

Apports de l'imagerie spatiale pour l'étude du trait de côte dans les territoires d'Outre-Mer insulaires tropicaux français

Encadré par Martins Kévin

Résumé :

Cette étude examine le potentiel de l'imagerie spatiale pour étudier l'évolution du trait de côtes. En utilisant des données historiques à différentes échelles, nous pouvons suivre les changements auxquels les régions côtières sont confrontées. Nous utilisons l'outil open-source Coastsat, développé pour traiter les images Landsat et Sentinel, en nous concentrant spécifiquement sur les images Sentinel-2 pour cette étude. Le site d'étude choisi est un récif frangeant situé à l'Ouest de l'Île de la Réunion et dont le haut de plage est suivi dans le cadre du Service National d'Observation (SNO) DYNALIT. Étant exposé à la houle et aux marées, il est important de ne pas les négliger car elles influent sur la position de la ligne d'eau. La prise en compte des différentes contributions aux niveaux d'eau (marée, surcote atmosphérique et setup dû aux vagues) permet ensuite de transformer la ligne d'eau extraite en position de trait de côte. Les résultats révèlent des variations significatives du trait de côte qui ne peuvent pas être expliquées par le forçage hydrodynamique.

Table des matières

1. Introduction :	1
a. Contexte global de l'étude :	1
b. Zone d'étude :	1
2. Matériels et méthodes :	2
a. Coastsat :	2
b. Profils topographiques :	4
c. Marée :	4
d. Setup dû aux vagues :	5
3. Résultats :	6
a. Détection de la position de la ligne d'eau :	6
b. Correction de marée et de setup :	7
c. Position de la ligne d'eau après correction :	9
4. Discussion :	10
5. Conclusion :	11
Bibliographie :	11
Annexes :	13

Figure 1 : Localisation de l'île de La Réunion dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, la zone étudiée est indiquée par le carré rouge, la station météorologique de MétéoFrance Pointe des Galets est indiquée par le point orange. Image : Google Earth.....	2
Figure 2 : Position des profils topographiques effectués entre 2012 et 2020 sur la portion de littoral Ermitage-Trou d'eau dans le cadre du SNO DYNALIT. Image : Google Earth.....	4
Figure 3 : Données de marée.	5
Figure 4 : A) Lignes d'eau cartographié avec les transects tracé. B) Comparaison entre la position de la ligne d'eau mesuré et la position non corrigée de la ligne d'eau détectée par image satellite.....	7
Figure 5 : A) Relation linéaire entre Hs et le setup mesuré in situ. Comparaison entre le setup mesuré et le setup estimé via la relation linéaire du graphique A et le forçage MARC.	8
Figure 6 : Données de setup estimé à partir du modèle MARC (Ifremer) superposé avec les données du marégraphe.	8
Figure 7 : A) Résultat pour le transect VVF. B) Résultat pour le transect Copacabana. En orange nous avons la position de la ligne d'eau mesuré (in situ), en bleu nous avons la position de la ligne d'eau non corrigée et en rouge nous avons la position du trait de côte obtenu après correction.	9

Tableau 1 : Caractéristiques des missions.	3
-------------------------------------------------	---

1. Introduction :

a. Contexte global de l'étude :

Les régions côtières sont les zones les plus urbanisées du monde (Small and Nicholls, 2003) et sont considérées comme une ressource essentielle en raison de leur importance récréative, environnementale et économique. Ces côtes sont affectées par les variations du niveau moyen de la mer, les vagues, les tempêtes et l'écoulement des rivières (Ranasinghe, 2016).

Récemment, ces facteurs se sont intensifiés, ce qui suggère que les zones côtières seront exposées à des aléas croissants dans les décennies à venir (Li *et al.*, 2018). L'observation de ces zones est essentielle pour quantifier les tendances à long terme, afin de concevoir des mesures durables et efficaces de gestion et protection côtière dans un contexte de changement climatique (Council, 1990).

Le trait de côte peut être défini comme l'interface dynamique entre l'océan et la terre, caractérisée par l'intersection du profil côtier avec une référence d'élévation, comme le niveau moyen de la mer (Dolan *et al.*, 1980). Nous pouvons aussi définir la ligne d'eau, qui se base sur l'interface eau/sable instantanée. L'observation peut se faire par des relevés in situ sur les plages, permettant de fournir des données précises (au centimètres près en topographie et en position horizontal de trait de côte allant de la dizaine de centimètre voire du mètre), mais souvent limités en termes d'étendue spatiale et de résolution temporelle, car ils dépendent des opérateurs humains. Les systèmes d'observation vidéo (Holland *et al.*, 1997) peuvent être une alternative. Ils fournissent des données continues à un coût raisonnable, couvrant un large éventail temporel et spatial. Le point négatif des caméras fixes est qu'elles nécessitent un point de vue et une alimentation énergétique élevée et qu'elles ne peuvent pas fonctionner dans les zones où l'infrastructure n'est pas disponible (e.g., Wijnberg and Terwindt, 1995; Lacey and Peck, 1998; Kuriyama, 2002; Rózyński, 2005; Van de Lageweg *et al.*, 2013; Pianca, Holman and Siegle, 2015; Turner *et al.*, 2016). De plus, seul un nombre limité de sites dans le monde ont été régulièrement surveillés au cours des trois dernières décennies à l'aide de relevés in situ ou de caméras fixes. L'imagerie optique par satellite fournit une source potentiellement riche d'ensembles de données historiques (e.g. jusqu'en 2016 pour Sentinel-2 et jusque dans les années 80 pour Landsat) à long terme sur le littoral à des échelles spatiales allant des études localisées aux applications globales (Vos *et al.*, 2019).

L'objectif de ce stage est d'étudier le potentiel de l'imagerie spatiale pour extraire et analyser l'évolution du trait de côte à différentes échelles spatio-temporelles dans le contexte Outre-Mer. Pour cela, nous avons utilisé l'outil CoastSat (Vos *et al.*, 2019) afin d'étudier la dynamique du trait de côte sur le site de l'Ermitage à l'île de la Réunion. Ce site a été choisi car il est suivi dans le cadre du Service National d'Observation DYNALIT. Nous analyserons d'abord les différentes contributions affectant la hauteur du plan, celle-ci affectant directement l'estimation de la position du trait de côte. Nous discuterons ensuite de la variabilité qu'entraînera cette estimation.

b. Zone d'étude :

L'île de la Réunion est une île volcanique située dans la partie ouest de l'océan Indien. Notre zone d'étude, l'Ermitage, se trouve à l'ouest de l'île de la Réunion ([figure 1](#)). Le récif frangeant de La Saline est situé sur la côte ouest de l'île de la Réunion, sous le vent des vents dominants, et

est exposé de manière saisonnière aux événements de houle australe hivernale (avril à octobre) et, dans une moindre mesure, à la houle océanique générée par les cyclones tropicaux pendant l'été austral (novembre à mars), qui affectent généralement les côtes nord de l'île. Les marées autour de la Réunion sont mixtes, principalement semi-diurnes, avec un marnage moyen (MTR) de 0,37 m (Cordier, Lézé and Join, 2013). Le récif frangeant, long de 8 km et de forme convexe, se rétrécit dans sa partie nord. Il mesure environ 500 m de large et est adossé à une plage de sable d'environ 30 m de large avec une pente de 1:10. De la plage au platier récifal, l'arrière-récif, d'environ 200 m de large, a une profondeur d'eau moyenne d'environ 1 m et est essentiellement constitué de sables biodétritiques occupés par des colonies de coraux dispersées (Bruch *et al.*, 2022). Le platier récifal a une profondeur d'eau d'environ 0,5 m et peut parfois être exposé à marée basse. Au-delà du platier récifal, la pente du récif, avec une pente proche de 1:15, a une topographie faite de têtes de corail individuelles, de rochers et d'éperons qui atteignent 20 m de profondeur. La crête du récif, à 0,3 m de profondeur sous le niveau moyen de la mer, marque la transition entre la pente du récif et le platier récifal, et c'est là que les vagues incidentes océaniques se brisent (Bruch *et al.*, 2022).

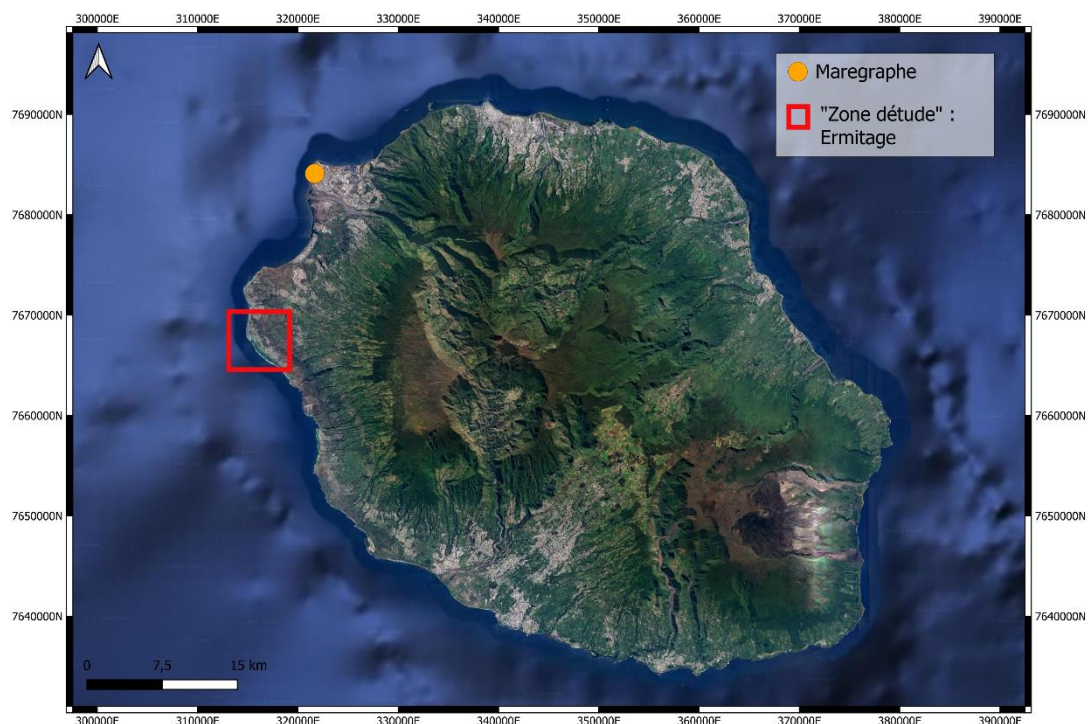


Figure 1 : Localisation de l'île de La Réunion dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, la zone étudiée est indiquée par le carré rouge, la station météorologique de MétéoFrance Pointe des Galets est indiquée par le point orange. Image : Google Earth.

2. Matériels et méthodes :

a. Coastsat :

CoastSat est un outil open-source, écrit en Python, qui permet d'obtenir une série temporelle de la position de la ligne d'eau grâce à des images satellites publiques. Différents satellites fournissent ces images, et leurs spécificités sont décrites dans le [tableau 1](#). Nous avons décidé d'utiliser les images de Sentinel-2 car c'est la mission qui offre les images les

plus précises dans le domaine public avec une période de revisite plus courte que les autres missions. Il y a 4 étapes :

- (i) Récupération des images satellite disponible via GEE (Google Earth Engine)
- (ii) Pré-traitement des images : masquage des nuages, pan-sharpening et down-sampling
- (iii) Extraction de la ligne d'eau à une résolution sous pixel
- (iv) Série temporelle de la position de la ligne le long de transect

Après avoir acquis les images via GEE, nous définissons des paramètres permettant de pré-traiter les images. Nous fixons un seuil de nuage dans l'image à 1%. Le pan-sharpening, une technique consistant à fusionner une image multispectrale en couleurs à basse résolution avec une image panchromatique à haute résolution, est appliqué aux images Landsat 7 et 8, mais pas pour Sentinel-2.

Pour l'extraction de la ligne d'eau, l'information de chaque pixel de l'image est classifiée à l'aide d'un classificateur de réseau neuronal, qui divise l'image en quatre classes : sable, eau, écume et autres/terre. Ce classificateur est pré-entraîné avec un ensemble de 5000 pixels pour chaque classe, numérisés manuellement à partir de 50 images satellites couvrant cinq sites différents (Vos, Splinter, et al., 2019). Nous déterminons des transects le long des lignes d'eau extraites, choisis en fonction des mesures effectuées in situ, afin de pouvoir comparer leurs séries temporelles par la suite. Ensuite, la limite sable/eau est extraite en utilisant le MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), qui est un indice spectral utilisé principalement pour identifier les étendues d'eau. Un seuil d'Otsu est appliqué sur ce MNDWI pour déterminer la valeur qui maximise la variance entre la distribution du sable et celle de l'eau, c'est-à-dire la séparation entre ces deux classes. La dernière étape permet d'obtenir une série temporelle de la position de la ligne d'eau le long des transects.

Enfin une série temporelle de la position de la ligne d'eau est obtenue. Il est essentiel d'appliquer une correction aux séries temporelles, afin d'éliminer les changements apparents du rivage causée par les fluctuations du niveau d'eau entre toutes les images. La correction des niveaux d'eau a plusieurs niveaux de complexité comme la marée et l'effet des vagues, le traitement classique s'effectue avec des précisions de marée type FES2014 et tout autre contribution comme le setup dû aux vagues est empirique. Dans cet environnement de récif frangeant, nous verrons que l'effet des vagues peut avoir une contribution de même ordre de grandeur que la marée, et qu'il est donc important de la prendre en compte.

Satellite	Couverture temporelle	Période de revisite	Résolution
Landsat 5	1984-2013	16 jours	30 m pour les bandes R, G, B, NIR, SWIR1
Landsat 7	1999-present	16 jours	30 m pour les bandes R, G, B, NIR, SWIR1 + 15 m pour la bande panchromatique
Landsat 8	2013-present	16 jours	30 m pour les bandes R, G, B, NIR, SWIR1 + 15 m pour la bande panchromatique
Sentinel-2	2015-present	5 jours	10 m pour les bandes R, G, B, NIR + 20 pour la bande SWIR1

Tableau 1 : Caractéristiques des missions.

b. Profils topographiques :

Nous avons pu récupérer des données de profils topographiques effectués par GPS-RTK dans le cadre du SNO DYNALIT sur le site de GeoSur. Les données sont disponibles de 2012 à 2020, elles ont été acquises par deux récepteurs Topcon Hiper II (base et mobile). Les neuf transects le long de cette portion sont suivis régulièrement : deux profils sont effectués par an, un avant la saison cyclonique et un avant l'hiver austral. Les différents profils sont présentés dans la [figure 2](#). Nous avons sélectionné 3 transects pour l'analyse ultérieure : VVF, MNS et Copacabana. Il y a davantage de variations des forçages sur ces trois transects, et la configuration au MNS est plus complexe en raison de la passe et de l'embouchure de la rivière de l'Ermitage. Grâce à ces profils, nous avons pu confirmer la valeur de la pente de la plage donné par la littérature, en obtenant une moyenne de 0.1.



Figure 2 : Position des profils topographiques effectués entre 2012 et 2020 sur la portion de littoral Ermitage-Trou d'eau dans le cadre du SNO DYNALIT. Image : Google Earth.

c. Marée :

Nous avons pu obtenir les données de marée grâce au marégraphe à la Pointe des Galets et faisant partie du RONIM (Réseau d'Observation du Niveau de la Mer) ([figure 1](#)). Ce marégraphe est géré par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) en partenariat avec Météo-France et la Direction de la mer Sud Océan Indien. Le marégraphe est placé dans le port de plaisance de la Pointe des Galets, à environ 18 km de notre site d'étude. Des données de marée sont disponibles depuis 1976 ([10.17183/REFMAR#110](#)). Comme dit dans l'introduction le marnage est principalement semi-diurne. Nous pouvons voir grâce à la [figure 3](#), des niveaux

d'eau maximales qui varient entre 1 m et 1.2 m, sauf pour deux événements particuliers qui ont causés un niveau d'eau de 1.38 m en février 2022 et une surcote de 1.33 en janvier 2024.

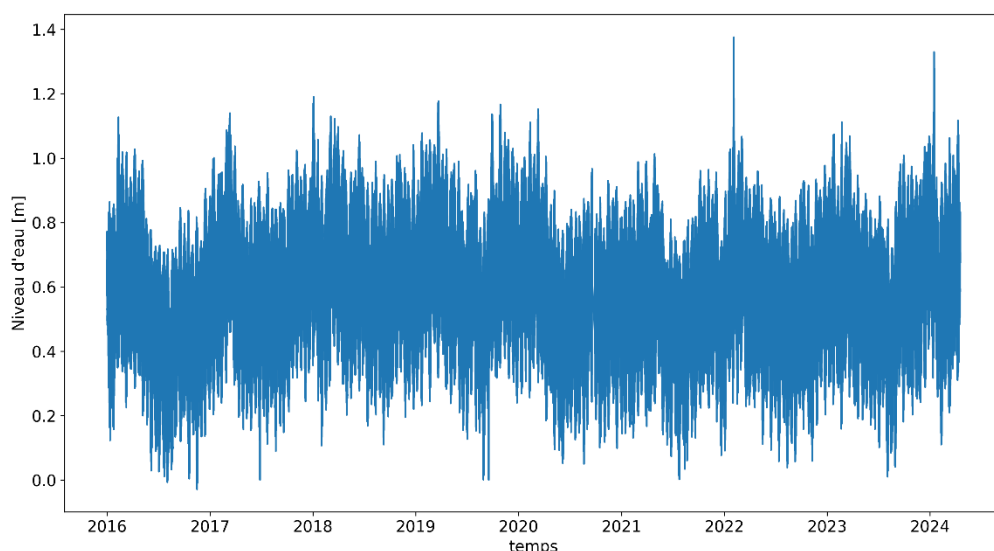


Figure 3 : Données de marée.

d. Setup dû aux vagues :

Le setup est une augmentation du niveau moyen de la mer temporaire, causée par le déferlement continu des vagues. Nous retrouvons l'information de setup grâce à des mesures de pression au fond, qui permettent de mesurer à la fois les hauteurs d'eau et les propriétés des vagues. Les mesures sont faites au niveau de la pente du récif et du platier. Les données sont disponibles pour la pente du récif de décembre 2021 à septembre 2022 et pour le platier de mai 2022 à juillet 2022. Pour calculer le setup, il nous faut faire une différence entre deux niveaux d'eau, ici nous ferons l'hypothèse que nous pouvons calculer le setup avec les hauteurs significatives des vagues, dû à l'effet du récif. Le calcul du setup est réalisé grâce à cette formule :

$$S_{setup} = Z_{B,RS} - Z_{B,RF} + h_{RS} - h_{RF} \quad (1)$$

$Z_{B,RS}$ est la profondeur du fond au niveau de la pente du récif, qui va être caractérisé par la hauteur d'eau par rapport au niveau moyen de la mer au niveau de la pente. $Z_{B,RF}$ est la profondeur du fond au niveau du platier, qui va être caractérisé par la hauteur d'eau par rapport au niveau moyen de la mer au niveau du platier. h_{RS} est la hauteur d'eau au-dessus du dispositif placé sur la pente du récif. h_{RF} est la hauteur d'eau au-dessus du dispositif placé sur le platier.

Toutefois, il faut ajouter à cette équation un élément correctif, pour compenser sur l'incertitude inhérente à la position verticale des capteurs. Ce correctif est déterminé grâce à une relation potentiellement linéaire entre le setup et H_s , nous donnant une équation de la forme : $aX + b$, où b est l'élément correctif, X est H_s auquel nous multiplions une constante a . Chercher ce correctif revient à chercher $H_s=0$ car lorsqu'il n'y a pas de vague, il n'y a pas de setup. Étant

donné que les données fournies par les capteurs sont limitées dans le temps, nous nous appuyons sur le modèle MARC (Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière) de l'Ifremer ([MARC - Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière \(ifremer.fr\)](https://ifremer.fr)), qui dispose des données de 2011 à 2024. À partir de ce modèle, nous pouvons extraire les valeurs de Hs (Hauteur significative) et estimer le setup en utilisant l'équation linéaire trouvée précédemment, où a est une constante et X les valeurs de Hs du modèle. Le setup calculé à partir du modèle est additionné à la marée. Afin d'appliquer une correction, nous utilisons un outil de CoastSat qui recherche temporellement les points les plus proches des données du niveau d'eau local. La correction est ensuite appliquée avec la formule suivante :

$$\Delta x = \frac{Z_{ref} - Z_{wl}}{m} \quad (2)$$

Δx est le déplacement horizontal cross-shore le long des transects normaux à la ligne d'eau. Z_{ref} est le niveau d'eau de référence, nous prenons ici un niveau de référence de 0.6 m, qui correspond au niveau moyen de la mer au-dessus du zéro hydrographique (Référence Altimétriques Maritimes Ports de France métropolitaine et d'outre-mer). Z_{wl} est le niveau d'eau local (marée + setup). m est la pente moyenne de la plage.

3. Résultats :

a. Détection de la position de la ligne d'eau :

Sur la [figure 4A](#), nous pouvons voir les différentes lignes d'eau cartographiées à l'aide de l'outil CoastSat. Nos trois transects sont assez bien répartis sur la zone étudiée et dans l'ensemble les paramètres choisis semblent permettre une extraction robuste tout le long de la section de littoral analysé, avec seulement quelques artefacts sur la partie Sud. Sur la [figure 4B](#), nous pouvons voir la position de la ligne d'eau détectée grâce aux images satellites et la position de la ligne d'eau mesuré. Nous prenons comme référence la médiane, c'est-à-dire que nous calculons la distance entre la ligne d'eau et chaque point d'un transect, puis nous déterminons la médiane de ces valeurs, qui sera notre zéro ici. Nous soustrayons ensuite les valeurs de distance perpendiculaire au trait de côte à la valeur médiane. Nous faisons cela car cela facilite l'interprétation des résultats en termes d'érosion et d'accrétion : les valeurs positives correspondent à une accrétion et les valeurs négatives à une érosion. Nous utiliserons toujours cette convention pour les autres graphiques. Nous observons l'évolution de la position de la ligne d'eau au fil du temps, obtenue à partir des mesures effectuées in situ, nous remarquons que la position de la ligne varie très peu, les changements les plus significatifs étant de l'ordre de 2 mètres. Tandis que pour la position détectée grâce aux images, nous pouvons voir des grandes variations qui décrivent une saisonnalité sur les transects MNS et Copacabana, avec un recul pendant l'hiver austral et de l'accrétion pendant l'été. La saisonnalité au MNS peut s'expliquer par deux processus :

- Un flux sédimentaire apporté par la Ravine de l'Ermitage, la rivière n'étant pas pérenne, un flux important de sédiment sera apporté lors de la période des pluies.
- Une variation de l'apport par dérive littoral de matériau sableux au niveau de la passe

Une saisonnalité est aussi visible au transect Copacabana, qui est bien moins marquée que pour le transect MNS. Cependant, nous voyons des changements brutaux de 25 à 30 m d'une

image à l'autre, qui peuvent être dus soit à des périodes tempétueuses, soit à une mauvaise détection de la ligne d'eau.

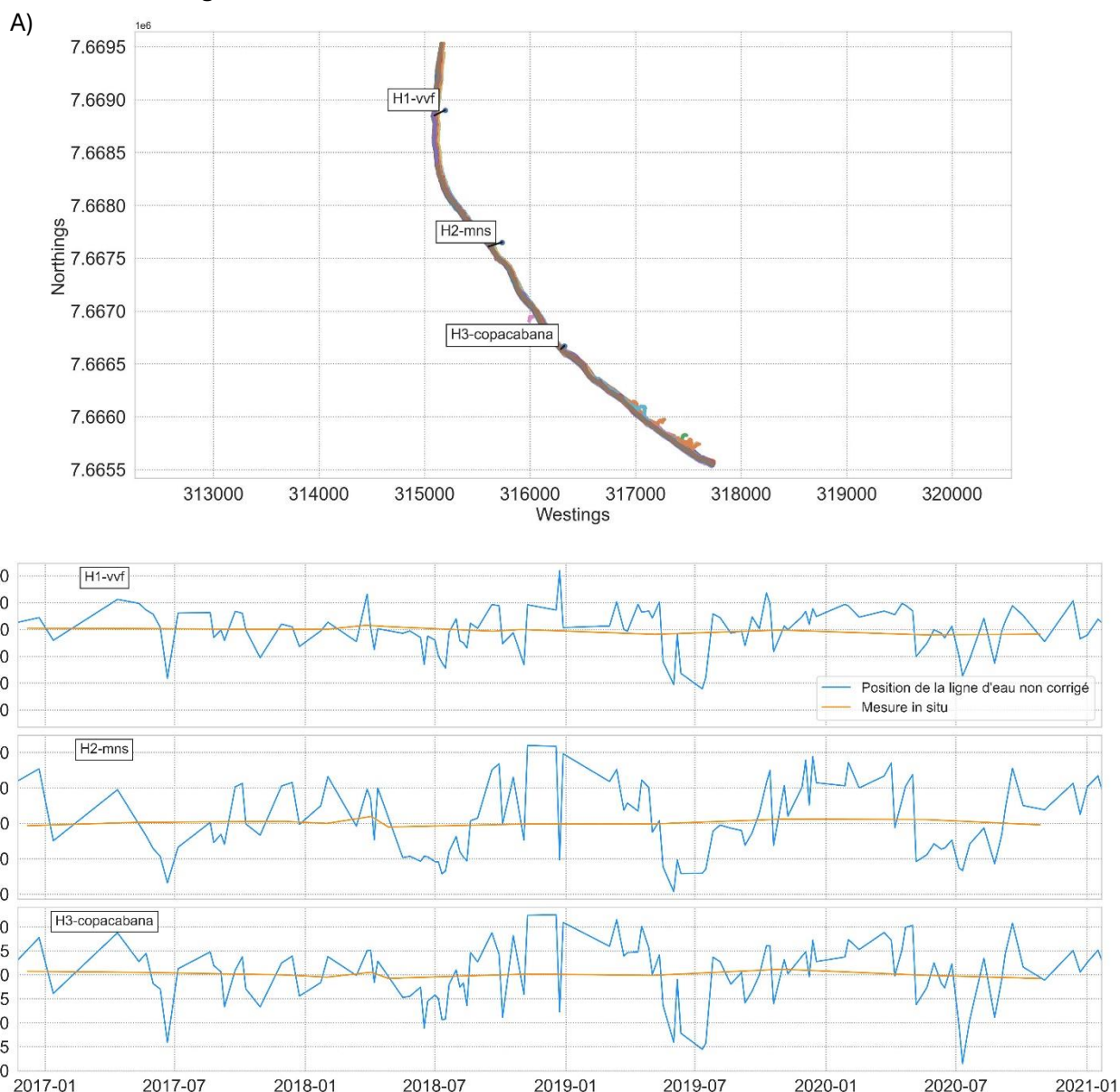


Figure 4 : A) Lignes d'eau cartographié avec les transects tracé. B) Comparaison entre la position de la ligne d'eau mesuré et la position non corrigée de la ligne d'eau détectée par image satellite

b. Correction de marée et de setup :

Sur la [figure 5A](#), nous constatons que la relation linéaire entre le Hs mesuré et le setup fonctionne plutôt bien, cela est dû à l'effet filtrant de la crête récifale. Grâce à cette relation, nous obtenons l'équation suivante : $Y = 0.19 * X + 0.36$. L'élément correctif est 0.36 m et nous calculons le setup à partir des données du modèle en multipliant Hs par 0.19, en comparaison pour les plages sableuses Hs est plutôt multiplié par 0.1, ici l'effet du récif est majeur dans ce processus. Nous cherchons à tester la capacité de prédiction de setup à partir : du forçage MARC pour Hs et de la relation linéaire trouvée à travers les données in situ. La comparaison de ces prédictions ([figure 5B](#)) montre que la prédiction du setup est sous-estimée lors

d'événements de houle très énergétique ($H_s > 4\text{m}$), comme ici ce produisant pendant l'hiver australe. Cette sous-estimation est due au fait que le modèle a du mal à prédire les H_s de tels événements ([Annexe 1](#)). Nous obtenons une MAE (Erreur Absolue Moyenne) qui est une mesure de la précision moyenne. Cette MAE est de 0.052 avec un intervalle de confiance à 95% de [0.049, 0.055]. Avec ce résultat, nous constatons que notre estimation est en moyenne très proche des valeurs mesurées et que nous pouvons nous fier à cette estimation pour la correction. Sur la [figure 6](#), nous pouvons observer l'évolution temporelle des données de marée et du setup. Nous remarquons que les deux sont du même ordre de grandeur, ce qui confirme l'importance de prendre en compte le setup dans cet environnement récifal.

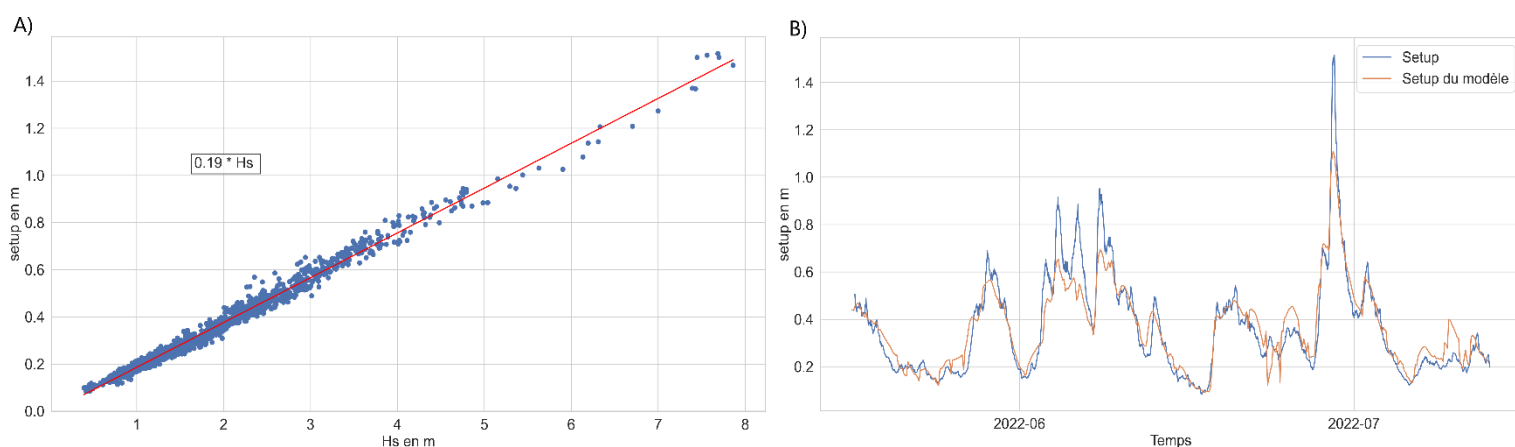


Figure 5 : A) Relation linéaire entre H_s et le setup mesuré in situ. Comparaison entre le setup mesuré et le setup estimé via la relation linéaire du graphique A et le forçage MARC.

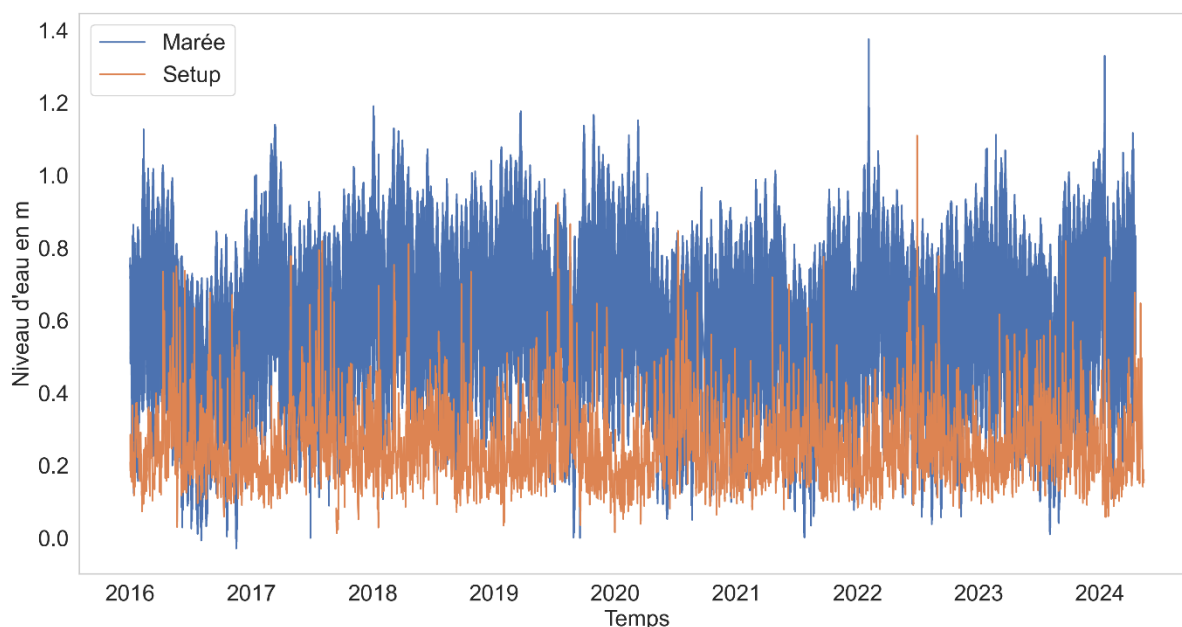


Figure 6 : Données de setup estimé à partir du modèle MARC (Ifremer) superposé avec les données du marégraphe.

c. Position de la ligne d'eau après correction :

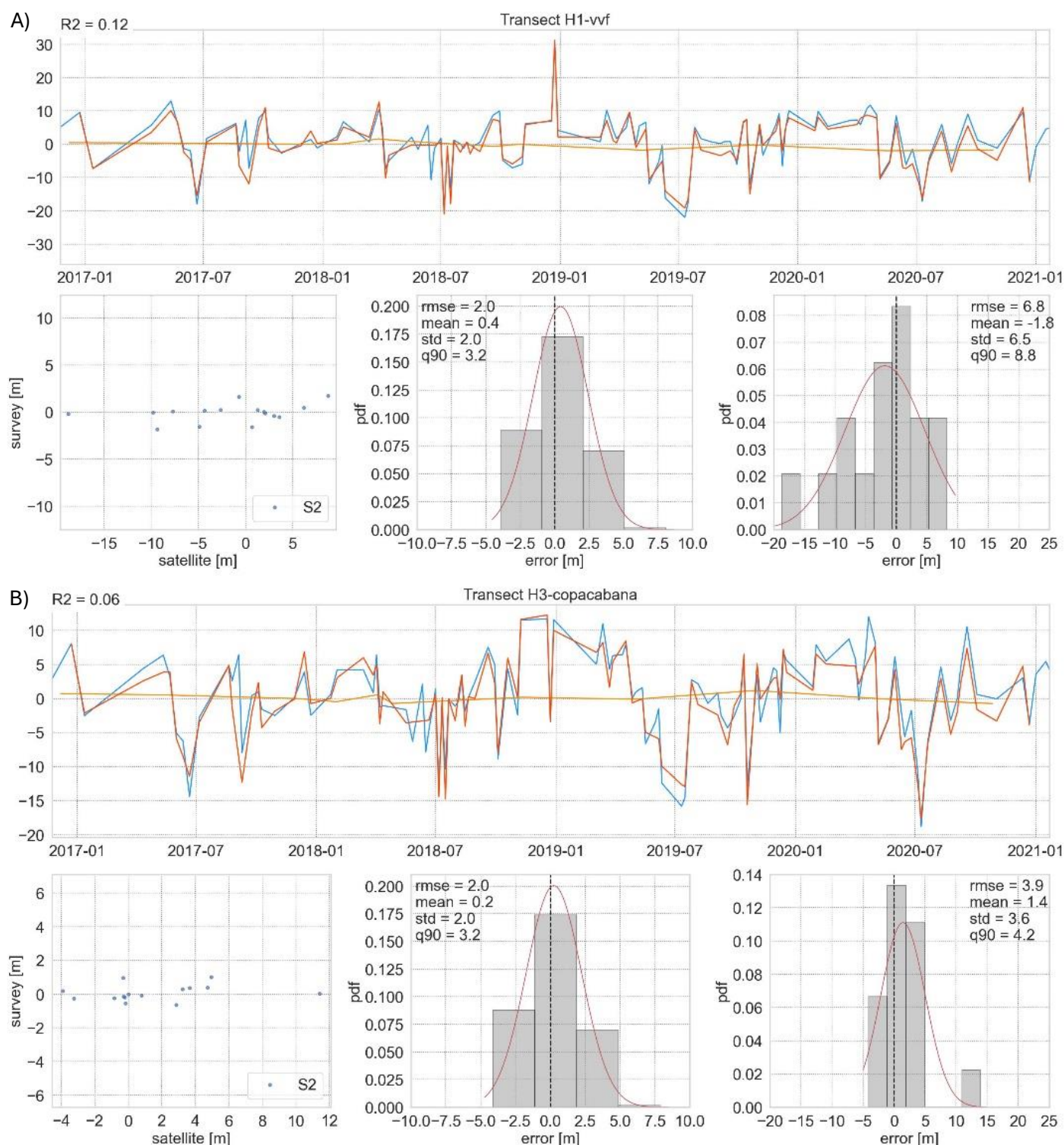


Figure 7 : A) Résultat pour le transect VVF. B) Résultat pour le transect Copacabana. En orange nous avons la position de la ligne d'eau mesuré (in situ), en bleu nous avons la position de la ligne d'eau non corrigée et en rouge nous avons la position du trait de côte obtenu après correction.

Nous pouvons observer sur le transect de Copacabana ([figure 7B](#)) qu'il y a en moyenne un apport notable de la correction, confirmé par un RMSE (erreur quadratique moyenne) de 4.1 m divisée par environ 2. Cependant, l'impact de la correction sur les deux autres transects est beaucoup moins significatif, ce qui suggère que la correction liée aux variations du niveau d'eau seule ne suffit pas à expliquer ces variations. Pour expliquer une avancée ou un recul de 20 m du trait de côte, il faudrait une variation de 2 m du niveau de l'eau avec une pente de 0.1, soit un total de 4 m de variation entre les avancées et les reculs. Ces importantes variations ne peuvent être expliquées uniquement par la marée et le setup, comme en témoigne le RMSE de 2 m pour chaque transect, indiquant que la correction de la position de la ligne d'eau apporte peu d'amélioration.

Sur chaque transect, nous observons un léger biais : sur le transect de Copacabana, il y a un biais positif (une surestimation de la position) de 1.4 m, tandis que sur les transects MNS ([Annexe 2](#)) et VVF, il y a un biais négatif (une sous-estimation de la position) respectivement de -0.6 m et -1.8 m. Nous constatons également une grande dispersion des erreurs pour les transects MNS ([Annexe 2](#)) et VVF. Les trois transects présentent un faible coefficient de détermination (R^2) : 0.12 pour VVF, 0.03 pour MNS et 0.06 pour Copacabana. Cela indique qu'à l'échelle saisonnière, il y a peu de concordance entre les données obtenues par image satellite et les observations in situ, mais sur le long terme, les tendances des deux courbes sont proches.

4. Discussion :

Les résultats que nous obtenons révèlent que les grandes variations observées (grand recul en hiver et grande avancée en été) dans la position détectée par l'imagerie satellite, mais absentes dans la position mesurée in situ, sont causées par d'autres facteurs que des forçages hydrodynamiques contrôlant le plan d'eau. Cela peut être attribué à plusieurs éléments :

- Erreur environnementales (ombrages, nuages)
- Erreur de traitement/positionnement (coregistration)

Tous ces facteurs entraînent un biais dans la détection de la ligne d'eau, aggravé par la relative étroitesse de la plage, rendant la détection encore plus difficile. Une solution potentielle serait de réentraîner le classificateur sur les images de l'Ermitage, ce qui pourrait réduire les erreurs de détection. Quant aux images décalées, cela pourrait résulter d'une erreur affectant la géolocalisation des images. Tous ces éléments peuvent être à l'origine des importantes variations observées sur chaque transect.

Une technique pour atténuer ces variations consisterait à effectuer une moyenne sur le longshore. Nous avons expérimenté cette méthode, ce qui a considérablement atténué les variations saisonnières observées au MNS et au Copacabana, mais a eu peu d'effet sur le VVF. Si la saisonnalité observée au MNS peut s'expliquer par la présence de la passe, celle observée au Copacabana est plus complexe. Plus en amont, nous trouvons une rivière (la Ravine de la Saline) qui est interrompue par des constructions. Lors de périodes de fortes pluies, l'eau bloquée doit trouver un chemin vers la mer, ce qui pourrait expliquer la saisonnalité moins

prononcée au Copacabana. La dérive littorale peut jouer un rôle sur cette saisonnalité, due à la variation de l'énergie des vagues, qui est plus forte en hiver et plus faible en été.

5. Conclusion :

Cette étude a exploré les capacités de l'imagerie satellitaire pour détecter la position de la ligne d'eau sur le site de l'Ermitage à l'île de la Réunion. En utilisant l'outil CoastSat et les images satellites Sentinel-2, nous avons pu extraire une série temporelle de la position de la ligne d'eau, grâce à la haute précision et à la courte période de revisite de ces images.

Cependant, cette méthode présente plusieurs défis. Les importantes variations observées dans la position du trait de côte ne sont pas entièrement expliquées par les forçages hydrodynamiques tels que la marée et le setup dû aux vagues. Ces variations peuvent être attribuées à des erreurs environnementales et à des erreurs de traitement et de positionnement. De plus, la plage étroite de l'Ermitage complique la détection, ce qui constitue une source potentielle d'erreur. Une prochaine étape consistera à déterminer si ce bruit peut être corrigé.

Malgré ces défis, la méthode permet d'obtenir une position avec une précision approchant le sous-pixel. À l'exception des transects présentant une saisonnalité marquée, la position déterminée par les images satellites suit en moyenne la tendance des mesures in situ.

Ces résultats suggèrent que, bien que des améliorations soient nécessaires pour certaines conditions spécifiques, l'imagerie spatiale est une technique prometteuse pour le suivi et l'analyse des traits de côte à grande échelle et sur de longues périodes.

Bibliographie :

Bruch, W. *et al.* (2022) 'Water Level Modulation of Wave Transformation, Setup and Runup Over La Saline Fringing Reef', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(7). Available at: <https://doi.org/10.1029/2022JC018570>.

Cordier, E., Lézé, J. and Join, J.-L. (2013) 'Natural tidal processes modified by the existence of fringing reef on La Reunion Island (Western Indian Ocean): Impact on the relative sea level variations', *Continental Shelf Research*, 55, pp. 119–128. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.01.016>.

Council, N.R. (1990) *Managing Coastal Erosion*. Washington, DC: The National Academies Press. Available at: <https://doi.org/10.17226/1446>.

Dolan, R. *et al.* (1980) 'RELIABILITY OF SHORELINE CHANGE MEASUREMENTS FROM AERIAL PHOTOGRAPHS.', *Shore and Beach*, 48(4), pp. 22–29.

Holland, K.T. *et al.* (1997) 'Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies', *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 22(1), pp. 81–91. Available at: <https://doi.org/10.1109/48.557542>.

Kuriyama, Y. (2002) 'Medium-term bar behavior and associated sediment transport at Hasaki, Japan', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 107(9), pp. 15–1. Available at: <https://doi.org/10.1029/2001jc000899>.

Lacey, E.M. and Peck, J.A. (1998) 'Long-term beach profile variations along the south shore of Rhode Island, U.S.A.', *Journal of Coastal Research*, 14(4), pp. 1255–1264.

- Li, N. *et al.* (2018) 'Probabilistic mapping of storm-induced coastal inundation for climate change adaptation', *Coastal Engineering*, 133, pp. 126–141. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.12.013>.
- Pianca, C., Holman, R. and Siegle, E. (2015) 'Shoreline variability from days to decades: Results of long-term video imaging', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(3), pp. 2159–2178. Available at: <https://doi.org/10.1002/2014JC010329>.
- Ranasinghe, R. (2016) 'Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review', *Earth-Science Reviews*, 160, pp. 320–332. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.011>.
- Rózyński, G. (2005) 'Long-term shoreline response of a nontidal, barred coast', *Coastal Engineering*, 52(1), pp. 79–91. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.09.007>.
- Small, C. and Nicholls, R.J. (2003) 'A global analysis of human settlement in coastal zones', *Journal of Coastal Research*, 19(3), pp. 584–599.
- Turner, I.L. *et al.* (2016) 'A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia', *Scientific Data*, 3. Available at: <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.24>.
- Van de Lageweg, W.I. *et al.* (2013) 'Observations of shoreline-sandbar coupling on an embayed beach', *Marine Geology*, 344, pp. 101–114. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.07.018>.
- Vos, K. *et al.* (2019) 'Sub-annual to multi-decadal shoreline variability from publicly available satellite imagery', *Coastal Engineering*, 150, pp. 160–174. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.004>.
- Wijnberg, K.M. and Terwindt, J.H.J. (1995) 'Extracting decadal morphological behaviour from high-resolution, long-term bathymetric surveys along the Holland coast using eigenfunction analysis', *Marine Geology*, 126(1–4), pp. 301–330. Available at: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00084-C](https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00084-C).
- Google Earth Engine : [Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
- Données de topographie : [Geosur \(osureunion.fr\)](https://osureunion.fr)
- Données de setup : Cordier, E., Jaquemet, S., Benoit, Y., David, M., Ferreira, S., Stamenoff, P., Bigot, L., Bureau, S., Fiat, S., menkes, christophe, Varillon, D., & Hocdé, R. (2024). *ReefTEMPS-OI - The Indian Ocean Island coastal ocean observation network*. Observatoire des Sciences de l'Univers de la Réunion. <https://doi.org/10.26171/7PCX-VM26>

Annexes :

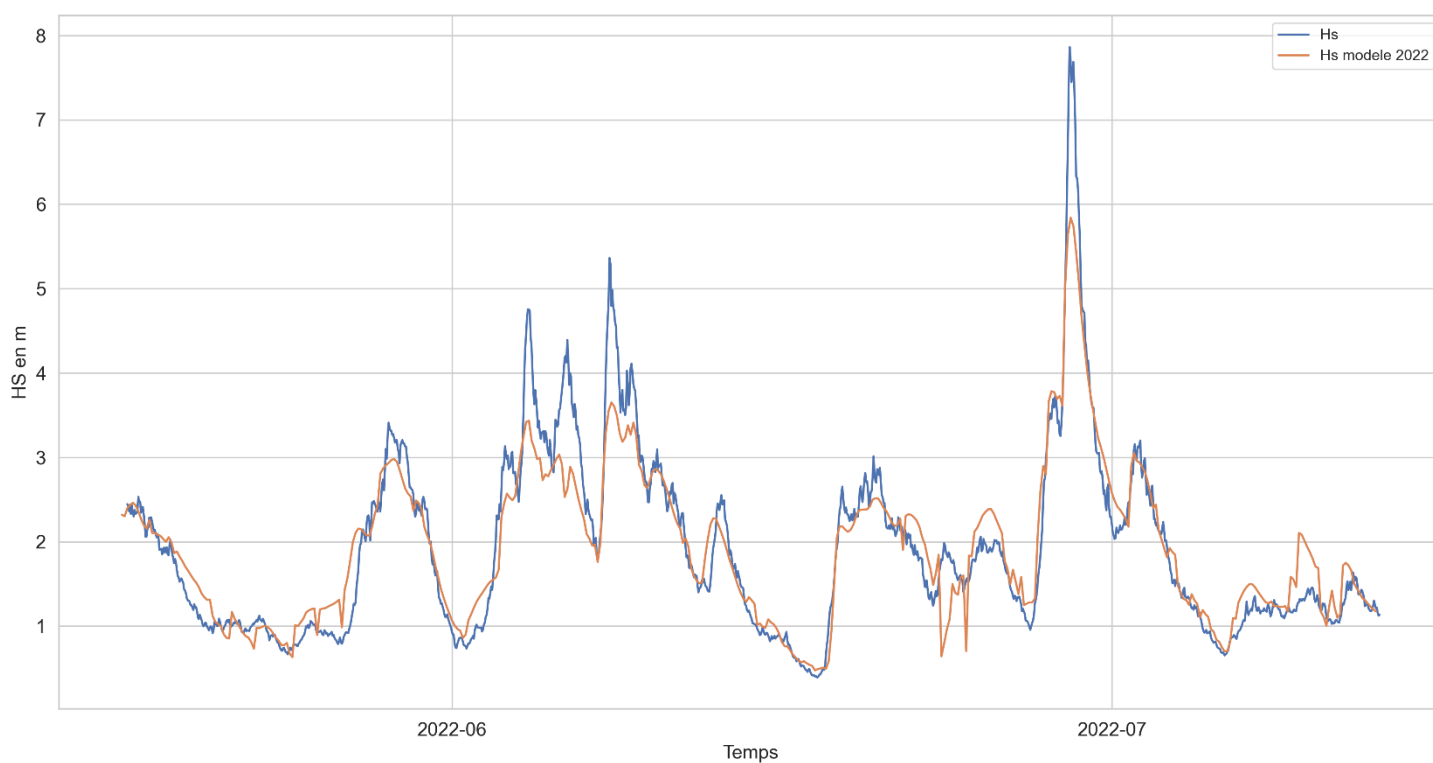


Figure 8 : Comparaison entre le Hs mesuré et le Hs obtenue via le modèle MARC.

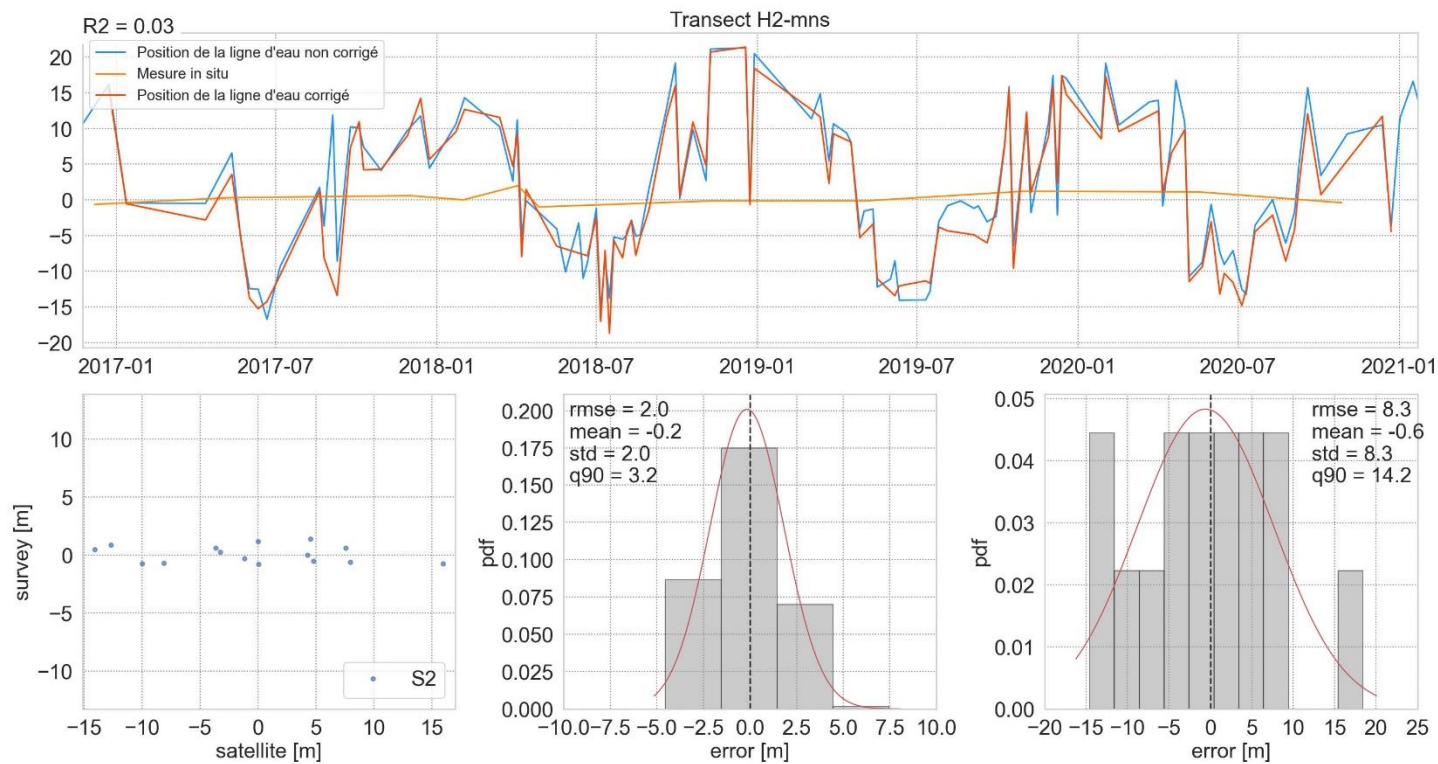


Figure 9 : Résultat du transect MNS.