

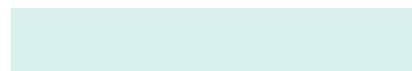


UR | UNIVERSITÉ
DE **LA RÉUNION**



L'IMAGERIE VIDÉO NUMÉRIQUE POUR LE SUIVI DU LITTORAL

Jaimie MACHABEE
UMR Espace-Dev

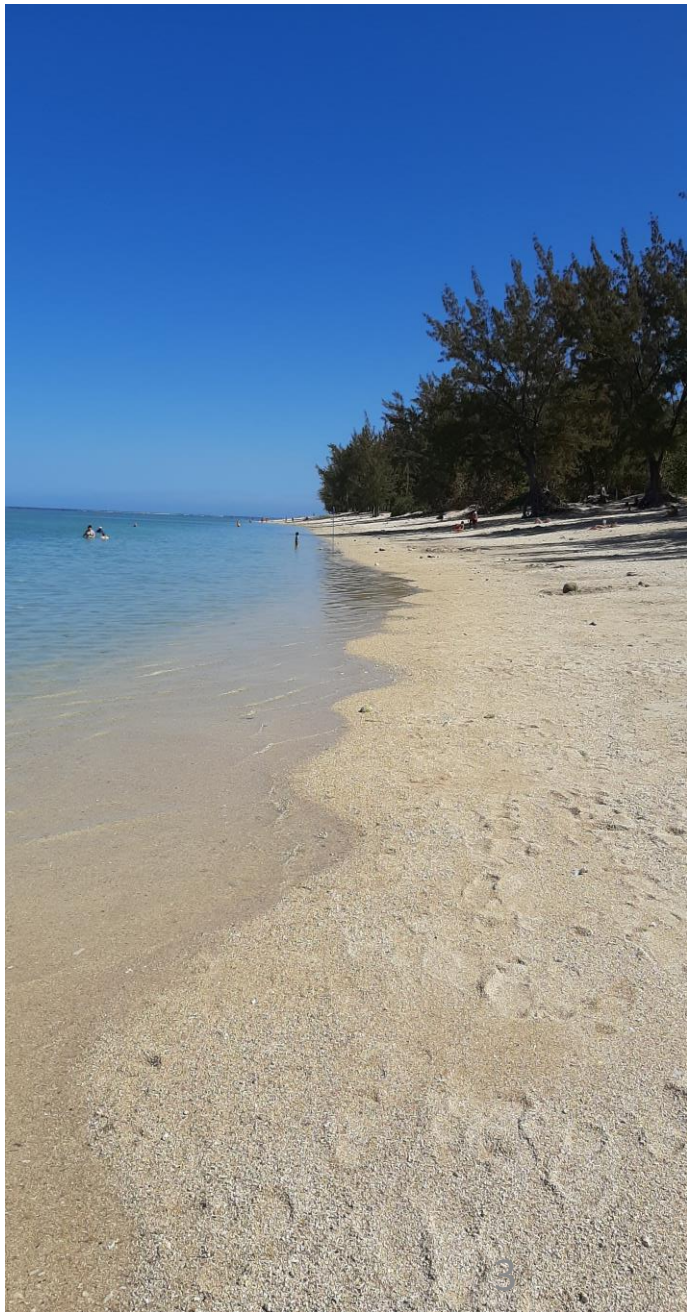


Sommaire

- Contexte de l'étude
- Questions de recherche
- Morphodynamique et hydrodynamique en contexte récifal
- Le système caméra vidéo de l'Hermitage
- Résultats
 - Analyse de la cinématique de l'estran de l'Hermitage
 - Etude du jet de rive sur la plage de l'Hermitage
- Conclusion et Perspectives



Contexte de l'étude



Travaux de thèse



Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université de La Réunion

Ecole doctorale n° 541, Sciences humaines et sociales

Discipline : **Géographique physique**

Unité de recherche : **ESPACE-DEV**, Univ Montpellier, IRD, Univ Antilles, Univ Guyane,
Univ Réunion, La Réunion

Caractérisation de l'hydro-morphodynamique de la zone intertidale du récif frangeant de l'Hermitage par caméra vidéo (La Réunion)

Présentée et soutenue publiquement le 5 juillet 2024 par

Jaimie MACHABÉE

Sous la direction de

Pr. Gwenaëlle Pennober*

Pr. Christophe Delacourt**

MC HDR France Floc'h**

*UMR Espace-Dev, OSU-Réunion, UR

**UMR Geo-Ocean, OSU-IUEM, UBO

Contexte d'observatoire : SNO-DYNALIT

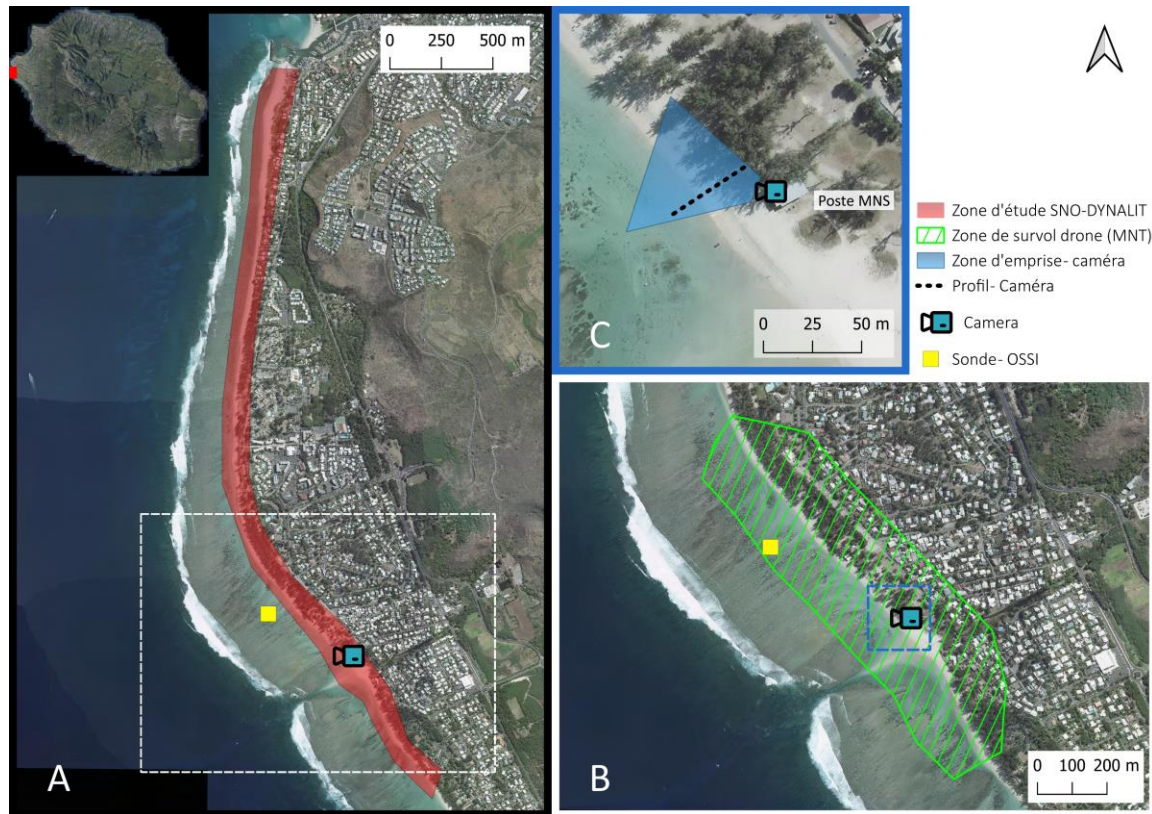


Figure 1: Instrumentations du site d'étude – Plage de l'Hermitage, La Réunion. Fond de carte : Ortho IGN 2017.

Les mesures actuelles
(variations saisonnières de la
topographie de la plage):

- MNT Drone – 2 fois par an
- Profil DGPS – 2 fois par an
- TC (satellite) – 1 fois par an

Les données sont stockées
sur Geosur et SNO-DYNALIT



GEOSUR



SNO DYNALIT

Revue de littérature

Importance de la mesure continue : Risque érosion

Limite des mesures historiques

- Les vitesses moyennes de recul historiques ne suffisent pas pour appréhender l'érosion côtière (Fenster *et al.*, 2001).

Importance de l'échelle de l'événement

- Nécessité de considérer les événements spécifiques (Callaghan *et al.*, 2009a ; Karunarathna *et al.*, 2014 ; Mahabot *et al.*, 2016).

Difficultés logistiques

- Impossibilité d'organiser des missions de terrain pour chaque événement successif, surtout pour les sites éloignés.

Érosion instantanée

- Importance de mesurer l'érosion instantanée lors des fortes houles pour comprendre les interactions estran/forçages.

Gestion efficace

- La quantification précise des érosions permet une gestion optimale des zones côtières (Callaghan *et al.*, 2009 ; Wright *et al.*, 1985).

Revue de littérature :

Importance de la mesure continue: Risque submersion

Changement climatique (CC) et élévation du niveau de la mer (ENM)

- Importance de caractériser les mécanismes de submersion des côtes basses (Knutson *et al.*, 2020).

Stratégies d'adaptation et de gestion

- Essentiel pour faire face à la montée du niveau de la mer et à l'intensification des tempêtes.

Variabilité spatio-temporelle

- La morphologie et les laisses de mer sont insuffisantes pour appréhender ces phénomènes (Laigre *et al.* 2023).

Diversification de l'instrumentation

- Nécessaire pour comprendre pleinement les phénomènes côtiers.

Mesures continues

- Cruciales pour obtenir des données reproductibles sur de longues périodes (Sénéchal *et al.*, 2009).

L'imagerie vidéo numérique pour le suivi du littoral : quelques exemples d'applications



Figure 2 : Image instantanée résultant de la prise de vue de 5 caméras. Estuaire de Teignmouth (UK). Source: (Mallet *et al.* 2000)



Figure 3 : Image moyennée 10 minutes - Système camEra - Biscarosse (Angnuureng, 2016)



Figure 4 : Image moyennée 10 minutes, Jamestown, Ghanna, (Angnuureng, 2016)



Figure 5 : Image moyennée – Duck (US) (Plant *et al.* 1999)



Figure 6 : Image moyennée, Gold Coast (Plant *et al.* 2007)

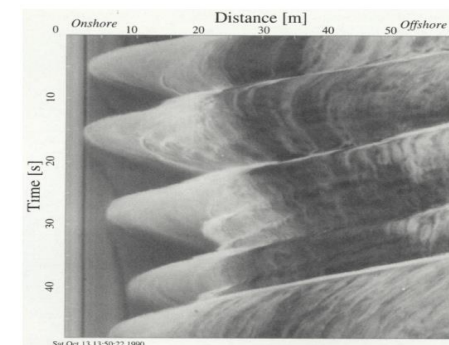


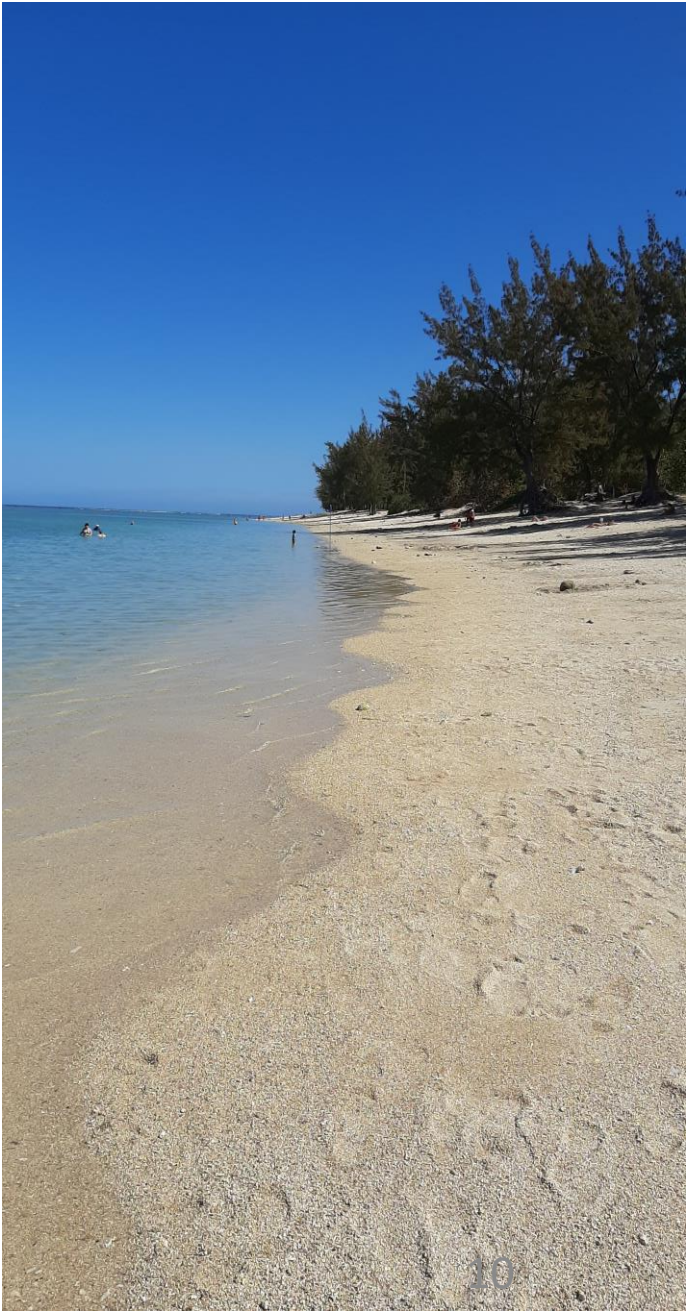
Figure 7 : Timestack (Holman, 1981)

Synthèse des applications de l'imagerie vidéo numérique

Images instantanées	Niveau d'eau (lac ou lagon) Comptage d'objets (ex. oiseaux, personnes) Migration d'estuaire Localisation pied de dune
Images moyennées	Localisation du trait de côte ou du niveau des plus hautes mers Localisation et suivi des courants de retour (déferlement) Banc et barres d'avant plage (déferlement) Direction du courant longshore (direction de l'écume)
Time stacks	Run-up de la houle Statistiques de houle (période, direction, vitesse) Bathymétrie littorale (via analyse des caractéristiques de la houle, dépendantes de la bathymétrie) Courant longshore (vitesse et direction)
Pixels individuels	Vitesse de phase de la houle et bathymétrie



Questions de recherche

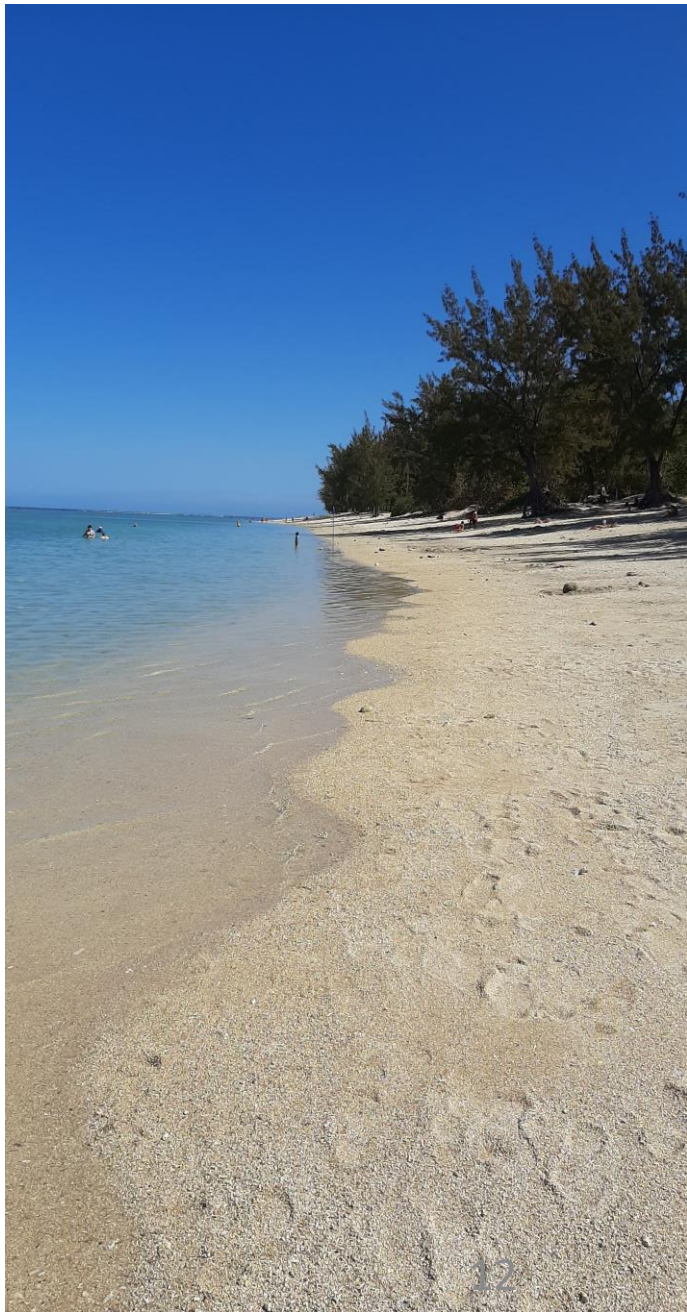


Questions de recherches:

- Comment les systèmes vidéo peuvent permettre de compléter l'arsenal de mesures des plages des récifs frangeant ?
- Quels sont les indicateurs pertinents a en retirer ?
- Comment la morphodynamique d'une plage d'arrière-récif répond-elle à l'hydrodynamique, à l'échelle d'une journée, d'un évènement, d'une saison, d'une année ?
- Quels sont les mécanismes qui conditionnent la position de la ligne d'eau maximale lors d'évènements de houles ?



Morphologie et hydrodynamique en contexte de récif frangeant



Morphologie récifale – récif frangeant

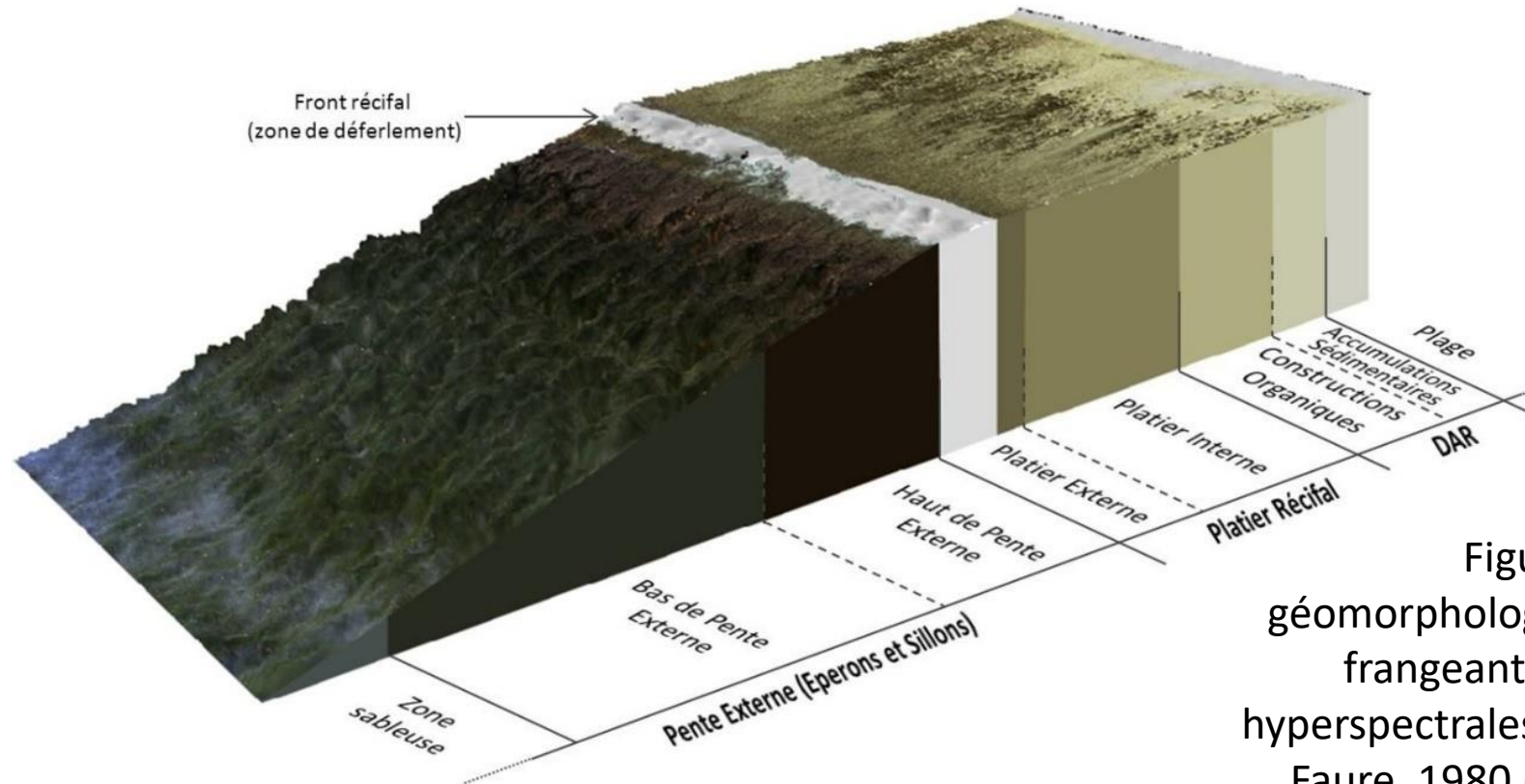
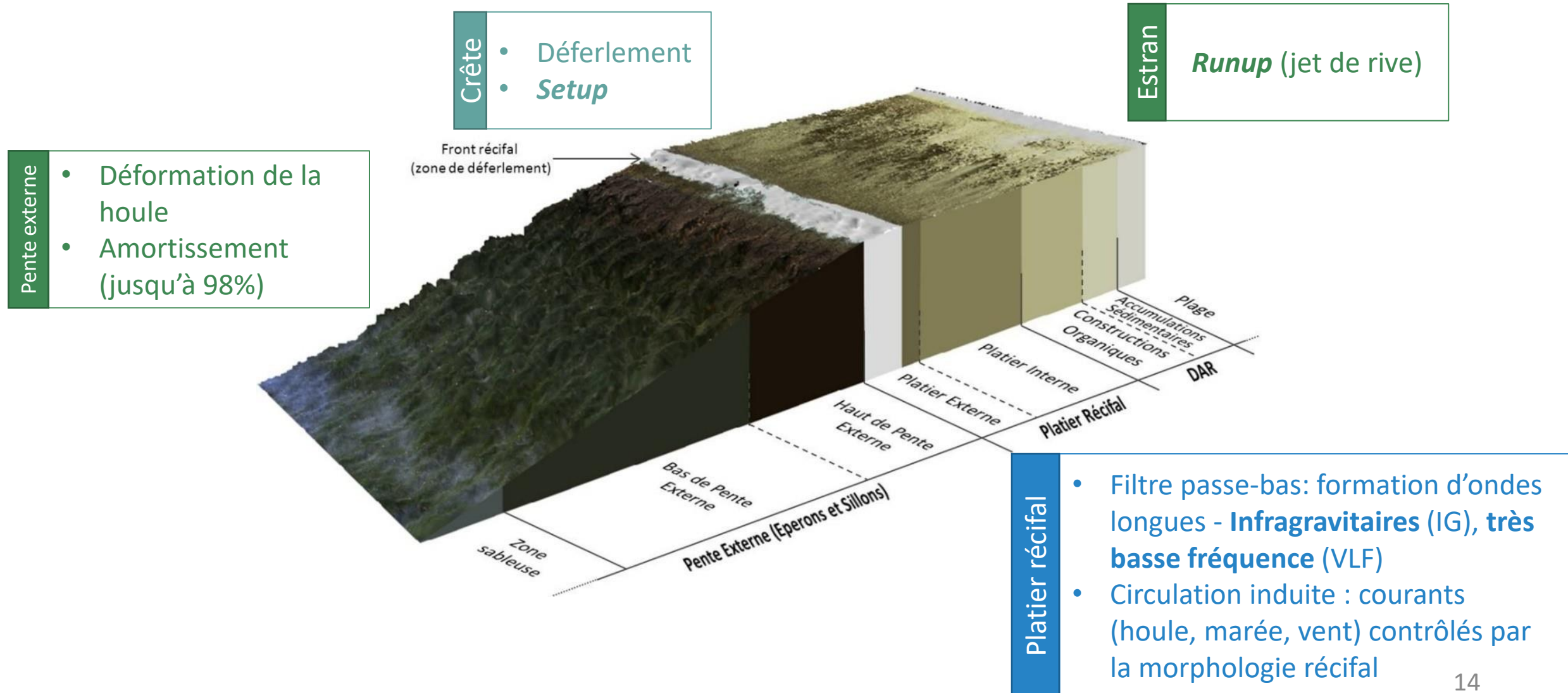


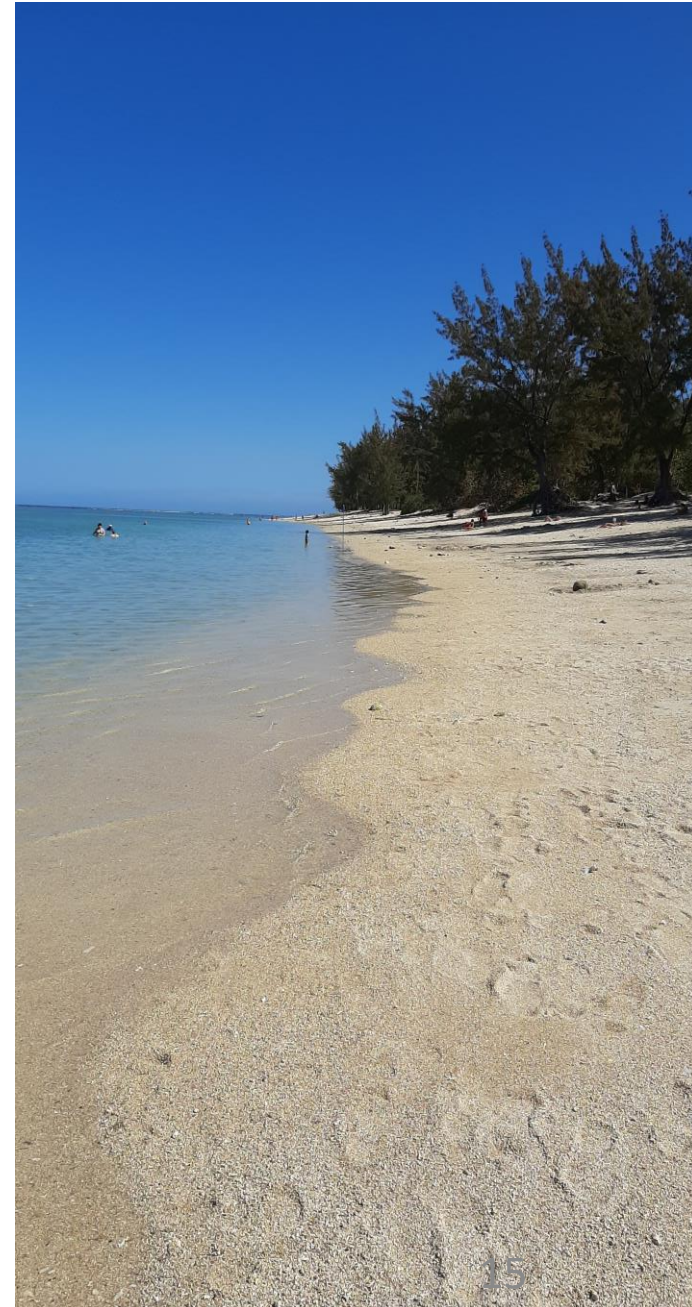
Figure 8 : Éléments de géomorphologie récifale du récif frangeant d'après les images hyperspectrales et Montaggioni & Faure, 1980 (Source : IFREMER) Hermitage La Réunion.

Hydrodynamique en contexte de récif frangeant





Le système caméra vidéo de l'Hermitage



Choix de l'emplacement pour la caméra

Existence d'une structure de support adéquate.

Visibilité sur l'estran pour une surveillance efficace.

Accès à l'électricité et à internet pour le fonctionnement de la caméra.

Conformité avec les règles d'urbanisme en vigueur sur le domaine public maritime (DPM).

Le système de Caméra Vidéo de l'Hermitage

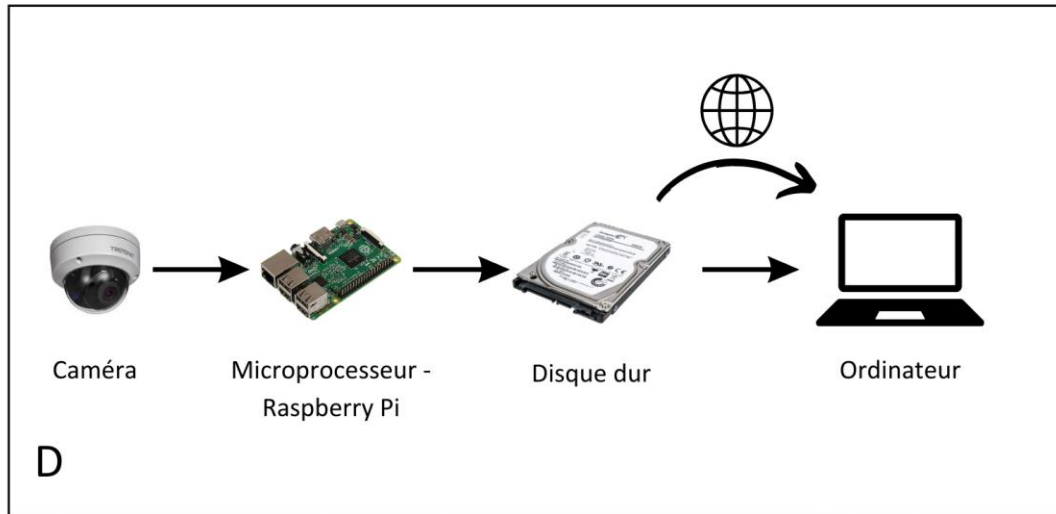


Figure 9 : Installation du système caméra.

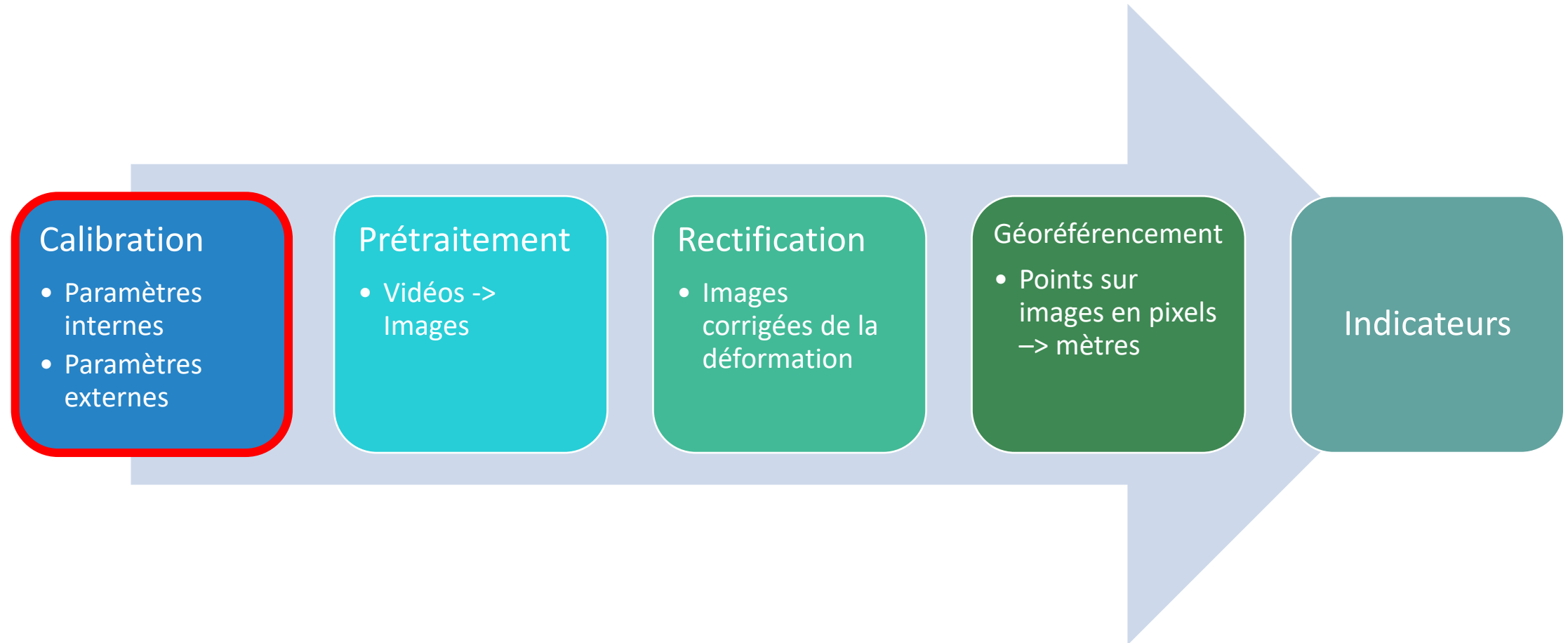
A – Poste MNS vue de face,

B – Prise de vue de la caméra,

C – Installation de la caméra sur le poste MNS,

D – Système complet d'acquisition

Prétraitement, rectification et géoréférencement



Phase de calibration

Paramètres internes (de la caméra)

- Se fait en laboratoire
- Consiste à obtenir les paramètres tels que: Point principal de l'image, distance focale, coefficients de distorsions

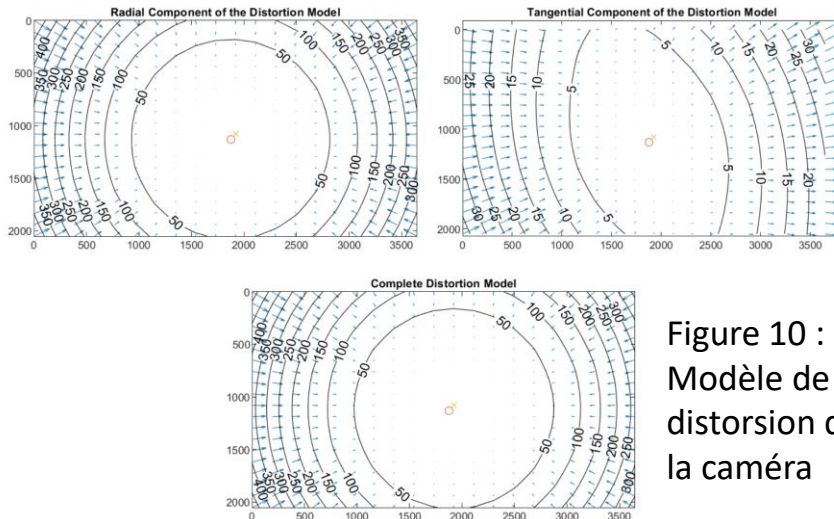


Figure 10 :
Modèle de
distorsion de
la caméra

Paramètres externes

- Se passe sur le terrain
- Consiste à obtenir la position de la caméra dans l'espace
- Des points de contrôle au sol sont mesurés avec un DGPS

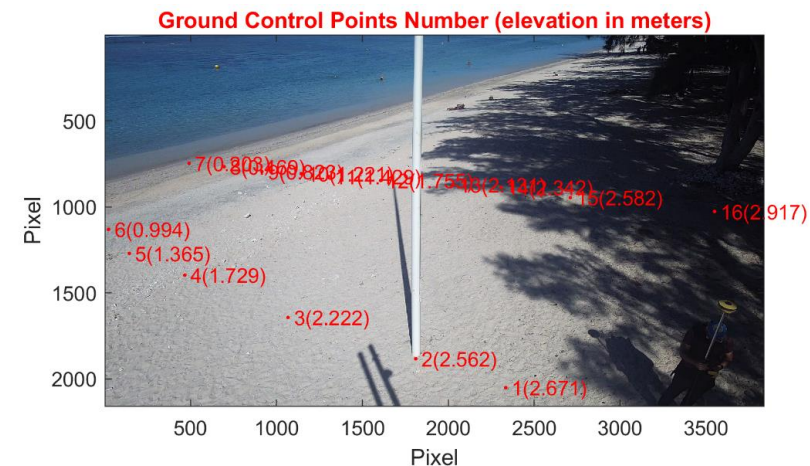
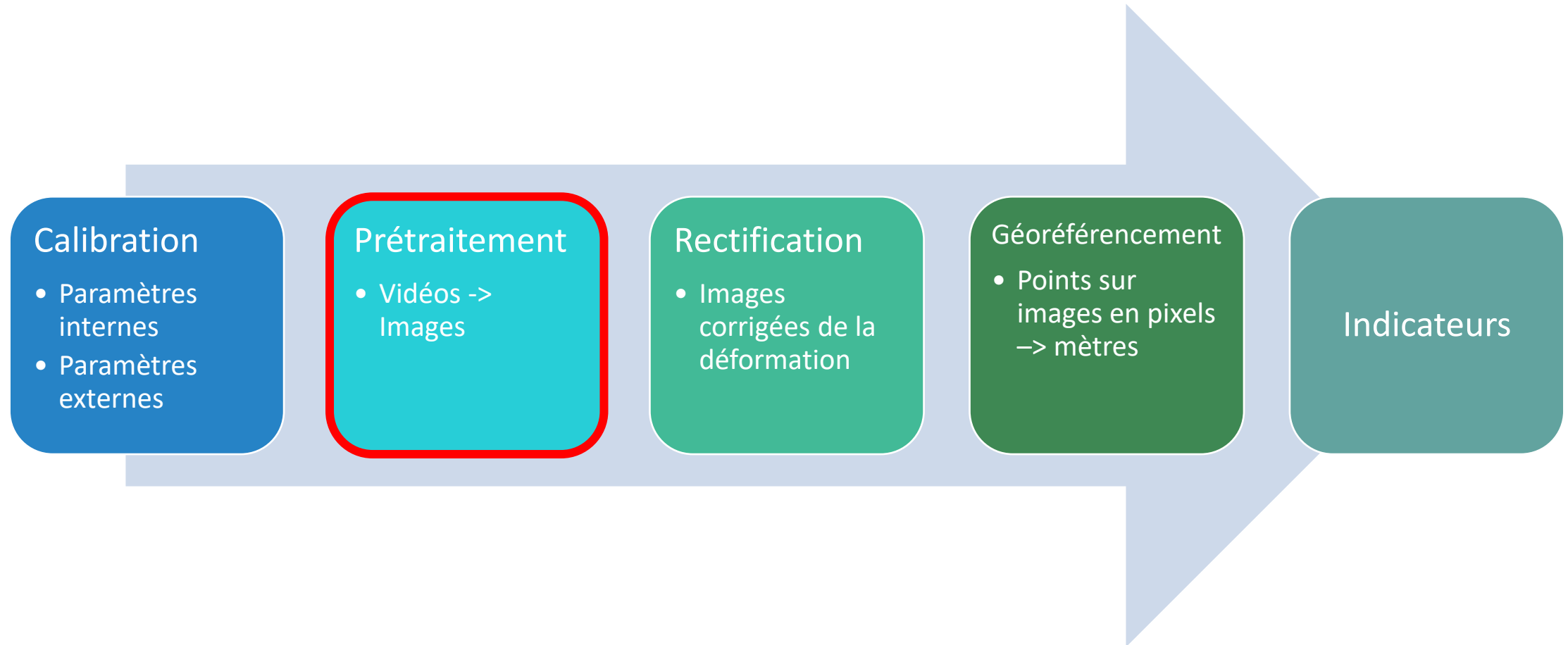


Figure 11 :
Points de
contrôle sur la
plage de
l'Hermitage
(MNS)

Prétraitement, rectification et géoréférencement



Types de données acquises

A : Images instantanées -
photographie normale

B : Images moyennées -
image moyennée sur un
temps d'exposition de 10
mins

C : Timestack - lignes de
pixels consécutives
extraites, communes à
toutes les images, suivant
une direction cross-shore

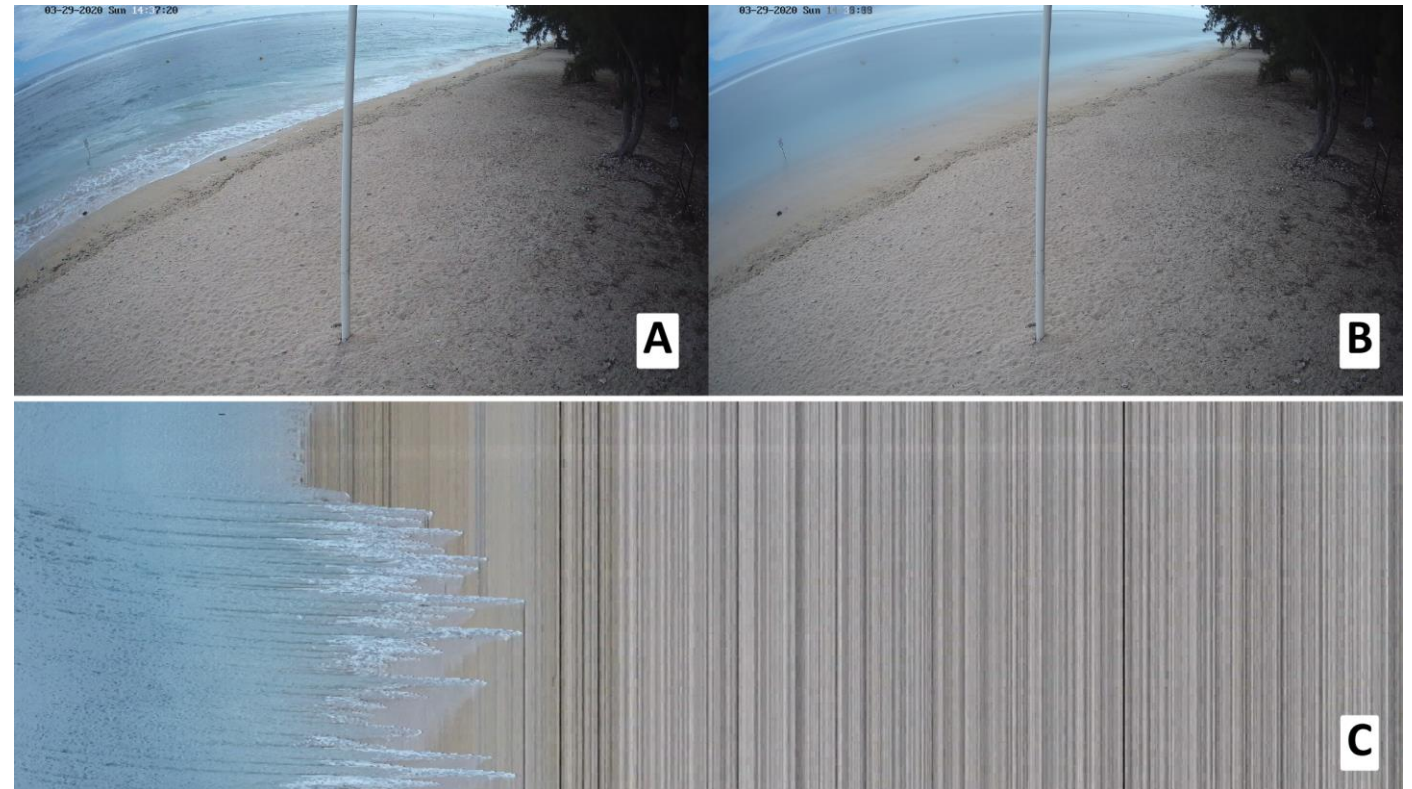
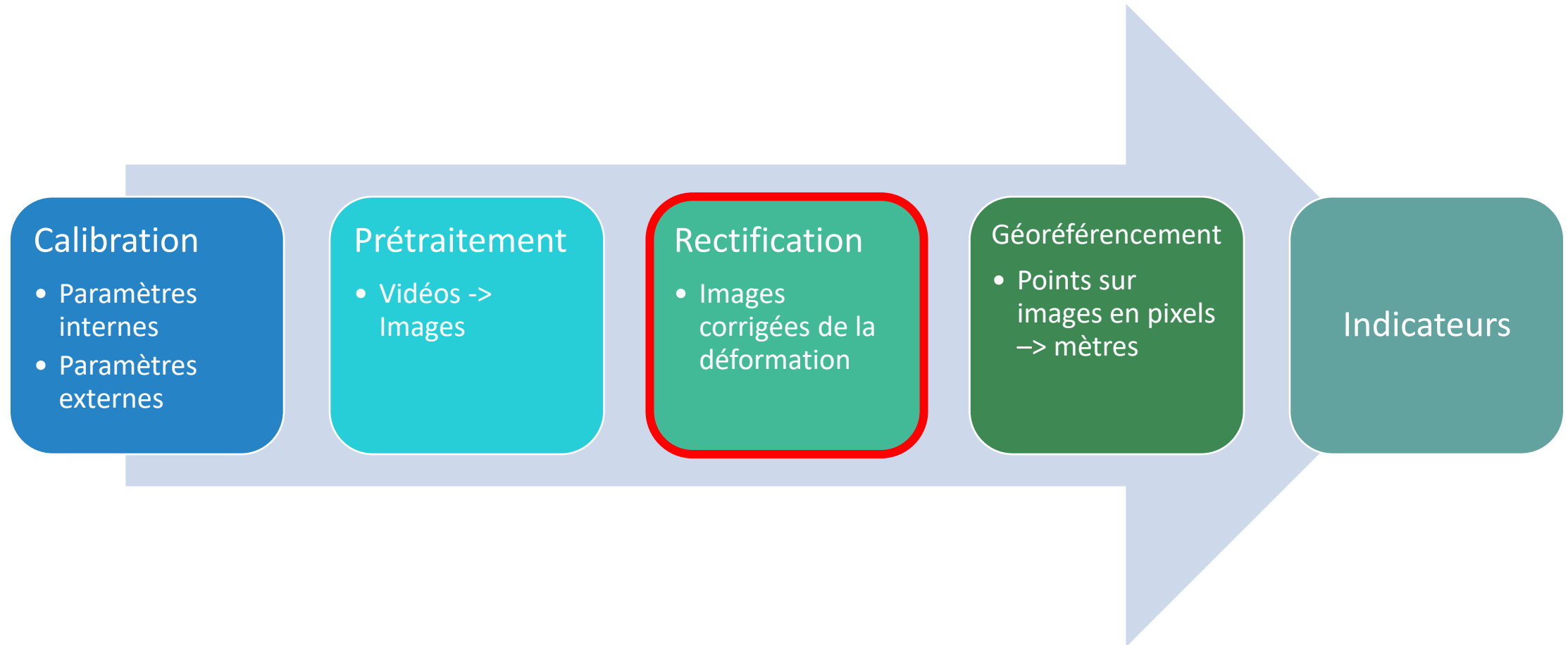


Figure 12 : Types d'images issus du prétraitement

Prétraitement, rectification et géoréférencement

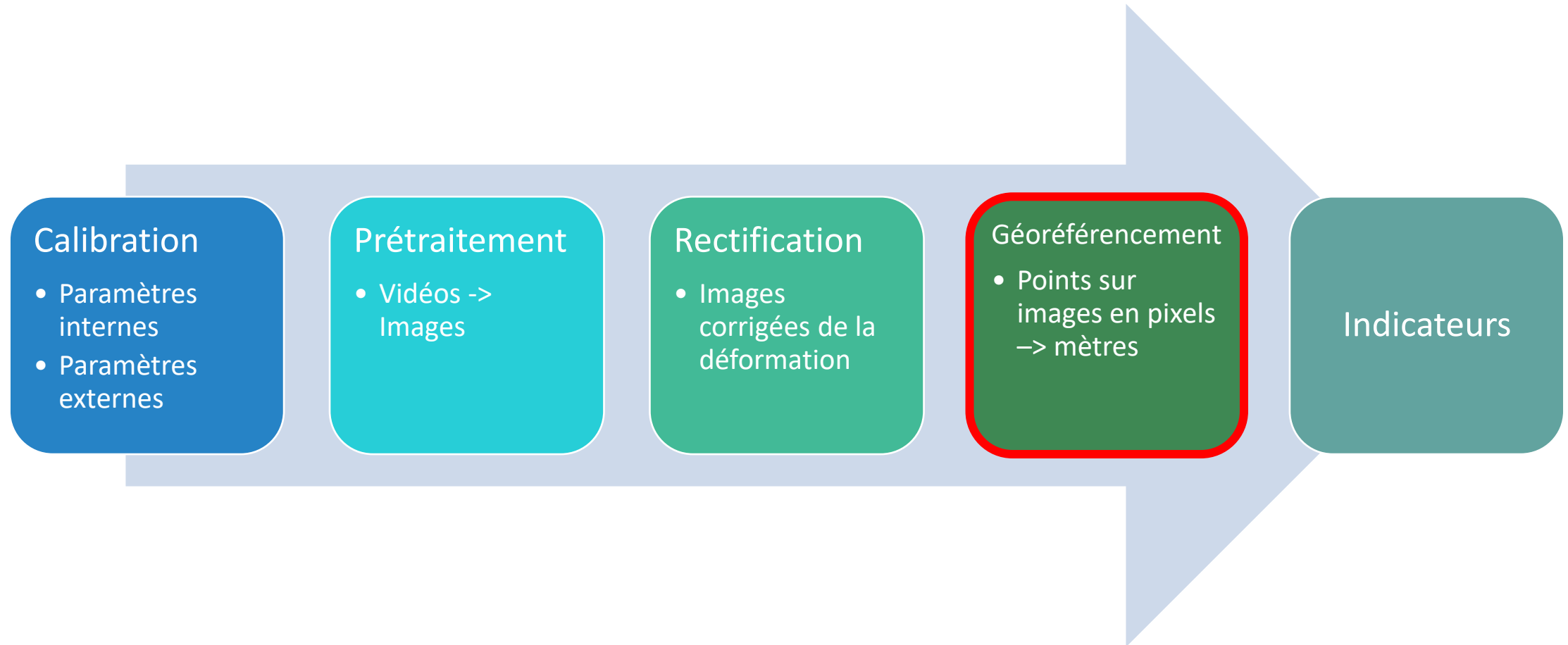


Correction de l'image (instantanée ou moyennée)



Figure 13 : A – Avant correction, B – après correction de la déformation

Prétraitement, rectification et géoréférencement



Des données pixels aux données métriques

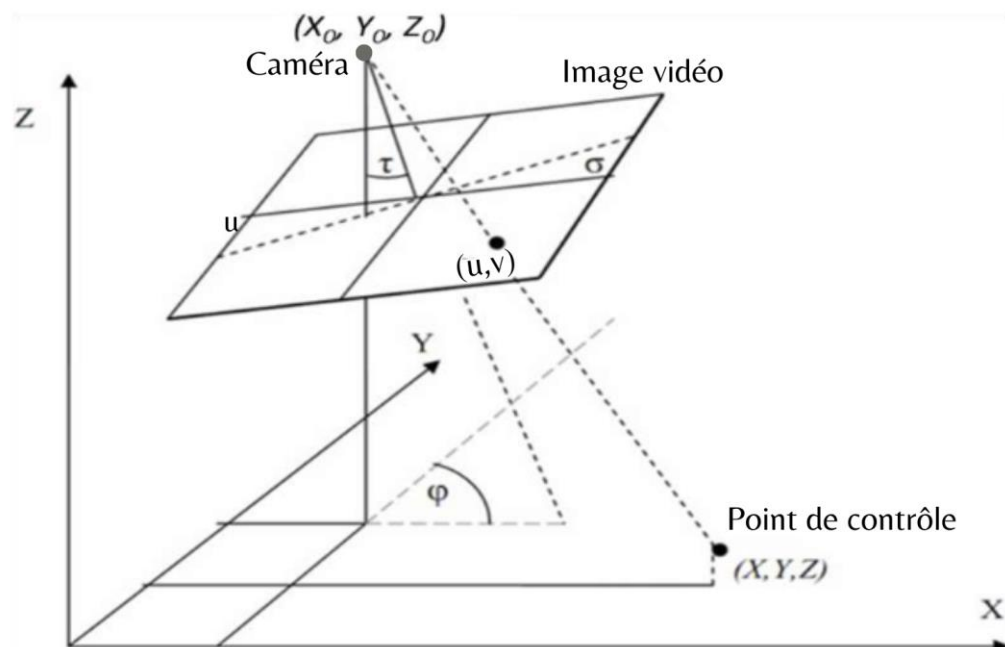


Figure 14 : Principe de la photogrammétrie

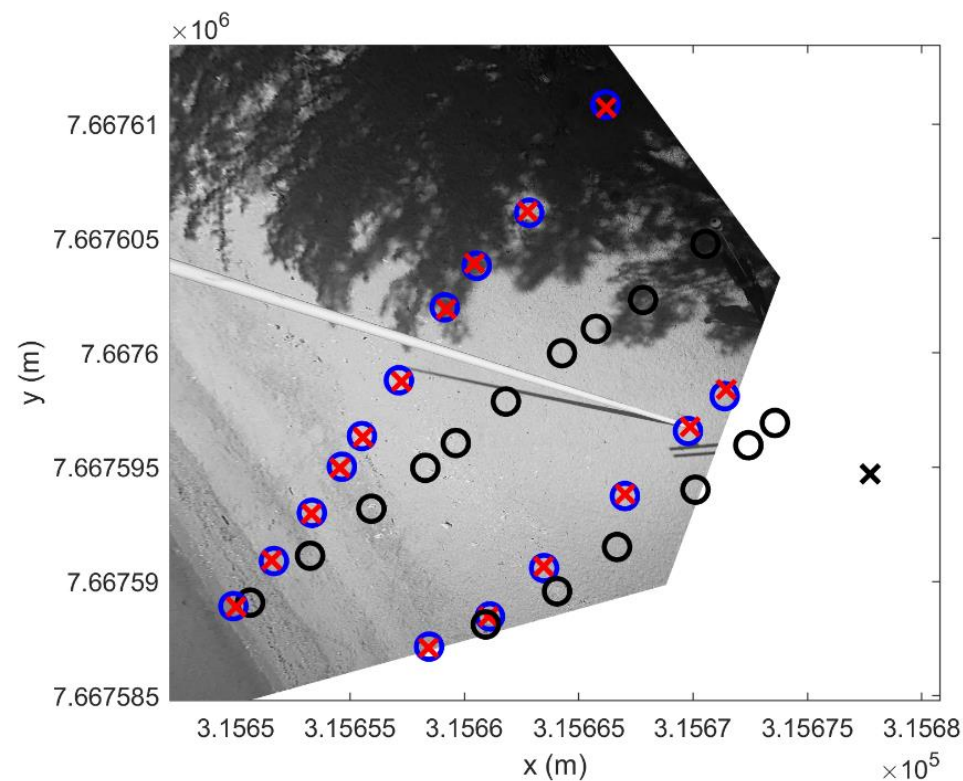
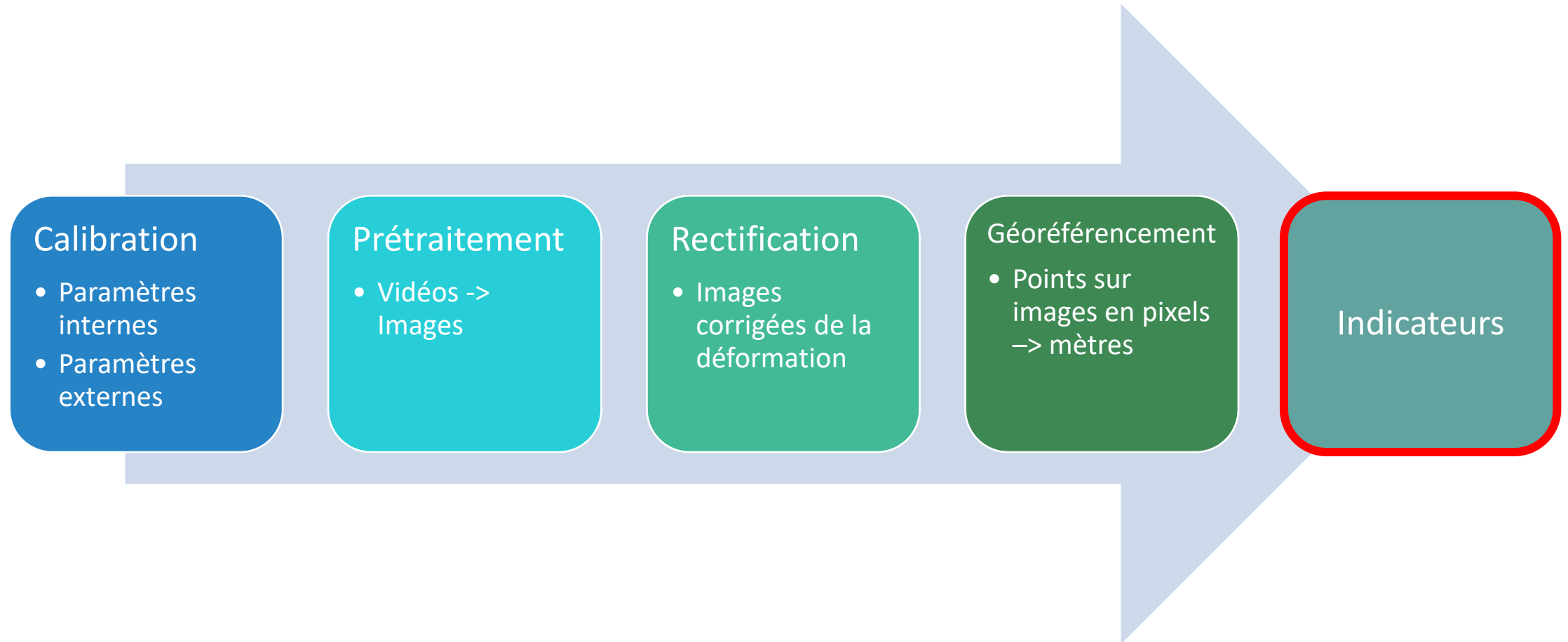


Figure 15 : Points de contrôle dans le référentiel RGR92

Prétraitement, rectification et géoréférencement



Les indicateurs : un transect à la loupe

Images moyennées

- Création d'un nouveau timestack à partir des images moyennées.
- Permet d'avoir la position de la ligne d'eau moyenne sur 10 minutes

Timestacks

- Permet d'avoir la position de la ligne d'eau instantanée à une fréquence de 2 Hz

Position du transect

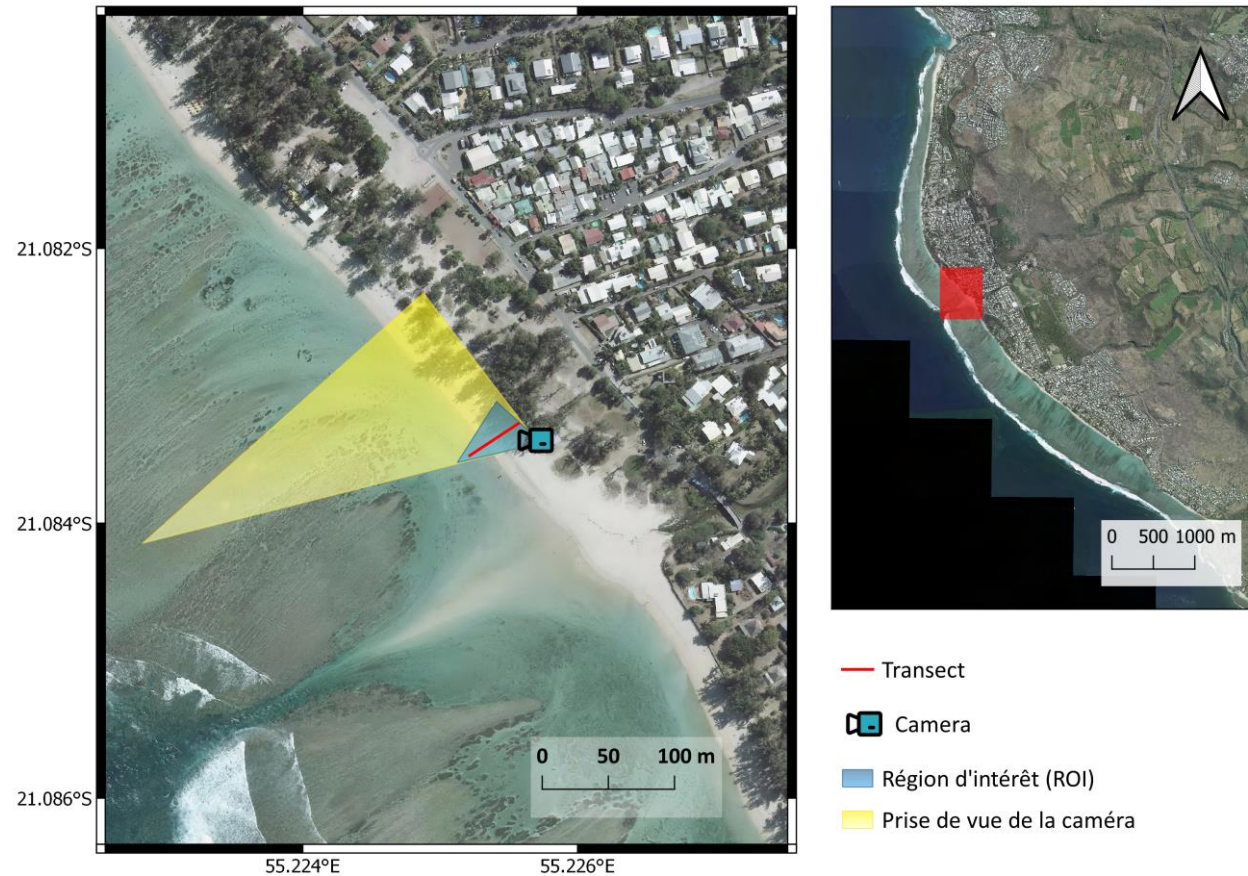


Figure 16 : Emplacement du transect : vue plan

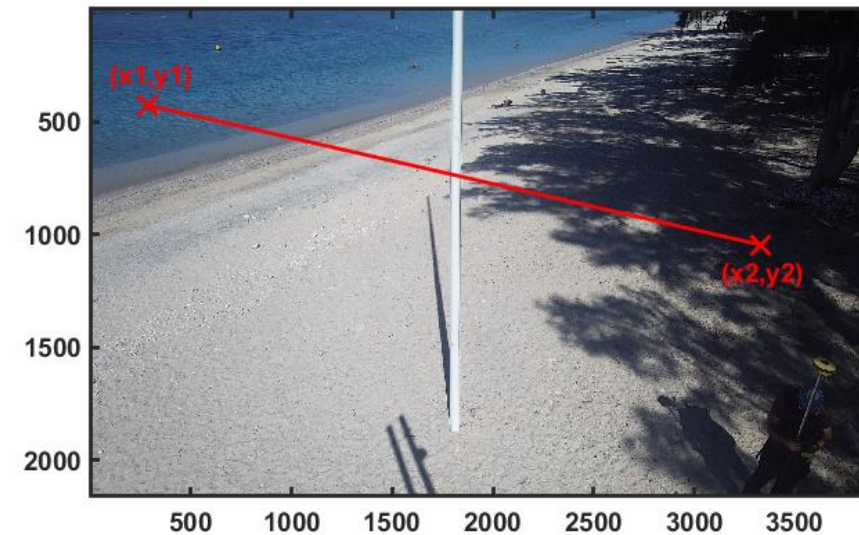


Figure 17 : Emplacement du transect : vue oblique

Exemples de timestack

Une analyse des ratios des bandes rouge sur vert est faite pour trouver la limite eau/sable.
Traitement semi-automatique par MATLAB.

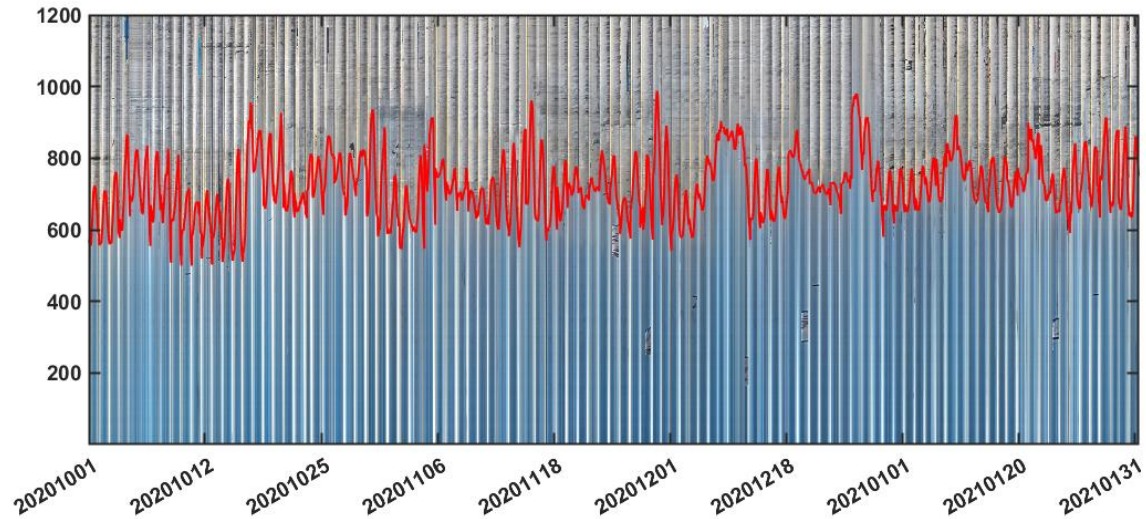


Figure 18 : Timestack moyenne

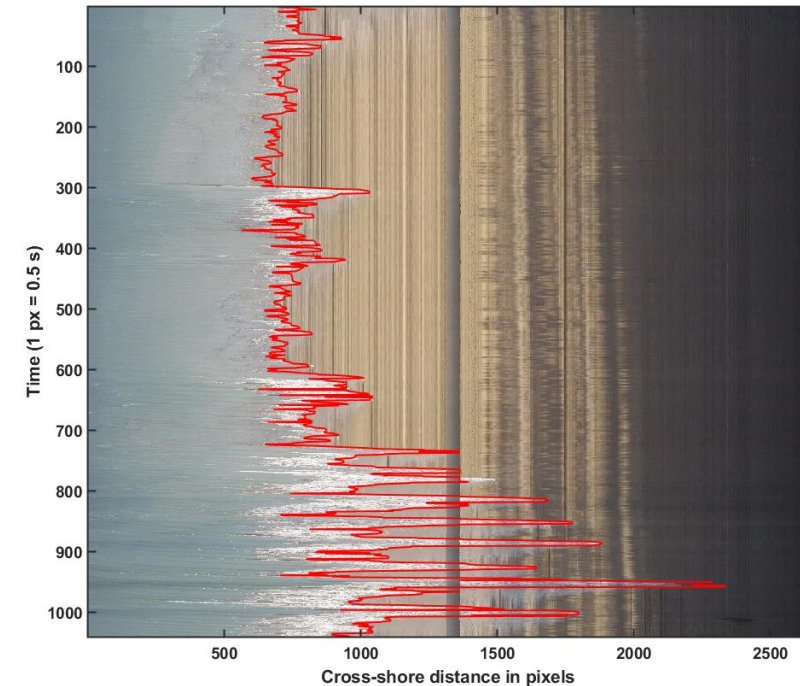
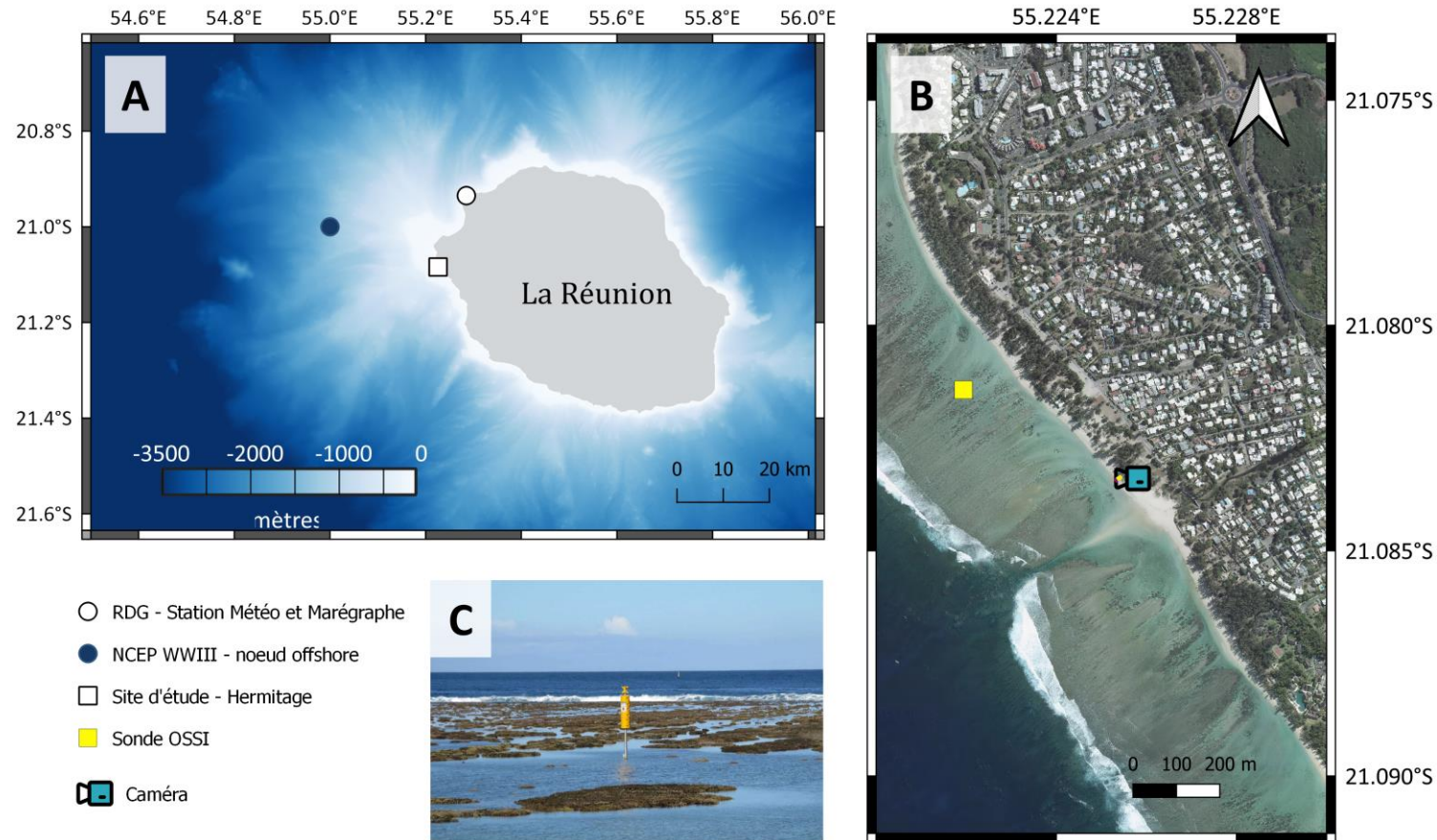


Figure 19 : Timestack instantané

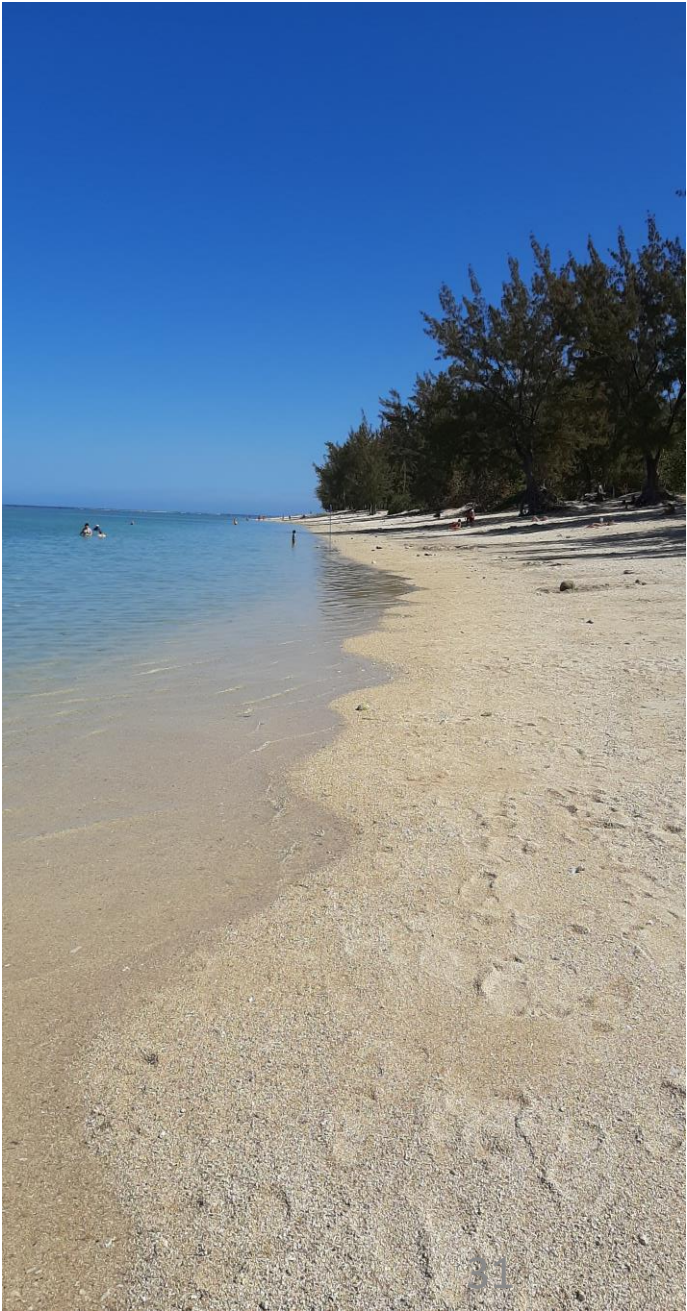
Autres paramètres externes



- Marée : **Marégraphe** de la Pointe des Galets
- Paramètres de houles offshore (hauteur, période, direction) : **WWIII**
- Paramètres de houles et niveau d'eau dans le récif : **Sonde de pression** sur le platier



Analyse de la cinématique de l'estran de l'Hermitage



Cinématique de l'estran (à partir des timex)

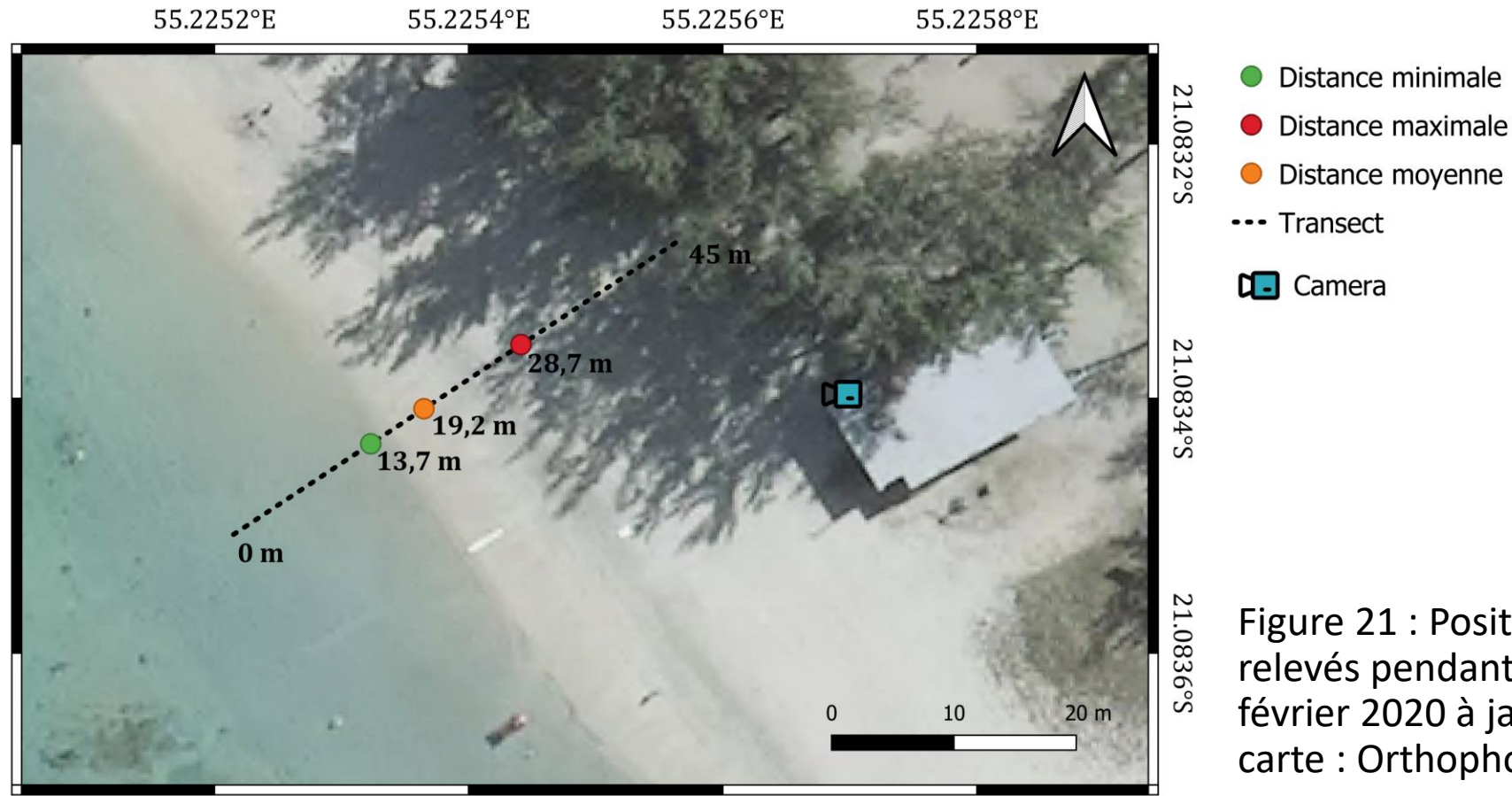
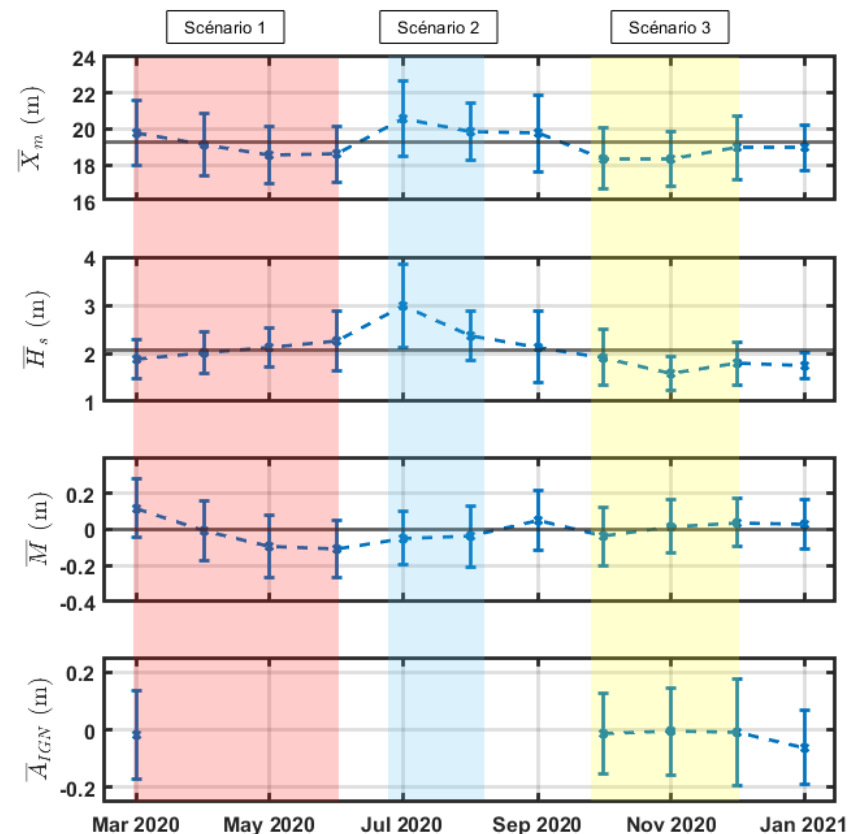


Figure 21 : Positions moyennes, X_m , relevés pendant la période d'étude de février 2020 à janvier 2021. Fond de carte : Orthophoto IGN 2017.

Moyennes mensuelles de la position de la ligne d'eau



Recul de 1,4 m en hiver
Avancée de 0,9 m en été

Scénario 1 : Prédominance de la marée
(niveau d'eau) pour des niveaux de houles
moyennes (~ 2 m)

Scénario 2 : Prédominance de la houle pour
des niveaux d'eau moyennes

Scénario 3 : Positions de la ligne d'eau
minimums pour des niveaux de houle
minimums

Figure 22 : Moyennes mensuelles de la position de la ligne d'eau, la hauteur de houle, la marée, et le niveau d'eau dans le platier

Analyse quotidienne

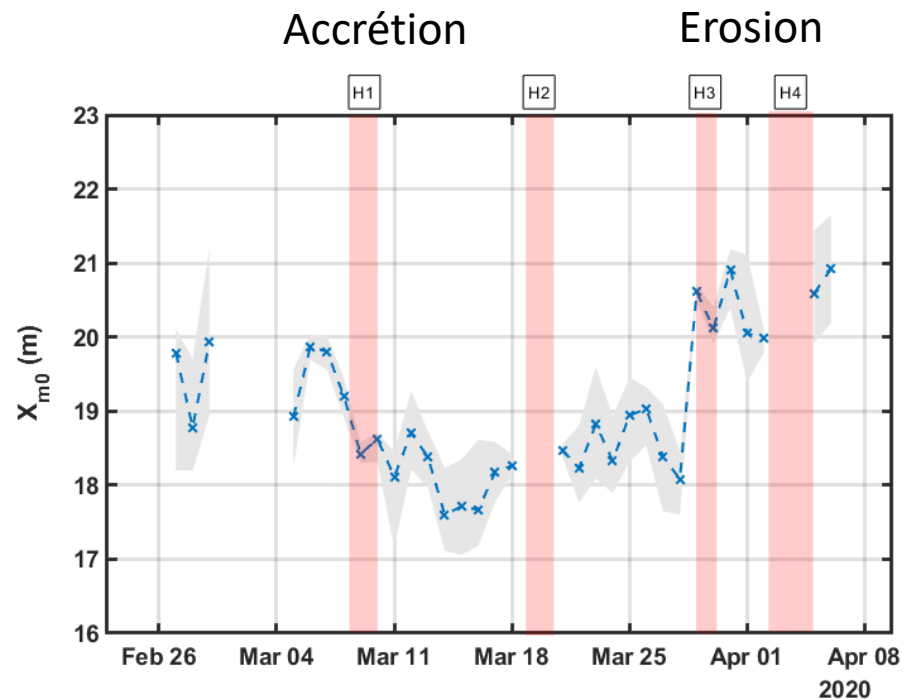


Figure 23 : Variation de la position de la ligne d'eau moyenne, X_{m0} , quotidienne pour $A_{IGN} = 0 \pm 0,02$ pour les périodes A - du 26 février 2020 au 6 avril 2020

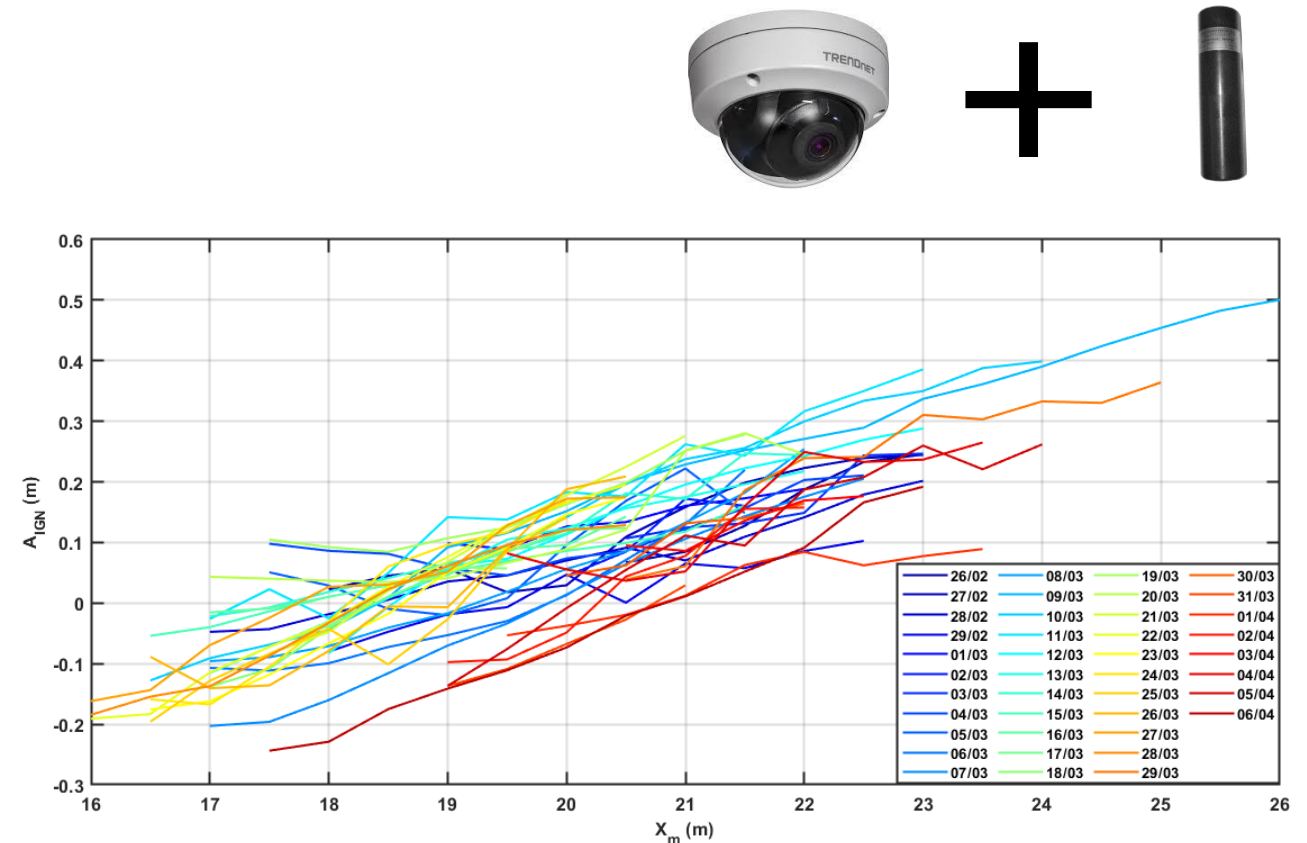
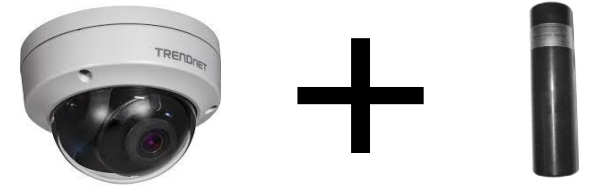


Figure 24 : Profils quotidiens pendant la période 26 février 2020 au 6 avril 2020



Variations spatiales

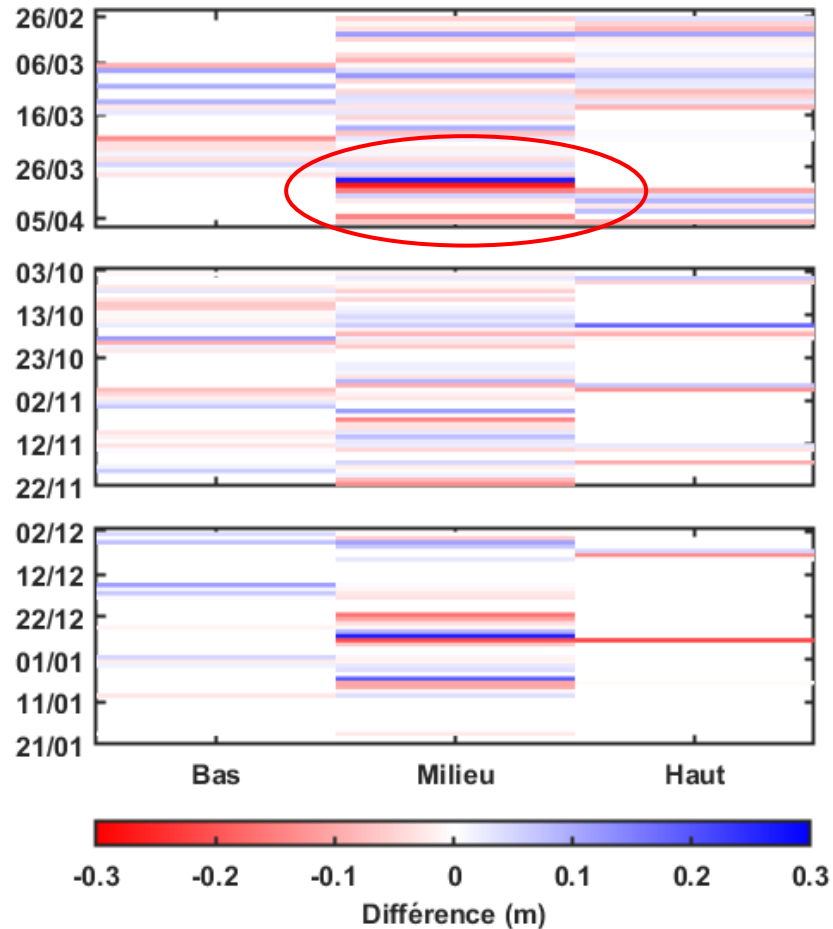


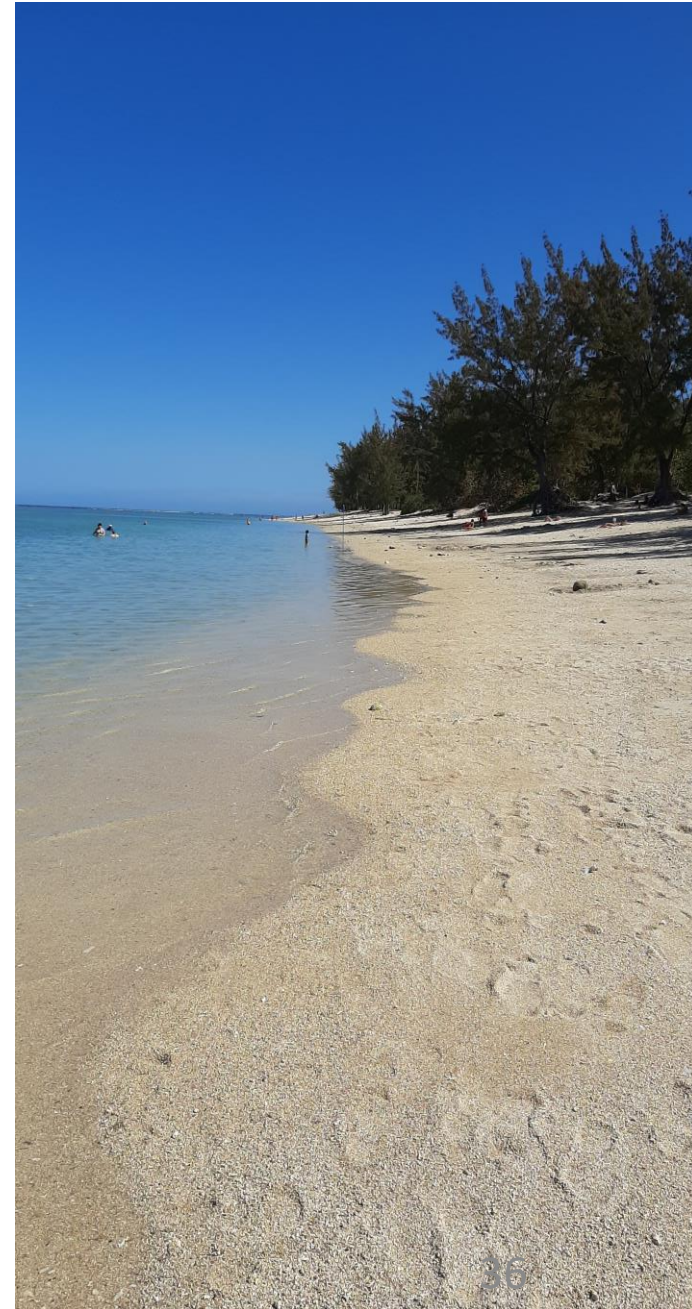
Figure 25 : Différence d'altitude sur chaque zone de l'estran (bas, milieu, haut), d'un jour à l'autre.



Figure 26 : Divisions de l'estran



Etude du jet de rive sur la plage de l'Hermitage



Jet de Rive : Runup

Le jet de rive/runup est la dernière transformation de la vague lorsqu'elle atteint le rivage (en vertical – nécessite de connaître la topographie (MNT))

$$TWL = Runup + Marée$$

$$Runup = Setup + Swash$$

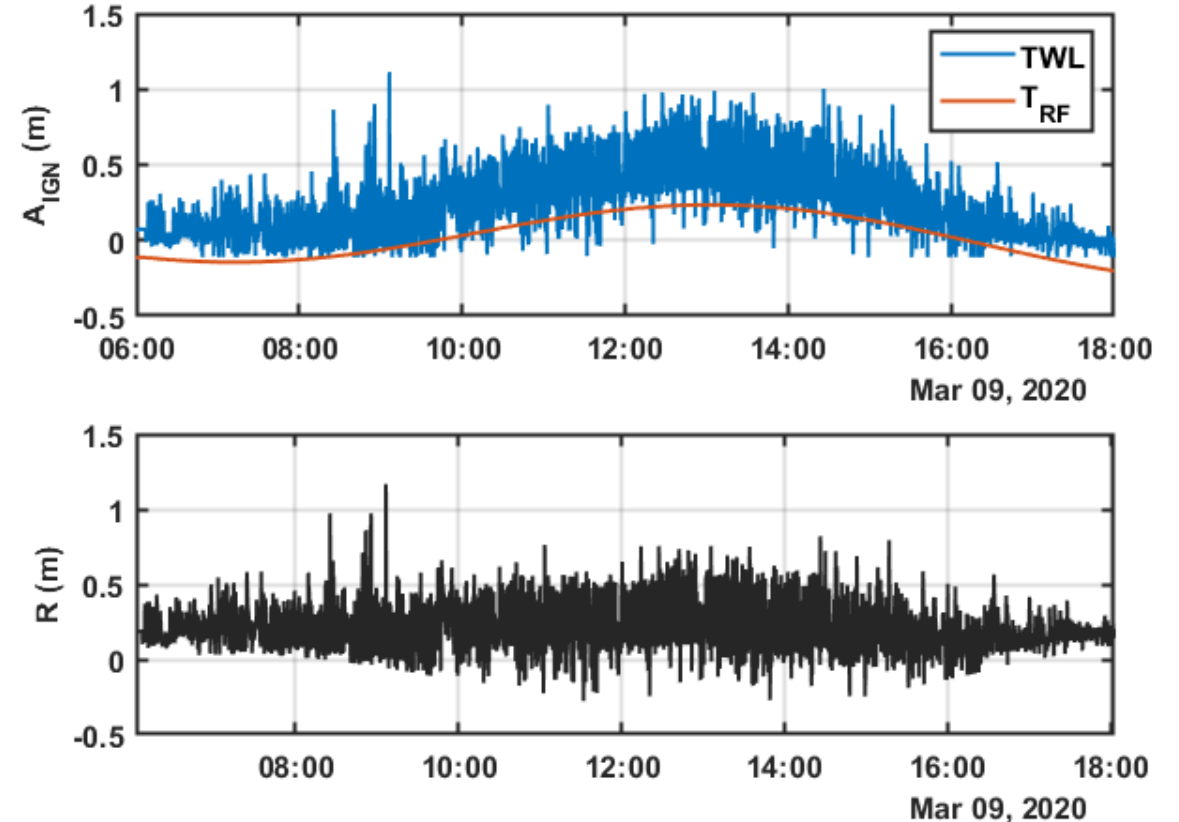
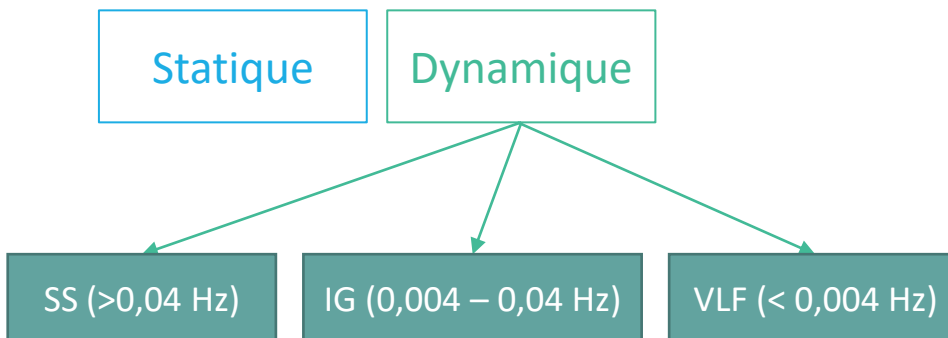


Figure 27 : Obtention du runup : TWL (niveau d'eau total) – TRF(marée)

Synthèse de l'hydrodynamique pendant la période d'étude

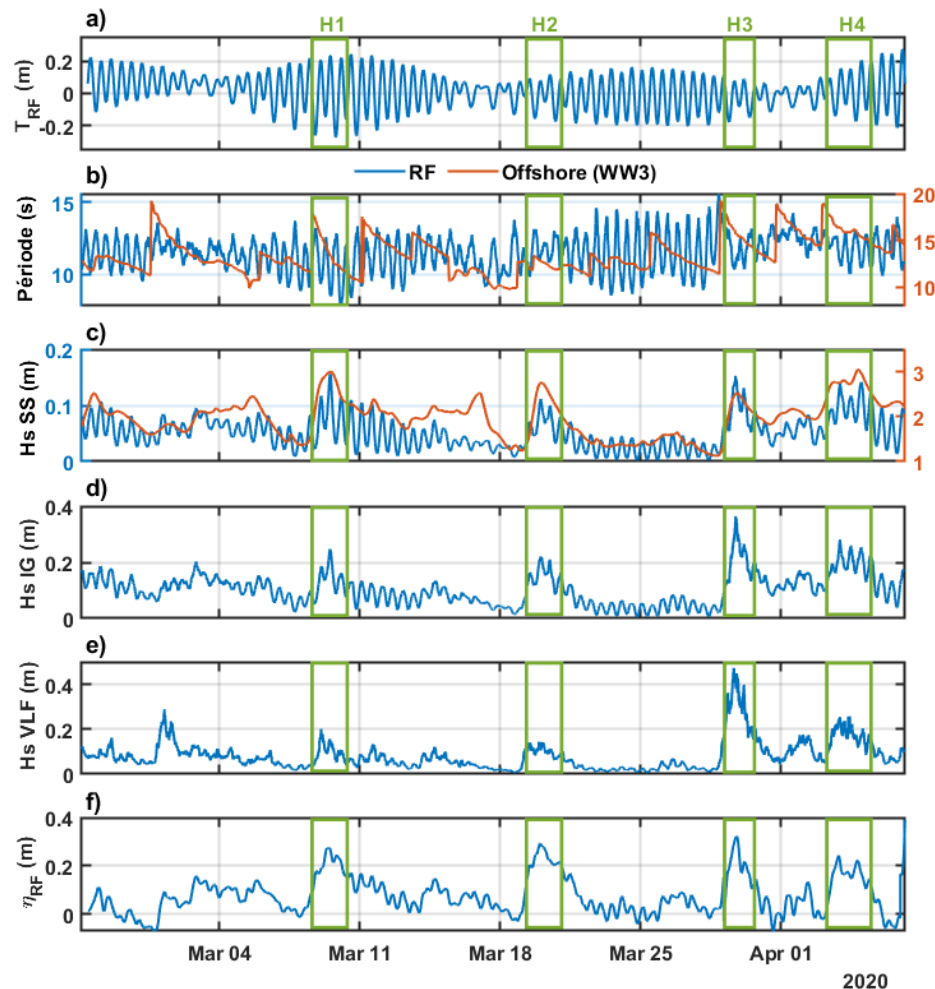


Figure 28 : Synthèse des mesures hydrodynamiques pendant la période d'étude du 26 février au 6 avril : les niveaux d'eau et les paramètres des vagues pour le récif (platier) (en bleu) et offshore (RF) (en rouge) observés sur les 40 jours de déploiement

Présence d'onde longues sur le récif pendant les événements de houles étudiés

Maximum IG atteint le 29 mars – 0,39 m

Maximum VLF atteint le 29 mars – 0,47 m

Synthèse sur le phénomène de *runup* sur l'estran

Evènement	Offshore			Récif					Estran		
	Hs OFF max (m)	Periode max (s)	Dir moy (°)	Marnage max (m)	Hs SS max (m)	Hs IG max (m)	Hs VLF max (m)	η_{RF} moy (m)	η_{ES} moy (m)	R max (m)	R2% moy (m)
H1	3,00	16,7	187	0,50	0,15	0,25	0,20	0,22	0,22	1,17	0,47
H2	2,76	13,3	206	0,27	0,11	0,22	0,14	0,25	0,15	0,71	0,30
H3	2,53	16,4	218	0,16	0,15	0,36	0,47	0,26	0,37	1,60	0,87
H4	3,05	18,5	217	0,37	0,14	0,28	0,26	0,15	0,22	1,40	0,45

Analyse quotidienne

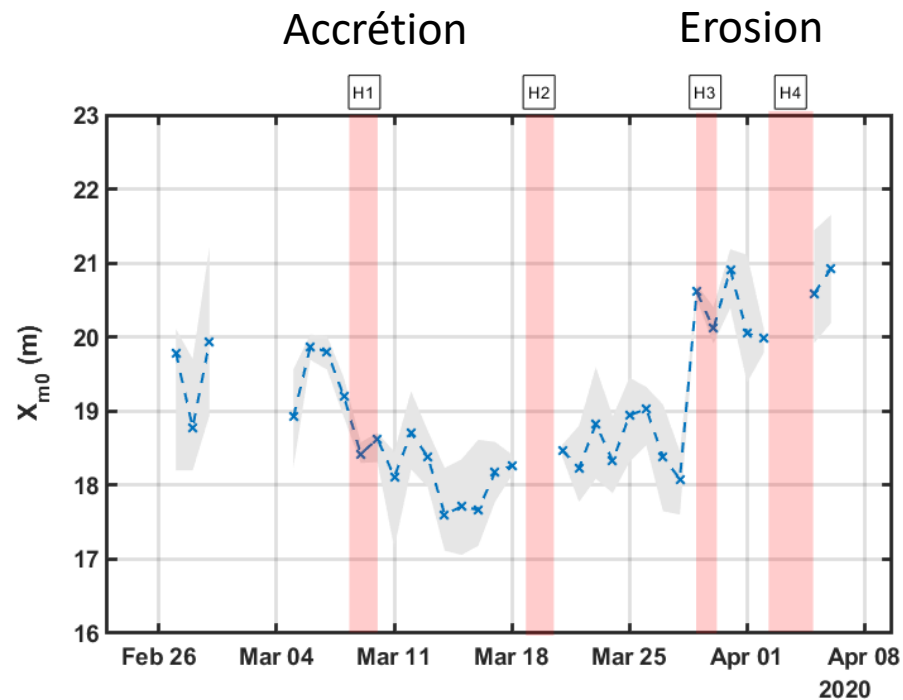


Figure 23 : Variation de la position de la ligne d'eau moyenne, X_{m0} , quotidienne pour $A_{IGN} = 0 \pm 0,02$ pour les périodes A - du 26 février 2020 au 6 avril 2020

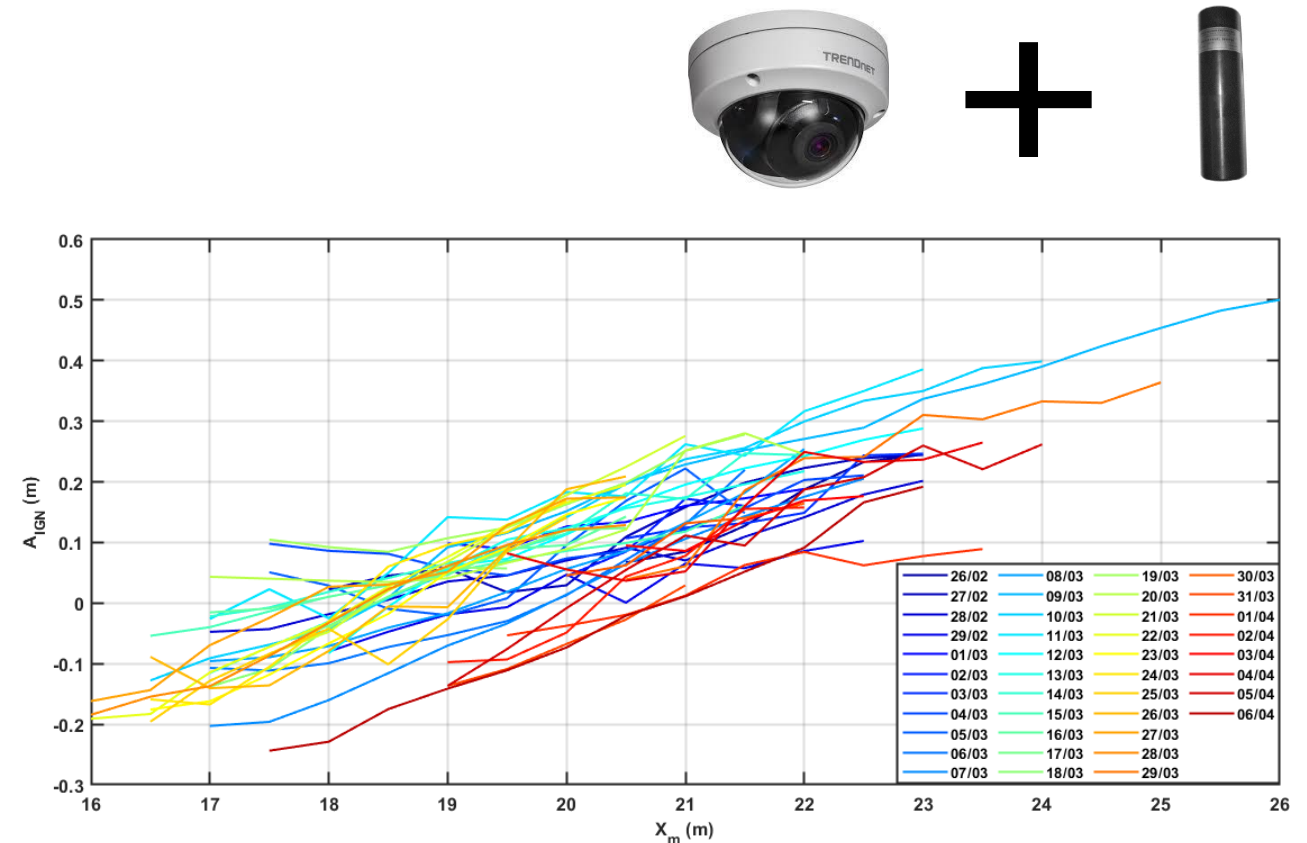
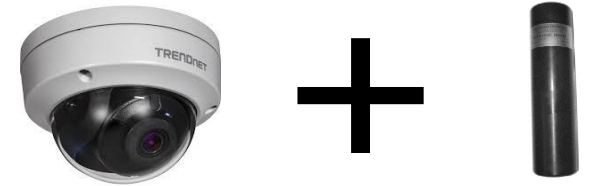


Figure 24 : Profils quotidiens pendant la période 26 février 2020 au 6 avril 2020



Le 29 mars 2020 : un aperçu des réponses potentielles à l'ENM?

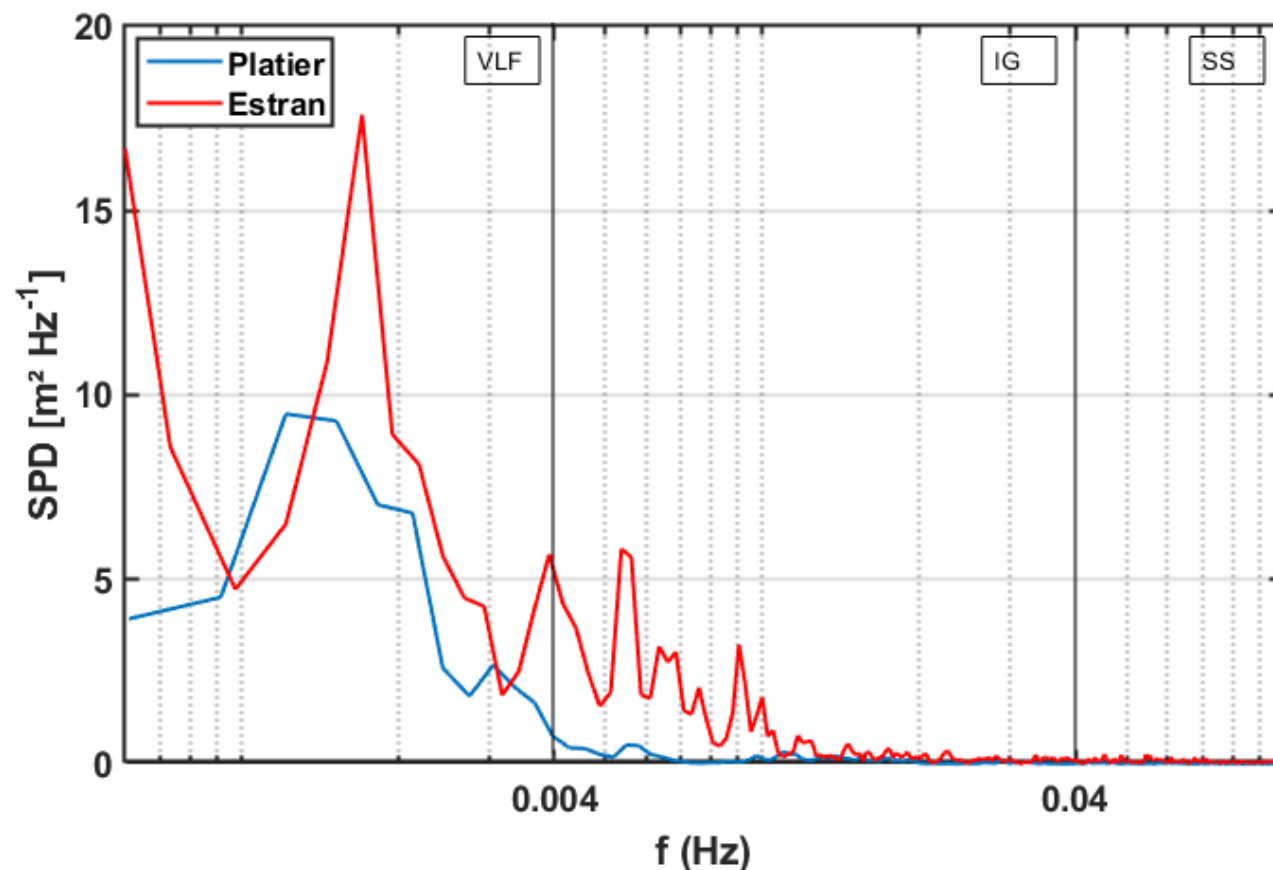


Figure 29 : Densité spectrale sur le platier et l'estran pour la tranche horaire 14:00 à 16:00 le 29 mars 2020, lorsque le runup maximum est atteint

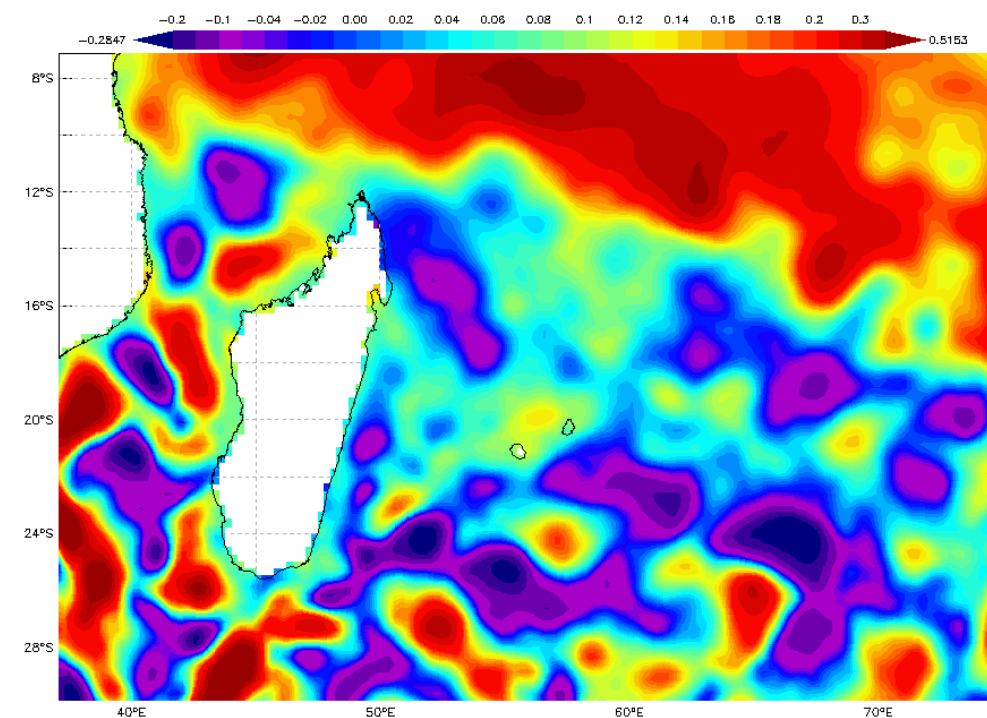
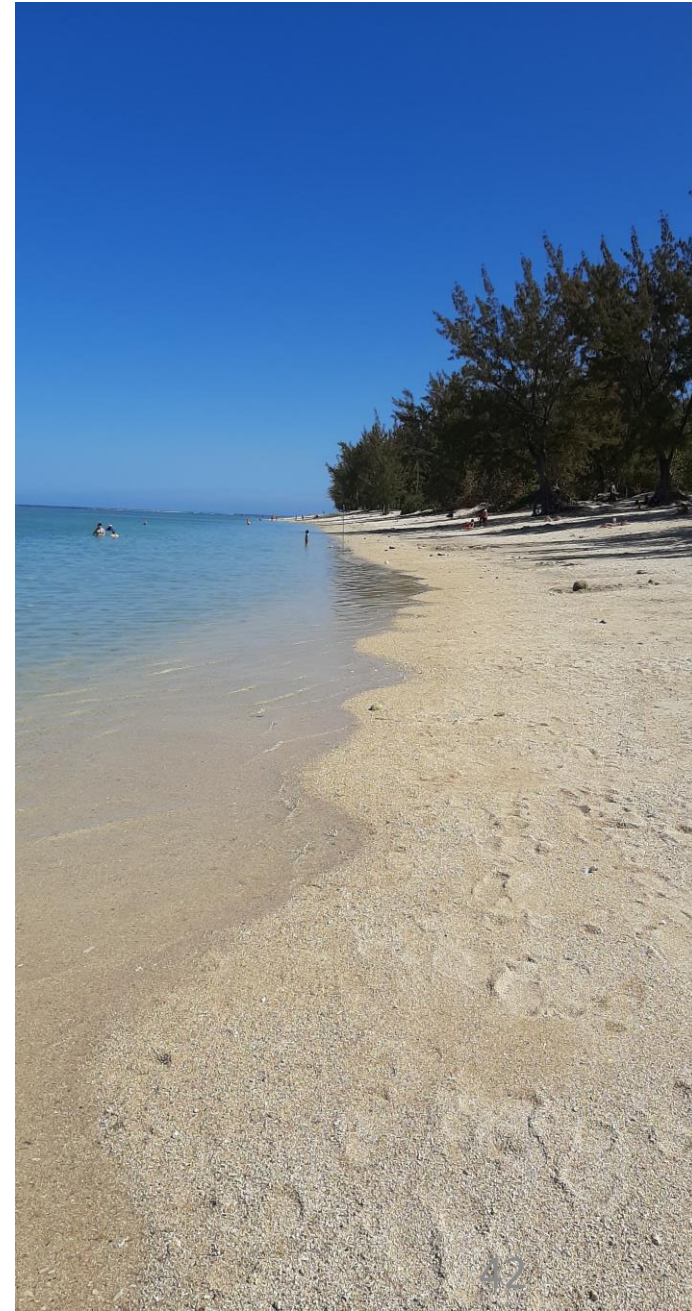


Figure 30 : Anomalie positive du niveau de la mer d'environ 12 cm sur AVISO LAS pendant la même période

Autres résultats



Exondations des coraux



Figure 31 : Visualisation de l'exondation des coraux par pas d'une heure le 5 juin 2020

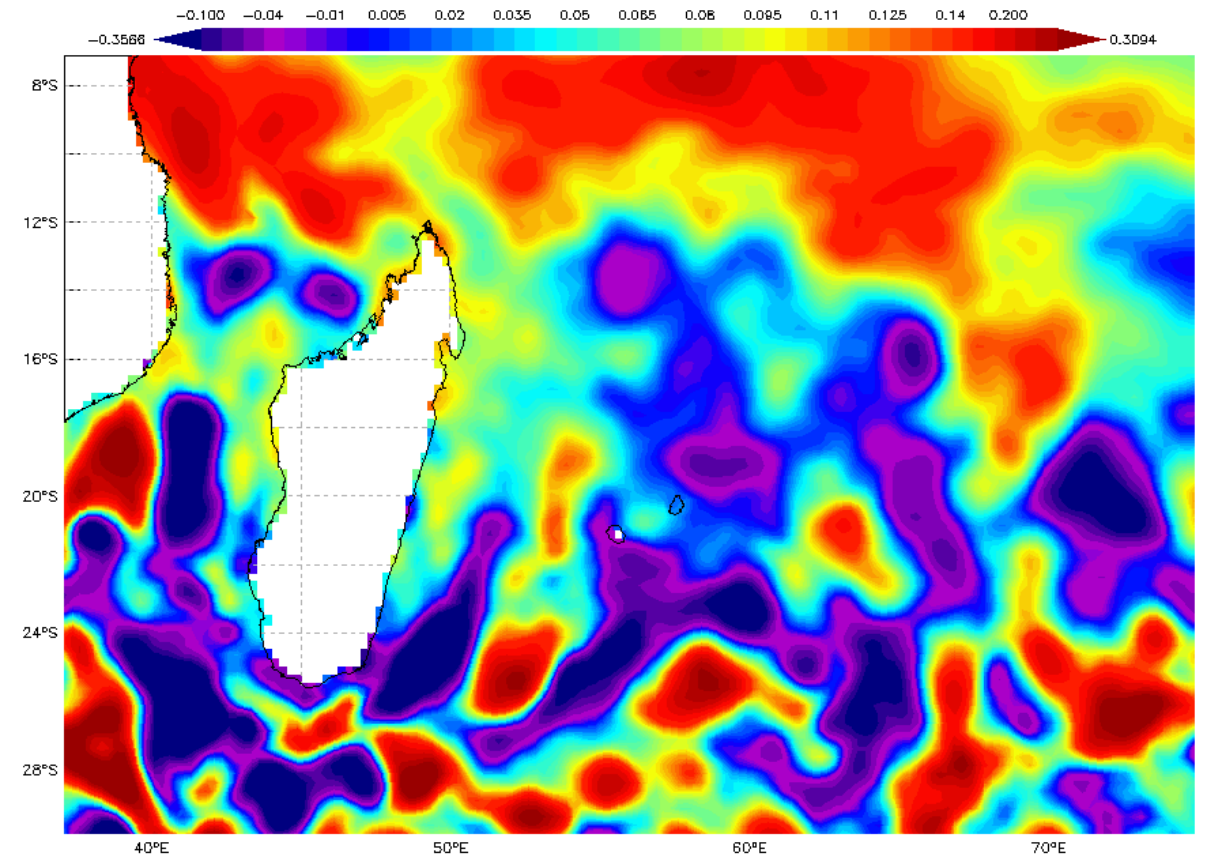


Figure 32 : Anomalie négative du niveau de la mer d'environ 10 cm sur AVISO LAS pendant la même période

Une houle de 5 m sur l'estran de l'Hermitage : le 8 juillet 2020



Figure 33 : Submersion de l'estran de l'Hermitage le 8 juillet 2020

Hs max = 5,54 m

Période max = 19,2 s

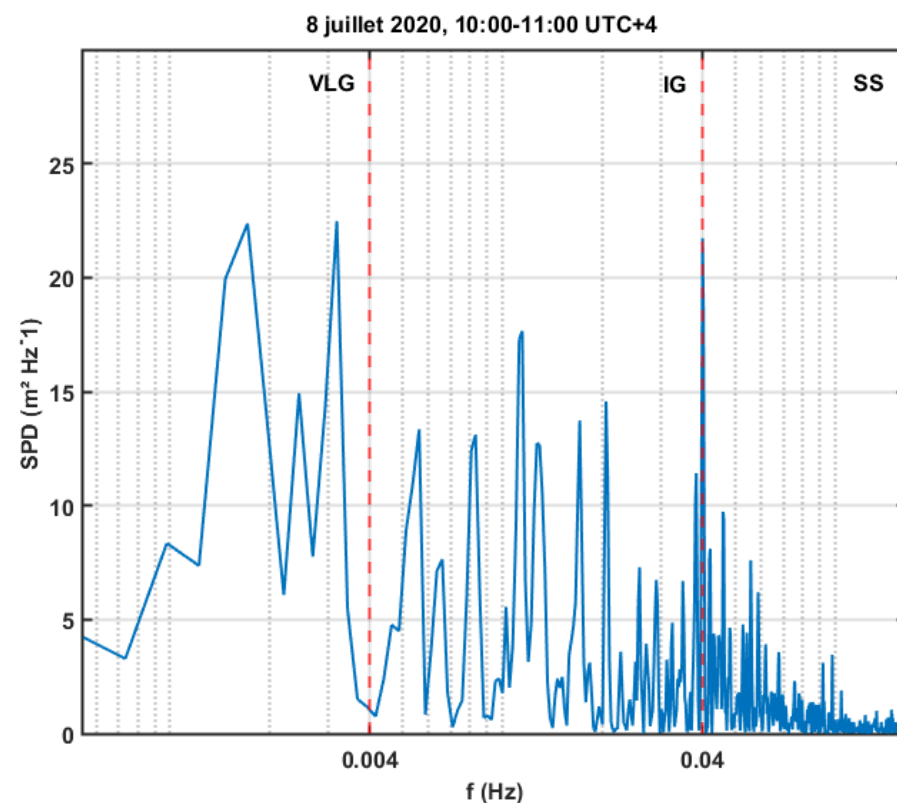


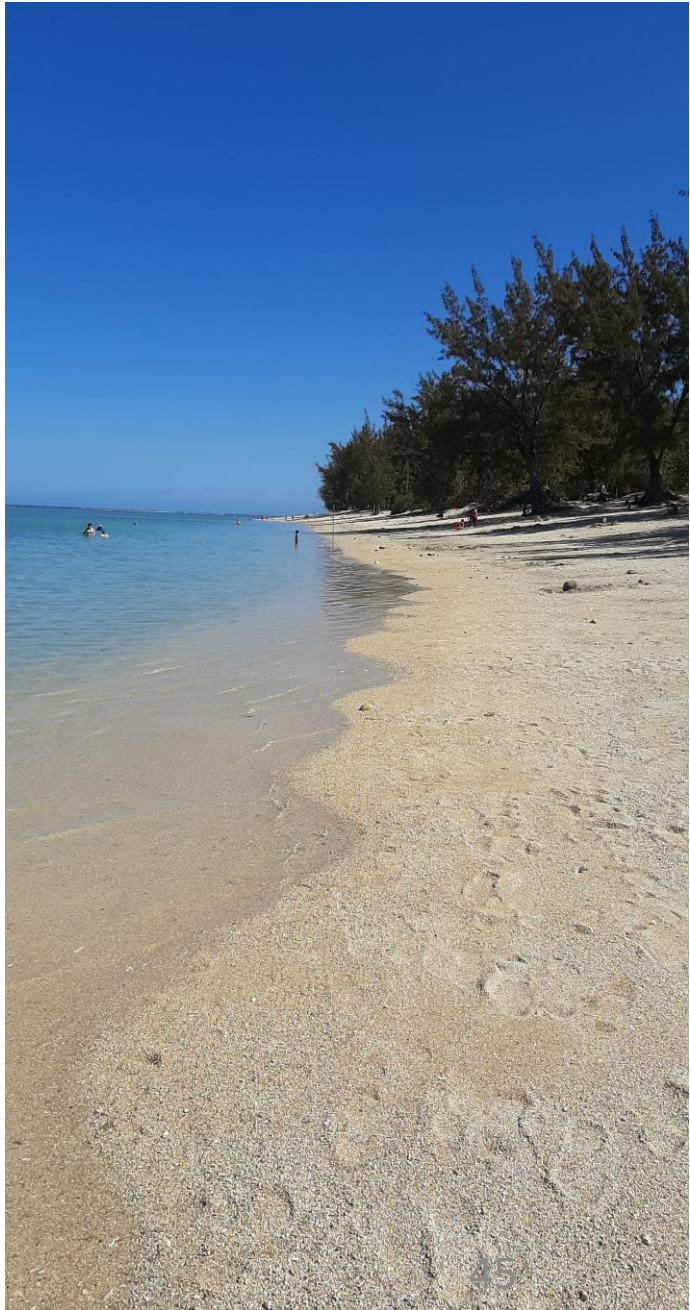
Figure 34 : Présence très marquée des ondes VLF et IG le 8 juillet 2020

R2% max = 2,7 m

R2% moyen = 2 m



Conclusion et perspectives



Les principaux points de la thèse et perspectives

- L'observation en continue par caméra vidéo permet:
 - De suivre la position de la ligne d'eau (instantanée, quotidienne, mensuelle, semestrielle) et sur de plus longues chroniques : annuelles
 - D'observer des phénomènes comme l'exondation des coraux et en couplant avec d'autres mesures -> quantifier la relation temps d'exondation/impact
 - D'étudier des événements extrêmes à fine échelle
- Ce qu'on apprend avec la thèse:
 - Les ondes longues sur l'estran sont les principaux vecteurs d'érosion et de submersion sur la plage de l'Hermitage.
 - Une augmentation du niveau d'eau de 10 cm peut avoir des effets décuplés sur l'estran
 - Le secteur MNS considéré atone (SNO dynalit) est finalement dynamique avec des périodes d'érosion et d'accrétion.
 - Il existe une cyclicité de la position de la ligne d'eau saisonnière
- Au vu des résultats encourageant le suivi du littoral par Camera a été intégré dans un projet **Interreg Telcoast** déposé à la région Réunion en janvier 2024. Cette composante du projet ce fait en partenariat avec le BRGM et l'UBO et permettra d'intégrer une plage détritique ouverte (Saint-Paul).



Merci

