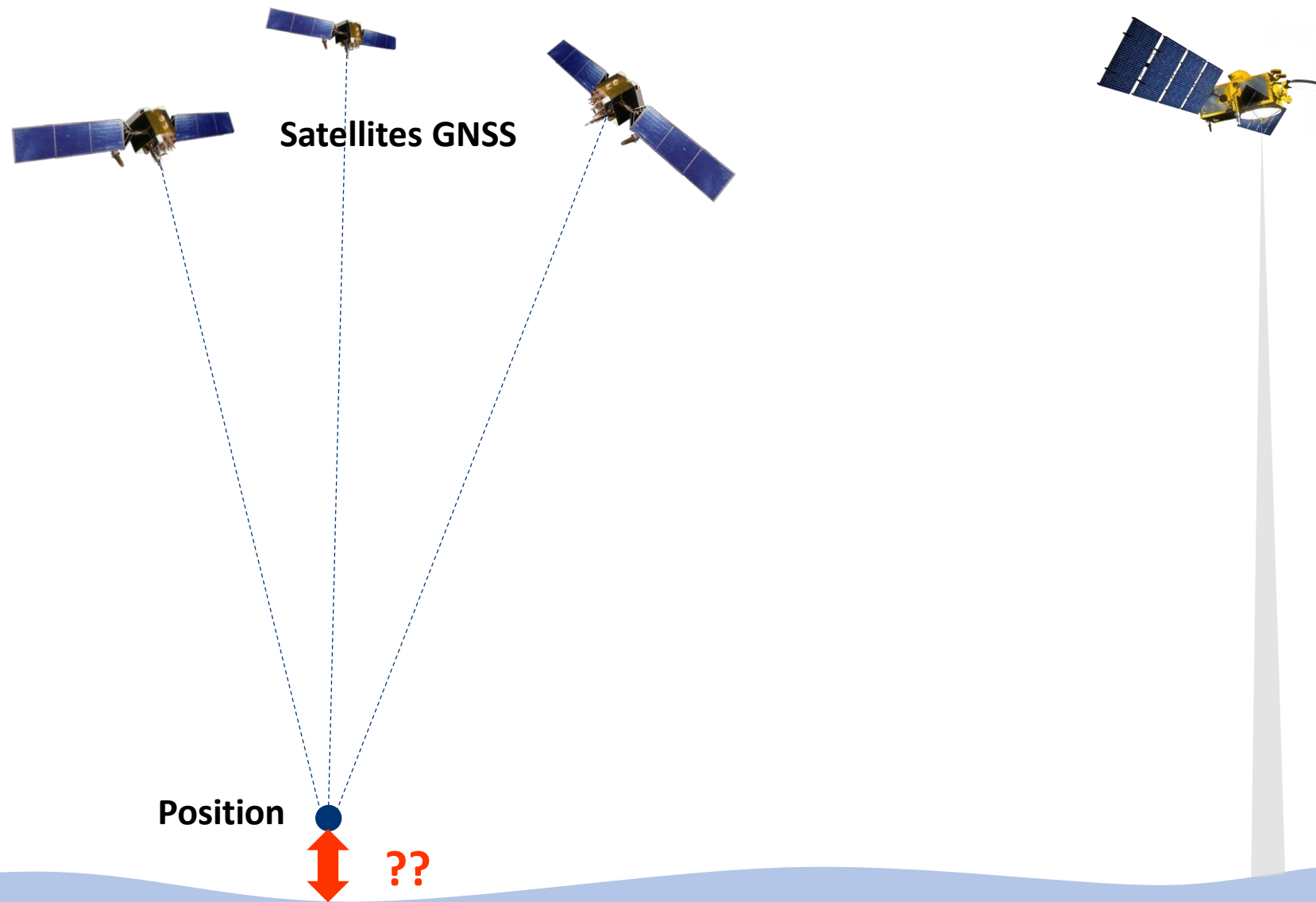
SWOT

← Fauchées ~120 km →



**Comment relier/croiser/exploiter
les bénéfices de ces différentes
sources d'observations ?**







➔ Bouées GNSS

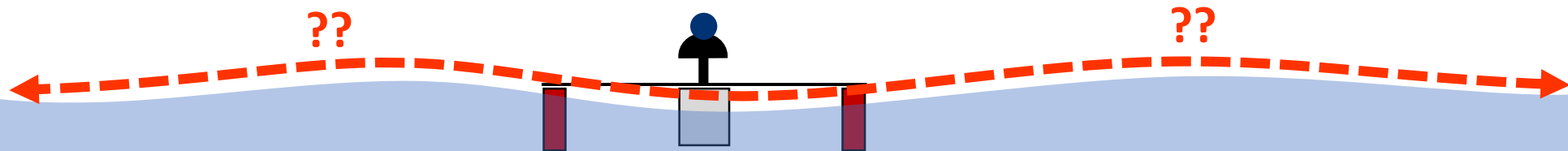
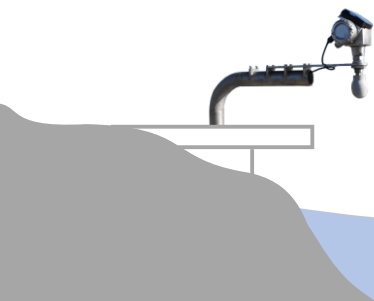
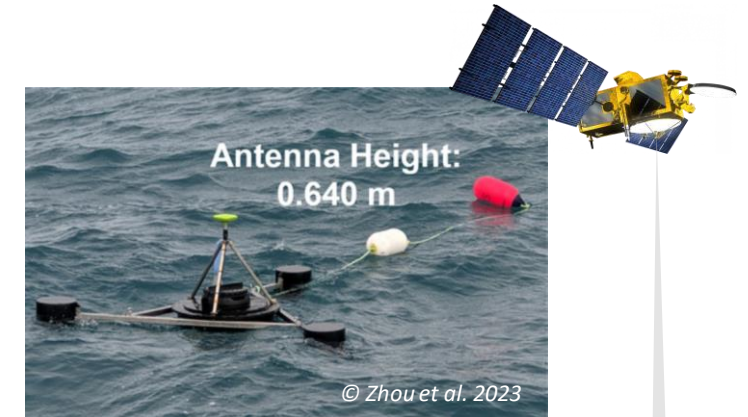
- Mesure de la surface de la mer avec une précision centimétrique

[André et al. 2013]

- Couramment utilisées sur les sites de Cal/Val des missions altimétriques

[Born et al. 1994; Watson et al. 2003; Bonnefond et al. 2019; Zhou et al. 2020]

➔ **Besoin d'informations spatiales, de systèmes mobiles**





➔ Plateformes mobiles GNSS

- Systèmes GNSS sur bateaux commerciaux, N/O, ...

[Crétaux et al. 2008, Bouin et al. 2009, Foster et al. 2009, Mertikas et al. 2013]

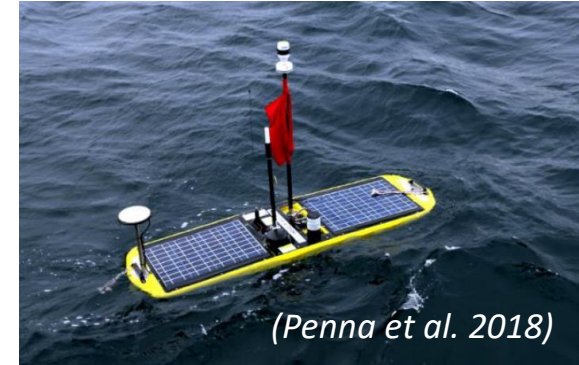
- Développement de plateformes légères et autonomes

[Review : Lycourghiotis and Kariotou 2022]

Catamaran GNSS

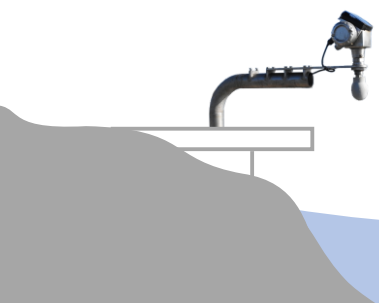


GNSS Wave Glider



➔ Nouveaux systèmes de cartographie GNSS du niveau de la mer

[Chupin et al. 2020, Bonfond et al. 2022]



CaINaGeo



PAMELI



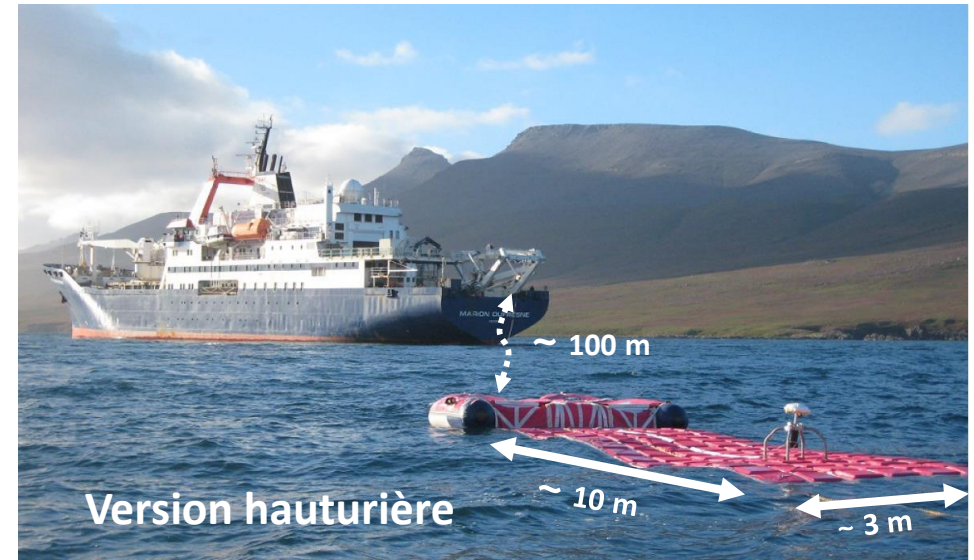
Cyclopée



CalNaGeo



- Nappe flottante supportant une antenne GNSS
- Zodiac contenant le récepteur et les batteries
- Tractée par bateau
- Version côtière/hauturière



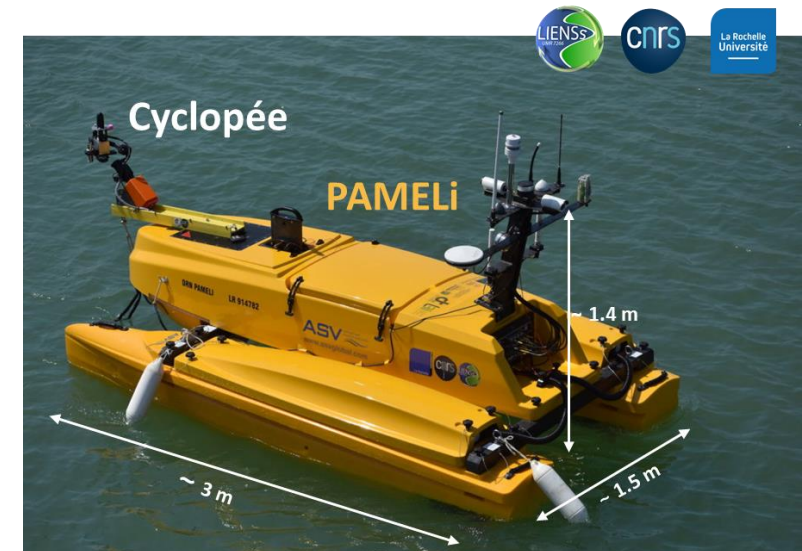


Cylopée

- Combinaison d'une antenne GNSS et d'un altimètre acoustique
- Compact et adaptable sur différentes plateformes

➔ Installation sur le drone marin PAMELi

➔ Installation sur bateaux
(N/O ALIS, N/O Théthys, ...)





DRIX

exail

- Drone de surface développé par Exail (anciennement iXBlue)
- Utiliser les mesures réalisées par l'antenne GNSS + centrale inertielle + bras de levier pour cartographier le niveau de la mer.

[PFE Anne Ducarme, ESGT 2023]

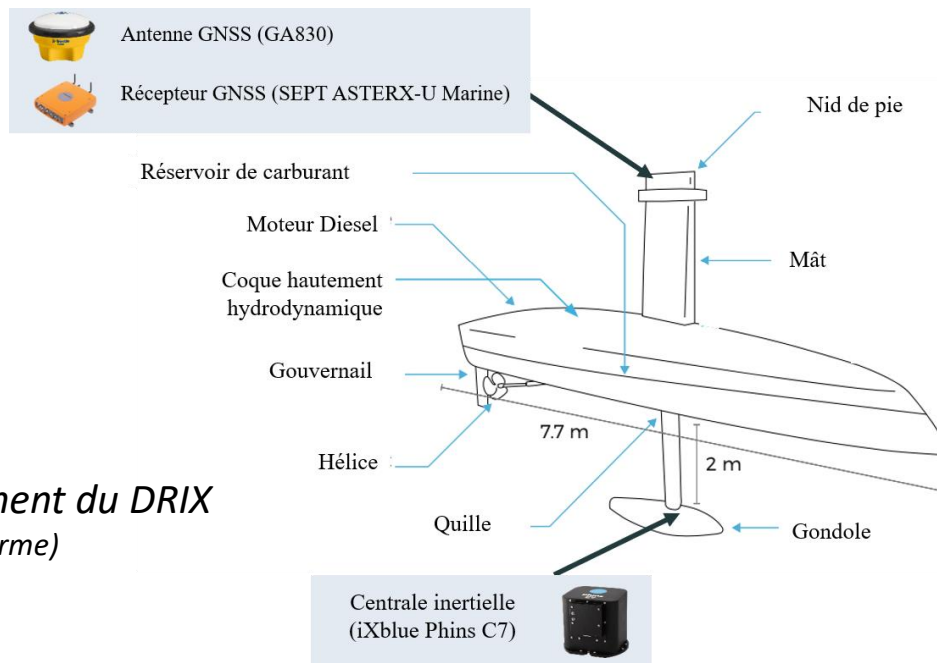


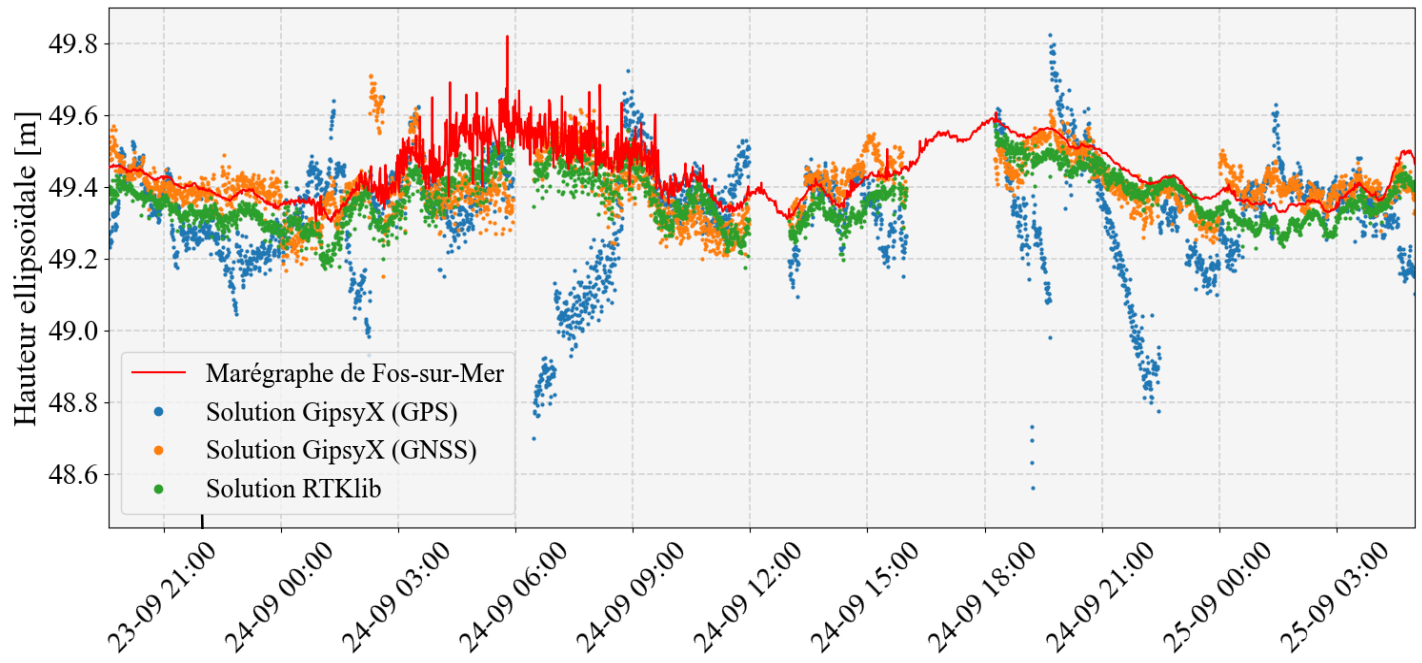
Schéma de l'équipement du DRIX
(iXBlue, A.Ducarme)





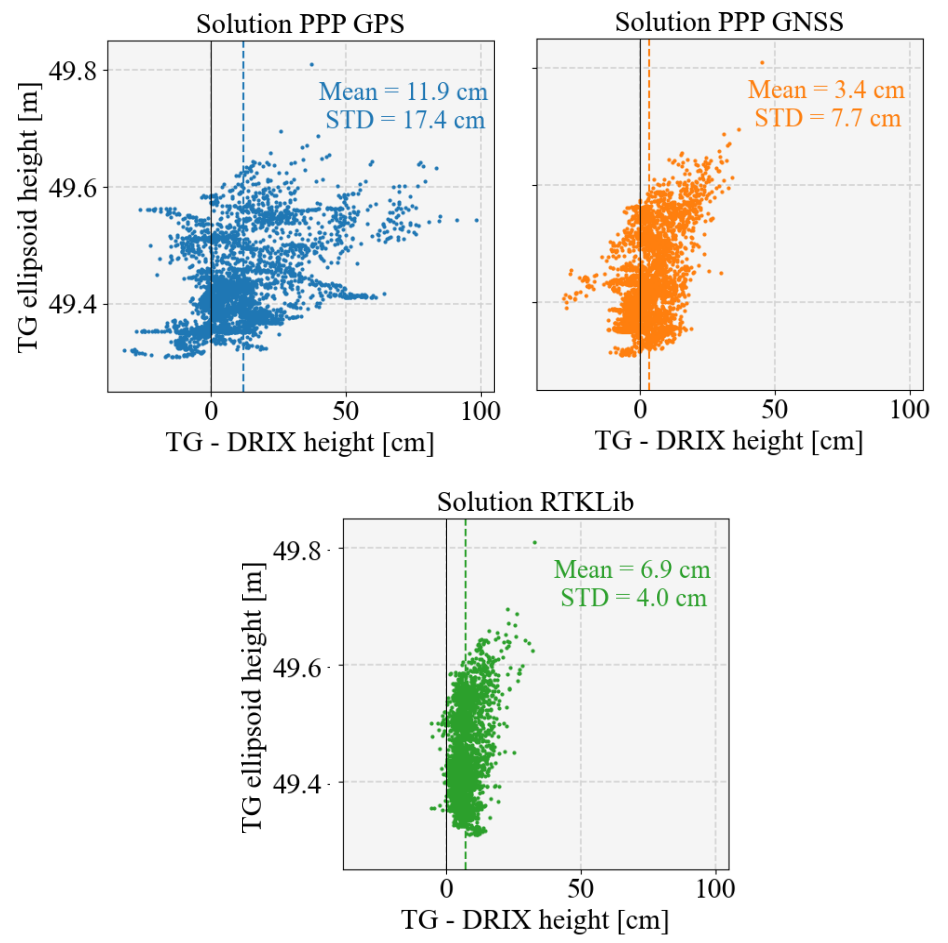
DRIX

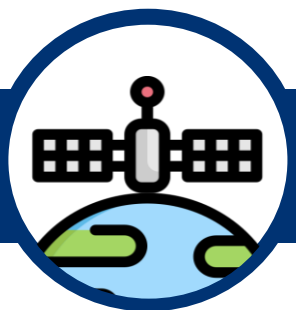
Comparaison statique – DRIX / Marégraphe de Fos-sur-Mer (PFE A. Ducarme)



➔ Biais centimétriques avec le marégraphe : les investigations sont toujours en cours !

Diagrammes de Van de Casteele (PFE A. Ducarme)





Deuxième partie

**Valider les données altimétriques grâce
aux mesures GNSS in-situ
- Un exemple à Nouméa -**



Cal/Val dans le lagon de Nouméa

Campagne GEOCEAN-NC 2019

Une zone instrumentée

Marégraphe de Numbo

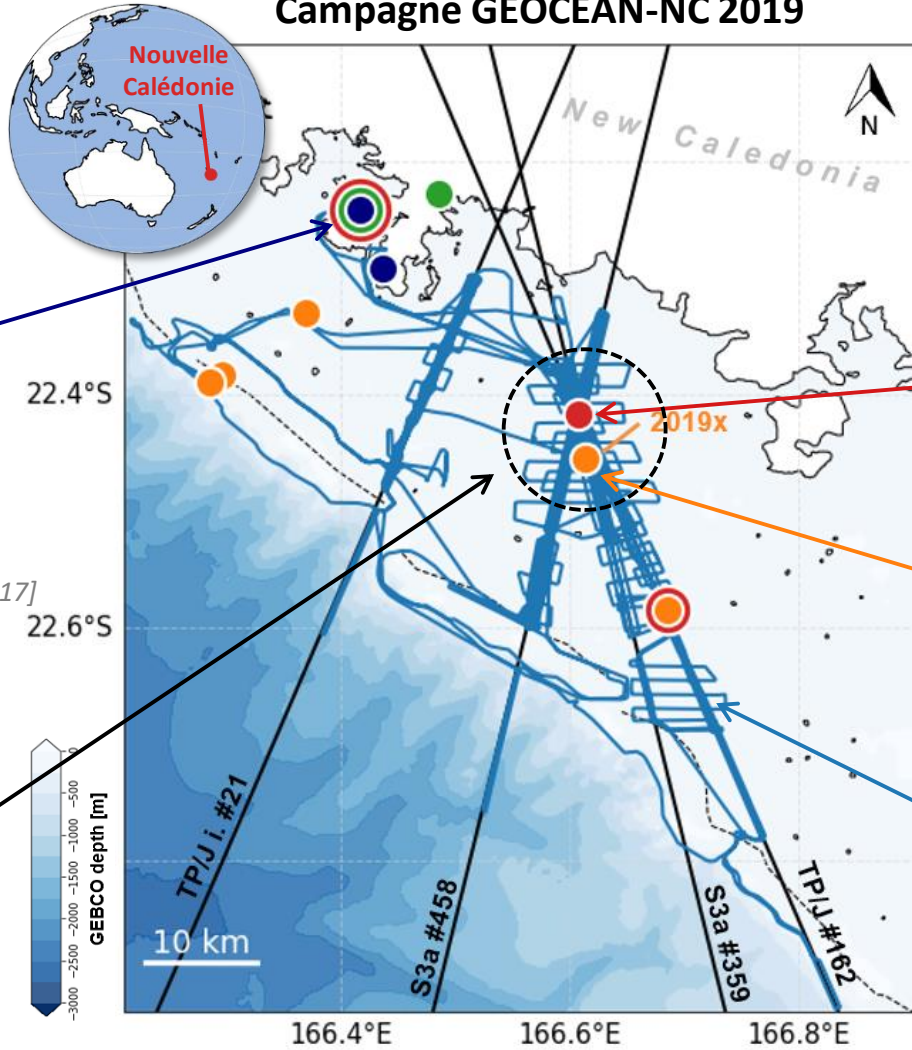


- ⇒ Série reconstruite [1957 -2023] [Aucan et al. 2017]
- ⇒ Calibration instrumentale [Chupin et al. 2020]

Satellites altimétriques



⇒ Intersection de 3 traces !



- | | | |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Satellites tracks | In situ sensors | GEOCEAN-NC 2019 |
| — Satellites tracks | ● Tide gauge | ● Pressure gauge |
| | ● Permanent GNSS static | ● GNSS Buoy |
| | | — CalNaGeo track |

Des mesures in-situ

Bouée GNSS



- ⇒ 3 jours de mesure au croisement altimétrique

Capteurs de pression



- ⇒ SBE 26plus
- ⇒ 1 an de données
- ⇒ ~ 20m profondeur

Nappe CalNaGeo



- ⇒ Tractée par R/V ALIS
- ⇒ 260h de données GNSS

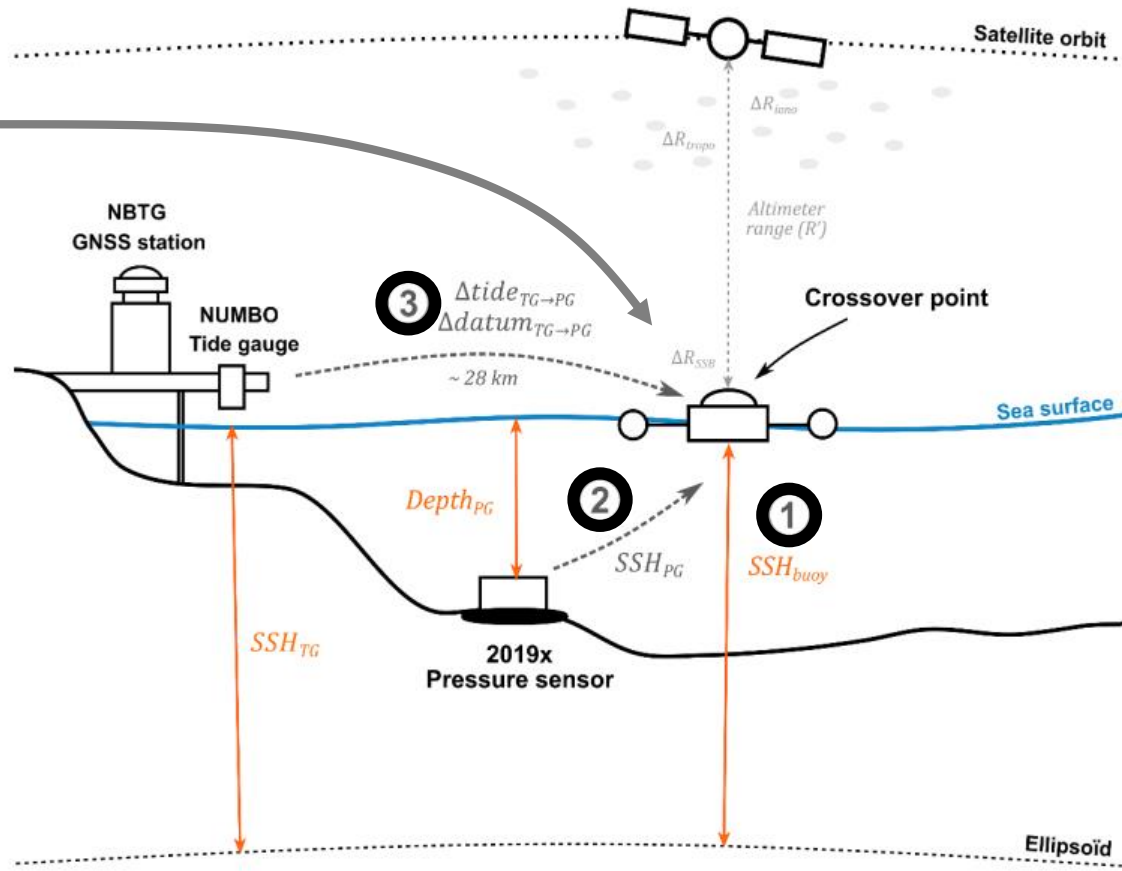


Objectif Comparer les données altimétriques et in situ en suivant la méthodologie des sites de calibration/validation



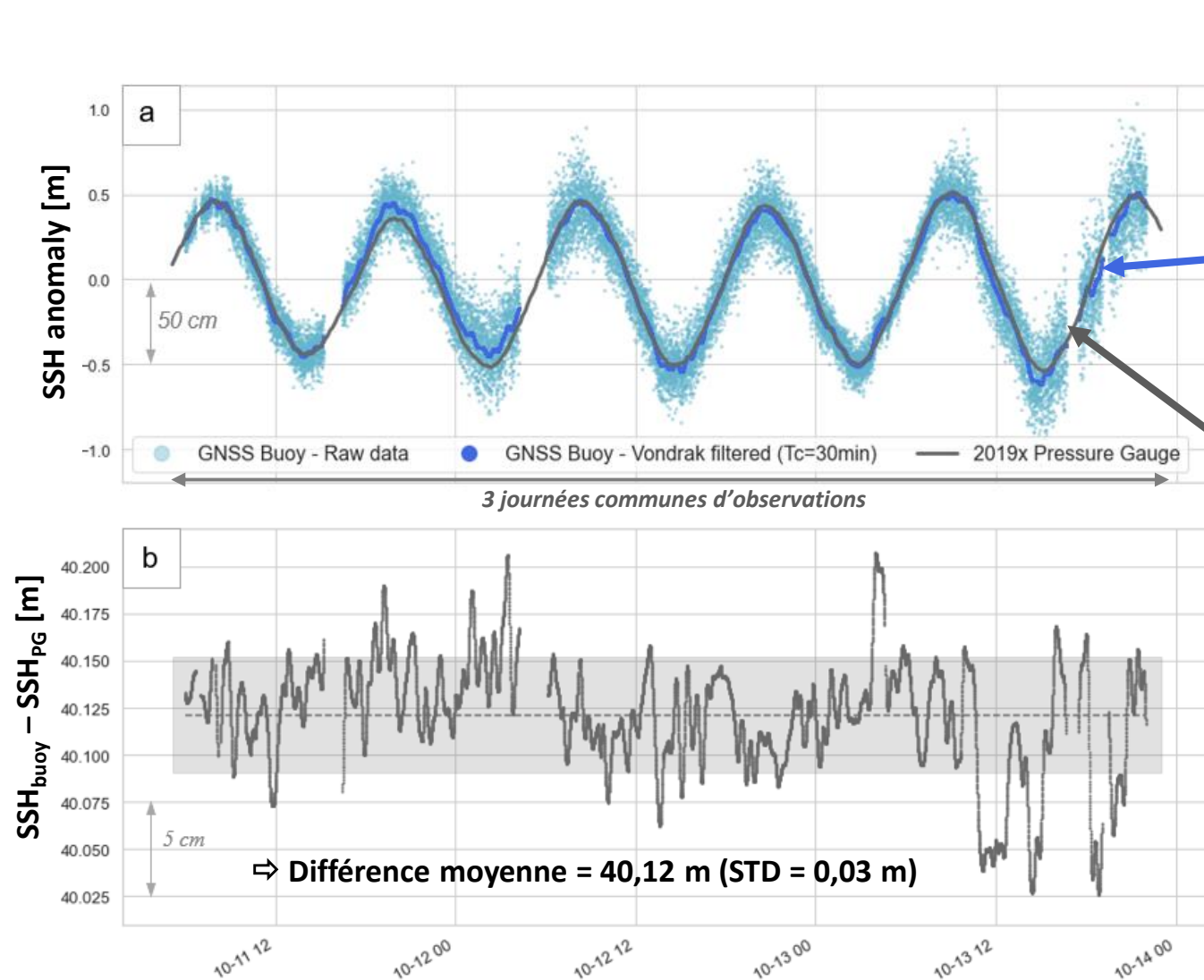
Reconstruire une longue série temporelle *virtuelle* de niveau de la mer au point de croisement altimétrique

- ⇒ Mesure du niveau de la mer au point de croisement avec la bouée GNSS pendant 3 jours
- ⇒ Référencement des observations de pression par comparaison avec les données de la bouée GNSS sur leur période commune d'observation
- ⇒ Transfert des observations du marégraphe de Nouméa au point de croisement grâce au calcul d'un gradient de marée utilisant les observations du capteur de pression





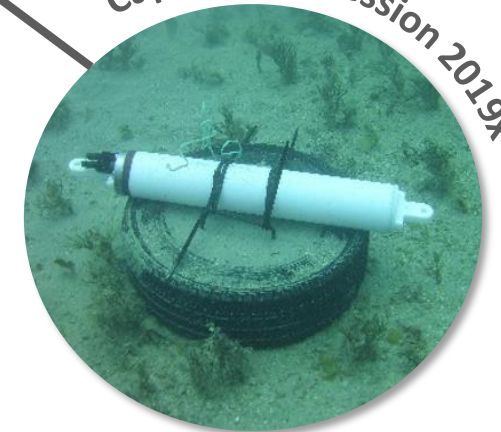
Comparaison entre les observations de la bouée GNSS (2019x) et le capteur de pression



Bouée GNSS



Capteur de pression 2019x





Objectif Comparer les données altimétriques et in situ en suivant la méthodologie des sites de calibration/validation



Reconstruire une longue série temporelle *virtuelle* de niveau de la mer au point de croisement altimétrique



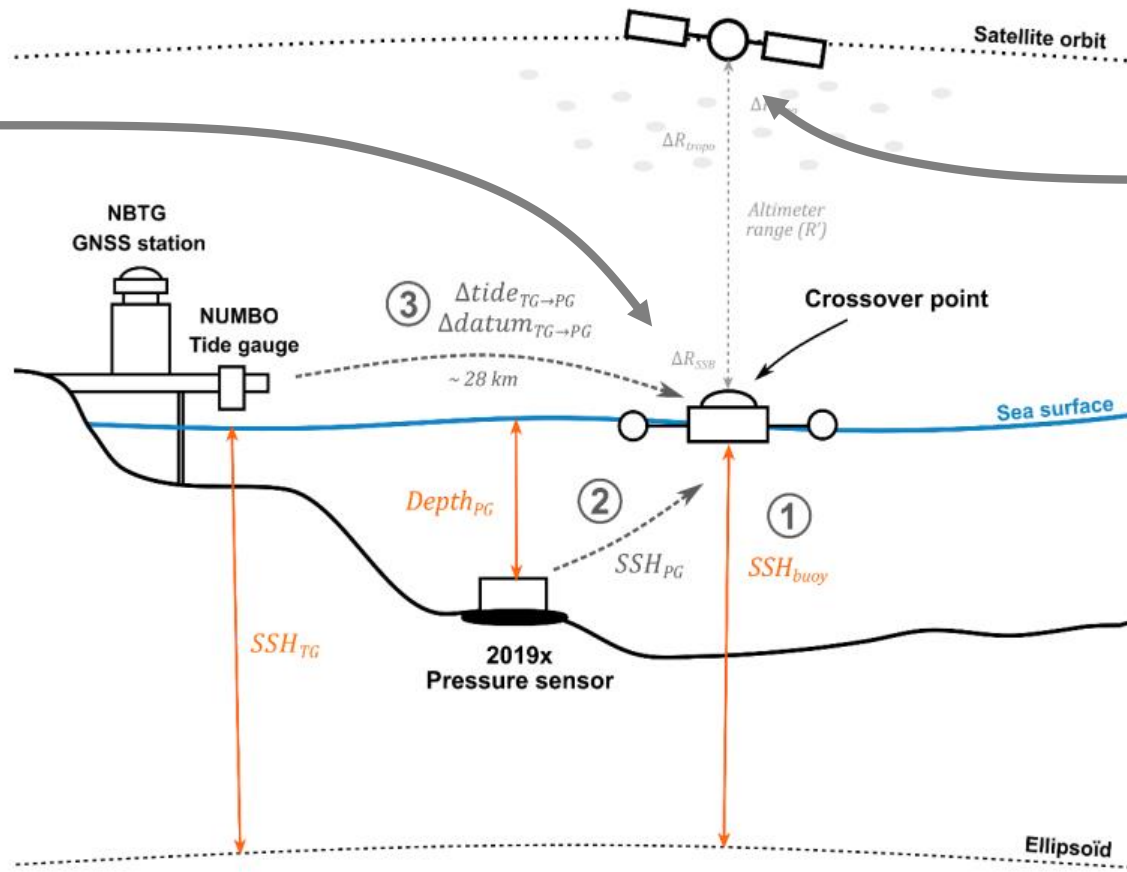
SSH_{in-situ}



Traitement des données altimétriques



SSH_{alti}



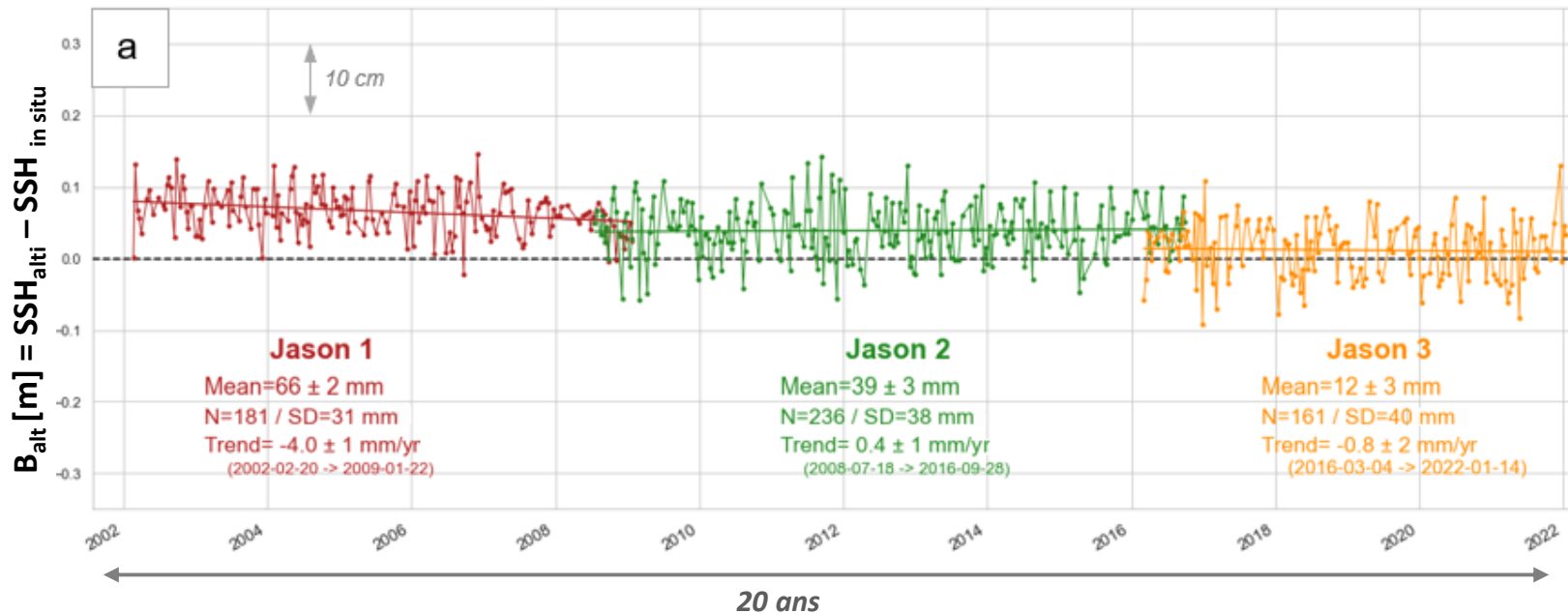
➡ **Calcul du biais altimétrique : $B_{alti} = SSH_{alti} - SSH_{in-situ}$**



Objectif

Comparer les données altimétriques et in situ en suivant la méthodologie des sites de calibration/validation

Comparaison long-terme avec les données Jason



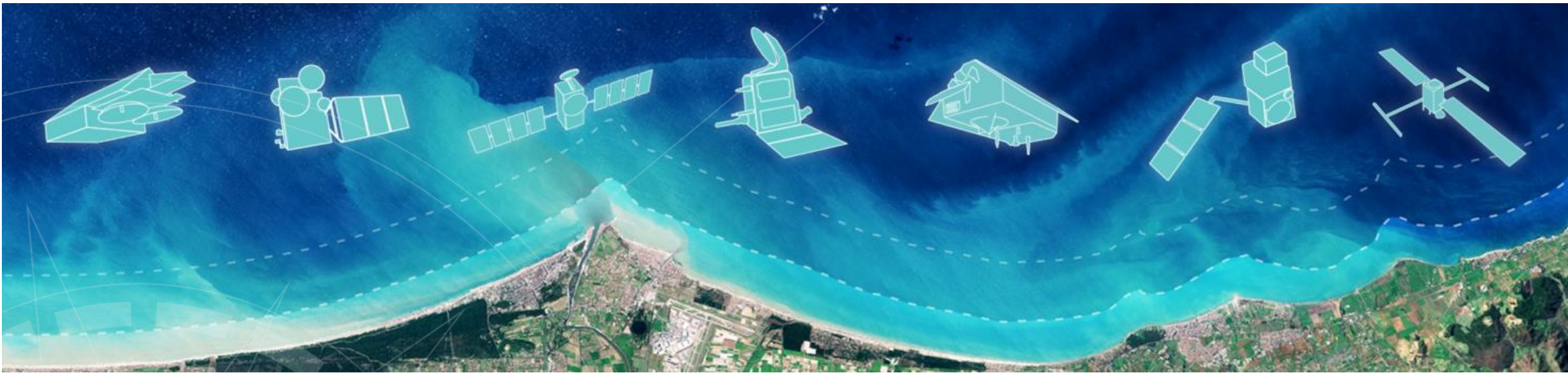
Biais altimétriques moyens selon les missions et les sites de cal/val

Site	S3a	J3	J2	J1
Nouméa	+40 ± 4 mm (#359) +39 ± 3 mm (#458)	12 mm ± 3 mm	39 mm ± 3 mm	66 mm ± 2 mm
<i>Intermission</i>		-28 mm	+27 mm	+27 mm
Corsica*	+22 ± 4 mm	+4 ± 2 mm	+16 ± 2 mm	+43 ± 3 mm
<i>Intermission</i>		-18 mm	+12 mm	+27 mm
Bass Strait*	+25 ± 2 mm	-4 ± 2 mm	+15 ± 2 mm	+41 ± 2 mm
<i>Intermission</i>		-29 mm	+19 mm	+26 mm
Harvest*	-	+14 mm ± 2 mm	+8 ± 2 mm	+12 ± 2 mm
<i>Intermission</i>		-	-6 mm	+4 mm

* Biais altimétriques moyens sur les sites de Cal/Val historiques à Harvest, en Corse et à Bass Strait, extraits des résultats présentés à l'OSTST 2022



Méthode permettant de ré-analyser 20 années de données altimétriques dans le lagon avec une campagne de terrain de 3 semaines.



Merci de votre attention !

Plus de details :

Chupin, C., Ballu, V., Testut, L., Tranchant, Y.-T., and Aucan, J.: Nouméa: a new multi-mission calibration and validation site for past and future altimetry missions?, *Ocean Sci.*, 19, 1277–1314, <https://doi.org/10.5194/os-19-1277-2023>, 2023.

clemence.chupin@ensta-bretagne.fr