









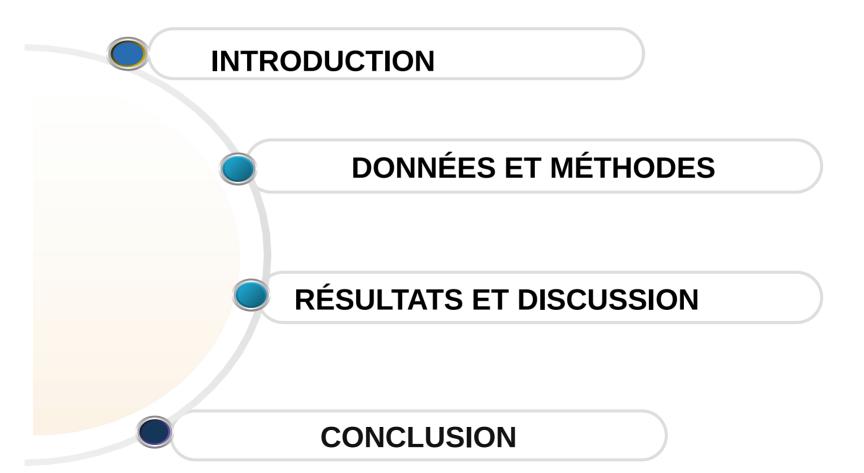




Les satellites altimétriques comme moyen de mesure de la marée et de la hauteur de la mer près des côtes du Golfe de Guinée

Lucrèce Djeumeni Noubissie, Florence Birol, Raphaël Onguene, Fabien Léger, Fernando Niño

Plan de la présentation



INTRODUCTION 1/3

LES ZONES CÔTIÈRES FACE À PLUSIEURS MENACES



Figure 1: Inondation (Douala, Cameroun)

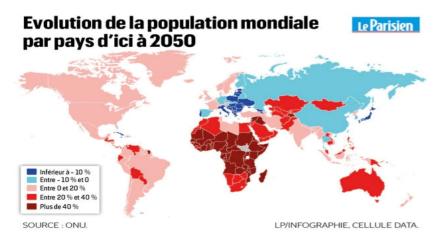


Figure 3: Pression démographique



Figure 2 : Érosion côtière (Loango, Congo),source: séminaire master GIELM Magloir-Désiré MOUNGANGA

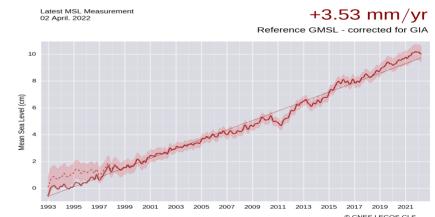
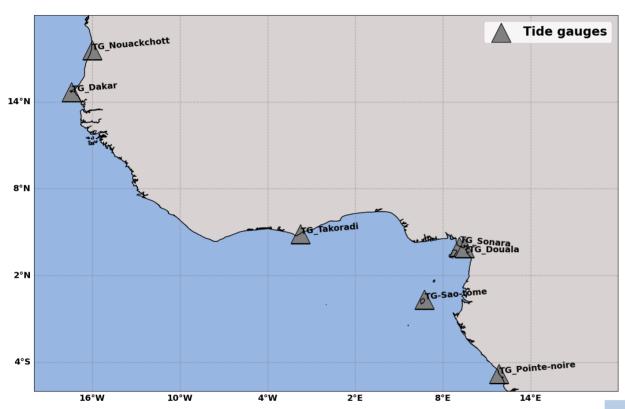


Figure 4: Augmentation du niveau moyen globale de la mer



INTRODUCTION 2/3

Données marégraphiques accessibles dans la zone d'étude



Station	Data period
Dakar (Sénégal)	01/1996-05/2003; 10/2007-10/2016
Takoradi (Ghana)	01/2007-08/2007; 01/2007- 04/2009; 01/2010-03/2010; 03/2011- 08/2012
Port Sonara (Cameroun)	06/2008-06/2011
São-Tomé (São Tomé)	08/2004-05/2007; 09/2007-08/2010
Pointe noire (Congo)	09/2008-06/2014
Nouakchott (Mauritanie)	01/2007-02/2008; 06/2008-02/2015

Figure 5: Carte des stations marégraphiques

- → Faible instrumentalisation des côtes
- → Données irrégulières dans le temps



INTRODUCTION 3/3

Altimétrie spatiale: exploitation des données de hauteur de mer maintenant possible près des côtes (progrès sur les traitements et sur les instruments)

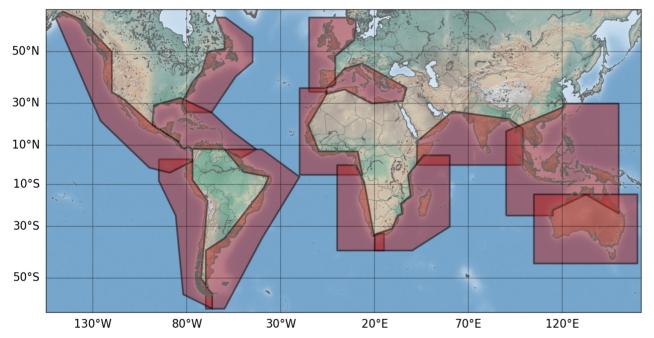


Figure 6: Couverture du produit ESA X-TRACK/ALES

Projet ESA SL_CCI+ (2019-2022):

- Nouveau traitement altimétrique dédié aux régions côtières
- Produit « alongtrack » haute résolution XTRACK/ALES couverture temporelle: 2002-2019
- Bientôt disponible librement

 https://climate.esa.int/en/projects/sea-level/
- Zone d'étude couverte



QUESTIONS CIBLÉES DANS CETTE ÉTUDE

- 1. Les données altimétriques peuvent t'elles être utilisées en complémentarité des données marégraphiques pour des applications côtières?
- 2. Comment contourner la difficulté d'utilisation des produits altimétriques côtiers actuels (le long de la trace, bruités, contenu, ...): demandant de l'expertise



DONNÉES ET MÉTHODES 1/3

Données de hauteur de la mer utilisées

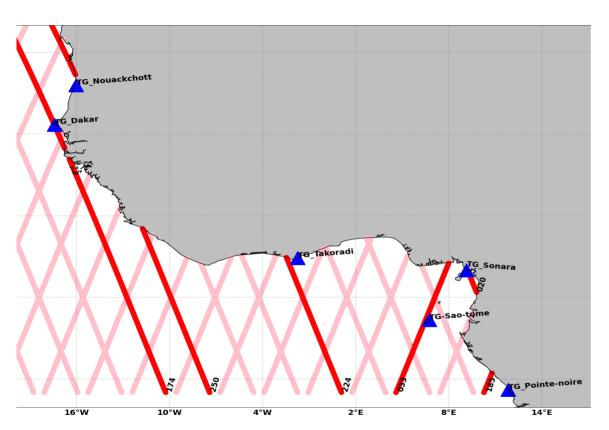


Figure 7: Traces altimétriques (Jason) et marégraphes couvrant la zone.

Tab 1:Caractéristiques des données.

Type de données	Résolution temporellle	Résolution spatiale
Altimétrie: produit XTRACK/ALES (ESA)	~10jours	1 point tous les ~350 m le long de la trace
Marégraphie: Base de données du UHSLC	1h	locale



DONNÉES ET MÉTHODES 2/3

Définition des stations virtuelles

• Concept de Cazenave et al., 2022, adapté à notre cas d'étude

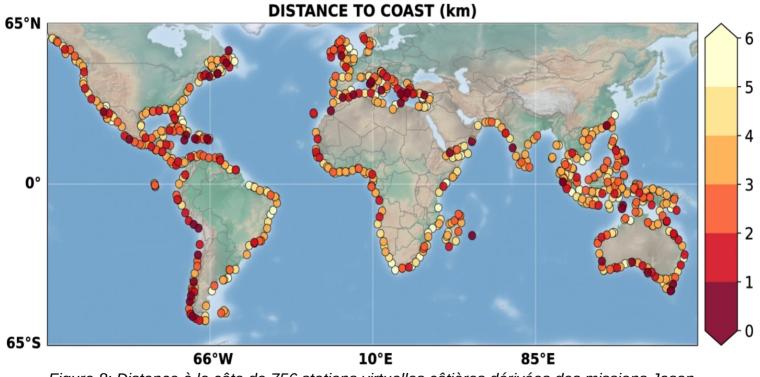


Figure 8: Distance à la côte de 756 stations virtuelles côtières dérivées des missions Jason (extrait de Cazenave et al.,2022)



DONNÉES ET MÉTHODES 2/3

Définition des stations virtuelles

• Concept de Cazenave et al., 2022, adapté à notre cas d'étude

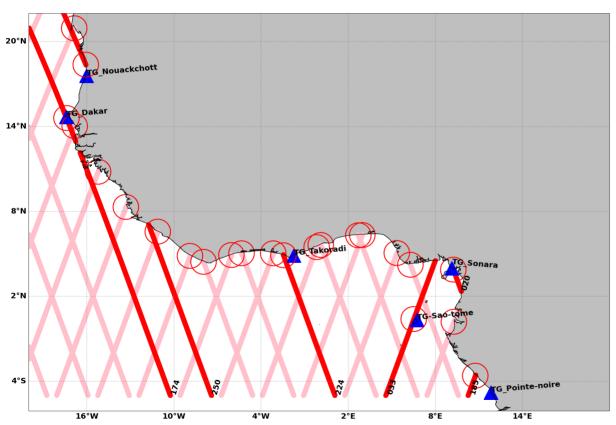


Figure 9 : Position des stations virtuelles

- Points d'interception entre les traces altimétriques et la côte
- Pour chaque pas de temps, ne considérer que les données des points altimétriques les plus proches de la côte.
- Moyenne des données sur cette zone côtière
- Barycentre de ces points considéré comme station virtuelle.



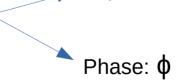
DONNÉES ET MÉTHODES 3/3

Détermination des constantes de marée et validation

- → Définition Constantes harmoniques de marée
 - Formule Harmonique

$$h(t) = h_0 + at + \sum_{\{i=1\}}^{n} f_i H_i \left(\sigma_i(t) + (V_{o_i} + u_i) - g_i \right)$$
 (1) (Godin, 1986)

49 ondes de marée



- → Validation des constantes de Marée
 - Formule erreur complexe

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} |\delta Z|^2} \tag{2}$$

Avec δZ la différence complexe définie par Tranchant et al., (2021) :

$$\delta Z = A_{TG} e^{i\Phi_{TG}} - A_{ALTI} e^{i\Phi_{ALTI}}$$
 (3)

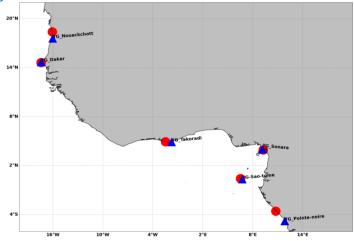


RÉSULTATS 1/8

Validation: comparaison entre stations virtuelles et stations marégraphiques disponibles

Tab 3 : Distance station virtuelle-côte et station virtuelle - marégraphe

Marégraphe	Trace altimétrique / station virtuelle	Distance à la côte de la station virtuelle (km)	Distance entre station virtuelle et marégraphe (km)
Port Sonara	020	3.62	16.40
Sao-tome	033	5.34	24.66
Takoradi	224	4.15	78.29
Pointe- noire	185	6.89	177.41
Dakar	174	4.91	7.28
Nouakchott	250	2.60	44.15



→ 6 couples de stations virtuelles – in situ sur la zone d'étude

- Distance des stations virtuelles à la côte <6km sauf pour le cas de Pointe-Noire
- Différence de localisation des observations: seule la station de Dakar est très proche de la station virtuelle 7.28 km

RÉSULTATS 2/8

Validation: Séries temporelles de SLA

Stations virtuelles VS **Stations marégraphiques**

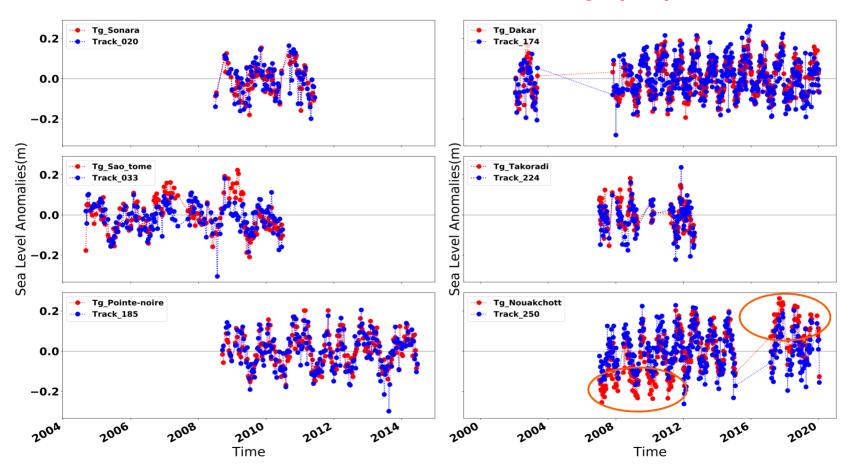


Figure 10 : Séries temporelles de SLA

RÉSULTATS 3/8

Validation: Séries temporelles de SLA

Stations virtuelles VS **Stations marégraphiques**

Tab 4 : statistiques entre la station altimétrique virtuelle et le marégraphe

Trace Tide gauge	Trace 22 Port Sonara	Trace 33 Sao-Tome	Trace 250	Trace 224 Takoradi	Trace 174 Dakar	Trace 185 Pointe
Common period	2008-2011	2004-2010	2007-2020	2007-2012	1996-2021	2009-2014
Correlation	0.76	0.58	0.71	0.60	0.780	0.781
RMSE (cm)	5.6	5.8	8.3	6.0	5.8	5.6

Corrélation : 0.5 < r < 0.8

RMSE: 5.5 cm < RMSE < 8.5 cm



RÉSULTATS 4/8

Validation: Constantes de marée après analyse harmonique

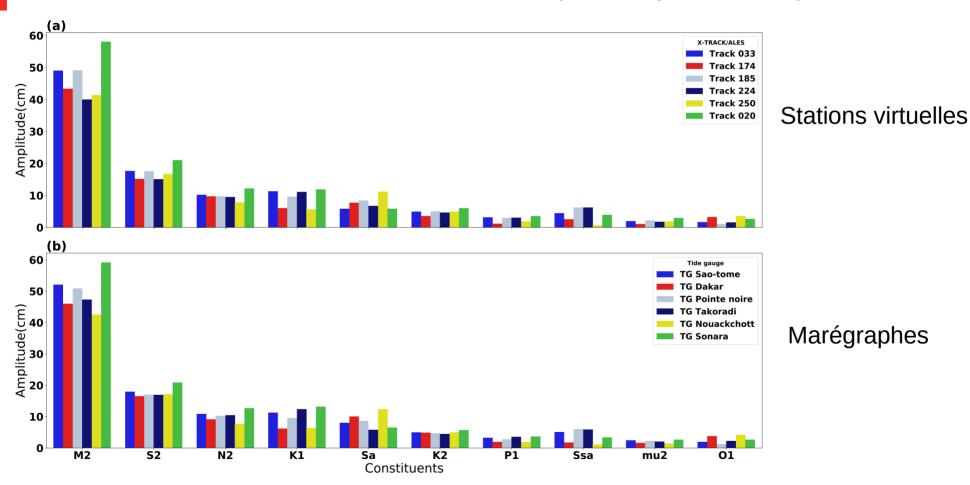
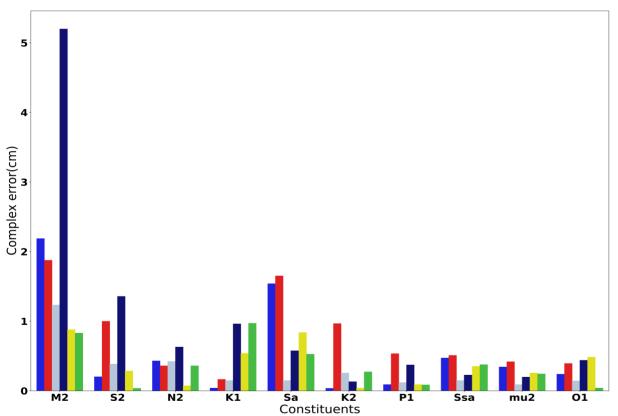


Figure 11 :(a) Amplitude (cm) des constantes de marée calculées aux stations virtuelles, (b) Amplitude (cm) des constantes de marée calculées aux marégraphe

RÉSULTATS 5/8

Validation: Constantes de marée après analyse harmonique



1-12	32		K.	Constitue	ents	 334	maz	01
Figure 12 : E	Erreurs c	omplexes	` ,	ntre les d es des ma		arée de	s stations	s virtuelles

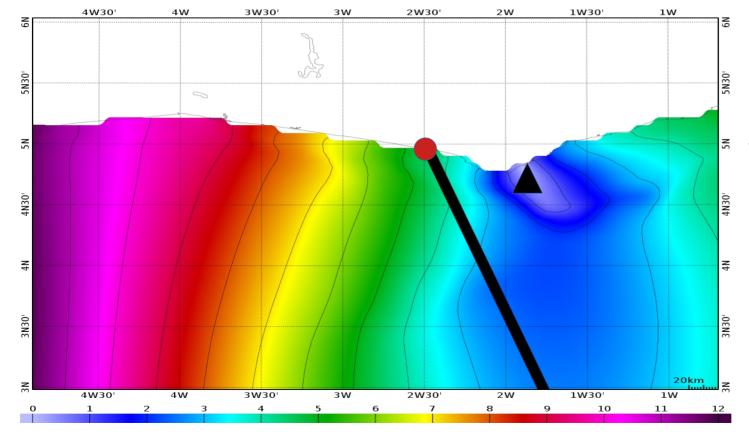
Marégraphe	Trace station virtuelle	Distance au marégraphe (km)
Port Sonara	020	16.40
Sao-tome	033	24.66
Takoradi	224	78.29
Pointe-noire	185	177.41
Dakar	174	7.28
Nouakchott	250	44.15

Erreur des stations virtuelles ou différence géophysique due à la non colocalisation des données?

RÉSULTATS 6/8

Validation: Constantes de marée après analyse harmonique

Analyse de l'onde M2 dans le modèle FES2014: Carte de différence complexe (cm) marégraphe de Takoradi



Cas de M2 : Différence ~5cm entre marégraphe et station virtuelle expliquée par la structure locale de la marée

Figure 13 : Carte de différence de complexe de l'onde M2 à Takoradi

RÉSULTATS 7/8

Reconstruction de la marée à partir des ondes de marée (49 ondes)

Station virtuelle vs station marégraphique et différence – cas de Dakar

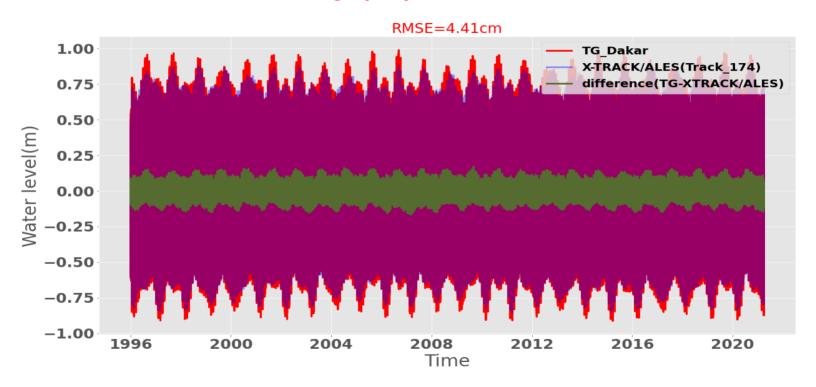


Figure 14: Signal de marée



RÉSULTATS 8/8

Reconstruction de la marée à partir des ondes de marée (49 ondes)

• Différence entre les signaux de marée du marégraphe et de la station virtuelle

Tab 5: RMS des hauteurs d'eau de marée des stations marégraphiques et RMSE entre les séries de hauteur d'eau de marée des stations virtuelles et marégraphiques

Tide gauge	Port Sonara	Sao-tome	Dakar	Pointe-Noire	Takoradi	Nouakchott
Virtual station	Trace 20	Trace 033	Trace 174	Trace 185	Trace 224	Trace 250
RMS TG (cm)	137.56	187.00	112.17	122.92	111.03	112.97
RMSE (cm) (VS/TG)	3.21 (2.3%)	3.80 (2%)	4.41 (4%)	4.00 (3.25%)	6.86 (6.2%)	3.98 (3.5%)

Une différence faible par rapport à l'amplitude de marée du marégraphe:

Maximum de 6.2% à Takoradi où une partie des différences est expliquée par la physique de la marée



Conclusion et perpectives 1/2

1. Les données altimétriques peuvent t'elles être utilisées en complémentarité des données marégraphiques pour des applications côtières?

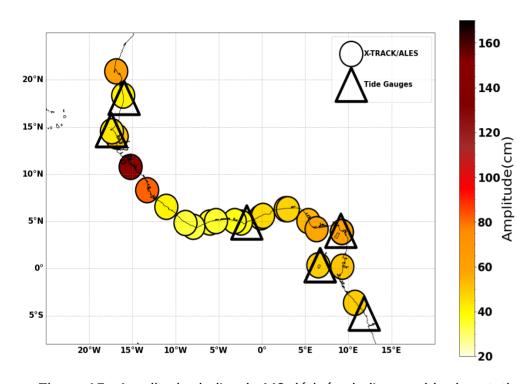
- ✓ En terme de reproduction des hauteurs d'eau de marée on a une différence ≤ 6,64 cm soit en moyenne 3,5 % du signal total ;
- Erreur complexe faible entre les constantes des stations virtuelles et des marégraphes ;
- Une partie de cette différence est due à la non colocalisation des données et non aux erreurs.

2. Y a-t-il un moyen de contourner la difficulté d'utilisation des produits altimétriques côtiers actuels ?

 Concept des stations virtuelles: séries temporelles de hauteur d'eau et informations dérivées à des points de mesure altimétriques proches de la côte.



Conclusion et perspectives 2/2



• Les données altimétriques quasi-globales: intérêt des marégraphes virtuels dans les zones faiblement instrumentalisées ;

- Possibilité d'améliorer les résultats obtenus en redéfinissant l'édition des données de SLA altimétriques à l'origine;
- Quantification des erreurs possible en trouvant des marégraphes colocalisés à des données altimétriques;
- → Étude à élargir à d'autres zones avec plus de marégraphes disponibles
- Extension à d'autres missions altimétriques: plus de stations virtuelles

Figure 15 : Amplitude de l'onde M2 dérivée de l'ensemble des stations virtuelles sur la zone d'étude. Les marégraphes disponibles sont indiquées par des triangles noirs.

















Journées REFMAR.shom.fr Réseaux marégraphiques français

Merci pour votre aimable attention



DONNÉES ET MÉTHODES 4/6

Définition des stations virtuelles et validation

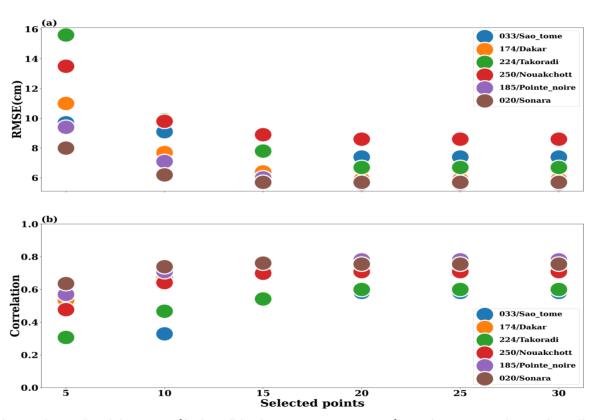


Figure 8:RMSE (a) et corrélation (b) obtenues entre marégraphes et stations virtuelles pour chaque nombre de points considéré dans la définition des stations virtuelles

