

## Troisième Phase de mise en œuvre d'un système d'observation des plages récifales de La Réunion intégré au SNO Dynalit

---

### Rapport final

---



G. Pennober, Pr UMR ESPACE-DEV, responsable scientifique du site Atelier Réunion du SNO DYNALIT

F. Jouvenot, UMR ESPACE-DEV, programme Renovrisk Transfert

E. Cordier, OSU-Réunion, UAR 3365

J. Machabée, UMR ESPACE-DEV

Y. Benoit, OSU-Réunion, UAR 3365

P. Stamenoff, OSU-Réunion, UAR 3365

P. Rouet, UMR ESPACE-DEV

#### Citation du rapport

Pennober G., Jouvenot F., Cordier E., Machabee J., Benoit Y., Stamenoff P., Rouet P. (2021)  
Troisième Phase de mise en œuvre d'un système d'observation des plages récifales de La  
Réunion intégré au SNO Dynalit : rapport Final, convention DEAL OSU/Reunion. OSU/Reunion,  
Espace-Dev, p. 34

# Sommaire

---

1	Rappels du contexte et des objectifs de l'accord cadre	4
1.1	Démarche de labellisation et paysage des infrastructures à l'échelle nationale et européenne	4
1.2	Le Service National d'Observation DYNALIT	5
1.3	Le SNO Dynalit à La Réunion	6
1.3.1	Objets de la convention	6
1.3.2	Questions Scientifiques	6
2	<b>MESURE ET INSTRUMENTATION DÉPLOYÉE</b>	7
2.1	Etendue du site	7
2.2	Instrumentation	7
2.2.1	Les suivis topographiques	8
-	Profils de plage	8
-	Photogrammétrie par drone : MNT et MNE	10
2.2.2	Suivi de la position du trait de côte	12
2.2.3	Caractérisation du matériel sédimentaire	13
2.2.4	Les suivis des forçages météo-marins	13
3	<b>BANCARISATION ET DIFFUSION DES DONNÉES</b>	15
3.1	SI de l'OSU-Réunion	15
3.2	Disponibilité des données	17
4	Résultats depuis 2017	18
4.1	Publications scientifiques	18
4.2	Former et diffusés les avoirs	19
4.3	Analyse des dynamiques morpho-sédimentaires	20
4.3.1	Analyse des volumes différentiels sur les profils de référence sur la période 2017-2021	20
4.3.2	Analyse de l'impact des saisons cycloniques sur la période 2012-2020	21
4.3.3	Analyse de l'impact des houles Australes sur la période 2012-2020	24
4.3.4	Analyse des dynamiques du trait de côte	25
5	Conclusion	29
6	Bibliographie	30
7	Table des illustrations	32
	Annexe n°1 : Poster conférence EuroGOOS du 3 au 5 mai 2021	33

# 1 Rappels du contexte et des objectifs de l'accord cadre

---

## 1.1 Démarche de labellisation et paysage des infrastructures à l'échelle nationale et européenne

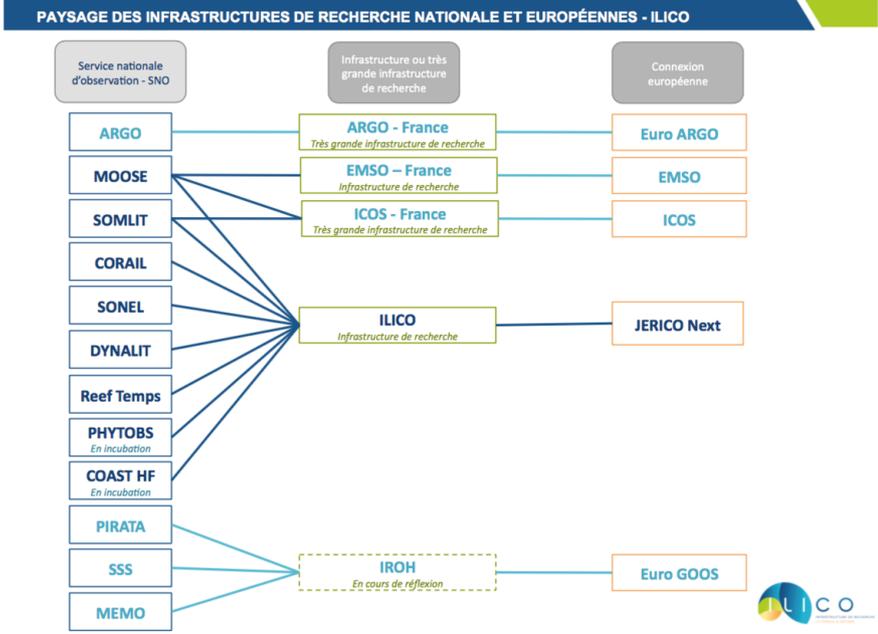
Les travaux menés dans le cadre des conventions OSU-Réunion/DEAL entre 2012-2017 ont permis d'aboutir à l'intégration de plages récifales de La Réunion, suivies en terme de dynamique topographique depuis les années 1990, dans le réseau SOERE "trait de côte, aménagements littoraux" (Systèmes d'Observation et d'Expérimentation, sur le long terme, pour la Recherche en Environnement) en 2012 puis dès 2014 dans le SNO Dynalit (Service National d'Observation des Dynamiques Littorales).

Pour rappel le SOERE "trait de côte, aménagements littoraux" a été labellisé par l'ALLENVI (l'ALLiance nationale de recherche pour l'ENVironnement) entre 2011 et 2016 et était constitué d'un réseau de laboratoires et de sites ateliers dédiés à la caractérisation des dynamiques hydrosédimentaires des plages. Les activités de l'AlEnvi s'inscrivent dans les stratégies nationales du gouvernement français en application du Grenelle de l'Environnement. Elle relève de la stratégie nationale de recherche et d'innovation (SNRI).

En parallèle, au vu des processus d'ores et déjà observés et des conséquences attendues du changement climatique sur les littoraux, il y a une demande, sociétale des riverains et des élus, traduite dans le Livre bleu rédigé à la suite du Grenelle de la Mer par le Secrétariat Général de la Mer, de stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte dès 2012. Développer et partager la connaissance sur le trait de côte devient l'Axe A de cette stratégie.

Pour répondre à cette stratégie nationale, en 2014, un nouveau consortium pluridisciplinaire de laboratoires choisit de privilégier une labellisation INSU (Institut des Sciences de l'Univers) et décroche le label SNO Dynalit pour des observatoires de plages, falaises et estuaires. En 2015, l'IR-ILICO (Infrastructure de Recherche Littorale et Côtière) fédère à l'échelle nationale les initiatives et services d'observation du littoral. La création de cette IR s'inscrit dans la continuité du projet européen JERICO (Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatories) (Figure n°1) qui s'est achevé en 2015 et se poursuit avec JERICO-Next qui, à l'échelle européenne, doit permettre d'harmoniser et de renforcer les systèmes d'observation tout en contribuant à définir de "meilleures pratiques pour la conception, la mise en fonctionnement, la maintenance, la distribution et la définition de normes de qualité pour les données acquises via ces systèmes".

Afin de dynamiser l'inscription dans ces réseaux de sites dans les outremer français, en 2021, l'IR ILICO lance un appel à projet dédié à ces territoires pour la création de sites pilotes. Ces sites pilotes proposent une cohérence entre plusieurs SNO de l'IR (figure n°1). A l'Horizon, 2025, l'OSU-Réunion doté du SNO Dynalit ambitionne d'inscrire les observations du littoral réunionnais (paramètres physiques, chimiques et biologiques) dans plusieurs labels SNO : Sonel, Reeftemps, Somlit et Benthobs (en cours de labellisation).



(ARGO ; COAST-HF, Coastal ocean observing system - High frequency ; CORAIL, Service d'observation des récifs coralliens de Polynésie française ; DYNALIT, Dynamique du littoral et du trait de côte ; EMSO, European multidisciplinary seafloor and water column observatory ; EuroGOOS, European global ocean observing system ; ICOS, Integrated carbon observation system ; ILICO, Infrastructure de recherche littorale et côtière ; IROH, Infrastructure de recherche d'observations hauturières ; JERICO Next, Joint European infrastructure network for coastal observatories ; MEMO, Mammifères échantillonneurs du milieu océanique ; MOOSE, Mediterranean ocean observing system for the environment ; PHYTOBS, Réseau d'observation du phytoplancton ; PIRATA, Pilot research moored array in the tropical Atlantic ; Reef Temps, Réseau de capteurs de température dans le domaine côtier du Pacifique sud ; SOMLIT, Service d'observation en milieu littoral ; SONEL, Système d'observation du niveau des eaux littorales ; SSS, Système d'observation de la salinité des océans - Sea surface salinity)

Figure 1 : Paysage des infrastructures de recherche nationales et européennes dans le domaine côtier et hauturier

## 1.2 Le Service National d'Observation DYNALIT

Le Service National d'Observation DYNALIT est dédié à la **météorologie récurrente et de long terme des littoraux** (plages, falaises estuaires) et de leur dynamique. DYNALIT répond à la nécessité d'observer quantitativement l'hydro-morphodynamisme. Cet impératif répond à des finalités de 2 ordres (i) Scientifique : compréhension des processus (d'érosion) en contexte de changement climatique ; (ii) Sociétal : gestion du littoral autour notamment des risques d'érosions. Le SNO DYNALIT a en effet été pensé et organisé afin de nourrir à la fois la recherche académique et les stratégies de gestion du trait de côte.

Les **questions scientifiques** soutenues par le SNO Dyalnit sont : (i) Quelle est la cinématique actuelle et future des environnements littoraux et du trait de côte et quelles sont les réponses morphologiques dans différents contextes de forçages météo-marins ? (ii) Quelles sont les interactions entre les processus hydrodynamiques (transports sédimentaires) et les réponses morphologiques ? (iii) Quelle est l'importance relative des facteurs anthropiques et naturels ?

En outre, **du point de vue technique**, le SNO Dyalnit vise à : (i) garantir une Intercalibration et homogénéisation des mesures des paramètres littoraux qui sont très diversifiées et adaptées aux caractéristiques des sites (figure n°2) ; (ii) mutualiser des ressources face aux défis technologiques liés à la mesure ; (iii) garantir l'accessibilité de la donnée via Internet en répondant aux quatre principes FAIR : *Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*.

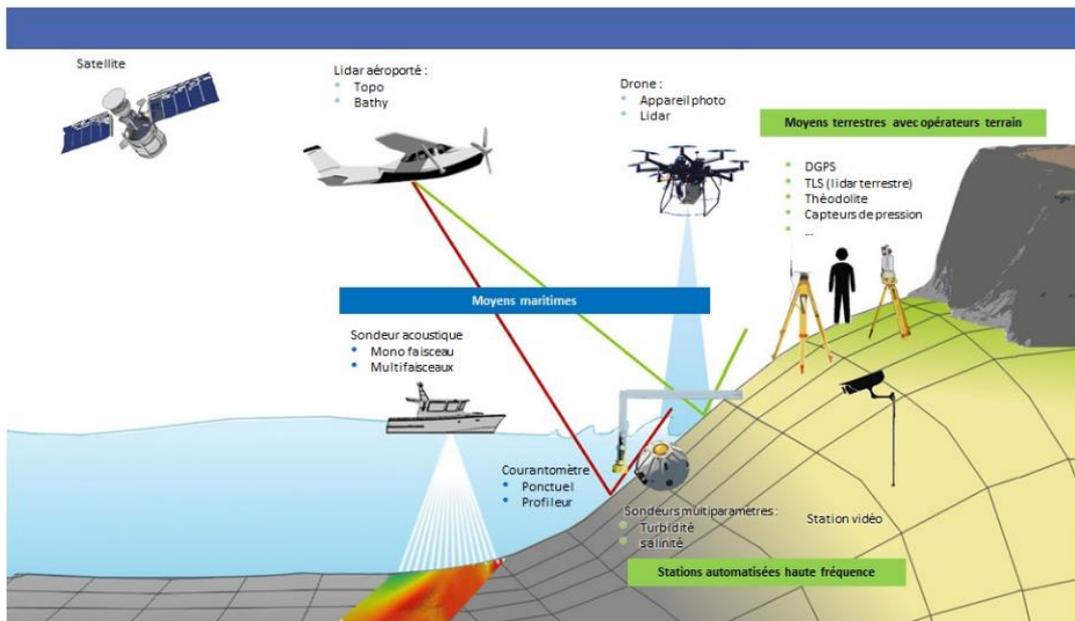


Figure 2 : Parc instrumental des sites ateliers du SNO Dynalit

## 1.3 Le SNO Dynalit à La Réunion

### 1.3.1 Objets de la convention

Les objectifs des conventions DEAL/OSU-Réunion sont de pérenniser les conditions opérationnelles de l'infrastructure d'observation pour le long terme à La Réunion, en : (i) soutenant les actions d'observation par la réalisation de levés de terrain afin de produire le socle minimal de données nécessaire au maintien du label SNO DYNALIT ; (ii) soutenant une activité de recherche instrumentale et sur les indicateurs ; (iii) poursuivant la bancarisation des données sur l'IDS (Infrastructure de Données Spatiales) GEOSUR; (iv) contribuant à la valorisation des savoirs par la formation des acteurs clés et la publication scientifique.

La convention 2017-2020 a été prolongée par avenant sur la période 2020-2021 en raison du contexte sanitaire (pandémie covid 19). Elle a été sollicitée dans la perspective d'adaptation aux nouvelles obligations de l'assemblée générale du SNO Dynalit en 2018. Cette nouvelle charte Dynalit mentionne alors la production de Modèles Numériques de Terrain (donc des données topographiques surfaciques) en lieu et place des profils de plage dès 2018. Cette transition se fait avec la collaboration de l'IUEM de Brest et ses partenaires par la formation des deux techniciens de l'OSU-réunion en charge des levés topographiques aux technologies drone, et par l'acquisition d'un drone à l'OSU-Réunion.

En parallèle, sur le volet recherche sur les indicateurs et développements instrumentaux, un système de caméra est actuellement déployé afin de caractériser les états de la mer et la production continue de données de topographie de plage. Ce déploiement a pu se réaliser grâce à l'obtention d'une allocation de thèse, de conventions avec la Région Réunion et la mairie de Saint-Paul. Les développements sont en cours afin d'évaluer la pertinence de ce type de méthode, déployée sur de nombreux littoraux métropolitains, à un contexte local abrité d'arrière récif. De même, sont pérennisées dans le cadre de cette convention (2 années) les mesures de la pression anthropique directe sur le littoral (estran, activités nautiques côtières).

### 1.3.2 Questions Scientifiques

Le Site de l'Hermitage-La Saline à la Réunion a été le premier site outre-mer à être inscrit dans une démarche de labellisation de type observatoire pérenne des dynamiques littorales. Les mesures

réalisées sur le littoral et l'instrumentation associée visent à contribuer à répondre à plusieurs questionnements scientifiques :

- Quelle dynamique sur le long terme pour les plages biodétritiques ou carbonatées à La Réunion ?
- Quels sont les impacts cumulés des événements extrêmes (houles australes, cycloniques) sur la topographie des plages ?
- Quel bilan sédimentaire au regard du bilan des carbonates ? Cette question impose de mettre en parallèle le bilan sédimentaire et topographique des plages et l'état du récif.
- Quels forçages hydrologiques en contexte d'arrière récif ?

## 2 MESURE ET INSTRUMENTATION DÉPLOYÉE

### 2.1 Etendue du site

Si toutes les plages récifales historiquement suivies par le LGSR (travaux coordonnés par R. Troadec) des années 1990 à 2010 bénéficient d'un suivi type SNO Dynalit (de Cap Champagne à Manapany), seul le site de l'Hermitage-La Saline est aujourd'hui labellisé (Figure n°3).

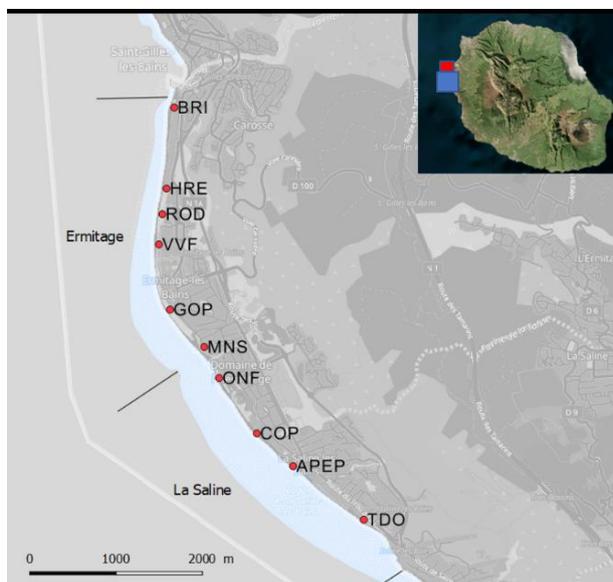


Figure 3 : Site atelier Hermitage-La Saline du SNO Dynalit et Localisation des principaux profils de plage sur le site (réalisation F. Jouvenot, 2021)

### 2.2 Instrumentation

L'instrumentation du site est orientée vers 4 volets :

- Suivi topographique,
- Suivi de ligne de rivage
- Caractérisation sédimentaire
- Suivi des forçages météo-marins

Chacun de ces volets peut être composé d'une partie opérationnelle et/ou d'un volet recherche. Notons qu'à ce jour, seuls les volets suivis topographiques et de ligne de rivage sont actuellement dans la partie opérationnelle de l'observatoire.

## 2.2.1 Les suivis topographiques

Initiés dès 2012 (Mahabot, 2012 ; Mahabot 2015, Mahabot *et al.* 2017a et b) les suivis topographiques visent, de prime abord, à répondre à la demande de socle minimal de données pour une labellisation SNO Dynalit et aux besoins de la thèse de M.M. Mahabot (2015). Le socle minimal a évolué en 2018. Alors qu'il était uniquement constitué de profils de plages acquis par DGPS 2 fois par an (figure n° 3), il intègre à présent des suivis de sections de plage par MNT.

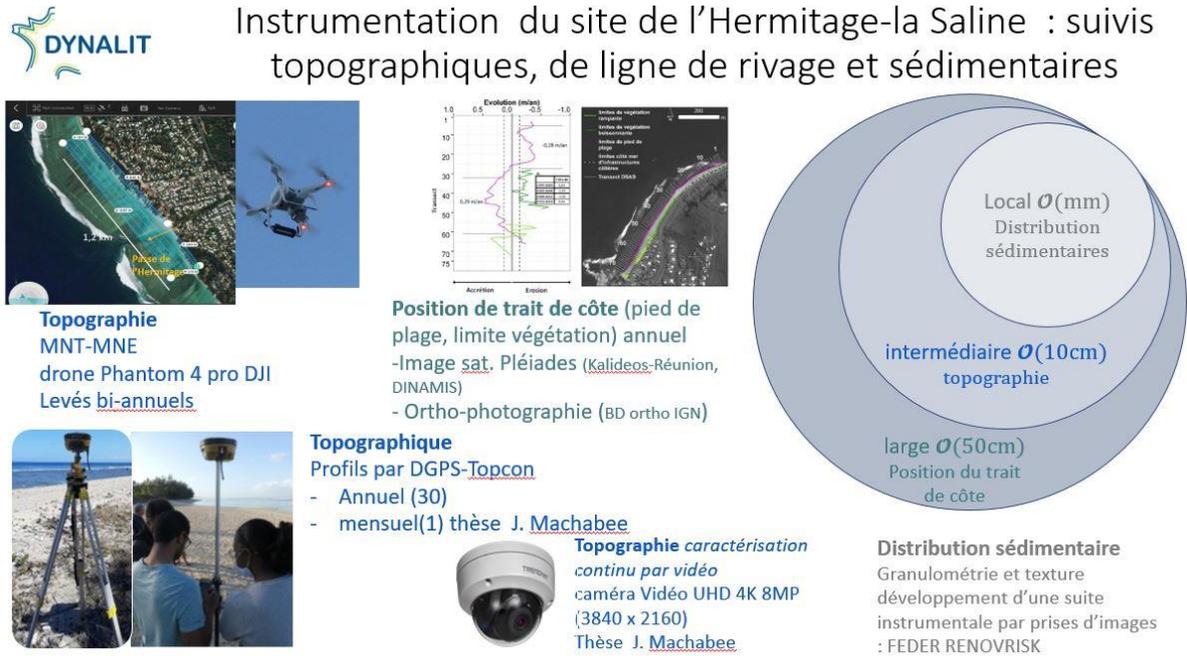


Figure 4 : Instrumentation du site de l'Hermitage-la Saline en terme de suivi topographique, de ligne de rivage et sédimentaire

### - Profils de plage

Les suivis topographiques se caractérisent par des suivis bi-annuels de profils de plage par DGPS (Topcon) et par des MNT issus de la photogrammétrie par drone (Phantom 4). Jusqu'en 2020 les suivis étaient autonomes avec une station de référence propre positionnée sur site à chaque campagne. Depuis 2020, suite à une panne insoluble de la station de référence de l'OSU-Réunion ils mobilisent le réseau GNSS (Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellite) Lél@<sup>1</sup> (<http://www.reseau-lela.com/>) ce qui se traduit par une sensible modification des conditions d'acquisition de la donnée en raison de la distance des bornes de référence positionnées à Saint Leu et Saint Paul. Cette modification est encore à évaluer sur le long terme. Mais la répétabilité de la mesure évaluée sur les campagnes 2020-2021 semble améliorée. La précision de la mesure recherchée est de l'ordre de 10 cm.

Dans l'objectif de quantifier les processus morphosédimentaires des plages d'arrière récif à moyen terme, l'analyse de données topographiques de profils de plage acquises sous forme de

<sup>1</sup> Réseau GNSS sur l'île de La Réunion Réseau Lél@ : <https://w3.leica-geosystems.com>

profil ou de transect de plage par DGPS permettent à la fois d'étudier la morphologie des plages mais également de quantifier des volumes de sédiments mobilisés à différents échelle spatiale et temporelle.

Les acquisitions débutent à la tête de profil matérialisé par une borne pour une grande partie d'entre elles. Lors de la pose de la borne en 2012-2013, une demande d'Autorisation d'Occupation Temporaires (AOT) sur le Domaine Maritime Public (DPM) a été réalisée. Les levés topographiques se fait point par point le long de la radiale aidé du carnet de terrain grâce à l'affichage en fond d'écran de couches d'information géographique (Bd ortho IGN). Pour réaliser une mesure, il suffit de se positionner sur le point à mesurer pendant quelques secondes et de "buller" correctement la canne télescopique. La mesure finale d'un point correspond à la moyenne des mesures réalisée en fonction de la durée prédéfinie. Selon la morphologie de la plage le nombre de points levés varie : une plage avec un pendage régulier aura des points plus espacés, au contraire en présence de rupture de pente sur une plage les points seront plus resserrés.

Le post-traitement, réalisé à partir du logiciel Topcon Tools V8, consiste à corriger les données brutes de la base du DGPS, ces données correspondent aux signaux des satellites captés en temps réel enregistrés directement sur la mémoire de l'appareil. Les données des bases sont corrigées par rapport aux données de la station RGP (réseau GNSS permanent) la plus proche (Station de Saint-Leu). Ces données sont téléchargeables depuis le site de l'IGN. A la fin du post-traitement sur Topcon Tools, les coordonnées réelles des bases sont récupérées afin de calculer les offsets en x, y et z par rapport aux coordonnées non corrigées. Les offsets sont ensuite appliqués aux points mobiles pour chaque profil. La dernière étape consiste à transformer les hauteurs ellipsoïdales z en altitude dans le système altimétrique local IGN89 à partir du logiciel Circe5 Réunion<sup>2</sup> développé par l'IGN. Les fichiers de sortie finaux sont sauvegardés au format .csv.

A partir des coordonnées post-traités x, y et z, les courbes des profils de plages peuvent être générées. Pour cela, la distance séparant la tête de profil par rapport aux points de levés est calculée grâce à la relation trigonométrique de Pythagore.

$$distance = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}$$

*avec  $X_0$  et  $Y_0$  coordonnées du PR ;  $X_i$  et  $Y_i$  coordonnées d'un point*

Les altitudes z sont ensuite reportées en fonction des distances obtenues. Le volume de sédiment du profil de plage est calculé en considérant la morphologie de la surface du profil décrit comme constante sur un linéaire de 1 m de part et d'autre de celui-ci. Le principe du calcul consiste à intégrer la surface de la courbe au-dessus de l'altitude Z=0 du système altimétrique local IGN89. Cependant, en l'absence de fonction mathématique propre au profil de plage, il est malheureusement impossible de réaliser cette intégration. Pour y remédier, on considère que la surface occupée par la courbe correspond à la somme des aires des trapèzes comprises entre deux points mesurés successivement (figure 5).

---

<sup>2</sup> <https://geodesie.ign.fr/index.php?page=circe>

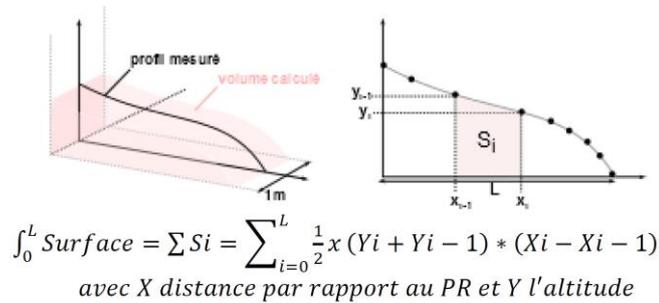


Figure 5 : Méthode de calcul du bilan volumique par décomposition surfacique (Mahabot, 2016).

Les volumes différentiels ou bilans volumiques entre levés de dates différentes sont obtenus par soustraction des volumes en mètre cube. Si le gain est négatif la plage en question est en érosion, en revanche un gain positif signifie un engraissement de la plage. Un volume cumulé correspond à la somme des bilans volumiques date à date. Concernant l'incertitude sur le volume de sédiment, celui-ci est calculé en considérant une erreur verticale de 0.02 m (en lien avec la précision du DGPS observée) pour chaque point du profil c'est-à-dire qu'elle est proportionnelle à la longueur du profil.

$$\Delta V = 0,02 * L \text{ avec } L \text{ longueur du profil de plage}$$

- *Photogrammétrie par drone : MNT et MNE*

L'OSU-Réunion s'est adapté à la nouvelle charte du SNO Dynalit et s'est orienté vers la photogrammétrie par drone à des fins de modélisation numériques 3D à partir de 2018. Il a été soutenu dans la phase d'apprentissage par l'OSU IUEM et ses partenaires en formant et diplômant ses techniciens pour réalisation de campagnes d'acquisition de données photogrammétriques.

Afin de piloter et exploiter un drone en tant que professionnel dans une structure rattachée au CNRS (comme les OSU) il est nécessaire : (i) d'obtenir l'examen théorique de télépilote ; (ii) de suivre une formation au télépilotage d'une semaine ; (iii) de passer une visite médicale ; (iv) de se déclarer en tant que pilote au sein de son unité, ici l'UMS 3365 ; (v) de se rattacher au MAP (Manuel d'Activité Particulière) du CNRS et ainsi à la DGAC ; (vi) d'homologuer son drone.

A La Réunion, les vols au-dessus de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion (RNMR) nécessitent une demande d'autorisation préalable de celle-ci puis une déclaration à la DGAC (30 jours au minimum avant la date du vol).

L'ensemble de ce protocole est aujourd'hui maîtrisé par l'équipe drone de l'OSU-Réunion. Les survols pour la réalisation des acquisitions aériennes ont été effectués par drone DJI Phantom 4 RTK équipé de sa balise de correction D-RTK 2 pour obtenir une précision centimétrique sur la position des photographies. La précision altimétrique des données est entre 3 et 10 cm sur les surfaces nues de la plage. Un protocole de traitement des surfaces végétalisées est en réflexion. Il en résulte qu'aujourd'hui les données produites par drone au sein de la cellule drone de l'OSU-Réunion sont des MNE (Modèles Numériques d'Élévation). Ces MNE sont équivalents à des MNT sur les surfaces nues de la plage (Figure 6).

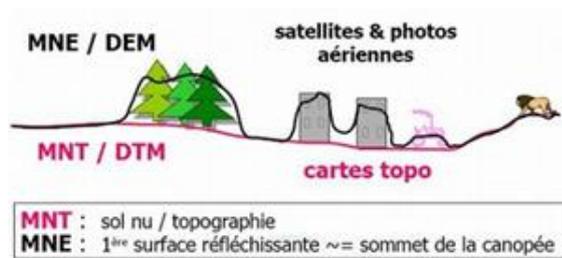


Figure 6 : Différence entre MNE et MNT (source : M. Bernard, Forum Photogrammétrie, 2009)

Le plan de vol actuel de la zone de l'Hermitage permet de couvrir un secteur d'un peu plus d'1,2 kilomètre de long sur un peu plus de 200 m de large intégrant une partie de la dune arborée et de la DAR (dépression d'arrière récif) (Figure 7).



Figure 7: Mosaïque de photographies aériennes sur le site de la passe de l'Hermitage : emprise de la zone de modélisation 3D

Les vols ont été effectués en double grid (angle de vue de  $60^\circ$  avec 4 passages sur la même zone. Chaque passage à un angle de  $+90^\circ$  par rapport au passage précédent, de manière à avoir 4 angles de vues différents sur la même portion de plage). Ce type de vol permet d'avoir une meilleure couverture, notamment en ayant quelques points de mesure sous la canopée si nécessaire en cas de littoral arborée. La hauteur de vol est réglée à 70 m, ce qui donne une résolution de 1,92cm/pixel.

En raison des caractéristiques du site (forte fréquentation et réflectance potentielle des surfaces : eau et sable blanc), les mesures sont effectuées tôt dans la journée, juste après le lever du soleil. En effet, on peut observer une réflexion spéculaire sur les surfaces d'eau de rugosité inférieure à la résolution du capteur. Sur les images, la réflexion spéculaire se traduit par une tâche blanche qui correspond à une saturation des capteurs si le capteur se situe exactement dans la direction du rayonnement réfléchi, ou bien sombre dans le cas contraire. De même, le sable blanc ayant un fort potentiel de réflectance de l'éclairage solaire, on peut avoir à des heures plus tardives une saturation des capteurs optiques. Une exposition trop forte peut se traduire par une information dégradée. De même, il faut éviter au maximum les jours venteux, en raison des difficultés de survol mais aussi et surtout en raison des embruns, qui en

altérant les basses couches de l'atmosphère provoquent du bruit dans la suite du traitement des données.

À la fin des acquisitions aéroportées par drone suit l'étape de traitement des données brutes à partir de logiciel de photogrammétrie SfM (Structure from Motion). La photogrammétrie SfM est une technique de traitement destinée à reproduire une scène en 3D à partir d'images 2D issues de la vision par ordinateur. Cette technique s'appuie sur l'intelligence artificielle et repose principalement sur la détection des points homologues (même pixels) par la méthode SIFT (Scale Invariant Feature Transform) (Lowe, 1999). En outre, d'après Jaud (2019) cette méthode de détection SIFT permet de détecter des points homologues indépendamment des changements d'orientation d'échelle et d'illumination entre les photographies.

Le logiciel de photogrammétrie SfM choisi pour la réalisation des traitements des photographies est Agisoft PhotoScan4 aujourd'hui appelé Agisoft MetaShape depuis la dernière mise à jour fin 2018). 7 étapes de traitement : (i) présélection des images dans le set de données acquises (ii) alignement des images par détection de points homologues (iii) créations de masques, pointage de cibles pour géoréférencement (iv) optimisation de l'alignement (v) construction d'un nuage de points dense (vi) construction d'un maillage de type TIN (réseau irrégulier de triangulation) (vii) générer un MNT et une mosaïque d'image.

Les données MNT drone et DGPS profils sont réalisées lors d'une seule et même campagne à la fin de la saison des houles australes (novembre) et à la fin de la saison des houles cycloniques (avril-mai).

### 2.2.2 Suivi de la position du trait de côte

La position de la ligne de rivage est mesurée par la numérisation du pied de plage et de la limite de végétation basse et des ouvrages de haut de plage aux échelles supérieures au 1/5 000 (Figure 4). La digitalisation à l'écran s'effectue par une saisie en 2D au format shape sous QGIS ou ARGIS sur fond image BDORTHO® de l'IGN ou de données des satellites Pléiades issu initialement du fond Kalideos Réunion<sup>3</sup> et aujourd'hui via DINAMIS (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire)<sup>4</sup>.

Le logiciel MobiTC (développé par le CEREMA <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/MobiTC>) permet l'analyse de la mobilité du trait de côte (Trmal et al., 2012). L'outil MobiTC offre la possibilité d'étudier cette mobilité des traits de côte par génération automatique d'une ligne de base qui suit la tendance des traits de côte. Le principe de génération est basé sur la squelettisation. Un squelette est l'objet le plus simple décrivant les lignes moyennes d'une forme quelconque. Ici, la forme est l'enveloppe contenant tous les traits de côte historiques. Cette enveloppe s'appuie sur des points des traits de côte historiques avec un seuil en longueur des éléments. La squelettisation programmée dans MobiTC utilise les diagrammes de Voronoï<sup>5</sup>. Les traces sont générées perpendiculairement à la ligne de base et tous les calculs sont ensuite basés sur les intersections entre les traits de côte historiques et les traces. À partir de là, de nombreux indicateurs avec des expressions graphiques sont calculés permettant à l'utilisateur de mener une analyse critique de la mobilité.

---

<sup>3</sup> <https://lareunion.kalideos.fr/drupal/fr>

<sup>4</sup> <https://dinamis.data-terra.org/>

<sup>5</sup> Diagramme de Voronoï : découpage du plan en polygones adjacentes à partir d'un ensemble discret de points de façon à ce que polygone contienne qu'un seul point.

### 2.2.3 Caractérisation du matériel sédimentaire

La caractérisation du matériel sédimentaire biodétritique, carbonaté ou bioclastique des plages récifales de La Réunion n'est pas réalisée de manière opérationnelle jusqu'à aujourd'hui. Les études inscrites dans le volet recherche du SNO Dynalit sont réalisées dans le cadre du programme Renovrisk-Transfert (2019-2022) dédié à l'évaluation interdisciplinaire de l'impact des cyclones à l'échelle d'un bassin versant. Le projet devrait déboucher à terme par une chaîne de traitement permettant une approche intégrée de la spécificité de ces accumulations sédimentaires.

L'analyse granulométrique constitue le cœur de la recherche en sédimentologie. C'est une description fondamentale des sédiments et des roches sédimentaires. L'analyse des grains apporte plusieurs informations comme la nature des particules, leurs origines et le mode de transport et leur datation dans tous les environnements sédimentaires. L'étude du matériel sédimentaire d'une plage passe par la classification des sédiments en fonction de leur origine, de leur granulométrie, et de leur forme. La spécificité des dépôts carbonatés en contexte de récif corallien, est qu'ils caractérisent par une (plus) grande hétérogénéité de formes et de taille que les plages détritiques marines. Les propriétés géométriques (taille, forme, densité) de ces sédiments sont modifiées par des processus d'altération spécifiques et de transport. Les propriétés structurales (morphologies initiales et microarchitectures du grain squelettique) jouent un rôle important et conditionnent le mode de fracturation mécanique et donc la distribution granulométrique des grains carbonatés (Yamano, et al, 2002 et Folk et Robles 1964). Ainsi, par exemple les coraux branchus (*Acropora*) se décomposent en bâtonnets et grains tandis que les algues calcaires (*Halimeda*) se fragmentent en de petites pièces de 2 à 8 mm pour finir en fin de processus de décomposition en aiguilles d'aragonites de l'ordre du micron. L'analyse de la forme et de la taille des grains de sable ou des blocs de corail nous renseignent donc sur le type de producteur du matériel de la plage

La littérature montre qu'il n'y a pas de démarche qui permette à ce jour d'approcher dans un protocole unique la sédimentologie des plages récifales en raison de l'hétérogénéité de la granulométrie et de la forme. L'hétérogénéité de taille impose une chaîne instrumentale multi-échelle (bloc, sable, limon). L'Hétérogénéité de forme et surtout la présence de formes complexes parfois oblongues limite les approches pertinentes à celle basées sur du tri hydraulique (colonne à sédimentation) s'il n'y a pas d'hétérogénéité de masse (matériel de nature différente) ou par imagerie. Dans le cadre du programme Renovrisk c'est une approche qui est privilégiée ici (Razakarivony Andriamiharivony, 2021, mémoire de M2). Une chaîne de traitement par traitement d'image permet d'étudier la granulométrie des blocs et des sables sur la plage. Les sédiments de la taille des limons ne sont pas encore intégrés dans cette chaîne de traitement en cours de développement.

### 2.2.4 Les suivis des forçages météo-marins

Les forçages météo-marins en contexte d'arrière récif commencent à être instrumentés en mode exploratoire dans une perspective d'observatoire pérenne durant cette 3ème phase de la convention. Cette phase d'instrumentation dédiée à l'hydrodynamique d'arrière récif a été conçue à partir des constats des études historiques en contexte de projet (ex : Cordier, 2007 ; Cordier, *et al.* 2012 ; Cordier *et al.*, 2013 ; Bousquet *et al.*, 2021 ; Bruch *et al.*, submitted).

En raison des difficultés d'instrumentation des très petits fonds et en contexte de haut niveau de fréquentation du site, l'instrumentation dédiée au suivi hydrosédimentaire a été orientée vers l'utilisation d'une caméra afin de caractériser le jet de rive sur la plage et le profil de la plage en résultant mais aussi plus généralement des cycles affectant l'hydrodynamisme de l'arrière récif (Figure 8).

# DYNALIT Forçages océaniques : Instrumentation du site de l'Hermitage-la Saline

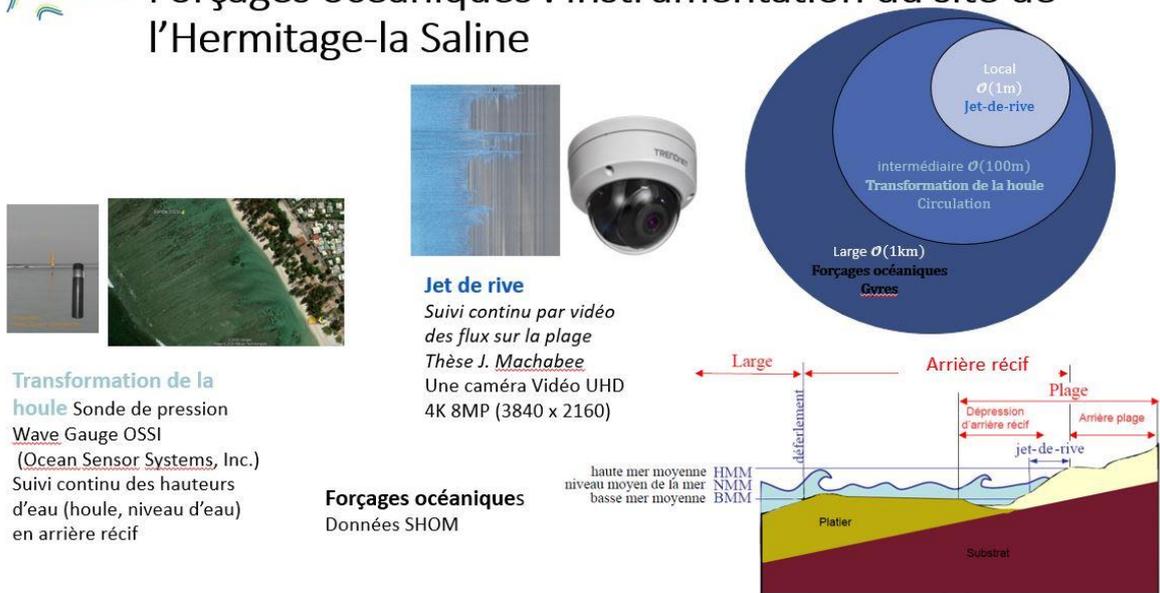


Figure 8 : Instrumentation du site de l'Hermitage-la Saline en terme de suivi des forçages océaniques

Un système vidéo optique à faible coût a été installé sur le poste MNS de la passe de l'Hermitage. Haut de 8 m, il est situé à environ 30 m du pied de plage en décembre 2019. Une convention OSU-Réunion/ Région Réunion/Mairie de Saint Paul permet l'exploitation de cette caméra à distance. Cependant, on note des arrêts d'enregistrement liés aux interventions sur les réseaux par l'Université et la Région qui interrompe la création des séries temporelles sans avertissement de l'OSU.

La caméra TRENDNET TV-IP319PI (3840\*2160 pixels, 4K) collecte en continu des images à une fréquence d'images de 2 Hz entre 6h00 et 19h00. Les données collectées sont stockées sur un disque accessible à distance via Internet.

En février 2020, une sonde de pression (Wave gauge OSSI) autonome a été installée dans l'arrière récif, à une centaine de mètres de la caméra afin d'obtenir les niveaux d'eau. La sonde a été programmée pour prendre des mesures à une fréquence de 10 Hz. Dans un premier temps, la sonde a été utilisée pour évaluer l'efficacité de la caméra à produire des indicateurs. Après évaluation, il a été décidé que la sonde serait complémentaire à la caméra et a donc été installée en continue d'octobre 2020 à ce jour.

Les images brutes sont traitées et trois types d'images sont obtenues : des images de longue exposition - moyennées sur 10 minutes (Timex), des images instantanées et des timestacks. Le Timestack est obtenu en empilant des profils cross-shore pris sur chaque image d'une région d'intérêt pour obtenir une image. Les timestack sont principalement utilisés pour estimer les paramètres de jet de rive.

Dans la première phase d'expérimentation, le jeu de données exploité couvre une période de 198 jours entre mars 2020 et septembre 2020 ce qui représente 2376 heures d'enregistrement et donc 46% du temps écoulés sur la période en question, avec en moyenne 12 heures d'enregistrement par jour (les images sont sélectionnées pour couvrir le créneau de 6h00 à 18h00). Les données manquantes sont dues à des dysfonctionnements temporaires de la caméra ou à une mauvaise qualité des images collectées. De plus comme précisé précédemment, le système vidéo optique n'acquiert aucune information pendant la nuit.

Avec la caméra, aujourd'hui il est possible d'avoir la hauteur d'eau dans l'arrière récif à un temps donné, et ce en presque temps-réel (il faut en moyenne 10 minutes pour que l'image

arrive sur le serveur). En effet, les travaux en cours montrent que le coefficient de corrélation entre les hauteurs d'eau issues de la sonde de pression et ceux extraites des images caméra est de 0.74 pour 3600 points mesurés (Figure n°9).

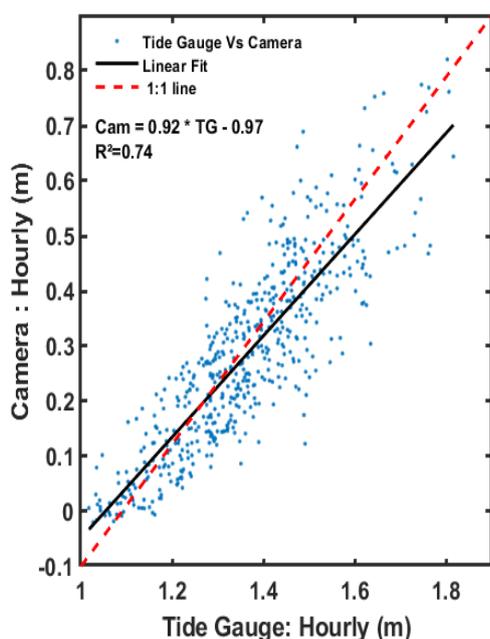


Figure 9: Hauteurs d'eau extraites de la caméra versus hauteurs d'eau mesurées par la sonde. Ici les données sont moyennées sur 1 heure (réalisation : Machabee, 2021).

La corrélation des données mesurées par la sonde et celles extraites des images permet de valider la production de l'indicateur Niveau d'eau dans l'arrière récif avec la caméra, avec pour avantage qu'avec la caméra, les données peuvent être extraites à la demande alors que pour la sonde il faut la sortir de l'eau pour récupérer les données. Les différences entre les deux mesures résultent du fait que pendant les périodes de houle ou de vent fort, la limite eau-sable est plus difficile à déterminer. De plus, les erreurs peuvent aussi être dues à l'obliquité du champ de vue de la caméra et des erreurs de calibration. La différence moyenne entre les mesures caméra et sonde est de 20 cm.

Notons en outre que les dernières images ont permis d'observer l'exondation des coraux dans le champ de vue de la caméra et de produire un indicateur de temps d'exondation qui permettra de caractériser les conditions d'exondations exceptionnelles ayant un impact sur la vie des coraux.

### 3 BANCARISATION ET DIFFUSION DES DONNÉES

#### 3.1 SI de l'OSU-Réunion

En complément des services techniques et instrumentaux proposés par l'OSU-Réunion, ce dernier propose également un Système d'Information (SI) pour la gestion du cycle de vie de la donnée, depuis son acquisition jusqu'à sa diffusion.

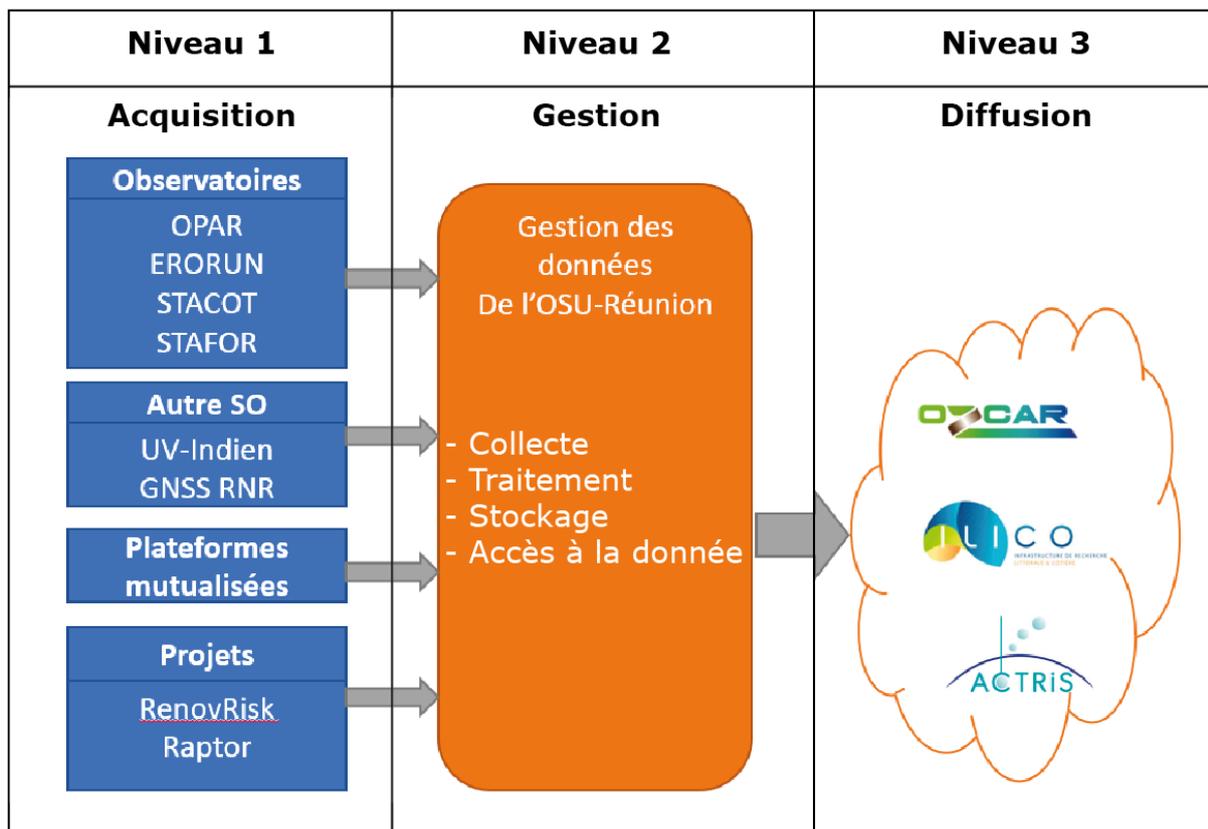


Figure 10 : schématisation du flux de données géré par le SI de l'OSU-Réunion, pour les exemples des IR ACTRIS, OZCAR et ILICO.

La figure 10 schématise le flux de la donnée mis en place à l'OSU-Réunion, illustré ici pour 3 IR différentes : (i) ACTRIS pour l'observation des processus atmosphériques, (ii) OZCAR pour la zone critique, (ii) ILICO pour le domaine littoral et côtier. Le flux de données au sein du SI de l'OSU-Réunion se résume à 3 principaux niveaux :

- L'acquisition : elle peut être permanente dans le cas de réseaux d'observations pérennes, ou ponctuelle dans le cadre de programmes de recherches. Les modes d'acquisition de la donnée brute sont soit automatisés, soit manuels.
- La gestion : elle consiste à classer, ranger la donnée sur les serveurs du SI de l'OSU-Réunion. Différents traitements allant d'un simple filtrage à une validation scientifique complète peuvent également être appliqués à la donnée entrant au niveau 2. Les règles de traitement, de stockage, de nommage des données sont dictées par les différents IR ou SNO pour lequel ou lesquels la donnée est produite.
- La diffusion : elle a pour objectif de rendre visible la donnée sur des catalogues numériques des pôles de données nationaux ou locaux. La diffusion suit différentes règles dictées par le réseau d'observation pour lequel la donnée est produite, avec un accès public ouvert ou restreint. Elle peut se faire dès l'acquisition de la donnée sans aucun traitement ni filtrage, ou après une procédure d'analyse validée scientifiquement.

Ce SI a pour objectif de répondre aux différentes exigences des Infrastructures de Recherche (IR), des SNO, des pôles ou centres de données et services nationaux. Son organisation nécessite alors d'être suffisamment souple pour répondre à des besoins souvent très différents, et réactive pour répondre à toute nouvelle demande de changement au niveau national.

Le choix a été fait de conserver et diffuser la donnée localement, sur les serveurs de l'OSU-Réunion, avec une visibilité et une interopérabilité avec les catalogues de données nationaux, en respectant le principe FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

## 3.2 Disponibilité des données

Les données bancarisées à l'OSU-Réunion sont diffusées sur le catalogue Geosur (Geosur - Accueil ([univ-reunion.fr](http://univ-reunion.fr)) qui recense l'ensemble des données d'observations pérennes ou acquises sur programme de recherche, produites par l'OSU-Réunion et les laboratoires partenaires. Toutes ces données sont à minima diffusées en open access, assurant un accès libre à l'ensemble des informations relatives à la généalogie de la donnée (contexte et méthodes de production, responsables scientifiques et opérateurs terrain) présentées sous la forme d'une fiche de métadonnée (figure 7). L'accès à la donnée elle-même se fait sur requête auprès d'un point contact (responsable de la donnée) identifié sur la fiche de métadonnées. Des conditions d'utilisation et de citation peuvent être mentionnées et à préciser pour toute exploitation de cette donnée.

Dans le cas d'une donnée ouverte publiquement, open data, un lien d'accès à la donnée est ajouté sur la fiche de métadonnée et permet son téléchargement direct. Des conditions d'utilisation et de citation peuvent également être mentionnées et à respecter.

Selon les termes de la charte du SNO Dynalit, les données produites sont à diffuser en open data, et le socle minimal requis se compose de 2 modèles numériques de terrain (MNT) des plages intégrant les sites ateliers. Les conditions d'accès aux données complémentaires produites dans le cadre de ce SNO restent à la convenance du responsable scientifique. Le choix a ainsi été fait d'ouvrir l'accès à l'ensemble des données de suivis des littoraux coralliens de La Réunion. Le catalogue Geosur permettra alors l'accès "open data" aux données suivantes :

- Les données topographiques relevées bi-annuellement aux DGPS depuis Décembre 2012 : <https://geosur.osureunion.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/d07f6653-8f82-4c78-ba8e-8f0e430f2aa4>
- Les MNT produits bi-annuellement par photogrammétrie aérienne, acquise par drone : <https://geosur.osureunion.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/c0cae920-5c49-4ede-b455-82e8a49ccb1d>
- Les couches vectorielles des limites du trait de côte, sur la base de la BDORTHO® de l'IGN, depuis 1997 : <https://geosur.osureunion.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/1db1604b-bfbc-4312-8c6f-dc7b10ebb78d>
- Les couches vectorielles des limites du trait de côte, sur la base des images satellites Pleiades, depuis 2017 : <https://geosur.osureunion.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/9174de46-a4c3-4c36-830c-8a5d5e97f141>

Les données historiques de profils de plage sur la période 1992-2011, de par la méthode d'acquisition et leur niveau de précision différent, ont été bancarisées mais ne sont pas accessibles ni partagées.

Les données sont accompagnées de fiches métadonnées (Figure 11) permettant de contextualiser la donnée (étendue, géographique, mode de production, précision, période, référent,...).

Geosur Catalogue de données Sites d'observation Services d'accès aux données

Visualiser

Retour à la recherche < Précédent Suivant >

### Levés Drone 2019 - île de La Réunion, St-Gilles Les Bains, Plage de l'Hermitage

Modèle Numérique de Terrain (MNT) et Orthophotographie du secteur de plage de l'Hermitage (La Réunion, Saint-Gilles les Bains, 97460).  
 - Le MNT est construit par photogrammétrie aérienne acquise par drone.  
 - Les données sont acquises sur le site d'observation Station Côtière et Marine (STACOT) du SNO DYNALIT et produites par l'OSU-Réunion et l'UMR Espace-Dev.

Mis à jour continue

Téléchargements et liens

	MNT drone Hermitage 2019-04-09	Télécharger
	ORTHO drone Hermitage 2019-04-10	Télécharger
	Site Web DYNALIT	Ouvrir le lien

À propos de cette ressource

Catégories

- Cartes & graphiques
- Jeux de données
- Imagerie/Cartes de base/Occupation des terres

Mots-clés

- SNO DYNALIT
- IR ILICO
- MNT
- Orthophotographie
- DRONE
- La Réunion

Aperçu

Plage Corallienne Hermitage, La Réunion

Étendue spatiale

Étendue temporelle

Date de publication  
2019-10-17

Période  
mar. avr. 09 2019 04:00:00 GMT+0400 ▶ mer. avr.

Figure 11: exemple d'une fiche de métadonnées du catalogue GEOSUR (<http://geosur.osureunion.fr>).

## 4 Résultats depuis 2017

### 4.1 Publications scientifiques

- Marie-Myriam Mahabot, Gwenaëlle Pennober, Serge Suanez, Roland Troadec, Christophe Delacourt. Effect of Tropical Cyclones on Short-Term Evolution of Carbonate Sandy Beaches on Reunion Island, Indian Ocean. *Journal of Coastal Research*, Coastal Education and Research Foundation, 2017, 33 (4), pp.839-853. <10.2112/JCOASTRES-D-16-00031.1>. <hal-01398914>
- Marie-Myriam Mahabot, Marion Jaud, Gwenaëlle Pennober, Nicolas Le Dantec, Roland Troadec, et al.. The basics for a permanent observatory of shoreline evolution in tropical environments; lessons from back-reef beaches in La Reunion Island. *Comptes Rendus Géoscience*, Elsevier Masson, 2017, 349, pp.330-340. <10.1016/j.crte.2017.09.010>. <hal-01616211>
- Poster conférence EuroGOOS du 3 au 5 mai 2021 (Annexe n° 1 ) (<https://eurogoos-conference.ifremer.fr/>)
- P. Tulet, B. Aunay, G. Barruol, C. Barthe, R. Belon, S. Bielli, F. Bonnardot, O. Bousquet, J-P. Cammas, J. Cattiaux, F. Chauvin, I. Fontaine, F. Fontaine, F. Gabarrot, S. Garabedian, A. Gonzalez, J-L. Join, F. Jouvenot, D. Nortes-Martinez, D. Mékiès, P.

Mouquet, G. Payen, G. Pennober, J. Pianezze, C. Rault, C. Révillion, E. Rindraharisaona, K. Samyn, C. Thompson, H. Vèrèmes (2021) ReNovRisk: a multidisciplinary programme to study the cyclonic risks in the South-West Indian Ocean. Natural Hazards, Springer Verlag, In press, [10.1007/s11069-021-04624-w](https://doi.org/10.1007/s11069-021-04624-w). [hal-03165702](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03165702)

## 4.2 Former et diffusés les avoirs

La formation et la formation par la recherche sont associées à la démarche du SNO Dynalit. Depuis 2012 plusieurs stages de Master ont été réalisés à partir des données acquises. Sur la dernière période un stage de M1 (2 mois) et deux stages de master 2 (5 mois) ont été réalisés.

Tableau 1 : Stages de master réalisés dans le cadre de la convention

Nom Prénom	année	titre	Master	Direction	Université
Jouvenot Florian	2018	Suivi morphodynamique des plages de l'ouest de La Réunion pendant l'été austral 2017/2018	M1RNET	Pennober	U. La Réunion
Jouvenot Florian	2019	Approche multi-protocoles de la morphodynamique des plages de La Réunion labellisée Service National d'Observation DYNALIT	M2 RNET GT	Pennober	U. La Réunion
RAZAKARIVO NY A. Njaka	2021	Développement sous environnement Matlab d'un dispositif de classification non supervisée de sédiments coralliens : cas de La Réunion	M2RNET GT	Lefebvre Pennober	U. La Réunion

Après la **thèse** de M.M. Mahabot (Mahabot, 2015), la thèse de J. Machabee (2019-2022) est la seconde thèse réalisée dans le contexte du SNO Dynalit Réunion. Financée par un contrat doctoral (MESR) elle a pour objectif le déploiement de la caméra comme outil de suivi des paramètres océaniques et topographiques en arrière récif.

Dans le cadre de la précédente convention une formation diplômante de l'université de La Réunion à destination des acteurs clés de la gestion du trait de côte : **Diplôme Universitaire (DU) gestion et suivi du trait de côte** a été montée. Il mobilise un large panel d'intervenants (Université, BRGM, DEAL, Vie Océane, IRD) impliqué dans l'observation et la gestion du trait de côte. Une première session a eu lieu en 2017, la seconde a été réalisée en novembre 2020 sur 3 jours en présentiel malgré la crise covid dans les locaux de l'OSU-Réunion. 12 étudiants professionnels ont suivi la formation, 6 ont participé aux évaluations. Six étudiants ont obtenu le diplôme. Les organismes d'origine des étudiants de la session 2020 sont : Mairie de saint Paul, TCO, Mairie du Port, CEDTM, ONF, TAMARUN. La formation sera à partir de novembre 2021 annualisée grâce à une mutualisation partielle avec l'UE Risques côtiers du Master 2 RNET GT de l'Université de La Réunion. Une délocalisation dans le sud de l'île devrait permettre certaines années de toucher de nouveaux acteurs du littoral.

## 4.3 Analyse des dynamiques morpho-sédimentaires

### 4.3.1 Analyse des volumes différentiels sur les profils de référence sur la période 2017-2021

Dans l'objectif de quantifier les processus morphosédimentaires des plages d'arrière récif à moyen terme, l'analyse de données topographiques de profils de plage acquis par DGPS permettent à la fois d'étudier la morphologie des plages mais également de quantifier des volumes de sédiments mobilisés à différents échelle spatiale et temporelle. Ainsi, à partir d'une série de données topographiques relevée au DGPS depuis 2017, l'étude a permis de montrer les dynamiques à l'échelle de chaque site entre Cap Champagne et Trou d'Eau à échelle pluriannuelle en intégrant les deux saisons de houle. 19 profils permettent d'étudier ces tendances (figure n° 12).

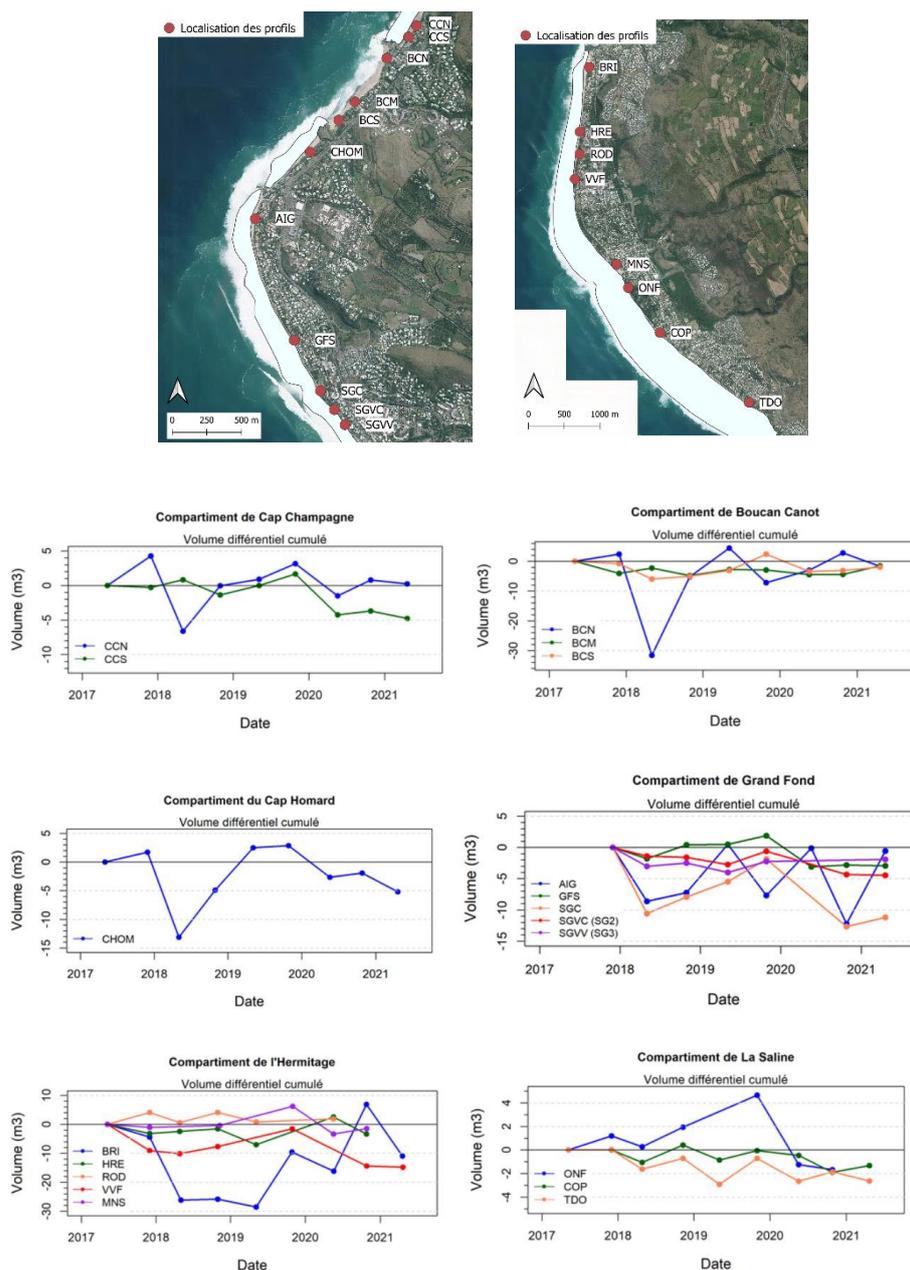


Figure 12 : Volumes différentiels cumulés à partir des profils d'avril-mai 2017

Pour le site de **Cap Champagne** 2 profils permettent de suivre ce site. Si le site de Cap champagne a subi un fort impact de la saison cyclonique de 2017-2018, il s'est doucement reconstruit et retrouve son volume de 2017. Pour cap Champagne Sud, la phase érosive semble avoir débutée durant la période cyclonique de 2019-2020. La plage présente en 2021 un niveau bas de sable depuis.

Le site de **Boucan Canot** est suivi par 3 profils. Seul le profil de boucan canot Nord est affecté par la saison cyclonique 2017-2018. La plage présente un bilan volumique légèrement inférieur à celui de 2017.

Le **site de cap Homard** n'est suivi que par un seul profil, lui aussi fortement démaigri durant la saison cyclonique 2017-2018 et présente en avril-mai 2021 une perte de l'ordre de  $5\text{m}^3$  par rapport à la même période en 2017.

Le **site de Grand Fond** est suivi par 5 profils sur la période 2018-2021. Sur ce site, tous les profils ont démaigri durant la période cyclonique 2018-2019 mais présentent des pertes de volumes différenciées. Le profil SGS a été le plus affecté avec une perte volumique de l'ordre de  $11\text{m}^3$ . Il présente encore en 2021 la situation la plus dégradée avec une perte de l'ordre de  $12\text{m}^3$  la saison de houles australes de 2021 ayant altéré sa reconstruction. L'ensemble du site présente une situation déficitaire de ( $-1\text{m}^3$  à  $-13\text{m}^3$ ).

Le **compartiment de l'Hermitage** présente des situations très contrastées. Avec un profil ROD (Rondavelle) relativement stable en volume et un profil des Brisants (BRI) qui présente une forte variabilité. Avec une perte de volume de l'ordre de  $30\text{m}^3$  qui perdure entre mi-2018 à mi 2020. En Novembre 2020 il présente un engraissement remarquable de  $25\text{m}^3$ . Mais après la saison cyclonique 2021 le bilan par rapport à la même période en 2017 est négatif avec une perte de près de  $11\text{m}^3$ . Sur le site de l'Hermitage le profil du VVF est celui qui présente la plus forte perte sédimentaire en 2021 avec une perte de l'ordre de  $15\text{m}^3$ . Ce profil n'a montré qu'une seule période de reconstruction depuis 2017, la saison australe 2020.

Au sud de la passe de l'Hermitage le **compartiment de la Saline** est suivi par 3 profils qui présentent tous en 2021 une situation déficitaire par rapport à 2017 avec des pertes inférieures à  $4\text{M}^3$ . Entre avril 2017 et avril 2020 le profil ONF a présenté un fort engraissement jusqu'à plus de près de  $5\text{m}^3$ .

Si en 2021, aucun profil ne présente un engraissement significatif par rapport à 2017, l'analyse des bilans volumique doit être réalisée au regard des interventions sur le littoral. Des recharges ont lieu sur le littoral sur plusieurs sites dont nous ne connaissons ni les dates de réalisation, ni la fréquence. La re-végétalisation des arrières plages sur plusieurs sites qui s'est accompagnées de reprofilage de haut de plage.

#### 4.3.2 Analyse de l'impact des saisons cycloniques sur la période 2012-2020

L'analyse de l'impact des saisons cycloniques présentée ici sur 14 profils sur la période 2012-2020, montre que la tendance sur l'ensemble des compartiments de plages est à l'érosion, puisque sur ces 14 profils, 13 sont en érosion (CCN, CCS, BCM, BCS, CHOM, AIG, GFS, SGVC, SGVV, BRI, ONF, COP et TOD). Seul un profil en accrétion (BCN). Les taux de variation ainsi que leur valeur de coefficient  $R^2$  permettant d'évaluer si les tendances sont significatives sont regroupés dans la figure 14.

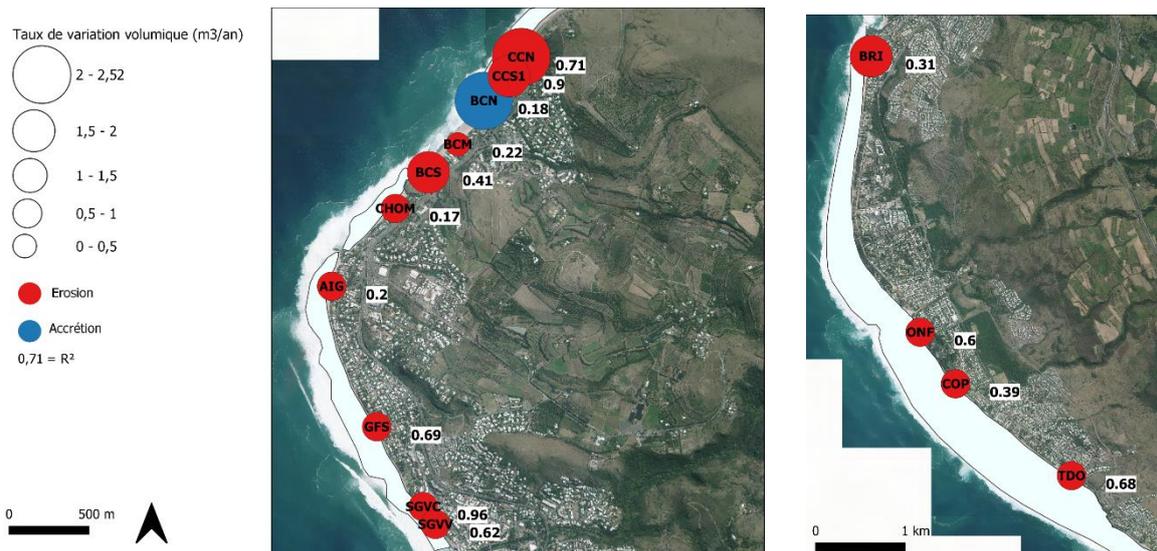


Figure 13: Taux de variation volumique mesuré sur les profils de plage de fin de saison cyclonique entre 2012 et 2021.

Les tendances d'évolution volumique calculées peuvent être classées en 3 types de comportement selon la précision de la régression linéaire à travers la valeur du coefficient R<sup>2</sup>.

Un premier groupe de profils avec un R<sup>2</sup>>0,70 est considéré comme étant dans une situation d'érosion pérenne. Les profils concernés (CCN, CCS et SGVC) sont tous situés au sud de leur compartiment.

Un second groupe affichant cette fois-ci des valeurs de R<sup>2</sup> entre 0,40 et 0,70, est dans une situation d'érosion plus contrastée en raison d'alternances des bilans volumiques qui se traduit par des superpositions de régime de gain et de perte de sédiments. Les profils (BCS, GFS, SGVV, ONF, COP et TDO) dans cette situation sont localisés au sud ou en position médiane de leur compartiment.

Enfin, un dernier groupe avec un R<sup>2</sup><0,40 ne présente aucune tendance significative. D'une part, les profils concernés sont stables ou présentent un faible taux d'érosion (BCM). D'autre part, ces profils peuvent afficher une tendance non significative à l'érosion (CHOM, AIG, BRI, COP) ou à l'accrétion (BCN) du fait à une perte ou gain sédimentaire de grande amplitude non compensé au cours du temps. La figure 14 illustre parfaitement les propos explicités ci-dessus, le profil des Brisants situé en position d'aval transit qui avait la particularité de tendre vers l'accrétion (cf taux d'évolution volumique des profils de plage de l'ancien rapport), suit une nouvelle tendance non significative en raison d'une perte importante en sédiment (-26,1 m<sup>3</sup>) en 2018, après le passage de la tempête tropicale Fakir. Cette perte est actuellement en cours de compensation avec des bilans volumiques positifs depuis 2020.

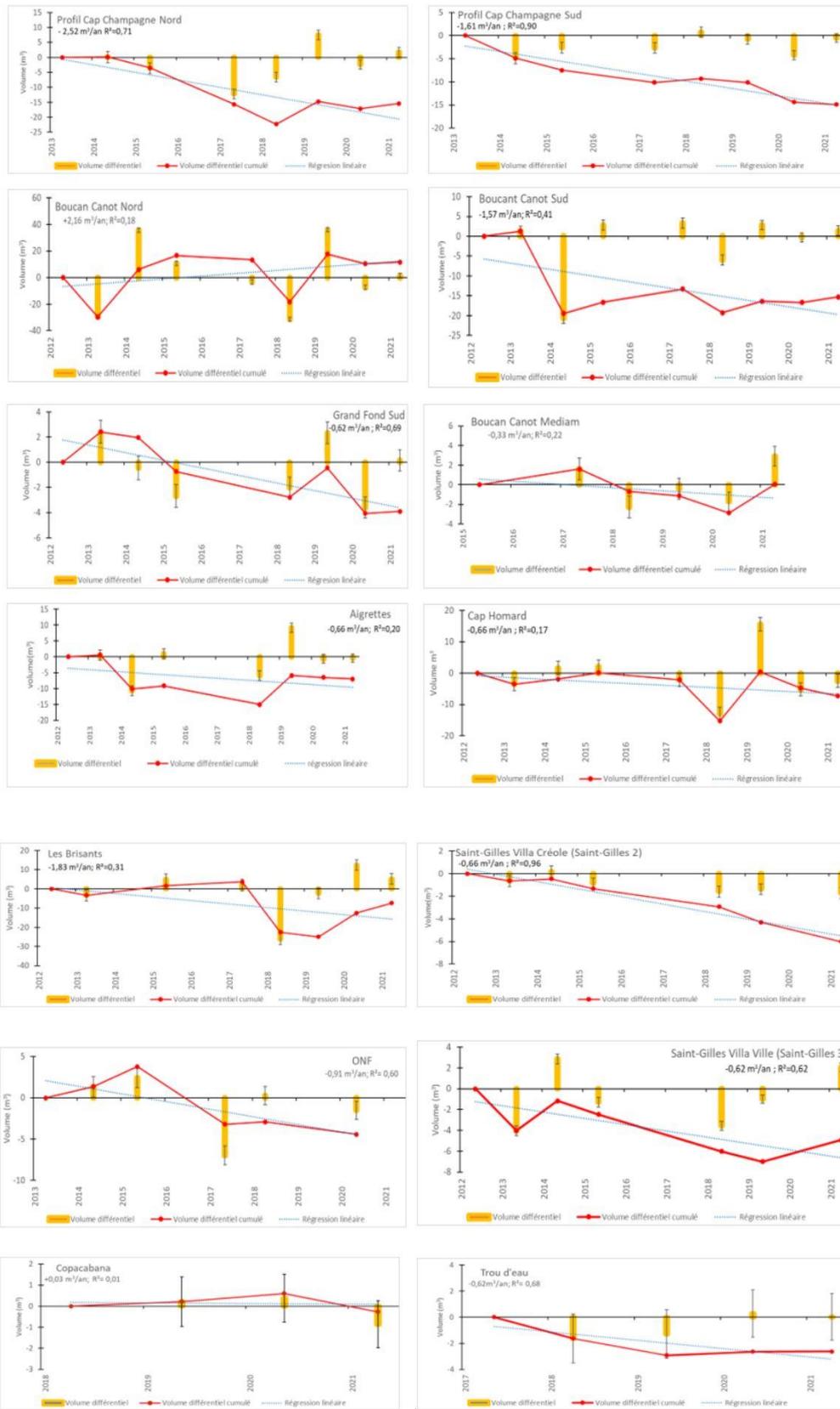
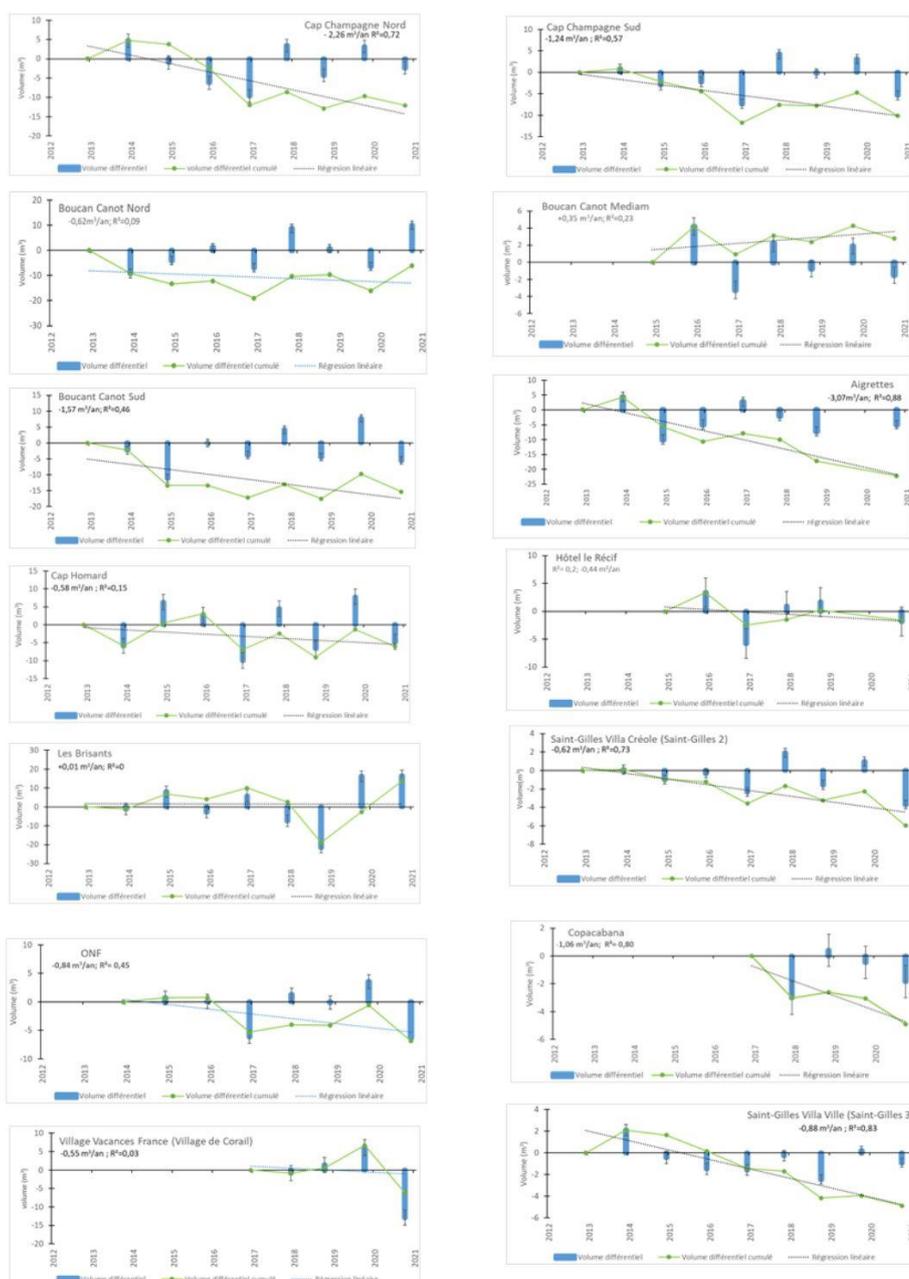


Figure 14 : Bilans volumiques et tendance en fin de saison cyclonique entre 2012 à 2021

### 4.3.3 Analyse de l'impact des houles Australes sur la période 2012-2020

L'analyse de l'impact des houles australes présentée ici sur 16 profils sur la période 2012-2020, montre que la tendance sur l'ensemble des compartiments de plages est à l'érosion, puisque sur ces 16 profils, 13 sont en érosion (CCN, CCS, BCN, BCS, CHOM, AIG, GFS, SGVC, SGVV, HLR, ONF, COP, MNS). Seul trois profils sont en accrétion ou stable (BCM, BRI, TOD). Les taux de variation ainsi que leur valeur de coefficient  $R^2$  permettant d'évaluer si les tendances sont significatives sont regroupés dans la figure 15.

L'analyse des bilans volumiques à la fin de la saison australe montre une situation aussi dégradée que pour la saison cyclonique. Seuls quelques évènements semblent reconstructeurs et seul le profil de Boucan canot médian présente une accrétion par rapport à la mesure initiale.



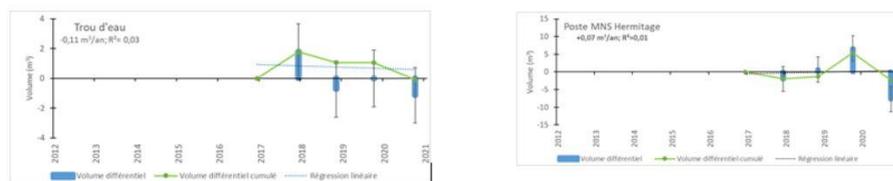


Figure 15 : Bilans volumiques et tendance en fin de saison australe entre 2012 à 2021

Les tendances d'évolution volumique calculées sont comme précédemment classées en 3 types de comportement selon la précision de la régression linéaire à travers la valeur du coefficient  $R^2$ .

Un premier groupe de 5 profils avec un  $R^2 > 0,70$  présente une situation d'érosion pérenne (CCN, AIG, SGVC, COP, SCVV). Ils sont présents dans tous les compartiments.

Un second groupe de 3 profils de valeurs de  $R^2$  entre 0,40 et 0,70, est dans une situation d'érosion plus contrastée en raison d'alternances des bilans volumiques qui se traduit par des superpositions de régime de gain et de perte de sédiments. Les profils (CCS, BCS, ONF) dans cette situation sont localisés au sud ou en position médiane de leur compartiment.

Enfin, un dernier groupe de 5 profils notés en érosion ainsi que les 3 profils premièrement cités accrétion à l'issue de la période de houle australe avec un  $R^2 < 0,40$  ne présente pas de tendance suffisamment significative sur la période étudiée.

#### 4.3.4 Analyse des dynamiques du trait de côte

L'analyse des dynamiques du trait de côte est réalisée par la représentation de la progression ou de la régression des traits de côte de référence (pied de plage, limite de végétation (figure 16)).

Sur le **site de Cap champagne** la position du pied de plage montre une sensible variation avec une régression au nord et une accrétion au sud. La végétation uniquement présente sur la partie sud montre une forte progression.

Sur le **site de Boucan Canot**, le pied plage est sur tout le transect étudié en érosion même si cette érosion est plus accentuée au Nord. Là où la végétation est présente sur le haut de plage le recul est sensible jusqu'à 1 m par an localement.

Le **site de Cap Homard** présente au Nord un recul de la position du pied de plage avec localement une avancée de la limite de végétation de moins de 0,5 m par an. Au Sud où seul le pied de plage est suivi l'avancée du pied de plage atteste d'une progression.

Sur le **site de Grand Fond**, seuls deux secteurs sont végétalisés en haut de plage. La limite de végétation présente une progression au nord et une régression au sud. On observe la même tendance pour le pied de plage ou la régression tend à augmenter vers le sud.

Sur le **site de l'Hermitage**, les lignes de rivage attestent d'une accrétion au nord (ce que ne montrait pas le suivi du profil des Brisants, un recul dans le secteur médian du pied de plage et une situation contrastée au sud).

Dans le secteur de la **Saline**, la situation est contrastée sur tout le transect avec des secteurs successifs en accrétion et d'autres en érosion.

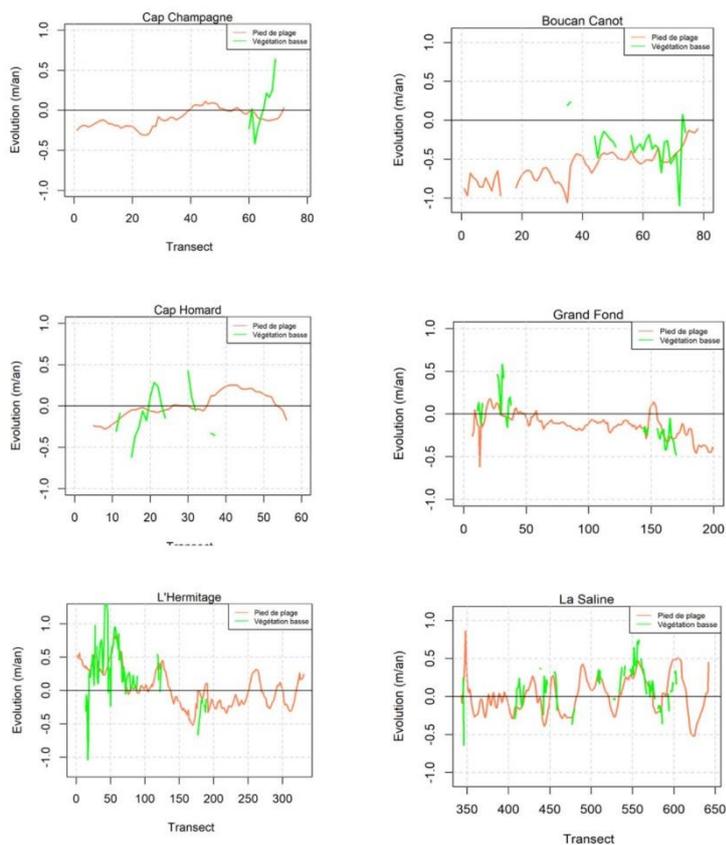


Figure 16 : Mobilité des traits de côte (pied de plage limite de végétation de 1997 à 2020

L'analyse des mobilités du trait de côte à partir de l'application MobiTC sous QGIS (Figure 117) sur la position du pied de plage montre la forte régression associée à la plage de Boucan Canot sur toute sa longueur.

L'Evolution du secteur de l'Hermitage montre une accrétion au nord et une alternance de secteurs d'érosion et d'accrétion au sud.

Le secteur de La Saline présente une succession régulière de secteurs en recul et d'autres en accrétion déjà constatée plus haut.

On retrouve cette dynamique différenciée sur le MNT acquis par drone (figure 18 et 19). Au centre du MNT la section en érosion sur toute l'étendue de l'estran se situe au droit des restaurants de plage qui ont à présent disparus. Plus au sud et plus au nord les secteurs en érosion semble se localiser sur des secteurs de bombement du rivage.

L'analyse des dynamiques du rivage par l'étude de la position de lignes de rivage (pied de plage et limite de végétation) n'est pas toujours concordante avec l'analyse des dynamiques observées à l'échelle des profils de plage. Ainsi, le site des Brisants montre à travers de mesures discordantes un étalement de son estran (accrétion au niveau du pied de plage) qui ne compense pas une perte de volume globale. Le transfert de sable se fait vers le pied de plage au dépend du haut de plage. Boucan canot Nord montre un raccourcissement tout en montrant une accrétion l'issue de la saison cyclonique. En effet, l'analyse des profils différenciés entre 2017 et 2021 ne montre pas une situation régressive.

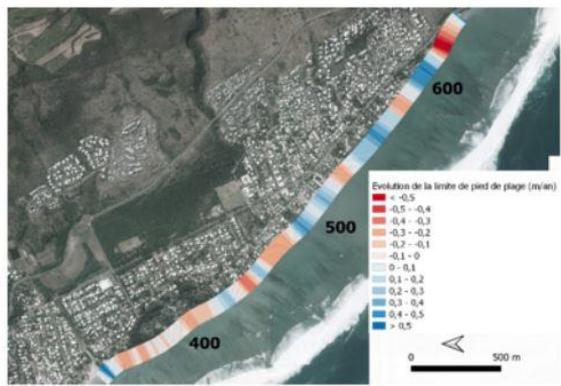
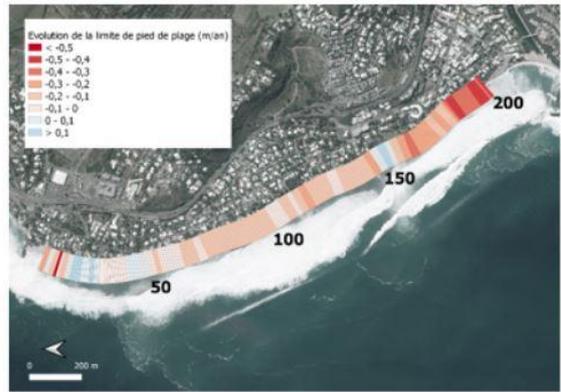
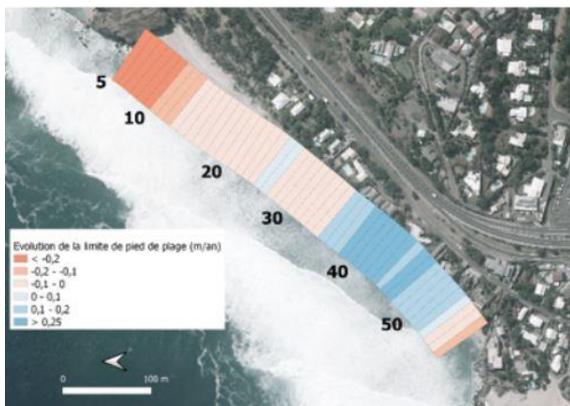
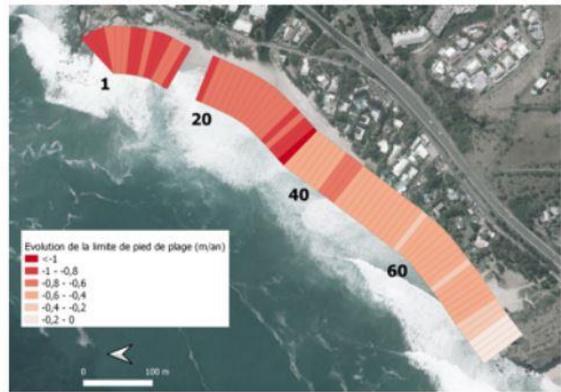
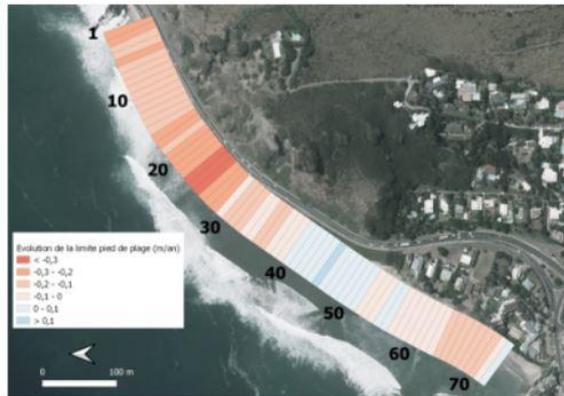


Figure 17 : Evolution de la position du pied de plage (2012-2020) (Cap Champagne, Boucan Canot, Aigrettes, Grand Fond, L'Hermitage, Hermitage-La Saline)(réalisation Jouvenot,2021)

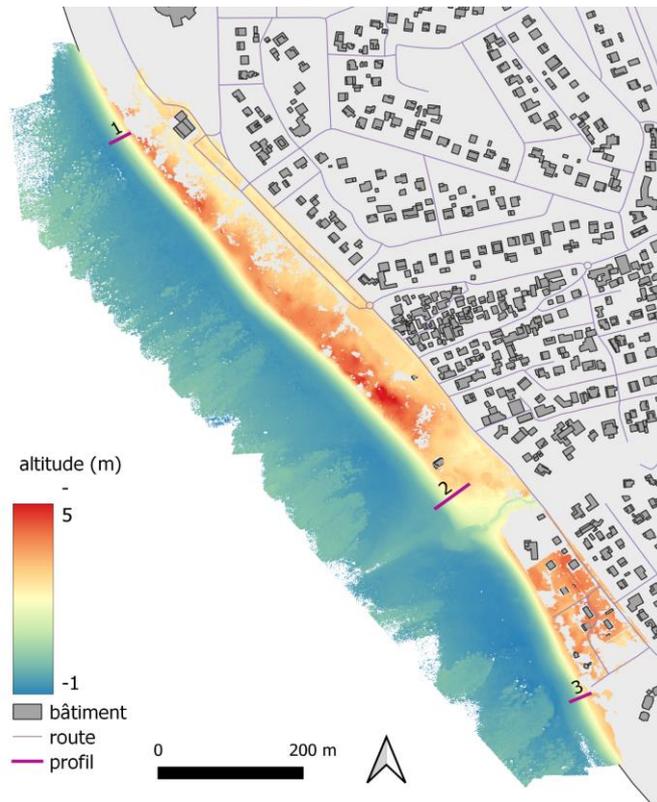


Figure 18 : MNT de la Passe de l'Hermitage du 27/10/2020 (réalisation Jouvenot,2021)

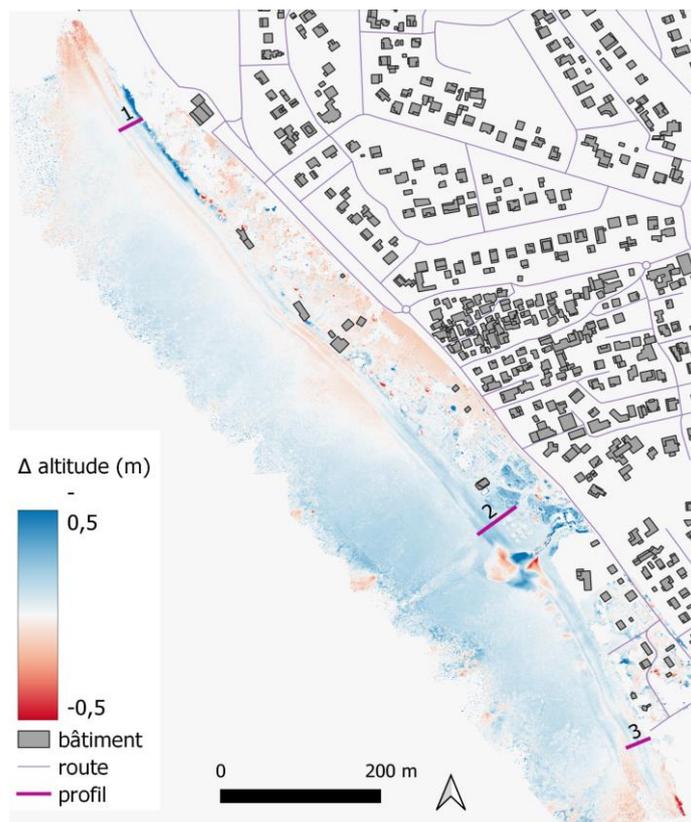


Figure 19 : Présentation des dynamiques par soustraction MNT entre le 27/10/2020 et 30/04/2021 (fond de carte BD topo 2018) réalisation Jouvenot,2021)

## 5 Conclusion

---

Labellisés depuis 2012, les suivis des dynamiques du rivage coordonnés au sein de l'OSU-Réunion et de son laboratoire partenaire Espace-Dev permettent d'ores et déjà de montrer les processus en cours à moyen terme sur le littoral ouest de l'île de La Réunion de Cap Champagne à Trou d'Eau.

Sur les périodes d'observation 2017-2021 ou 2012-2020, si tous les secteurs de plages observés ne sont pas tous significativement en érosion, cependant aucun ne présente sur tous les indicateurs suivis une situation d'accrétion significative et pérenne à 9 ans. Ceci atteste d'une situation préoccupante et demande une véritable réflexion sur les indicateurs suivis qui peuvent localement se contredire (déplacement des lignes du rivage versus bilans différentiels de volume)

Cependant, notons que plusieurs secteurs suivis, dans le cadre de cet observatoire, font l'objet d'une réhabilitation écologique par la mairie de Saint Paul et le CEDTM (Centre d'Etude et de Découverte des Tortues Marines) qu'il sera intéressant de suivre.

L'observatoire labellisé SOERE puis SNO est encore jeune : les chroniques les plus longues ont moins de 10 ans alors que des formes d'érosion sont signalées sur le littoral ouest depuis les années 1980 (*in* Mahabot, 2015). Il sera donc à l'avenir important de **renforcer et pérenniser les observations** :

1. De la topographie des plages : maintenir les suivis périodiques, réhabiliter des points d'ancrage des profils qui ont été parfois altérés par les aménagements du littoral et renforcement des moyens de mesure sous canopée dense ;
2. Des forçages météo marin et anthropique et renforçant l'instrumentation en phase opérationnelle (caméra, caractérisation de la sédimentologie,...) au sein du SNO Dynalit mais aussi et au travers de la labélisation d'autres services nationaux d'observation.

Cet observatoire inscrit dans la stratégie nationale de gestion du trait de côte vise à contribuer à la mitigation des risques liés à l'érosion et à la submersion marine. **Informer, former et diffuser les savoirs** sont plus que jamais dans ses objectifs à travers :

3. La pérennisation des actions de bancarisation et de diffusion des données sur l'IDS GEOSUR et accessible via le site du SNO DYNALIT ;
4. La formation des acteurs clés (Diplômes Universitaire) : techniciens/ingénieurs territoriaux et politiques
5. La formation par la recherche (stage de master, doctorat) accueil de chercheurs ;
6. La valorisation et la publication scientifique.

## 6 Bibliographie

---

- Agisoft., 2015. Agisoft PhotoScan Manuel de l'utilisateur - Professional Edition, Version 1.1 87.
- Bousquet, O., Barruol, G., Cordier, E., Barthe, C., Bielli, S., Calmer, R., Rindrahariasona, E., Roberts, G., Tulet, P., Amelie, V., Fleischer-Dogley, F., Mavume, A., Zucule, J., Zakariasy, L., Razafindradina, B., Bonnardot, F., Singh, M., Lees, E., Durand, J., ... Marquestaut, N. (2021). Impact of Tropical Cyclones on Inhabited Areas of the SWIO Basin at Present and Future Horizons. Part 1: Overview and Observing Component of the Research Project RENOVRISK-CYCLONE. *Atmosphere*, 12(5), 544. <https://doi.org/10.3390/atmos12050544>
- Bruch, W., E. Cordier, and F. Floc'h, Wave transformation and water level over la saline fringing reef (la réunion island), *Journal of Geophysical Research: Oceans*, submitted, 2021.
- Cordier, E. (2007). *Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires*. Université de La Réunion.
- Cordier E., Poizo tE., Méar Y., 2012. Swell impact on reef sedimentary processes: A case study of the La Reunion fringing reef. *Sedimentology*, Blackwell Publishing, 2012, 59 (7), pp.2004-2023. <10.1111/j.1365-3091.2012.01332.x>
- Cordier E., Lézé J., 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*, Elsevier, 2013, 55, pp.119--128. <10.1016/j.csr.2013.01.016>
- Folk R.-L. et Robles R. 1964. Carbonate sands of Isla Perez, Alacran Reef, Yucatan. *J Geol* 72(3): 255-292.
- Jaud, M., 2019. Photogrammétrie drone en domaine littoral. Présentation de la formation drone 64. IUEM-BREST., 64 p.
- Jouvenot, F., 2018. Suivi morphodynamique des plages de La Réunion pendant l'été austral 2016-2017. Mémoire master 1, Université de La Réunion. p. 23
- Jouvenot F. 2019, Approche multi-protocoles de la morphodynamique des plages de La Réunion labellisée Service National d'Observation DYNALIT. Mémoire de Master RNET. Université de La Réunion. p.44
- Lowe, D.G., 1999. Object recognition from local scale-invariant features, in: *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, IEEE, Kerkyra, Greece, pp. 1150-1157 vol.2. <https://doi.org/10.1109/ICCV.1999.790410>
- Mahabot, M.-M., 2012. Vers la pérennisation du suivi du trait de côte à la Réunion dans le cadre du SOERE « Trait de côte ». Mémoire de master 2, Université de La Réunion 54 p.
- Mahabot, M.-M., 2016. Suivi morphodynamique des plages récifales de la reunion en contexte d'observatoire. Université de La Réunion 265 p.
- MahabotM.-M., Pennober G., Suanez S., Troadec R., Delacourt C.,2017. Effect of Tropical Cyclones on Short-Term Evolution of Carbonate Sandy Beaches on Reunion Island, Indian Ocean. *Journal of Coastal Research*, Coastal Education and Research Foundation, 2017, 33 (4), pp.839-853. <10.2112/JCOASTRES-D-16-00031.1>. <hal-01398914>
- Mahabot M.M, Jaud M., Pennober G., Le Dantec N., Troadec R., et al.,2017. The basics for a permanent observatory of shoreline evolution in tropical environments; lessons from back-reef

beaches in La Reunion Island. *Comptes Rendus Géoscience*, Elsevier Masson, 2017, 349, pp.330-340. <10.1016/j.crte.2017.09.010>. <hal-01616211>

Trmal C., Pons F., Sabatier F., 2012 MobiTC, outil de calcul automatique de l'évolution historique du trait de côte : exemples sur 3 types de morphologies côtières. XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil Cherbourg, 12-14 juin 2012. © Editions Paralia (10.5150/jngcgc.2012.055) -T- <http://www.paralia.fr>

Yamano H., Kayanne H., Matsuda F., Tsuji Y., 2002. Lagoonal facies, ages, and sedimentation in three atolls in the Pacific, *Marine Geology*, Volume 185, Issues 3-4, 2002, pp. 233-247, ISSN 0025-3227, [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00188-3).

## 7 Table des illustrations

---

Figure 1 : Paysage des infrastructures de recherche nationales et européennes dans le domaine côtier et hauturier .....	5
Figure 2 : Parc instrumental des sites ateliers du SNO Dynalit .....	6
Figure 3 : Site atelier Hermitage-La Saline du SNO Dynalit et Localisation des principaux profils de plage sur le site .....	7
Figure 4 : Instrumentation du site de l’Hermitage-la Saline en terme de suivi topographique, de ligne de rivage et sédimentaire .....	8
Figure 5 : Méthode de calcul du bilan volumique par décomposition surfacique.....	10
Figure 6 : Différence entre MNE et MNT .....	11
Figure 7: Mosaique de photographies aériennes sur le site de la passe de l’Hermitage : emprise de la zone de modélisation 3D.....	11
Figure 8 : Instrumentation du site de l’Hermitage-la Saline en terme de suivi des forçages océaniques .....	14
Figure 9: Hauteurs d’eau extraites de la caméra versus hauteurs d’eau mesurées par la sonde. Ici les données sont moyennées sur 1 heure .....	15
Figure 10 : schématisation du flux de données géré par le SI de l’OSU-Réunion, pour les exemples des IR ACTRIS, OZCAR et ILICO. ....	16
Figure 11: exemple d’une fiche de métadonnées du catalogue GEOSUR. ....	18
Figure 12 : Volumes différentiels cumulés à partir des profils d’avril-mai 2017 .....	20
Figure 13: Taux de variation volumique mesuré sur les profils de plage de fin de saison cyclonique entre 2012 et 2021.....	22
Figure 14 : Bilans volumiques et tendance en fin de saison cyclonique entre 2012 à 2021 .....	23
Figure 15 : Bilans volumiques et tendance en fin de saison australe entre 2012 à 2021 .....	25
Figure 16 : mobilité des traits de côte (pied de plage limite de végétation sur principales plages) de 1997 à 2020.....	26
Figure 17 : Evolution de la position du pied de plage (2012-2020) (Cap Champagne, Boucan Canot, Aigrettes, Grand Fond, L’Hermitage, Hermitage-La Saline) .....	27
Figure 18 : MNT de la Passe de l’Hermitage du 27/10/2020 .....	28
Figure 19 : Présentation des dynamiques par soustraction MNT entre le 27/10/2020 et 30/04/2021 .....	28

# 8 Annexe

## Annexe n° 1 : Poster conférence EuroGOOS du 3 au 5 mai 2021

### SERVICE NATIONAL D'OBSERVATION DYNALIT

THE FRENCH OBSERVATORY ON COASTAL MORPHODYNAMICS

#### KEY FACTS

- A research and observation service on coastal morphodynamics
- Formed in 2014 from existing and new monitoring programs
- Over 30 study sites along the metropolitan and overseas coasts of France
- 3 coastal environments : beaches, cliffs and estuaries, across 5 oceanic facades

#### OBJECTIVES : SCIENTIFIC & SOCIETAL

To provide observational data to :

- > understand, model and predict coastal morphological evolutions
- > help adapting coastal planning strategies to future changes

#### METHODS

- Subaerial coastal morphology (e.g., profiles, shorelines and DEMs) measured at monthly to yearly frequency using GNSS and topographic remote-sensing (e.g., UAV photogrammetry, terrestrial and airborne LiDAR), eventually accompanied by subtidal bathymetry and environmental forcing conditions (e.g., waves, tide)
- Turbidity measured at high frequency for estuaries

#### WHAT'S NEXT ?

- High-resolution sea-state hindcasting → wave parameters to facilitate the interpretation of morphological evolutions
- Deployment of permanent pressure transducers in ~10 m water depth in front of pilot field sites → wave, tide and surge observational data

Metropole	Guadeloupe	Martinique	Guyane	Mayotte	Reunion
1. Dunkerque-Est	3. Ailly-Pyys				
2. Baie de Somme	4. Senneville-sur-Fecamp				
5. Ebreizac	7. Vieux-Nez				
8. Agon	14. Loire				
9. Sillon-de-Tabbert	17. Giroude				
10. Guisnoy	25. Rhone				
11. Pornmilio					
13. Roscoff					
15. Puy-de-Monts					
16. Pointe de Gatteau					
18. Truc Vert					
19. Biscarosse					
20. Anglet					
22. Paullilles					
23. Lesclape - La Franqui					
24. Rousty					
26. Rade de Hyeres					
27. Schoelcher					
28. Awala-Yalimapo					
29. Njouja					
30. Chappell					
31. Hermitage					

Data collection methods: RTK-GNSS, Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning, Airborne LiDAR, Echo sounder, Turbidity.

Source: Dynalit, GEBCO, DSM, DSMx, IGN, Projection: WGS 84 / Pseudo-Mercator (EPSG:3870)

Hourly Hs : 28-day running mean ; storms (Hs > Hsu over 12 hours) ; clusters of storms (inter-storm duration < 5 days)

Cross-shore distance < 50 m ; 50 m < cross-shore distance < 150 m ; cross-shore distance > 150 m

FIG.3 : Map-context of Awala-Yalimapo (French Guyana) showing a DEM and orthophotograph

FIG.4 : Screenshot of the DYNALIT data portal interface showing data sets and maps.

### DATA SETS

- Accessible (download/visualisation) at : <http://www.dynalit.fr/>
- Open licence (e.g., Etalab 2.0)
- Historical data (e.g., beach profiles, shorelines) from the 1900s
- Continuous coastal monitoring since the 2000s
- Enables analysis of coastal change at daily (storm), seasonal and decadal time scales

### Acknowledgements

DYNALIT acknowledges funding from the French National Centre for Scientific Research (CNRS), the Ministry of Higher Education, Research and Innovation (MESRI), the national alliance for research on the environment (AllEnv) and ILICO, the French Research Infrastructure for coastal ocean and nearshore observations <http://www.ilico.fr/>.

### Authors

S. Bertin, X. Bertin, S. Lamarche, F. Bouchette, B. Castelle, R. Certain, E. Chaumillon, O. Cohen, E. Cordier, S. Costa, J. Deloffre, F. Dolique, A. Duperré, F. Floch, A. Gardel, M. Jeanson, P. Launeau, S. Le Bot, N. Le Dantec, P. Letortu, G. Maillot, O. Maquaire, D. Menier, S. Meulé, D. Morichon, G. Pennober, V. Regard, N. Robin, T. Roulland, F. Sabatier, S. Schmidt, M. Sedrati, N. Sénéchal, A. Sottolichio, P. Stéphane, S. Suarez, I. Turki

### References

Coastal Evolution under Climate Change along the Tropical Overseas and Temperate Metropolitan France. In: Castelle, B. and Chaumillon, E. (eds.), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 88.

