



Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie (OBLIC) – Rapport d’avancement 2021

BRGM/RP-71270-FR
Novembre 2021



Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie (OBLIC) – Rapport d’avancement 2021

BRGM/RP-71270-FR
Novembre 2021

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2020 et 2021

M.Garcin, M. Vendé-Leclerc

Vérificateur :

Nom : O. Brivois
Fonction : Expert Littoral DRP/R3C
Date : 03/11/2021



Approbateur :

Nom : E. David
Fonction : Responsable DRP/ R3C
Date : 07/11/21



Le système de management de la qualité et de l’environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : Littoral, érosion côtière, recul du trait de côte, cellules hydrosédimentaires, bio-géomorphologie, observatoire, Nouvelle- Calédonie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Garcin M. & M. Vendé-Leclerc (2021) - Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie (OBLIC) – Rapport d’avancement 2021. Rapport BRGM/RP 71270 -FR. 51 p., 35 fig., 2 tab.

© BRGM, 2021, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l’autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La convention intitulée « *Evolution récente et future des systèmes côtiers de Nouvelle-Calédonie - OBLIC – 2020* » a été signée le 23/09/2020 par le BRGM et la Nouvelle-Calédonie (DIMENC/SGNC). Cette convention définit les engagements respectifs de ces deux organismes en vue de réaliser plusieurs études dans le cadre de l’Observatoire du Littoral de la Nouvelle-Calédonie (OBLIC). La pandémie de la COVID a empêché la réalisation de la mission de terrain en Nouvelle-Calédonie initialement prévue dans la convention. De ce fait, une modification du cahier des charges du programme a été décidée d’un commun accord entre la DIMENC/SGNC et le BRGM et a fait l’objet d’un avenant signé par les deux parties le 29 octobre 2021. Cinq tâches techniques ont été retenues dans cet avenant. Le présent rapport en présente l’état d’avancement à fin 2020.

Tâche 1 : exploitation cartographique des données d’évolution des sites pilotes de la Grande-Terre. Le travail prévu dans cette tâche a été réalisé. Une méthode d’analyse a été développée afin de réaliser une classification des segments côtiers au regard des processus d’érosion et de mobilité du trait de côte. La méthode a été ensuite testée sur des cas réels et affinée. Elle a ensuite été appliquée à tous les sites pilotes actuellement définis dans l’OBLIC.

Tâche 2 : méthode et exemples de segmentation en cellules hydrosédimentaires du littoral néo-calédonien. Cette tâche est bien avancée. Les concepts, les méthodes et critères à prendre en compte pour la définition de compartiments et cellules sédimentaires ont été définis à partir des données publiées sur ce sujet et sur les travaux de ce type réalisés par ailleurs dans le monde. Toutefois, les critères et la méthode qui ont été définis tiennent compte de la spécificité de la Nouvelle-Calédonie que ce soit en termes de nature et de variété des côtes ou de la disponibilité des données nécessaires à l’échelle du territoire. La méthode a été appliquée à l’ensemble des côtes de la Grande Terre. A l’heure actuelle, vingt-cinq cellules sédimentaires principales (de niveau 1) ont été définies. Elles ont été segmentées en soixante-deux cellules secondaires (de niveau 2). Ces résultats constituent la première version de découpage en cellules hydrosédimentaires qu’il conviendra de mettre à jour et de faire évoluer quand de nouvelles données (notamment courantologiques) seront disponibles.

Tâche 3 : l’indicateur tortue : Evaluation de l’impact de l’évolution morphologique des îlots coralliens sur l’habitat de nidification des tortues marines. L’évaluation de l’indicateur et son application aux îlots du Grand Lagon Sud (GLS) seront réalisées dès que les nouvelles acquisitions 2021-2022 sur les localisations des nids sur les îlots du GLS nous seront fournies par le WWF. Par ailleurs, un manuscrit sur la méthode développée dans le cadre de l’OBLIC a été soumis pour publication dans la revue *Journal of Coastal Conservation*.

Tâche 4 : Exploitation des nouvelles données cycloniques (Météo NC) et topographiques (LIDAR) et cartographie des zones potentiellement submersibles de Nouméa. De nouvelles données ont été recueillies auprès de météo-France (réévaluation des surcotes cycloniques et mise à jour des trajectoires des cyclones récents) et de Matthieu Le Duff sur les tempêtes et submersions historiques. Nous sommes toutefois en attente de données complémentaires pour initier le travail prévu.

Tâche 5 : Analyse de la faisabilité de suivi par vidéo de sites sensibles du littoral néo-calédonien. Cette tâche n’a pour le moment pas été initiée (du fait de la situation sanitaire en NC) et reste en attente de rendez-vous auprès des organismes, administrations et décideurs potentiellement intéressés pour accueillir ce type de dispositif de suivi (Mairie de Nouméa, Provinces etc.).

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. Cadre de travail	9
1.2. Résumé de l’avancement tâche par tâche	9
1.2.1. Tâche 1 : exploitation cartographique des données d’évolution des sites pilotes de la Grande-Terre	9
1.2.2. Tâche 2 : méthode et exemples de segmentation en cellules hydrosédimentaires du littoral néo-calédonien	10
1.2.1. Tâche 3 : l’indicateur tortue : Evaluation de l’impact de l’évolution morphologique des îlots coralliens sur l’habitat de nidification des tortues marines	10
1.2.2. Tâche 4 : Exploitation des nouvelles données cycloniques (Météo NC) et topographiques (LiDAR) et cartographie des zones potentiellement submersibles de Nouméa.	10
1.2.3. Tâche 5 : Analyse de la faisabilité de suivi par vidéo de sites sensibles du littoral néo-calédonien	10
2. Tâche 1 : exploitation cartographique des données d’évolution des sites pilotes de Nouvelle-Calédonie	12
2.1.1. Contexte des sites pilote	12
2.1.2. Approche proposée	15
2.1.3. Description des classes	15
2.1.4. Méthode de détection et d’attribution des types	18
2.1.5. Méthode d’attribution de l’intensité	19
2.2. Résultats : application de la méthode et cartographie des sites pilote	22
2.2.1. Amoa (Touho)	24
2.2.2. Ponandou (Touho)	25
2.2.3. Babou (Hienghène)	26
2.2.4. Baie de Kanuméra (île des Pins)	27
2.2.5. Baie de Ouara (Ile Ouen)	28
2.2.6. Camping d’Amos (Ouégoa)	29
2.2.7. Karikaté (Païta)	30
2.2.8. La Roche Percée (Bourail)	31
2.2.9. Plage de Nesson (Houailou)	32
2.2.10. Saint-Joseph (Ouvéa)	33
2.2.11. Tewaadé-Tipinjié (Touho)	34
2.2.12. Tiakan (Ponérihouen)	35
2.2.13. Tiéti (Poindimié)	36
2.2.14. Vao (Ile des Pins)	37
3. Tâche 2 : Les cellules sédimentaires	38
3.1. Le concept de cellule sédimentaire	38
3.1.1. Définitions	38
Cellules sédimentaires	38
Le bilan sédimentaire	39
3.2. Application aux côtes de Nouvelle-Calédonie	40
3.2.1. Les côtes de Nouvelle-Calédonie : un littoral varié et complexe	40
3.2.2. Proposition de méthode pour réaliser la segmentation en cellules sédimentaires	43
3.3. Résultats et exemples cartographiques	45
4. Conclusion	49

Liste des figures

Figure 1 : En 2014, le talus situé en haut de plage est la cicatrice d'une phase d'érosion plus ancienne que le talus du bas sub actuel (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue nord-ouest).	13
Figure 2 : En 2015, le talus du haut de plage est vif alors que celui du bas disparaît progressivement (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue nord-ouest).	13
Figure 3 : En 2016, le secteur 4 est affecté par une forte érosion (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue nord-ouest)	13
Figure 4 : En 2018, évolution du segment 4 (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue sud-est).	13
Figure 5 : Variabilité des vitesses de mobilité du trait de côte en fonction de la durée sur laquelle elle est évaluée.	14
Figure 6 : Principe de détermination des intensités des vitesses à partir des vitesses de mobilité du trait de côte à long terme. Les valeurs inférieures à 0,06m par an ne sont pas prises en compte dans la détermination des seuils de vitesse.	20
Figure 7 : Exemple de l'analyse de l'évolution diachronique du trait de côte et de sa segmentation (site de Tewaadé-Tipindjié de 1971 à 2018)	20
Figure 8 : Exemple de l'analyse des vitesses de mobilité du trait de côte par segment et par période (en haut : Tewaade-Tipindjié de 1971 à 2018 ; en bas Tiakan de 1976 à 2011).	21
Figure 9 : Longueur cumulée du trait de côte des sites pilote en fonction de la tendance d'évolution du trait de côte.	22
Figure 10 : Longueur de côte des sites pilote par type d'accrétion et d'érosion.	22
Figure 11 : Longueur cumulée du trait de côte des sites pilote en fonction de l'intensité de sa mobilité.	23
Figure 12 : Longueur de côte cumulée pour chaque type de comportement pour l'ensemble des sites pilote OBLIC (classé par ordre décroissant)	23
Figure 13 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site d'Amoa.	24
Figure 14 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de l'anse de Ponandou.	25
Figure 15 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Babou (Hienghène).	26
Figure 16 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de la Baie de Kanuméra (île des Pins).	27
Figure 17 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de la Baie de Ouara (île Ouen).	28
Figure 18 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site du camping d'Amos.	29
Figure 19 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Karikaté.	30
Figure 20 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de la Roche Percée (Bourail).	31
Figure 21 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de la plage de Nesson.	32
Figure 22 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Saint-Joseph (Ouvéa).	33
Figure 23 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Tewaadé-Tipindjié.	34
Figure 24 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Tiakan.	35
Figure 25 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site du Tiéti (Poindimié).	36
Figure 26 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Vao (île des Pins).	37
Figure 27 : Notion de cellule sédimentaire et de budget sédimentaire d'un système côtier (BRGM et ONF, OCA 2018).	39
Figure 28 : Composantes, apports et pertes, du bilan sédimentaire d'un système côtier (Réseau d'Observation du Littoral Normand Picard : ROLNP 2009).	40
Figure 29 : Apports sédimentaires continentaux sur le littoral en aval des bassins versants miniers (Canala, 2019).	41
Figure 30 : Dunes hydrauliques constituées de sables bioclastiques issus du récif et se propageant dans le lagon (Poya, CNES 2019).	42
Figure 31 : Secteur dont la source sédimentaire est mixte (continentale et marine) – Poya-Cap Goulvain Mai 2005.	43
Figure 32 : Méthode suivie pour la définition des cellules et sous-cellules sédimentaires du littoral de Nouvelle-Calédonie.	44
Figure 33 : Les cellules hydrosédimentaires définies pour le Sud-Ouest de Grande Terre.	45
Figure 34 : Exemple de relations entre les cellules hydrosédimentaires et les courants de fond (Douillet 2001) induits par les alizés (en haut) et par les « coup d'ouest » (en bas).	46

Figure 35 : Relation entre les cellules sédimentaires, le pourcentage de fraction fine des sédiments de surface du lagon et les sources de terrigène (Debenay 1987). _____ 47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Vitesses d’avancée et de recul du trait de côte sur tous les segments des sites pilotes OBLIC en fonction de la durée sur laquelle l’évaluation de la mobilité du trait de côte a été réalisée. _____ 14

Tableau 2 : Classification des linéaires côtiers selon leur évolution temporelle (érosion et mobilité du trait de côte)
_____ 18

1. INTRODUCTION

1.1. CADRE DE TRAVAIL

La convention intitulée « *Evolution récente et future des systèmes côtiers de Nouvelle-Calédonie - OBLIC – 2020* » a été signée le 23/09/2020 par le BRGM et la Nouvelle-Calédonie (DIMENC/SGNC). Cette convention définit les engagements respectifs de ces deux organismes en vue de réaliser plusieurs études pour l’Observatoire du Littoral de la Nouvelle-Calédonie.

La pandémie de la COVID a empêché la réalisation de la mission de terrain en Nouvelle-Calédonie initialement prévue dans la convention. De ce fait, une modification du cahier des charges du programme a été décidée d’un commun accord entre la DIMENC/SGNC et le BRGM et a fait l’objet d’un avenant signé par les deux parties le 29 octobre 2021.

Dans cet avenant, cinq tâches techniques ont été retenues :

- Tâche 1 : exploitation cartographique des données d’évolution des sites pilotes de la Grande Terre,
- Tâche 2 : méthode et exemples de segmentation en cellules hydrosédimentaires du littoral néo-calédonien,
- Tâche 3 : l’indicateur Tortue : évaluation de l’impact de l’évolution morphologique des îlots coralliens sur l’habitat de nidification des tortues marines,
- Tâche 4 : Exploitation des nouvelles données cycloniques (Météo NC) et topographiques (LiDAR) et cartographie des zones potentiellement submersibles de Nouméa,
- Tâche 5 : Analyse de la faisabilité de suivi par vidéo de sites sensibles du littoral néo-calédonien

Il a par ailleurs été convenu qu’un rapport d’avancement serait émis fin 2021. Le présent document en fait office.

1.2. RESUME DE L’AVANCEMENT TACHE PAR TACHE

Le travail prévu dans la convention OBLIC prévoit cinq tâches dont le résumé de l’avancement est présenté ci-dessous.

1.2.1. Tâche 1 : exploitation cartographique des données d’évolution des sites pilotes de la Grande-Terre

Le travail prévu dans cette tâche a été réalisé en totalité. Une méthode d’analyse a été développée afin de réaliser une classification des segments côtiers au regard des processus d’érosion et de mobilité du trait de côte. La méthode a été ensuite testée sur des cas réels et affinée. Elle a ensuite été appliquée à tous les sites pilotes actuellement définis dans l’OBLIC. La méthode et les résultats obtenus sont présentés en détail dans le chapitre 2.

1.2.2. Tâche 2 : méthode et exemples de segmentation en cellules hydrosédimentaires du littoral néo-calédonien

Cette tâche est avancée à 80% en date de l'édition du présent rapport. Les concepts, les méthodes et critères à prendre en compte pour la définition de compartiments et cellules sédimentaires ont été définis à partir des données publiées sur ce sujet et sur les travaux de ce type réalisés par ailleurs dans le monde. Toutefois, les critères et la méthode qui ont été définis tiennent compte de la spécificité de la Nouvelle-Calédonie que ce soit en termes de nature et de variété des côtes où de la disponibilité des données nécessaires à l'échelle du territoire.

La méthode a été appliquée à l'ensemble des côtes de la Grande Terre. A l'heure actuelle, vingt-cinq cellules sédimentaires principales (de niveau 1) ont été définies. Elles ont ensuite été segmentées en soixante-deux cellules secondaires (de niveau 2). Ces compartiments et cellules ont été cartographiés sous SIG (ArcGIS © ESRI). Ces résultats constituent la première version de découpage en compartiments et cellules hydrosédimentaires qu'il conviendra de mettre à jour et de faire évoluer quand de nouvelles données (notamment courantologiques) seront disponibles.

Les données utilisées, la méthode développée et quelques exemples sont présentés dans le chapitre 3 du présent rapport.

1.2.1. Tâche 3 : l'indicateur tortue : Evaluation de l'impact de l'évolution morphologique des îlots coralliens sur l'habitat de nidification des tortues marines

Un manuscrit présentant les concepts, la méthode d'édification de l'indicateur et la comparaison des résultats avec les indices de nidification de tortue sur les îlots du Grand Lagon Sud a été rédigé. Il a été soumis pour publication à la revue *Journal of Coastal Conservation*, nous sommes en attente des commentaires des relecteurs. Les co-auteurs de cette publication sont : M. Garcin (BRGM), M. Vendé-Leclerc (SGNC), T. Read (DENV), M. Oremus (WWF) et H. Bourgogne (WWF).

L'évaluation de l'indicateur et son application aux îlots du GLS seront réalisées dès que les nouvelles acquisitions 2021-2022 sur les localisations des nids sur les îlots du Grand Lagon Sud nous seront fournies par le WWF.

1.2.2. Tâche 4 : Exploitation des nouvelles données cycloniques (Météo NC) et topographiques (LiDAR) et cartographie des zones potentiellement submersibles de Nouméa.

De nouvelles données ont été recueillies auprès de météo-France (réévaluation des surcotes cycloniques et mise à jour des trajectoires des cyclones récents) et de Matthieu Le Duff (M. Le Duff 2018) sur les tempêtes et submersions historiques. Nous sommes toutefois en attente de données complémentaires pour initier le travail prévu.

1.2.3. Tâche 5 : Analyse de la faisabilité de suivi par vidéo de sites sensibles du littoral néo-calédonien

Cette tâche n'a pour le moment pas été initiée (du fait de la situation sanitaire en NC) et reste en attente de rendez-vous auprès des organismes, administrations et décideurs

potentiellement intéressés pour accueillir ce type de dispositif de suivi (Mairie de Nouméa, Provinces etc.).

2. TACHE 1 : EXPLOITATION CARTOGRAPHIQUE DES DONNEES D'EVOLUTION DES SITES PILOTES DE NOUVELLE-CALEDONIE

2.1.1. Contexte des sites pilote

Les sites pilote de l'OBLIC ont fait l'objet d'analyses de l'évolution de la position de leurs traits de côte pluriannuels et de leurs littoraux lors des années passées (voir aussi le portail cartographique : <https://oblic.georep.nc> et les rapports OBLIC des années précédentes : <https://dimenc.gouv.nc/la-dimenc/nos-partenaires/oblic/les-publications-de-loblic>).

Pour les sites côtiers de la Grande Terre, de l'île des Pins et d'Ouvéa (hors îlots), ce travail a été réalisé à l'échelle des sites pilote. Il a consisté à découper le trait de côte en segments dont le comportement et l'évolution est homogène dans le temps. Cette analyse s'appuie sur les traits de côte à différentes dates issus de l'exploitation des photographies aériennes anciennes, des images satellites et des acquisitions de terrain. Une fois la segmentation réalisée, l'évolution du trait de côte pour chaque segment et pour chaque période est analysée et permet de définir si le segment est en érosion, stable ou en accrétion. Les vitesses d'évolutions de chaque période sont alors calculées en m/an. Au sein d'un même site, les différents segments qui le constitue présentent des évolutions potentiellement très variées.

La variabilité de ces évolutions s'explique par la multiplicité des facteurs qui sont responsables de l'évolution littorale et plus particulièrement de chaque segment. A titre d'exemple, il peut s'agir de l'orientation de la côte, de sa nature lithologique, de la présence ou de l'absence d'un récif frangeant ou d'un beachrock etc. Ces facteurs vont en effet jouer, par exemple, sur l'exposition aux vagues, sur la dissipation de l'énergie des vagues atteignant la côte, sur la résistance à l'érosion, etc. De plus, chaque événement hydrométéorologique (cyclone, dépression tropicale, houles australes, houles cycloniques) possède ses propres caractéristiques (trajectoire, orientation des houles, hauteur et périodes des vagues...) qui de ce fait affectera diversement chaque site et chaque segment de la côte. La morphologie, l'orientation, la nature de la côte, etc. vont donc moduler les effets morphogènes d'un même événement sur chaque segment constitutif d'un site. La réponse de chaque segment pourra, en conséquence, être variable allant d'une forte érosion et recul du trait de côte dans les zones très exposées ou au contraire, une accrétion et une progradation du trait de côte dans les zones plus protégées bénéficiant d'apports sédimentaires issus de l'érosion d'autres segments ou d'apports continentaux ou récifaux.

Les figures 1 à 4 présentent des exemples d'évolutions temporelles de quelques sites côtiers (voir aussi le portail cartographique : <https://oblic.georep.nc> et les rapports OBLIC des années précédentes : <https://dimenc.gouv.nc/la-dimenc/nos-partenaires/oblic/les-publications-de-loblic>). On note que certains segments semblent montrer une tendance relativement constante d'évolution sur le long terme (plusieurs décennies) alors que d'autres, au contraire, montrent des évolutions très contrastées d'une période à l'autre. De même les vitesses d'avancée ou de recul du trait de côte sont très variables en fonction des périodes et des segments. La vitesse moyenne d'évolution de la position du trait de côte sur le long terme est une information importante mais n'est pas nécessairement représentative des vitesses d'évolution que l'on peut évaluer à l'échelle annuelle, pluriannuelle voir décennale. La caractérisation de la dynamique d'un trait de côte ne peut donc être uniquement réalisée à partir d'une vitesse moyenne entre une position initiale et l'actuelle.

Par exemple, sur le site pilote de Teewade à Touho, les observations de terrain et levés GPS ont permis d'évaluer un recul du trait de côte pouvant aller jusqu'à 4 m sur ce secteur entre

2014 et 2018. Mais on observe qu’au cours de cette période de 4 années les évolutions sont très variables d’une année à l’autre.



Figure 1 : En 2014, le talus situé en haut de plage est la cicatrice d’une phase d’érosion plus ancienne que le talus du bas sub actuel (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue nord-ouest).



Figure 3 : En 2016, le secteur 4 est affecté par une forte érosion (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue nord-ouest)



Figure 2 : En 2015, le talus du haut de plage est vif alors que celui du bas disparaît progressivement (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue nord-ouest).



Figure 4 : En 2018, évolution du segment 4 (segment 4 Tewaade-Tipindjié ; vue sud-est).

Les intervalles temporels sur lesquels sont conduites les analyses de l’évolution passée du trait de côte sont contraintes par la disponibilité et la qualité des sources de données (dates des campagnes de photographies aériennes, d’images satellites, des mesures etc.). Les durées entre chaque date pour lesquelles nous avons des informations sur le trait de côte sont très variables et ne sont pas nécessairement les mêmes d’un site à l’autre. De même le nombre d’événements morphogènes pouvant se produire durant chaque période est très variable. De ce fait, il n’est pas simple d’avoir une vision cohérente d’ensemble de la tendance d’évolution à l’échelle de chaque site comme de réaliser une inter-comparaison des sites à l’échelle du territoire.

Le Tableau 1 présente les résultats de l’analyse des vitesses de mobilité du trait de côte pour tous les segments des sites pilotes et par durée d’analyse. Elles résultent de l’analyse des 481 mesures d’évolution de segments de tous les sites pilote néo-calédoniens.

La vitesse moyenne de mobilité du trait de côte est logiquement plus forte quand elles sont évaluées sur des durées courtes. On pourra s’attendre à ce que ce soit le cas pour les vitesses

minimales et maximales or ce n'est pas toujours ce que l'on observe dans notre corpus de données (Figure 5). Cela est dû au fait que les intervalles temporels entre les campagnes d'acquisition des photographies aériennes et des images satellites ne sont pas identiques d'un site à l'autre et qu'elles concernent des sites dont la dynamique d'évolution est très variable.

Tableau 1 : Vitesses d'avancée et de recul du trait de côte sur tous les segments des sites pilotes OBLIC en fonction de la durée sur laquelle l'évaluation de la mobilité du trait de côte a été réalisée.

Durée sur laquelle l'évaluation de la mobilité du trait de côte a été réalisée	Vitesse maximale d'avancée du TC (m/an)	Vitesse maximale de recul du trait de côte (m/an)	Vitesse moyenne de mobilité ¹
Supérieure à 50 ans	2.53	-3.49	-0.11
Entre 50 ans et 25 ans	3.5	-2.11	-0.11
Entre 25 ans et 10 ans	1.86	-14.88	-0.31
Entre 10 et 5 ans	12.33	-12	-0.27
Inférieure à 5 ans	42.5	-23.33	0.16

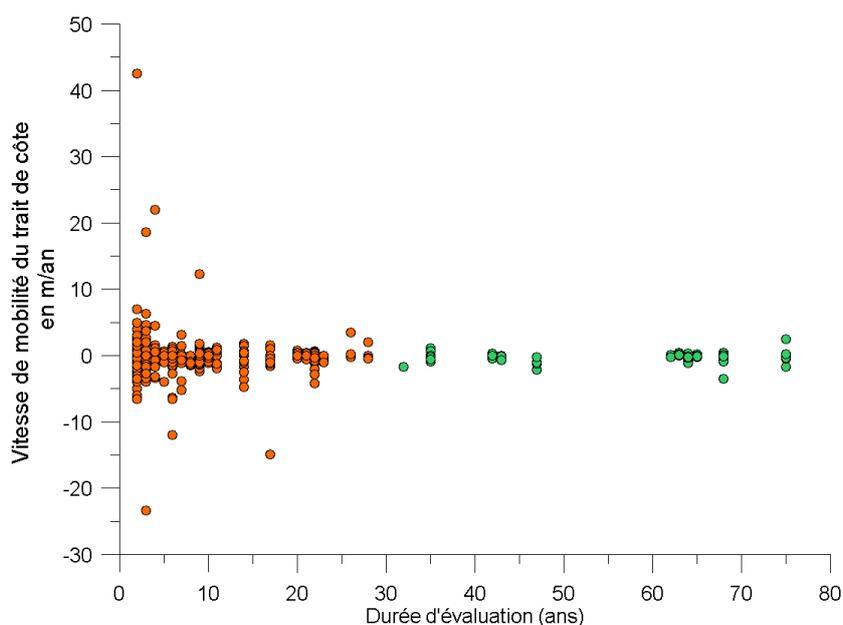


Figure 5 : Variabilité des vitesses de mobilité du trait de côte en fonction de la durée sur laquelle elle est évaluée.

Pour l'ensemble des valeurs des vitesses par segment, quelle que soit la période temporelle, nous obtenons une valeur de recul maximal de -23,3 m/an, une avancée maximale de 42,5 m/an, une moyenne à 0.12 m/an et une médiane de 0.

¹ Les valeurs négatives correspondent à un recul du trait de côte et les positives à une avancée

2.1.2. Approche proposée

L’approche proposée vise à caractériser les grandes tendances évolutives des segments côtiers et d’en faire ressortir leurs sensibilités aux facteurs d’évolution tels que :

- les paramètres de forçage comme l’hydrodynamisme local et régional (climats de vagues, courants),
- la cyclogenèse (intensité et fréquence des événements extrêmes tels que les dépressions tropicales et les cyclones),
- la variation de la hauteur moyenne de l’océan liée au phénomène de variation climatique interannuelle ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*) ,
- e la remontée relative du niveau marin (sous l’influence du climat et des mouvements verticaux du sol),
- les apports sédimentaires continentaux,
- les facteurs d’origine anthropique.

La caractérisation de ces tendances est basée sur un classement des côtes de la Grande-Terre par grande famille de tendance évolutive passée (érosion, accrétion, stabilité). Elle intègre la vitesse de mobilité du trait de côte ainsi que les modalités de leur enchaînement temporel.

Cette approche vise donc :

- à déterminer si un segment côtier présente une évolution dominante (érosion, accrétion ou stabilité) ou au contraire très variable dans le temps (alternance de phase d’érosion, d’accrétion et de stabilité),
- à déterminer quelle est la résultante à long terme (plusieurs décennies) de la migration du trait de côte (avancée, recul, stabilité),
- à qualifier l’intensité de cette évolution à long terme. Le recul ou l’avancée du trait de côte (toujours sur plusieurs décennies) sont-ils significatifs ? Ce dernier aspect étant important dans le cadre de l’utilisation de ces données pour la prévention des risques, le planning urbain, le développement d’aménagements, l’implantation de site à enjeux.

Les résultats obtenus sont ensuite complétés par des données soit acquises sur le terrain soit provenant d’autres sources :

- description des profils et de la morphologie du site,
- analyse du fonctionnement hydrosédimentaire,
- évaluation qualitative de stock sédimentaire disponible,
- orientation et exposition par rapport au vent et aux vagues,
- situation et distance par rapport au récif,
- nature lithologique,
- présence d’aménagements et ouvrages anthropiques.

2.1.3. Description des classes

Six classes de tendance ont été considérées :

Classe 1 : Erosion chronique

Cette classe caractérise une évolution temporelle où l’érosion et le recul du trait de côte sont dominants sur toute la durée d’investigation. Si aucune action n’est menée sur ces zones (fixation du trait de côte par des ouvrages par exemple) ou si les conditions externes actuelles (facteurs de forçage) restent semblables, l’érosion du littoral actuellement en cours se poursuivra. Ces zones sont le plus souvent observées :

- dans des secteurs ou le littoral de faible altimétrie est constitué de matériaux meubles et friables,
- dans des zones exposées à des conditions hydrodynamiques énergétiques (baie ouverte, absence de protection par un récif, etc.),
- dans des contextes estuariens ou péri-estuariens.

Ces zones sont caractérisées par un déficit sédimentaire permanent (budget sédimentaire négatif) ne permettant pas de phase de reconstruction (*recovery*) après les événements érosifs. L'érosion et le recul du trait de côte y sont pérennes (vitesse de recul du trait de côte à long terme significative, vitesse de recul du trait de côte à l'échelle annuelle ou pluriannuelle pouvant être forte, jusqu'à plusieurs m/an). L'érosion de ces zones va très probablement se poursuivre dans le futur du fait du changement climatique et de la remontée du niveau marin associée.

Classe 2 : Érosion sporadique

Dans cette classe, on observe un recul du trait de côte à long terme mais l'érosion n'est pas l'évolution dominante dans le temps. On y observe des phases de recul du trait de côte alternant avec des phases de stabilisation voir de progradation. L'érosion reste toutefois l'évolution dominante dans le long terme et aboutit au recul du trait de côte. Le budget sédimentaire y est négatif et la vitesse de recul du trait de côte à long terme est moins forte que pour la classe 1.

Classe 3 : Stabilité du trait de côte

On y distingue deux sous classes :

a- Stable

Une stabilité aussi bien à court qu'à long terme de la position du trait de côte et un budget sédimentaire stable. Cette classe de littoral correspond à plusieurs contextes littoraux non exclusifs :

- Zones protégées par un récif barrière, un récif frangeant, des îlots, de par sa forme (baie fermée) et non ou peu exposées aux vagues. Ces zones conservent un budget sédimentaire équilibré avec soit une absence de mobilité sédimentaire, soit des apports sédimentaires équivalents aux pertes sédimentaires induites par l'érosion,
- Côtes dont la lithologie est insensible à l'aléa érosion (côte formée de roche compétente) peu ou non altérées et peu diaclasées formant éventuellement des falaises.

b- Métastable

A cette classe correspondent des côtes dont la position du trait de côte dans le moyen et long terme reste stable mais qui, dans le plus court terme, montrent des alternances de phases d'avancée et de recul. Les phases d'érosion et d'accrétion se compensent mais induisent une oscillation du trait de côte autour d'une position moyenne.

En analysant les évolutions récentes et historiques de ces zones, on remarque que le budget sédimentaire reste équilibré dans le temps malgré des alternances de phases d'érosion et d'accrétion. Les phases de recul et d'érosion sont généralement liées à l'occurrence d'événements énergétiques (tempêtes, cyclones, fortes houles). Postérieurement à ces événements, les processus hydrosédimentaires assurent une redistribution des sédiments et une reconstruction de l'avant plage et de la plage. Ces zones s'adaptent aux conditions hydrodynamiques et aux événements extrêmes qui peuvent les frapper. La géométrie de la

plage évolue en fonction des modifications des contraintes et facteurs de forçages environnementaux mais leurs capacités de résilience et de récupération (*recovery*) sont élevées.

Classe 4 : Accrétion discontinue

Cette classe de côte se caractérise par des phases d’avancée du trait de côte et d’engraissement du littoral entrecoupées par des phases de stabilité voir de recul généralement modérées. A long terme, la résultante est une avancée du trait de côte mais à plus court terme on observe des oscillations du trait de côte. Le bilan sédimentaire à long terme y est positif.

Les secteurs correspondant à cette catégorie sont par exemple des zones profitant d’apports sédimentaires (débris biodétritiques ou terrigènes) distribués par exemple lors d’évènements (cyclones, tempêtes tropicales, coup d’ouest) ou de phases ENSO. Il peut aussi s’agir de zones péri-estuariennes bénéficiant d’apports sédimentaires fluviaux lors des crues, redistribués le long de leurs côtes par les courants de dérive. Entre ces phases d’engraissement, ces zones peuvent ensuite connaître soit une stabilisation de la position de leur trait de côte soit subir une érosion marine des dépôts les plus récents. Toutefois, le recul du trait de côte demeure plus faible que son avancée opérée durant la phase d’accrétion.

Classe 5 : Accrétion continue

Cette catégorie correspond à des secteurs côtiers où l’accrétion et l’avancée du trait de côte dominant dans le temps, le bilan sédimentaire est positif. L’engraissement sédimentaire y est significatif et l’avancée du trait de côte très nette, et cela aux différentes échelles temporelles (du court au long terme).

L’engraissement sédimentaire est à mettre en relation avec des apports sédimentaires dont l’origine est variée : apports de sédiments bioclastiques récifaux, apports détritiques par les embouchures... Ces apports y sont largement supérieurs aux volumes sédimentaires érodés durant les événements énergétiques (tempêtes, cyclones, houles) et en conditions « ordinaires » (alizés par exemple).

Ce type de comportement peut aussi s’observer lors d’une diminution pérenne des facteurs hydrométéorologiques et hydrodynamiques responsables des processus hydrosédimentaires et de l’érosion dans un contexte d’apport sédimentaire constant.

Classe 6 : Contrôle anthropique

Nous incluons dans cette classe particulière les littoraux soit artificiels (constitués uniquement de remblais par exemple) soit artificialisés (mur, enrochements, digues et ouvrage de protection etc.). Dans cette classe, le trait de côte est complètement sous contrôle anthropique, c’est-à-dire que les avancées et reculs éventuels du trait de côte ne sont pas liés à la dynamique naturelle du site mais uniquement à des actions anthropiques indépendamment des conditions hydrosédimentaires qui s’y appliquent. Dans la majorité des cas, le contrôle anthropique conduit à une stabilisation du trait de côte, dans de rares cas (remblai miniers, aménagements portuaires etc.) une avancée du trait de côte est observée (cf. Evolution du littoral de Nouméa² ; Garcin et Vendé-Leclerc 2020).

² <https://dtsi-sgt.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=38bb6ac4b3504f64a031185f7257032b>

Tableau 2 : Classification des linéaires côtiers selon leur évolution temporelle (érosion et mobilité du trait de côte)

Classe	Processus	Evolution du trait de côte constatée	Evolution plausible dans les prochaines décennies
1	<i>Erosion continue/ chronique</i>	<i>Recul quasi permanent du TC à toutes les échelles de temps</i>	<i>Augmentation de l'érosion et de la vitesse de recul du trait de côte</i>
2	<i>Erosion discontinue/ sporadique</i>	<i>Recul du trait de côte à moyen et long terme, alternance de phase d'avancée et de recul à plus court terme</i>	<i>Passage possible de la classe 2 à la classe 1</i>
3	<i>a - Stable</i>	<i>Stabilité du TC</i>	<i>Maintien dans cette classe probable (sauf côtes basses)</i>
	<i>B - Métastable:</i>	<i>Oscillation du TC autour d'une position moyenne</i>	<i>Passage possible en classe 2 voir 1 en fonction du contexte local</i>
4	<i>Accrétion discontinue/ sporadique</i>	<i>Avancée discontinue du TC</i>	<i>Passage possible en classe 3 voir 2 en fonction du contexte local</i>
5	<i>Accrétion continue</i>	<i>Avancée continue du TC</i>	<i>Passage possible en classe 4 voir 3 en fonction du contexte local</i>
6	<i>Contrôle anthropique</i>	<i>Le TC est sous contrôle anthropique : les avancées et reculs éventuels ne sont pas liés à la dynamique naturelle</i>	<i>En fonction des choix sociétaux de maintien ou non des structures et des enjeux associés</i>

2.1.4. Méthode de détection et d'attribution des types

La détection et l'attribution des types de tendance sont effectuées à partir de l'analyse multi-temporelle de l'évolution du trait de côte de chaque site pilote (cf. rapports OBLIC antérieurs : <https://dimenc.gouv.nc/la-dimenc/nos-partenaires/oblic/les-publications-de-loblic>). Sur chaque site, à partir de l'analyse de l'évolution de la position du trait de côte, plusieurs segments côtiers à comportement homogène dans le temps ont été individualisés (Figure 7).

Pour chaque segment et à chaque date une vitesse du déplacement du trait de côte est calculée (Figure 8). Les valeurs négatives correspondant à un recul du trait de côte (érosion) et les valeurs positives à une avancée du trait de côte (accrétion). Les données sont ensuite extraites du SIG (ArcGis © Esri) et traitées avec un tableur (Excel © Microsoft). Pour chaque segment, on détermine l'évolution du trait de côte sur la plus grande durée (jusqu'à plus de 70 ans pour les sites les mieux documentés) qui correspond à l'évolution à « long terme ».

Les évolutions du trait de côte intermédiaires sont elles aussi utilisées. Elles permettent notamment de calculer sur chaque segment la durée cumulée des phases de recul, de stabilité ou d'avancé du trait de côte. Le pourcentage de temps pendant lequel le segment voit des phases de recul, de stabilité et d'avancée du trait de côte est alors calculé.

En fonction de l'évolution à long terme du trait de côte sur le segment, plusieurs cas de figures sont à considérer :

- Si le segment est en **érosion** sur le long terme, on déterminera si la durée cumulée des phases d'érosion est supérieure à 50 % du temps et dans ce cas on qualifiera le segment comme étant en **érosion chronique**. A l'inverse, si la durée cumulée de l'érosion est inférieure à 50 % du temps, le segment sera qualifié comme étant en **érosion sporadique**.
- Si le segment est **stable** sur le long terme, on analysera les évolutions intermédiaires par période pour déterminer si des phases successives d'érosion et d'accrétion se sont produites. Si c'est le cas, le segment sera qualifié de **métastable**. Si ce n'est pas le cas, il sera considéré comme **stable**.

- Pour les segments en **accrétion**, on procède de la même façon que pour l'érosion, c'est-à-dire que l'on **évaluera le temps cumulé des phases d'accrétion**. Si celles-ci couvrent plus de 50 % du temps, on considère que c'est le fonctionnement dominant. Le segment sera alors qualifié comme étant en **accrétion chronique**, si ce n'est pas le cas (durée des phases d'accrétion <50 % du temps), il sera qualifié comme étant en **accrétion sporadique**.

2.1.5. Méthode d'attribution de l'intensité

Pour chaque cas où le trait de côte est mobile (en érosion ou en accrétion, chronique ou sporadique), on déterminera l'intensité de cette mobilité (faible, modérée, moyenne ou forte). Cette qualification est effectuée à partir de l'analyse de la vitesse de mobilité du trait de côte (valeur absolue en m/an) sur la période la plus longue qui a été calculée sur le segment considéré. Ces durées sont en moyenne de **58 ans** et leur médiane est de **64 ans** (maximum de 75 ans, minimum de 32 ans). Des seuils sont fixés pour permettre de discriminer les intensités faibles, modérées, moyennes ou fortes. Les valeurs de seuils ont été définies à partir de l'analyse de l'ensemble des vitesses de recul ou d'avancée du trait de côte de tous les segments de tous les sites pilote sur la plus longue durée soit **68 vitesses à long terme**.

Nous avons considéré que les valeurs de faible recul ou d'avancée du trait de côte inférieures à 3 m en 50 ans (soit une vitesse moyenne de 0,06 m/an) n'étaient pas significatives d'une évolution de la position du trait de côte. On intègre ainsi les incertitudes résultant des imprécisions du géoréférencement des images ainsi que les imprécisions issues de la digitalisation des traits de côte. Si la valeur absolue de la vitesse moyenne d'évolution du trait de côte est inférieure à 0,06 m/an, le segment est considéré comme stable.

Dans les autres cas, les seuils de discrimination des vitesses ont été déterminés en regroupant les vitesses par classe de 25 % de l'effectif (Figure 6) :

- Les vitesses faibles sont celles comprises dans l'ensemble des 25 % de vitesses les plus faibles soit entre +/- 0,06 et 0,16 m/an,
- Les valeurs modérées sont celles comprises dans l'intervalle des 25 % à 50 % soit celles comprises entre +/- 0,16 m/an et 0,23 m/an,
- Les vitesses moyennes sont celles correspondant à l'intervalle des 50 % à 75 % soit entre +/- 0,23 m/an et 0,7 m/an,
- Enfin on considère que les valeurs de recul sont fortes si elles correspondent au 25 % des valeurs les plus fortes de l'ensemble des vitesses soit supérieures à +/- 0,7 m/an.

Ces valeurs de seuils semblent à première vue faibles mais rappelons qu'elles correspondent à des vitesses à long terme pour des durées dont la médiane est de 64 ans. Ainsi le seuil de 0,7 m/an pour la catégorie des évolutions fortes peut paraître faible (par rapport à des reculs mesurés à l'échelle d'une ou de quelques années) mais correspond à un recul (ou une avancée) totale du trait de côte de l'ordre de 44,8 m si on l'applique sur la durée médiane et 35 m sur une durée de 50 ans.

Dans le cas particulier où le littoral est artificialisé et fixé par des ouvrages, il rentre automatiquement dans la classe 6 dédiée ; aucune intensité n'est alors associée à cette classe.

Ensemble des vitesses de mobilité du trait de côte à long terme de tous les segments des sites pilotés classés par valeur croissante

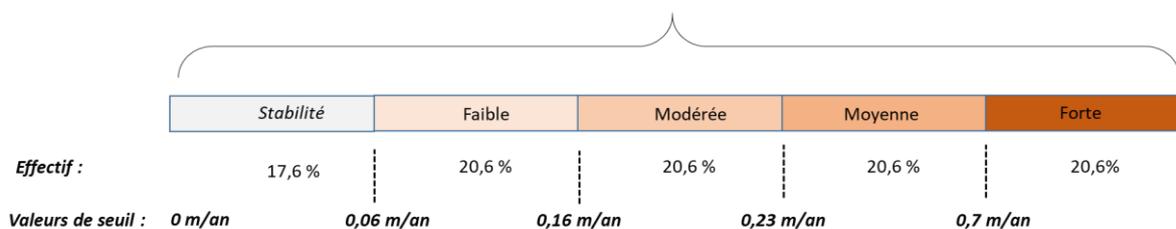


Figure 6 : Principe de détermination des intensités des vitesses à partir des vitesses de mobilité du trait de côte à long terme. Les valeurs inférieures à 0,06m par an ne sont pas prises en compte dans la détermination des seuils de vitesse.

L'attribut des intensités de vitesse est ensuite ajouté à la typologie de la mobilité du trait de côte de chaque segment (par exemple : érosion chronique **forte**, accrétion sporadique **modérée** etc...)

La restitution de ces analyses sur chaque site peut s'effectuer sous plusieurs formes complémentaires (Figure 7, Figure 8, Figure 23) :

- Tableau des segments avec les différents paramètres qui le caractérisent ainsi que sa classification,
- Histogramme des durées cumulées de chaque catégorie d'évolution (érosion, accrétion, stabilité) pour chaque segment de chaque site. Ce type de données permet de visualiser le caractère chronique ou sporadique de l'érosion ou de l'accrétion et de déterminer si l'un des comportements est dominant ou non,
- Cartographie des segments constituant le site selon leur attribut de classification qui permet de déterminer les espaces les plus sensibles du site,
- Graphique « secteur » des pourcentages de longueurs de côte en fonction de la classification de leur évolution. Ce type de graphique permet d'avoir rapidement et visuellement une caractérisation des comportements du trait de côte caractéristique du site (« signature »). Ces graphiques permettent par ailleurs une inter-comparaison des différents sites de Nouvelle-Calédonie.

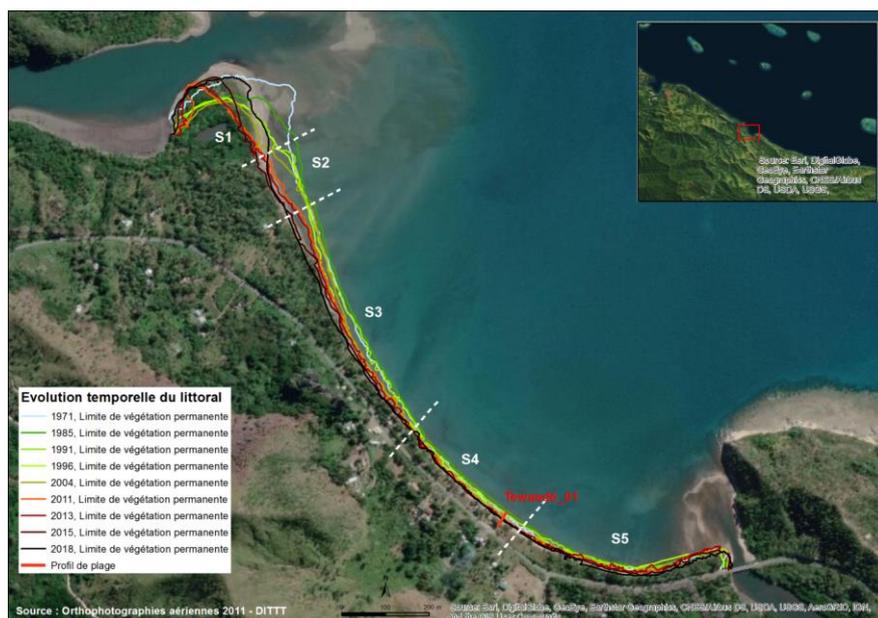


Figure 7 : Exemple de l'analyse de l'évolution diachronique du trait de côte et de sa segmentation (site de Tewaadé-Tipindjié de 1971 à 2018)

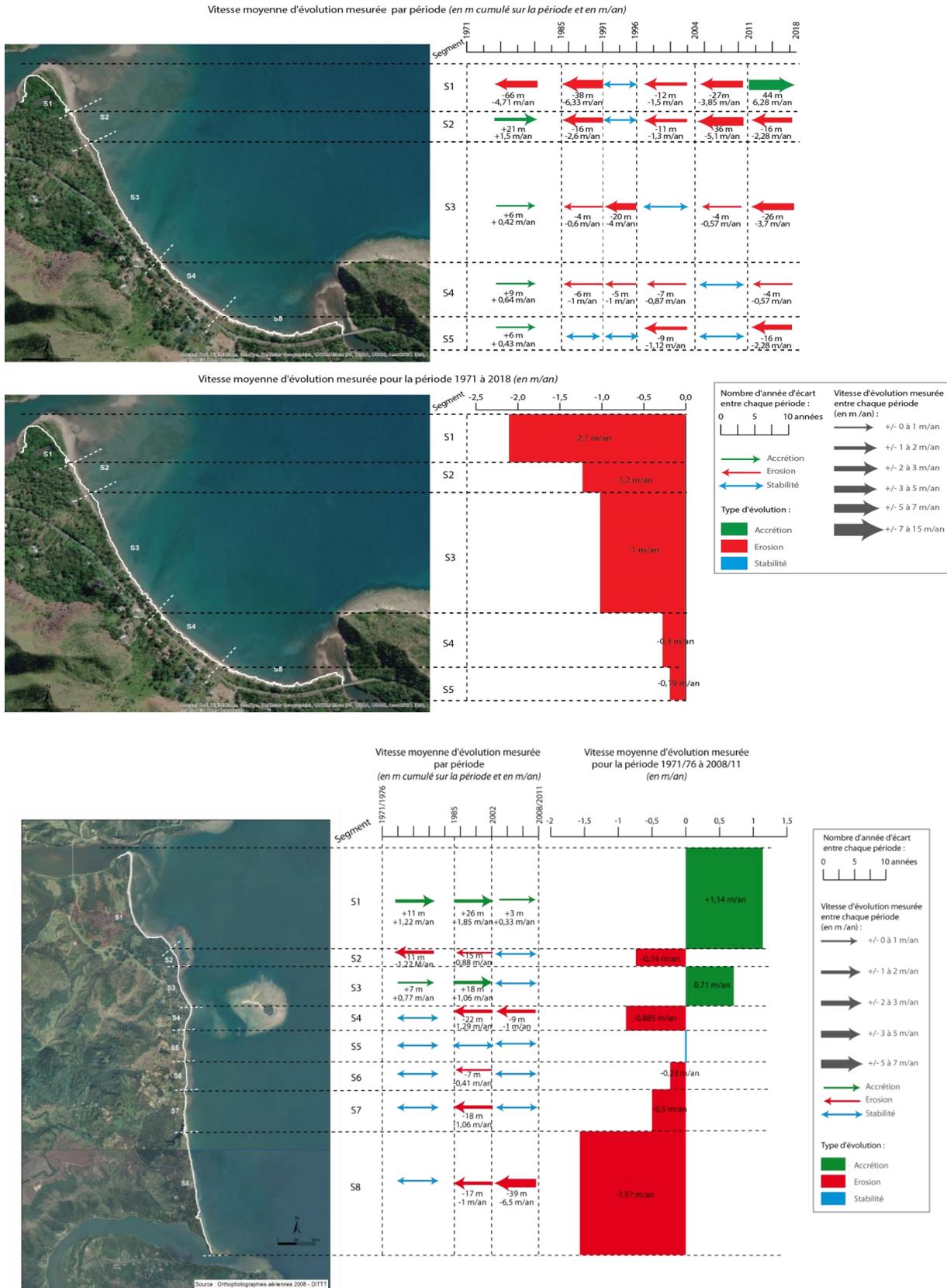


Figure 8 : Exemple de l'analyse des vitesses de mobilité du trait de côte par segment et par période (en haut : Tewaade-Tipindji de 1971 à 2018 ; en bas Tiakan de 1976 à 2011).

2.2. RESULTATS : APPLICATION DE LA METHODE ET CARTOGRAPHIE DES SITES PILOTE

Cette méthode a été appliquée à l'ensemble des sites pilote côtiers hors îlots (Figure 9), la majorité sont en érosion (20 km soit environ 46%), 15 km en accrétion (soit environ 35%) et 8,4 km stables (19%).

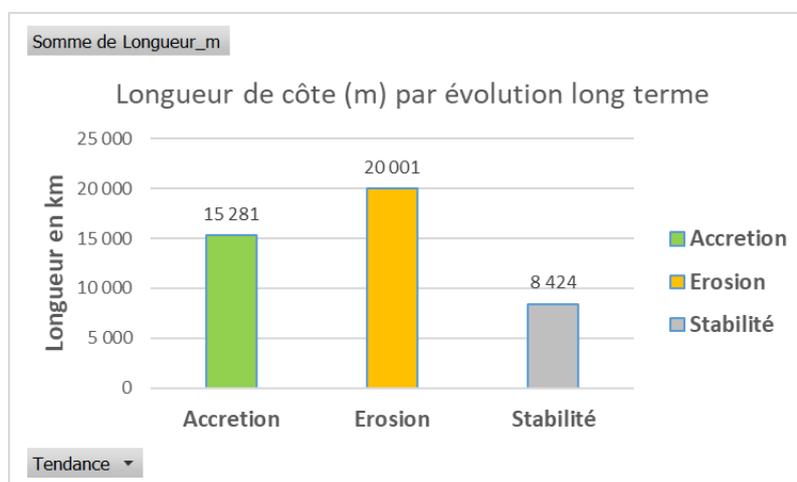


Figure 9 : Longueur cumulée du trait de côte des sites pilote en fonction de la tendance d'évolution du trait de côte.

Dans le détail (Figure 9) , l'accrétion est chronique pour 19% des côtes et sporadique pour 16%. Par contre l'érosion sporadique (26%) est dominante sur l'érosion chronique (19%).

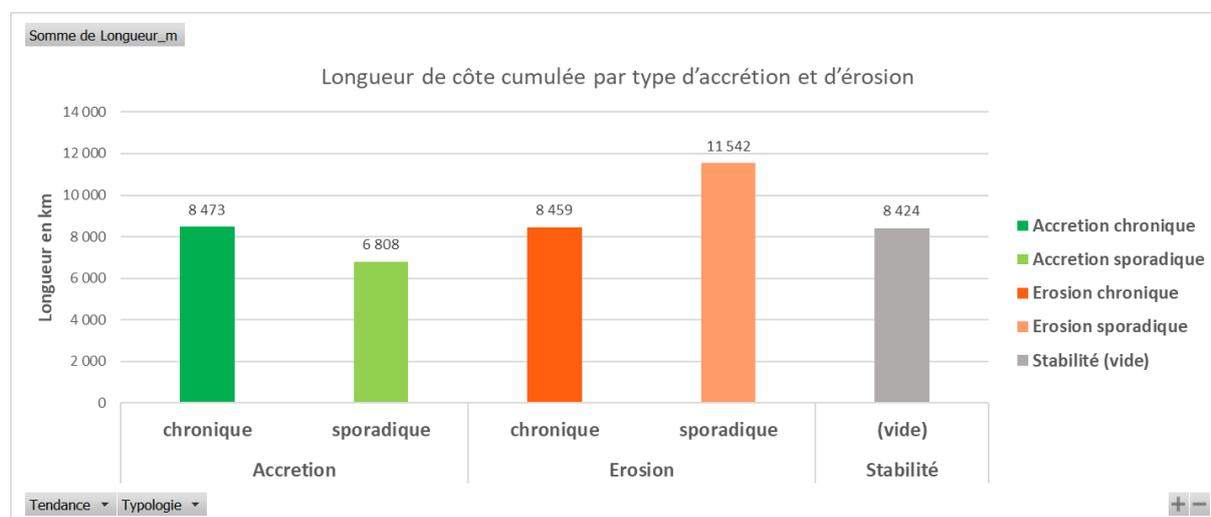


Figure 10 : Longueur de côte des sites pilote par type d'accrétion et d'érosion.

En terme d'intensité de la mobilité du trait de côte (Figure 11), les intensités faibles sont dominantes et atteignent 12 km (35 %), ensuite les intensités fortes qui affectent près de 10 km de côte (27 %), les modérées qui concernent 8,7 km (25 %) et enfin les intensités moyennes affectant 4,8 km (14 %).

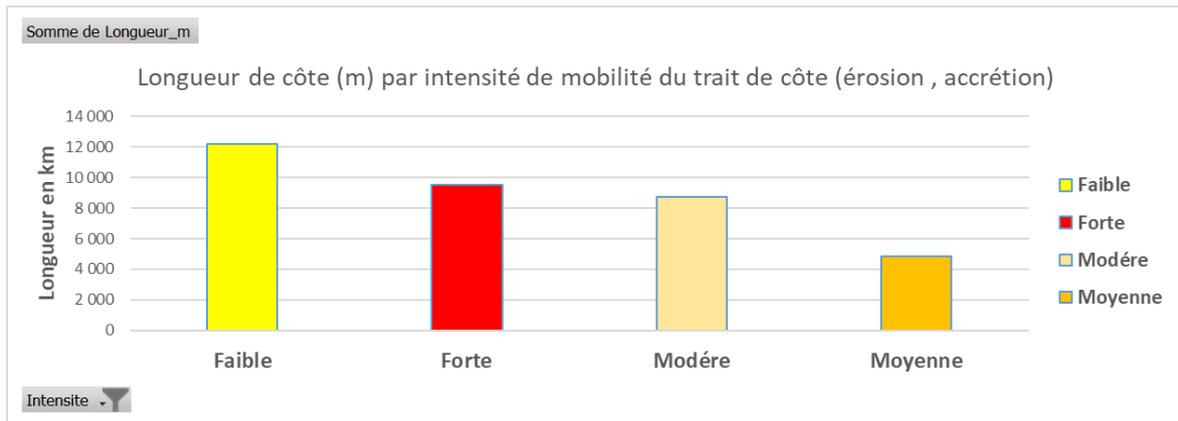


Figure 11 : Longueur cumulée du trait de côte des sites pilote en fonction de l'intensité de sa mobilité.

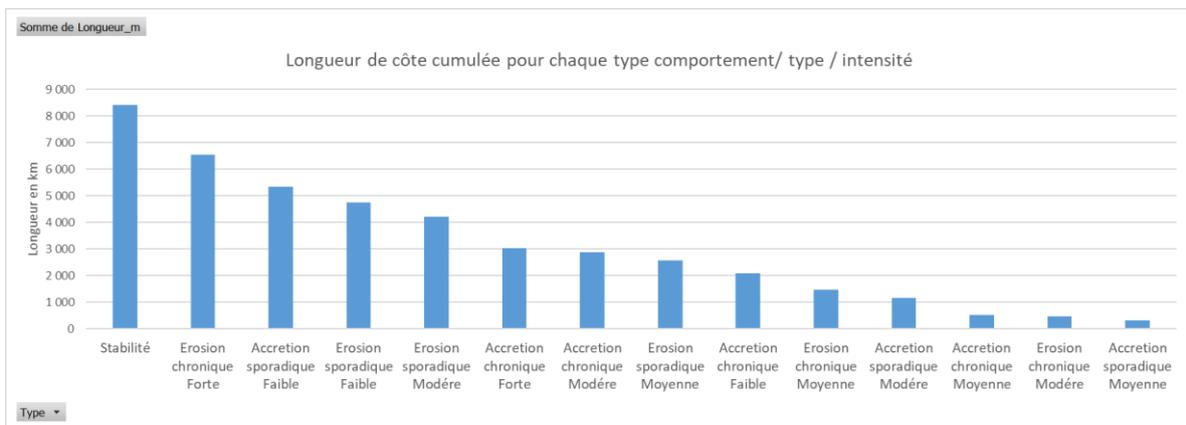


Figure 12 : Longueur de côte cumulée pour chaque type de comportement (type de comportement, fréquence et intensité) pour l'ensemble des sites pilote OBLIC (classé par ordre décroissant)

Les résultats obtenus pour chaque site pilote sont synthétisés ci-dessous sous forme cartographique, graphique et alphanumérique dans les fiches des sites pilote.

2.2.1. Amoa (Touho)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme (m/an)	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Classification	Remarques
Amoa_S1	640	75	190	2.53	44	56	0	Accrétion chronique Forte	Vitesse d'accrétion largement dominante / vitesse d'érosion
Amoa_S2	358	75	-125	-1.67	60	15	25	Erosion chronique Forte	
Amoa_S3	367	75	-34	-0.45	33	3	64	Erosion sporadique Moyenne	
Amoa_S4	597	75	-3	-0.04	7	3	91	Stabilité	
Amoa_S5	392	75	-29	-0.39	59	8	33	Erosion chronique Moyenne	
Amoa_S6	773	75	16	0.21	7	49	44	Accrétion sporadique Modérée	

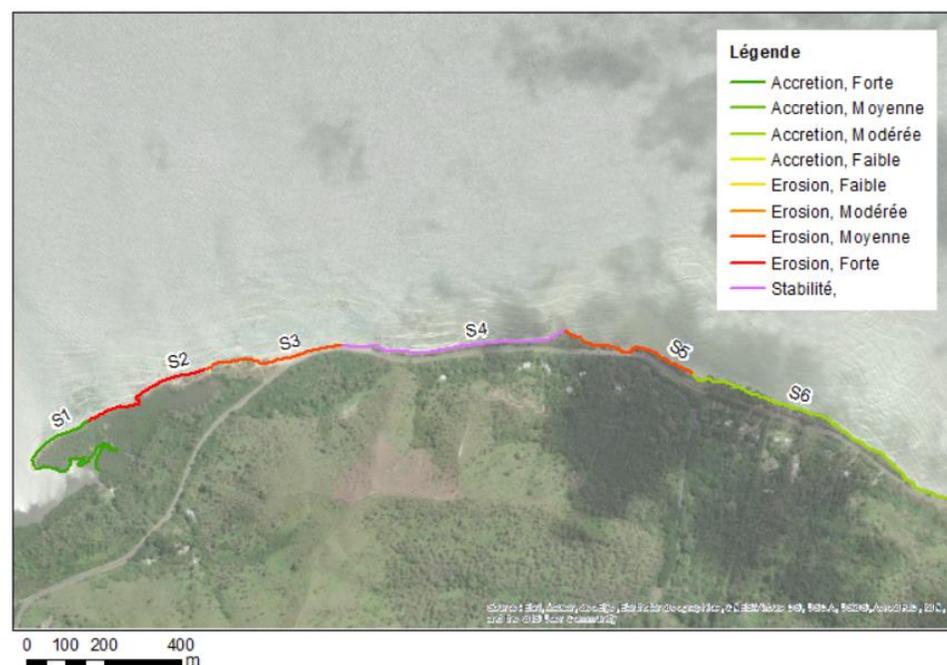
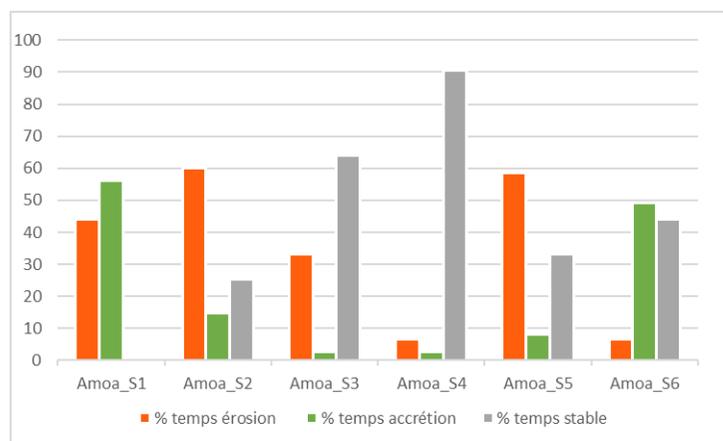


Figure 13 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site d'Amoa.

2.2.3. Babou (Hienghène)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Babou_S1	150	64	10	0.15	11	55	34	Accrétion chronique Faible	
Babou_S2	192	64	15	0.23	11	41	48	Accrétion sporadique Modérée	
Babou_S3	61	64	9	0.13	0	34	66	Accrétion sporadique Faible	
Babou_S4	217	64	2	0.03	23	20	56	Stabilité	Métastable : Oscillation autour d'une position « fixe »

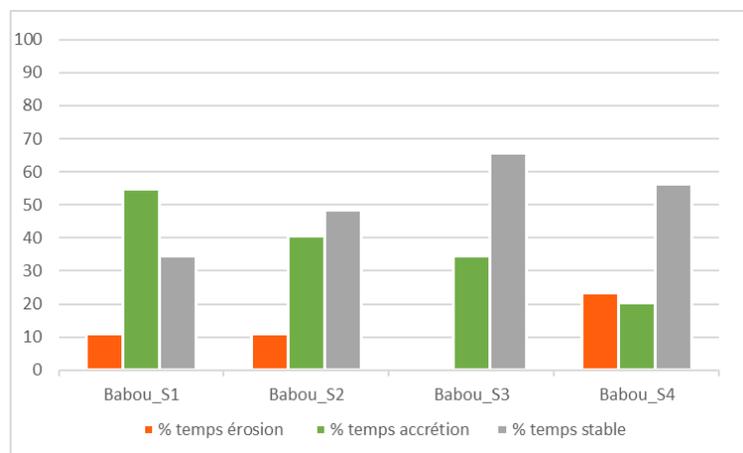


Figure 15 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Babou (Hienghène).

2.2.4. Baie de Kanuméra (île des Pins)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Baie de Kanuméra_S1	416	64	-2	-0.03	47	20	33	Stabilité	Métastable : oscillations du TC autour d’une position fixe
Baie de Kanuméra_S2	339	64	-23	-0.36	100	0	0	Erosion chronique Moyenne	
Baie de Kanuméra_S3	542	64	-3	-0.04	20	3	77	Stabilité	Métastable : oscillations du TC autour d’une position fixe
Baie de Kanuméra_S4	164	64	22	0.34	14	86	0	Accrétion chronique Moyenne	

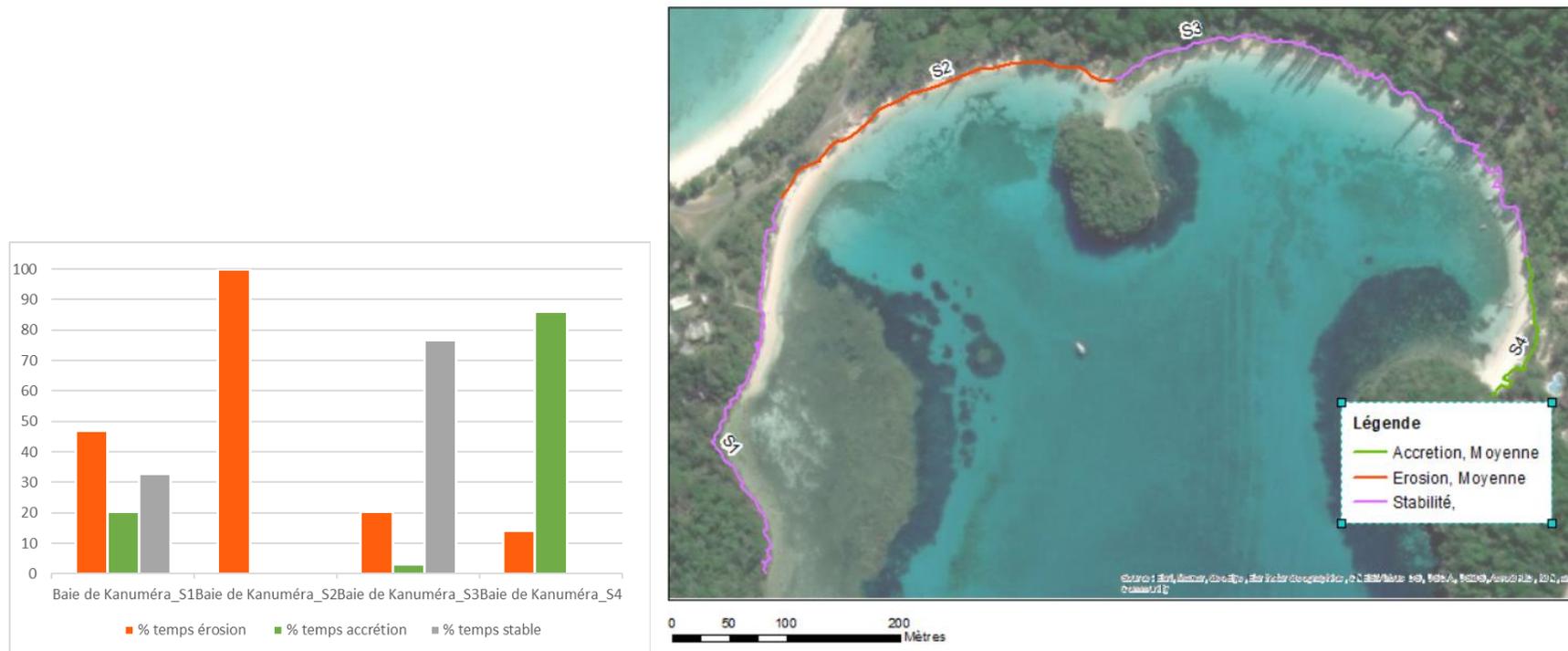


Figure 16 : Tableau d’analyse, classification et cartographie des segments du site de la Baie de Kanuméra (île des Pins).

2.2.5. Baie de Ouara (Ile Ouen)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Ouara_S1	834	62	9	0.14	44	56	0	Accrétion chronique Faible	
Ouara_S2	730	62	10	0.15	0	40	60	Accrétion sporadique Faible	
Ouara_S3	459	69	9	0.13	9	61	30	Accrétion chronique Faible	
Ouara_S4	329	62	-1	-0.02	5	34	61	Stabilité	Métastable : oscillations autour d'une position « fixe »
Ouara_S5	560	62	8	0.13	16	74	10	Accrétion chronique Faible	
Ouara_S6	738	62	-12	-0.19	5	0	95	Erosion sporadique Modérée	

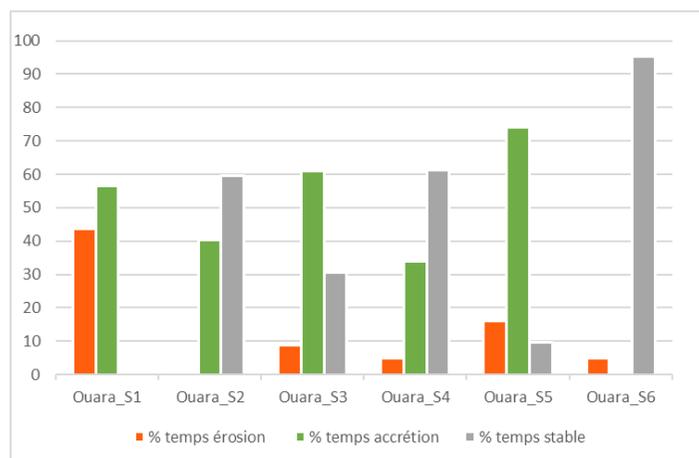


Figure 17 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de la Baie de Ouara (île Ouen).

2.2.6. Camping d’Amos (Ouégoa)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Camping d'Amos_S1	142	42	0	0.00	0	0	100	Stabilité	
Camping d'Amos_S2	156	42	-18	-0.44	100	0	0	Erosion chronique Moyenne	
Camping d'Amos_S3	158	42	4	0.10	86	14	0	Accrétion sporadique Faible	Effet des phases d'accrétion prépondérant sur celui de l'érosion
Camping d'Amos_S4	120	42	13	0.31	0	14	86	Accrétion sporadique Moyenne	
Camping d'Amos_S5	147	42	-1	-0.02	69	31	0	Stabilité	Métastable : oscillations autour d'une position « fixe »

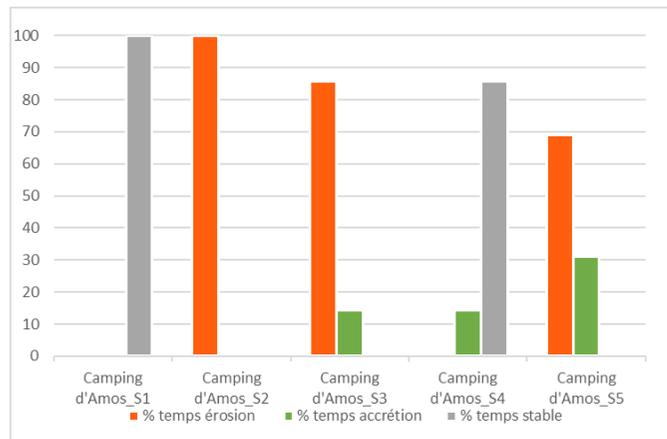


Figure 18 : Tableau d’analyse, classification et cartographie des segments du site du camping d’Amos.

2.2.7. Karikaté (Païta)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type
Karikaté_S1	494	68	5	0.07	0	3	97	Accrétion sporadique Faible
Karikaté_S2	1565	68	8	0.12	7	19	74	Accrétion sporadique Faible
Karikaté_S3	2054	68	6	0.09	49	47	4	Accrétion sporadique Faible
Karikaté_S4	468	68	-12	-0.17	50	50	0	Erosion chronique Modérée

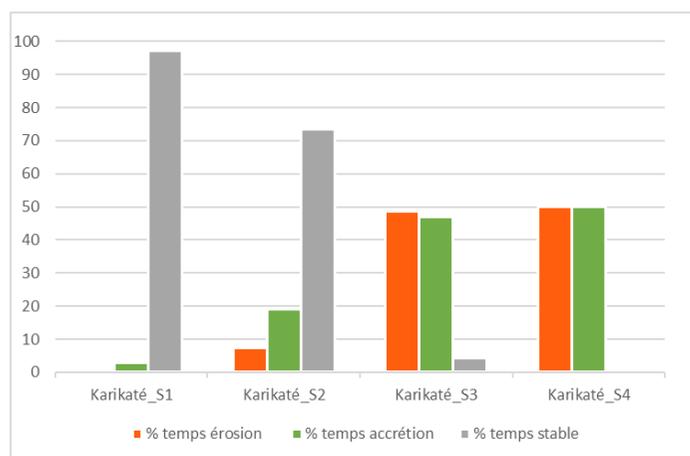


Figure 19 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Karikaté.

2.2.8. La Roche Percée (Bourail)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type
La Roche Percée_S1	280	64	-38	-0.59	27	44	30	Erosion sporadique Moyenne
La Roche Percée_S2	1108	64	-72	-1.13	66	5	30	Erosion chronique Forte
La Roche Percée_S3	317	64	-15	-0.23	70	20	9	Erosion chronique Moyenne
La Roche Percée_S4	295	64	-5	-0.08	48	31	20	Erosion sporadique Faible

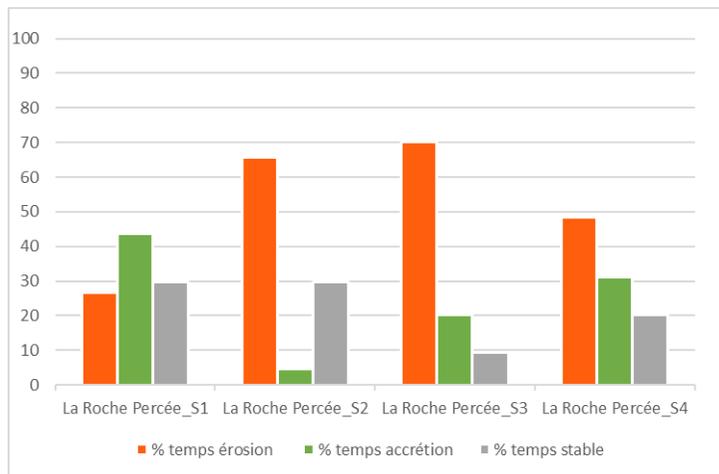


Figure 20 : Tableau d’analyse, classification et cartographie des segments du site de la Roche Percée (Bourail).

2.2.9. Plage de Nesson (Houaïlou)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Plage de Nesson_S1	771	43	2	0.05	58	30	12	Stabilité	Métastable : oscillations du TC autour d'un position « fixe »
Plage de Nesson_S2	913	43	-3	-0.07	9	74	16	Erosion sporadique Faible	Phase d'érosion courtes mais puissantes avec récupération lentes
Plage de Nesson_S3	923	43	-31	-0.71	91	0	9	Erosion chronique Forte	Processus d'érosion largement dominant

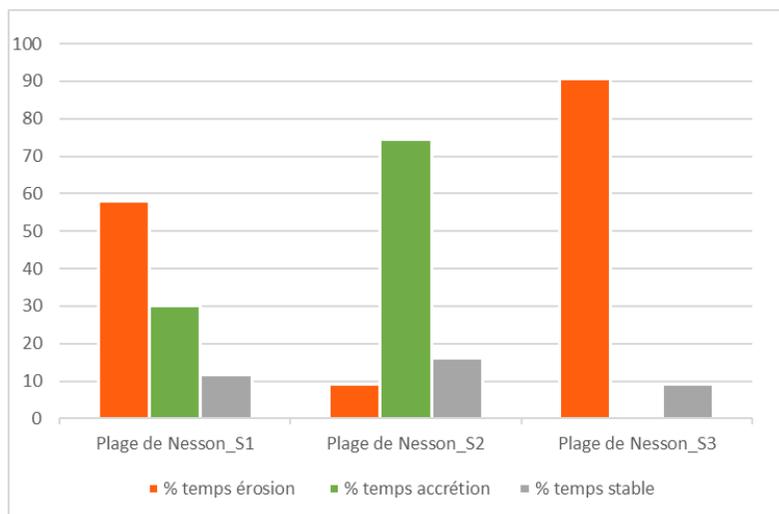


Figure 21 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de la plage de Nesson.

2.2.10. Saint-Joseph (Ouvéa)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Saint Joseph_S1	2124	65	1	0.02	37	22	42	Stabilité	Métastable : oscillations du TC autour d'une position « fixe »
Saint Joseph_S2	2861	65	15	0.22	23	74	3	Accrétion chronique Modérée	
Saint Joseph_S3	1182	65	-12	-0.18	45	12	43	Erosion sporadique Modérée	
Saint Joseph_S4	1008	65	3	0.05	23	71	6	Stabilité	
Saint Joseph_S5	1553	65	-4	-0.06	9	0	91	Stabilité	

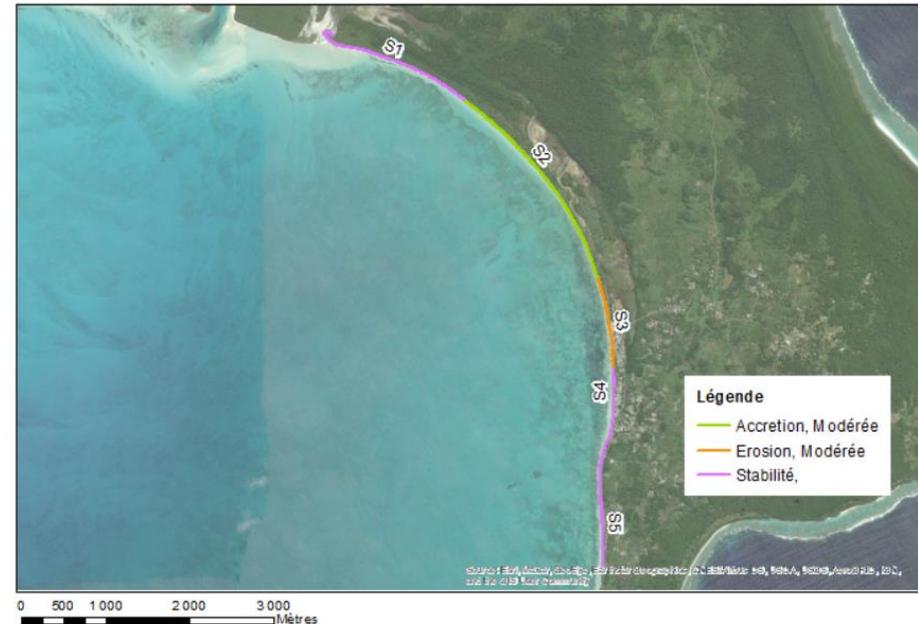
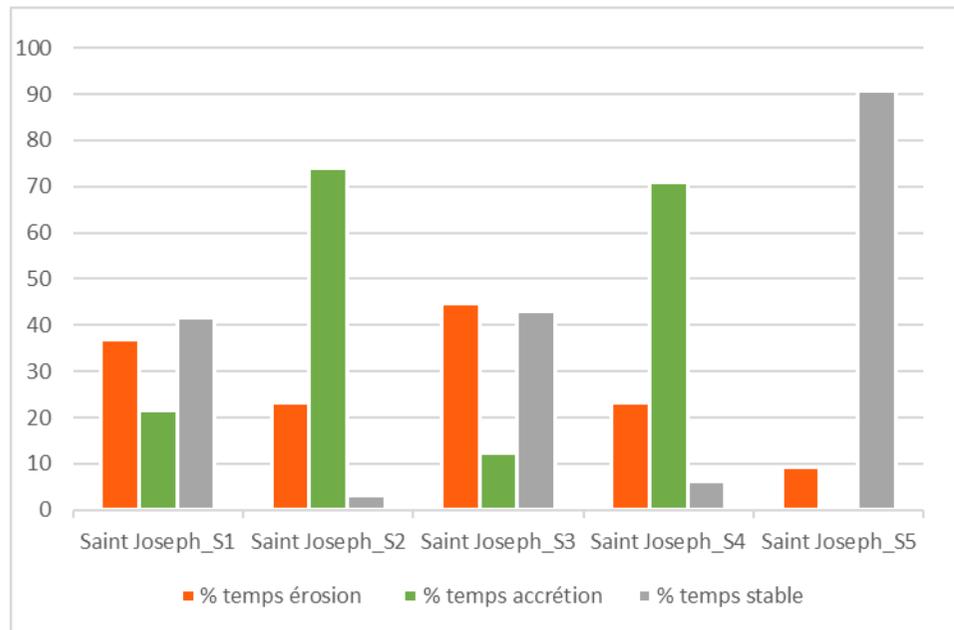


Figure 22 : Tableau d’analyse, classification et cartographie des segments du site de Saint-Joseph (Ouvéa).

2.2.11. Tewaadé-Tipinjié (Touho)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Tewaadé_S1	482	47	-99	-2.11	83	6	11	Erosion chronique Forte	Erosion largement dominante
Tewaadé_S2	134	47	-58	-1.23	53	36	11	Erosion chronique Forte	Erosion dominante avec phases de récupération faibles
Tewaadé_S3	618	47	-48	-1.02	53	30	17	Erosion chronique Forte	Erosion dominante avec phases de récupération faibles
Tewaadé_S4	340	47	-13	-0.28	49	30	21	Erosion sporadique Moyenne	Erosion dominante avec phases de récupération modérées
Tewaadé_S5	650	47	-9	-0.19	28	34	38	Erosion sporadique Modérée	Erosion dominante avec phases de récupérations longues et d'intensité moyennes

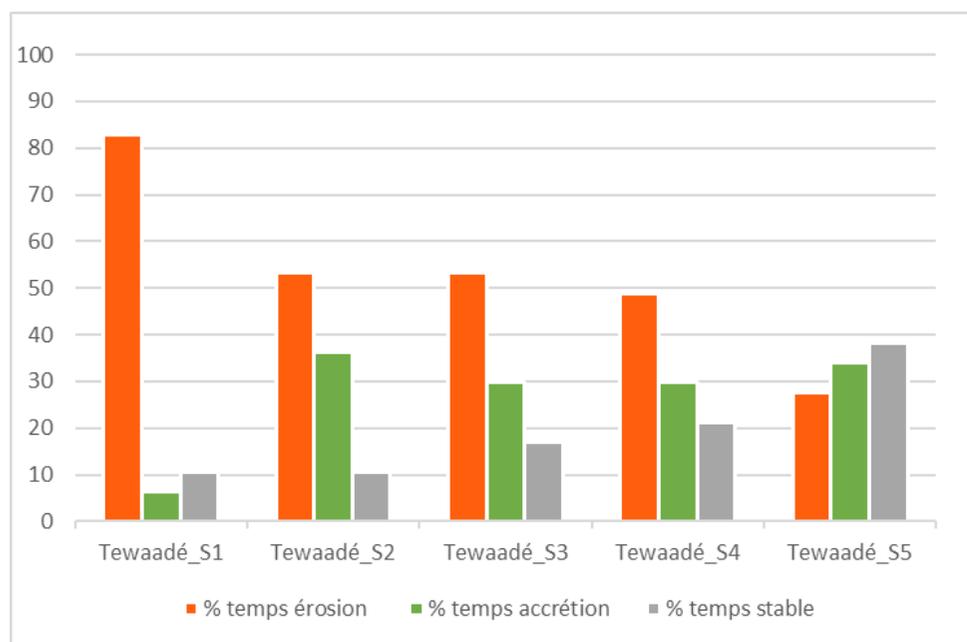


Figure 23 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site de Tewaadé-Tipinjié.

2.2.12. Tiakan (Ponérihouen)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
S1	1748	35	40	1.14	0	100	0	Accrétion chronique Forte	
S2	262	35	-26	-0.74	74	0	26	Erosion chronique Forte	
S3	626	35	25	0.71	0	74	26	Accrétion chronique Forte	
S4	307	35	-31	-0.89	74	0	26	Erosion chronique Forte	
S5	411	35	0	0.00	0	0	100	Stabilité	
S6	402	35	-7	-0.20	49	0	51	Erosion sporadique Modérée	Alternance de phases d'érosion et de stabilité
S7	643	35	-18	-0.51	49	0	51	Erosion sporadique Moyenne	Alternance de phases d'érosion et de stabilité
S8	1744	32	-56	-1.75	72	0	28	Erosion chronique Forte	

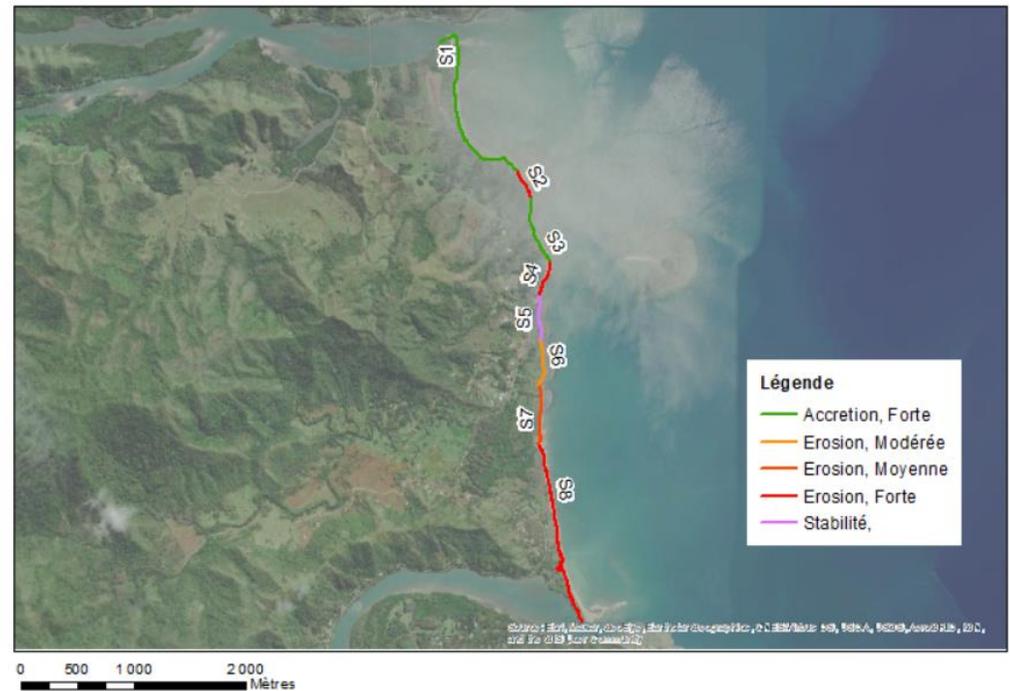
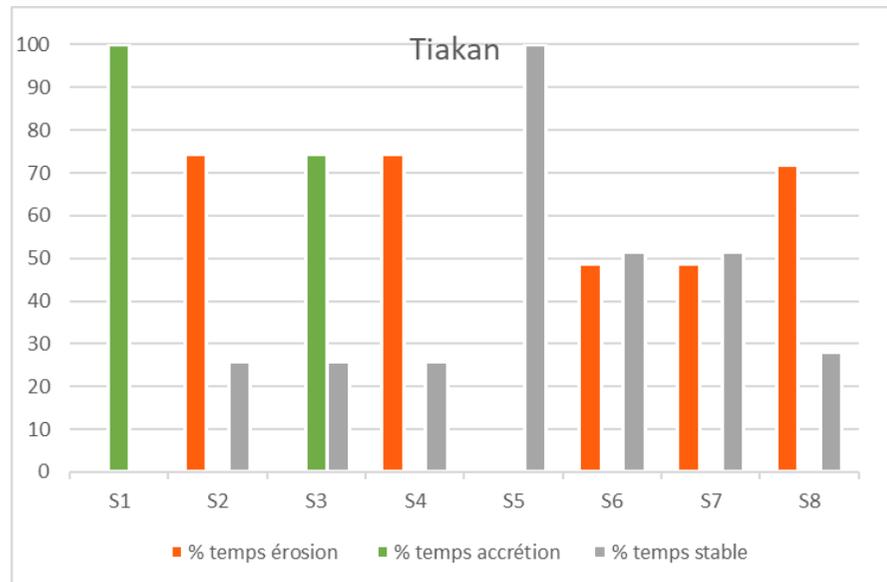


Figure 24 : Tableau d’analyse, classification et cartographie des segments du site de Tiakan.

2.2.13. Tiéti (Poindimié)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type	Remarques
Tiéti_S1	351	63	25	0.40	0	76	24	Accrétion chronique Moyenne	
Tiéti_S2	80	63	10	0.16	14	81	5	Accrétion chronique Faible	
Tiéti_S3	153	63	9	0.14	0	41	59	Accrétion sporadique Faible	
Tiéti_S4	199	63	12	0.19	32	14	54	Accrétion sporadique Modérée	Phases d'érosion modérée mais longues / phases d'accrétion
Tiéti_S5	166	63	0	0.00	37	14	49	Stabilité	
Tiéti_S6	124	63	10	0.16	0	49	51	Accrétion sporadique Faible	

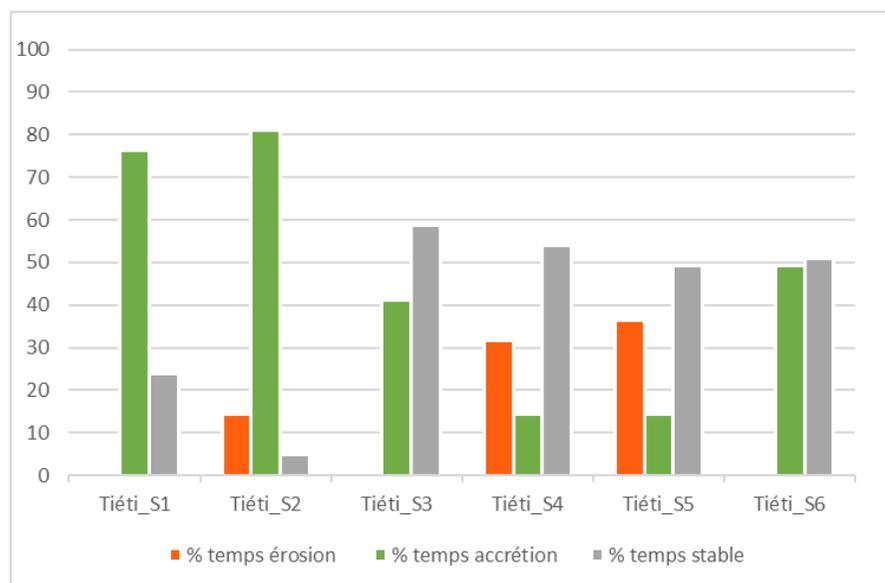


Figure 25 : Tableau d'analyse, classification et cartographie des segments du site du Tiéti (Poindimié).

2.2.14. Vao (Ile des Pins)

Segment	Longueur (m)	Durée (an)	Mobilité Long terme (m)	Vitesse long terme	% temps érosion	% temps accrétion	% temps stable	Type
Vao_S1	1773	64	-10	-0.16	36	38	27	Erosion sporadique Faible
Vao_S2	1770	64	-4	-0.06	3	3	94	Erosion sporadique Faible
Vao_S3	948	64	-20	-0.31	41	33	27	Erosion sporadique Moyenne
Vao_S4	1242	64	-13	-0.20	48	3	48	Erosion sporadique Modérée

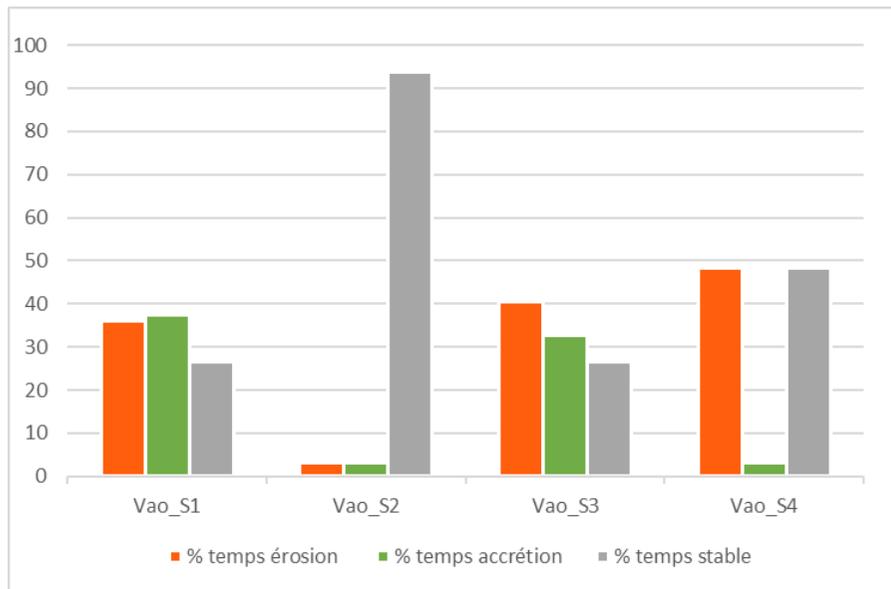


Figure 26 : Tableau d’analyse, classification et cartographie des segments du site de Vao (Ile des Pins).

3. TACHE 2 : LES CELLULES SEDIMENTAIRES

3.1. LE CONCEPT DE CELLULE SEDIMENTAIRE

Le littoral est un système dont l'équilibre dynamique dépend des échanges et des transferts de sédiments qui se produisent sous l'action des houles et des courants. Ces transferts sédimentaires s'effectuent par exemple latéralement au sein d'une même plage (transferts *longshore*), entre la plage et l'arrière-plage (transferts *cross-shore*), entre la plage et l'avant-plage et de la côte vers le large (transferts *cross-shore*). Le littoral est un système ouvert dont l'équilibre est appréhendé par l'analyse de son bilan sédimentaire au sein de cellules sédimentaires. Une cellule sédimentaire est une unité homogène du littoral dont les limites spatiales n'ont rien de commun avec les limites administratives (MEEDDM, 2010).

3.1.1. Définitions

Cellules sédimentaires

Les cellules sédimentaires sont des segments de côte à l'intérieur desquelles les circulations sédimentaires ont un fonctionnement autonome (ou quasi-autonome) par rapport aux segments voisins (Figure 27). Généralement, une cellule sédimentaire comprend au moins une source de sédiments (embouchure fluviale par exemple) et au moins un puit (canyon sous-marin, bathymétries plus élevées au-delà desquelles le sédiment ne participe plus à la dynamique hydrosédimentaire littorale...).

Un lien étroit existe entre les différents secteurs d'une même cellule sédimentaire. Toute intervention sur l'un d'entre eux a forcément (à plus ou moins long terme) des répercussions sur les autres. C'est pourquoi tout projet d'intervention ou d'aménagement du littoral doit être envisagé à l'échelle de la cellule sédimentaire.

Les limites des cellules sont généralement d'origine naturelle mais parfois elles sont d'origine anthropique. Ces limites peuvent être définies par :

- un changement d'orientation de la côte qui peut induire une inversion de sens de la dérive littorale et par conséquent du transport sédimentaire ;
- des obstacles naturels, suffisamment importants pour bloquer ou modifier les transits sédimentaires sous l'action de la dérive littorale, comme des caps rocheux avançant notablement en mer, des embouchures fluviales, une tête de canyon sous-marin près de la côte etc. ;
- des ouvrages côtiers comme une longue jetée portuaire, zone de remblai faisant saillie par rapport à la côte naturelle voire modifiant de façon plus drastique le fonctionnement même du littoral (blocage des échanges hydrosédimentaires inter-baies par création de presqu'île, cf. Nouvelle).

Dans le cas où les limites de la cellule sont très marquées (longues pointes rocheuses, baies très fermées par exemple), les échanges sédimentaires entre deux cellules voisines peuvent être nuls. On dit alors que ces cellules sont fermées et que leurs limites sont imperméables ou étanches.

Dans certains cas, la présence de hauts-fonds ou un changement d’orientation de la côte, peuvent modifier l’angle d’incidence des houles et le sens du transit littoral et former ainsi une limite entre cellules. Les échanges sédimentaires y sont limités mais restent possibles entre deux cellules adjacentes. Les limites de cellule sont alors dites perméables.

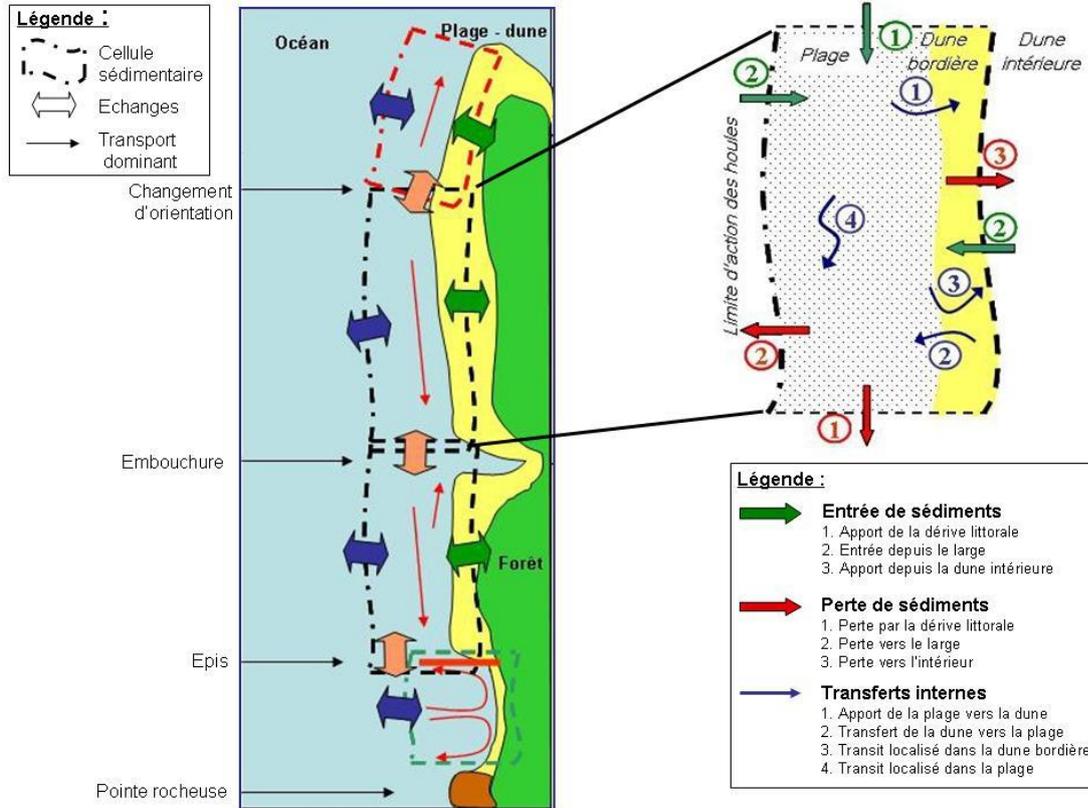


Figure 27 : Notion de cellule sédimentaire et de budget sédimentaire d’un système côtier (BRGM et ONF, OCA 2018).

Le bilan sédimentaire

Le bilan sédimentaire exprime la différence au niveau de la cellule sédimentaire entre les flux entrants et sortants. Lorsque sur une cellule sédimentaire, quel que soit sa taille, les apports sédimentaires sont supérieurs aux pertes, le bilan est positif et les rivages qui la constitue sont généralement en accrétion dominante, le trait de côte a tendance à prograder. En revanche, si les pertes dépassent les apports, le bilan est déficitaire, l’érosion est dominante sur le littoral de la cellule et le trait de côte montre une tendance au recul.

Le bilan sédimentaire d’un système côtier (système plage/dune par exemple) s’exprime par la différence entre (Figure 28):

- les **apports** provenant de la dérive littorale, des rivières et de l’érosion des falaises et des dunes ;
- les **pertes** vers :
 - le plateau continental ou des bathymétries supérieures à la profondeur de fermeture, voir des canyons sous-marins,
 - vers des cellules voisines par la dérive littorale,
 - vers les terres par transport éolien.

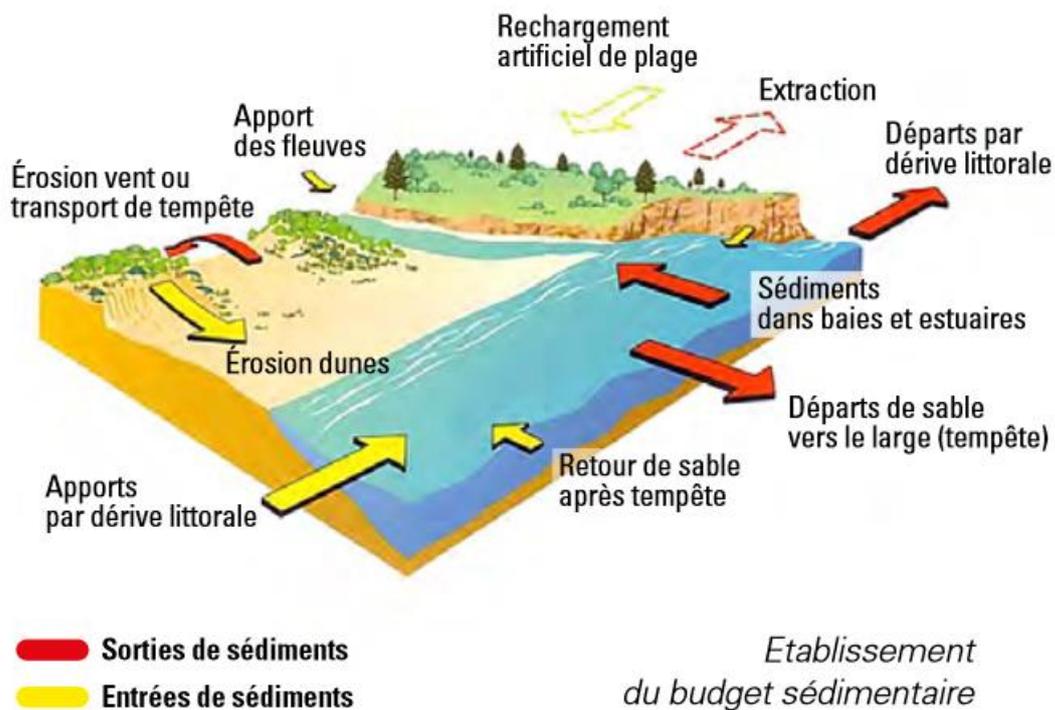


Figure 28 : Composantes, apports et pertes, du bilan sédimentaire d'un système côtier (Réseau d'Observation du Littoral Normand Picard : ROLNP 2009).

Dans l'idéal, afin de réaliser le diagnostic de l'état actuel d'un littoral et de permettre une réflexion prospective sur les scénarios possibles de l'évolution côtière, le bilan sédimentaire doit être établi à l'échelle de la cellule sédimentaire à travers des analyses quantitatives :

- des zones sources et des zones puits du système côtier sur lequel sont susceptibles de se produire des transferts sédimentaires ;
- des échanges au sein de la cellule en termes de volumes (volume érodé, volume transporté par la dérive, volume stocké en arrière plage (dune, avant-dune par exemple) ;
- des échanges potentiels entre les cellules voisines.

3.2. APPLICATION AUX COTES DE NOUVELLE-CALÉDONIE

3.2.1. Les côtes de Nouvelle-Calédonie : un littoral varié et complexe

Le littoral de la Grande Terre est varié et plus ou moins soumis, selon les secteurs, aux influences continentales et marines. Les sources de sédiments comprennent en effet deux pôles :

- Le pôle continental avec les apports de sédiments terrigène au niveau des embouchures des rivières (Figure 29 et Figure 31),
- Le pôle marin avec les apports bioclastiques issus du démantèlement et de l'érosion des récifs (Figure 30).

La contribution des apports sédimentaires issus de l'érosion continentale est très variable en fonction de la localisation du littoral considéré par rapport aux embouchures, leur nombre et surtout la surface occupée par leur bassin versant. A ces paramètres, il faut ajouter la présence ou non de mines sur le bassin versant et plus particulièrement l'existence, le volume et la surface occupée par les anciennes décharges minières. Celles-ci contribuent encore fortement à la quantité de sédiments (plus ou moins grossiers) transitant par les creeks et les rivières (Richard et al., 2018). La présence et la densité de pistes de prospection parfois anciennes contribuent elles aussi de façon significative à la charge solide des rivières et plus spécifiquement en fines latéritiques. Un autre paramètre intervenant dans les apports des rivières est la présence et l'activité de mouvements de terrain actifs dans les massifs. Sur certains secteurs de la Grande Terre ils ont un effet potentiellement non négligeable sur les apports solides continentaux. Enfin, il ne faut pas négliger les apports induits par l'érosion des surfaces sur-pâturées et les surfaces mises à nue lors des incendies.

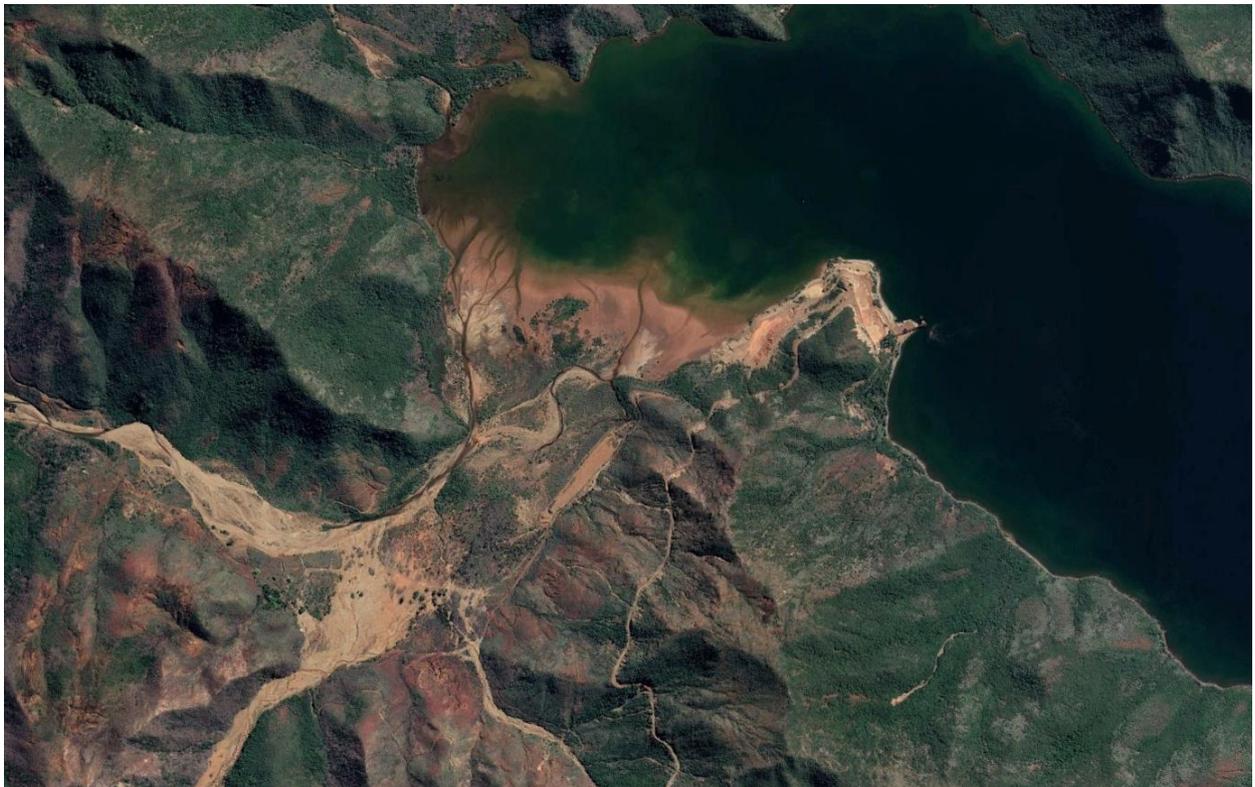


Figure 29 : Apports sédimentaires continentaux sur le littoral en aval des bassins versants miniers (Canala, 2019).

A contrario, les sources de sédiments sur les îles (île des Pins, îles Loyauté) sont essentiellement marines. Les apports bioclastiques sont issus de l'abrasion des systèmes récifaux et constituent sur certains secteurs la totalité des sédiments entrant dans le bilan sédimentaire. Ces apports peuvent être issus du récif barrière et être la principale source de sédiments présents dans certains secteurs du lagon ou de la côte. Ils sont présents de la proximité immédiate avec les récifs jusqu'à plusieurs kilomètres des zones sources. Ces bioclastes peuvent aussi provenir des récifs frangeants présents le long des côtes et des édifices isolés présents dans le lagon.



Figure 30 : Dunes hydrauliques constituées de sables bioclastiques issus du récif et se propageant dans le lagon (Poya, CNES 2019).

Sur certains segments littoraux, le sédiment peut provenir de ces deux types de sources et donc avoir une origine mixte bioclastique et terrigène (Figure 31).

La localisation et la quantité de sédiments issus de ces deux pôles sera fonction de nombreux paramètres :

- taille du bassin versant,
- intensité des processus d'érosion et de transport,
- présence ou non de mines sur le bassin,
- taille et localisation du récif,
- exposition du récif aux conditions marines,
- intensité des événements générateurs de ces sédiments et de leur transport :
 - o intensité et durée des précipitations dans le bassin versant (dépressions tropicales, cyclones etc.),
 - o intensité et caractéristiques des événements hydrométéorologiques : hauteur, direction et période des vagues et des houles.

Les sédiments présents sur le littoral seront mobilisés par plusieurs processus et phénomènes dont certains sont liés aux « conditions ordinaires » (courants et vagues induits par les alizés, courants induits par les marées) et d'autres plus exceptionnels (épisodes de houle australe, houles vagues cycloniques, etc.).

Ces différents facteurs d'évolution ont des incidences variables en fonction de leurs caractéristiques propres (orientation des vagues, vitesse des courants), des propriétés des sédiments présents (granulométrie, densité) et des caractéristiques du site : orientation des côtes, orientation par rapport aux événements (incidence des vagues), niveau d'exposition et de protection de la côte (présence d'îles, d'un récif barrière, de mangrove, dans l'axe d'une passe, baie fermée ou au contraire littoral rectiligne, morphologie et bathymétrie des fonds ...).



Figure 31 : Secteur dont la source sédimentaire est mixte (continentale et marine) – Poya-Cap Goulvain
Mai 2005.

3.2.2. Proposition de méthode pour réaliser la segmentation en cellules sédimentaires

La définition de cellules sédimentaires nécessite donc une bonne connaissance des sites et une grande quantité de données qui n'existent pas toujours. C'est le cas pour la Grande Terre où, par exemple, la transformation des houles du large lors du franchissement des passes puis leur propagation jusqu'à la côte est extrêmement complexe. Elle est en effet dépendante des caractéristiques initiales des houles mais aussi de la morphologie sous-marine du lagon (haut-fond, îlots coralliens, chenaux creusés dans le fond du lagon par les rivières lors des bas-niveaux marins du Quaternaire, etc.). De même, les courants générés par les vagues lors des périodes d'alizés bien établis interfèrent avec les courants induits par la marée. Quelques travaux fournissent en partie ces indications mais ne couvrent malheureusement que quelques secteurs (lagon sud et ouest, Douillet, 2001 ; Jouon, 2007 ; Sous et *al.*, 2017). Certaines données, comme celles sur la dérive littorale résiduelle, n'existent pas autour de la Grande Terre, rendant la délimitation des cellules sédimentaires plus délicate. De même, les volumes sédimentaires transitant par les embouchures tout comme la quantité de sédiments produits par les récifs sont généralement inconnus.

Il est donc proposé de réaliser un découpage basé en grande partie sur des critères morphologiques, sédimentologiques (Figure 32) :

- les analyses morphologiques du littoral : identification des baies et de leur degré de fermeture, limites naturelles formées par les pointes rocheuses, les embouchures de rivière, présence de récif frangeant, barrière et cayes, les paléochenaux, localisation des passes dans la barrière récifale, inflexions de l'orientation générale du littoral, ...
- l'identification des principales zones sources de sédiment tel que les estuaires et les deltas pour les sources continentales.

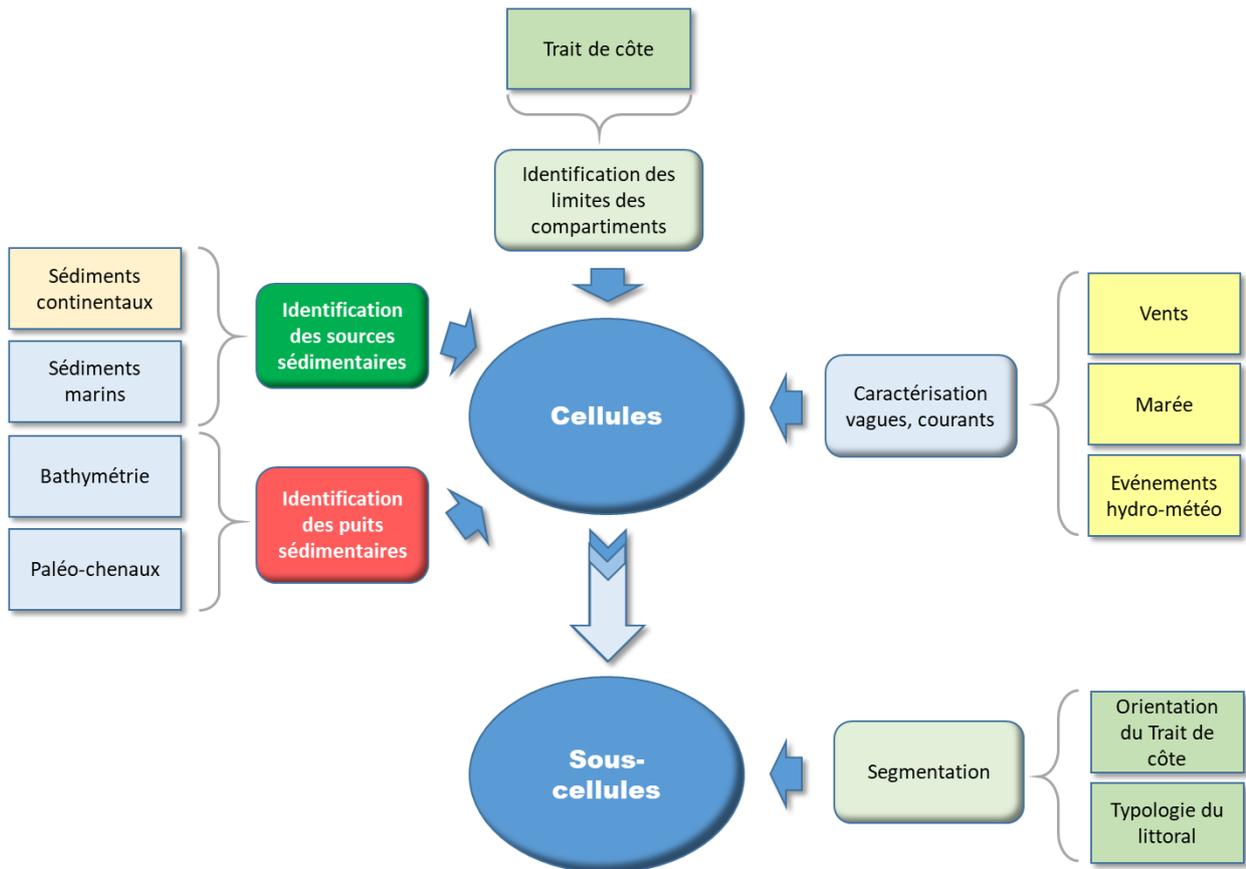


Figure 32 : Méthode suivie pour la définition des cellules et sous-cellules sédimentaires du littoral de Nouvelle-Calédonie.

A ces critères sont ajoutés en fonction de la disponibilité des données :

- la bathymétrie, quand cette donnée existe, qui permet d'identifier les hauts-fonds, les potentiels puits sédimentaires et de mieux caractériser les paléo-chenaux présents dans le lagon,
- les résultats issus des mesures et des modèles courantologiques (dans le lagon Sud par exemple),
- des hypothèses sur la dérive littorale résiduelle (dominante).

Ce découpage est fait selon plusieurs niveaux hiérarchiques emboîtés. Le premier niveau correspond aux grands compartiments (cellules) dont les principales caractéristiques sont homogènes et qui correspondent à un mode de fonctionnement hydrosédimentaire individualisable. Ces cellules sont éventuellement scindables en plusieurs sous-cellules en

fonction de particularités locales (dynamique de fonctionnement, lithologie, orientation du trait de côte etc.) ne justifiant pas la délimitation d’un nouveau compartiment.

Sur les côtes ouvertes, les cellules sédimentaires sont généralement représentées par leurs limites portées perpendiculairement au trait de côte. En Nouvelle-Calédonie, la largeur très importante que peut avoir le lagon et l’extension du domaine littoral et la complexité de leur échanges hydrosédimentaires nous a conduit à définir les cellules sédimentaires par des surfaces (et n’ont plus un simple linéaire de trait de côte). Ceci permet d’individualiser par exemple plusieurs niveaux de cellules de la côte vers le large ou des baies fermées situées en arrière du lagon etc. Ces différents environnements subissent en effet des influences plus ou moins marines ou continentales avec des sources sédimentaires multiples. La présence de passes dans la barrière, la présence de paléo-chenaux et de hauts-fonds dans le lagon, le développement de larges deltas en avant des embouchures etc. leurs confèrent des fonctionnements très divers qu’il est nécessaire de prendre en compte pour la définition des cellules.

3.3. RESULTATS ET EXEMPLES CARTOGRAPHIQUES

Une première version de sectorisation en cellules hydrosédimentaires a été réalisée autour de la Grande-Terre et est en cours de finalisation. Les figures suivantes présentent quelques exemples de cellules hydrosédimentaires définies sur la côte sud-ouest.

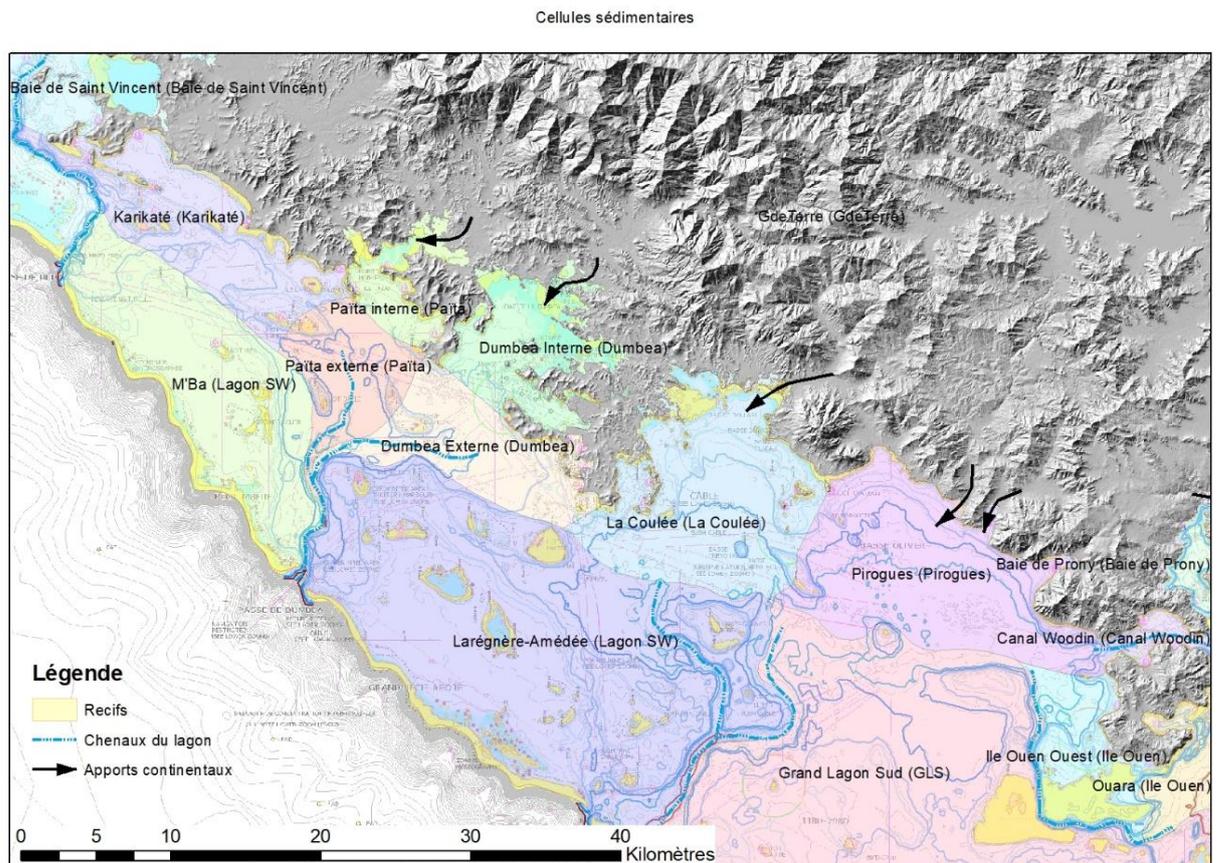


Figure 33 : Les cellules hydrosédimentaires définies pour le Sud-Ouest de Grande Terre.

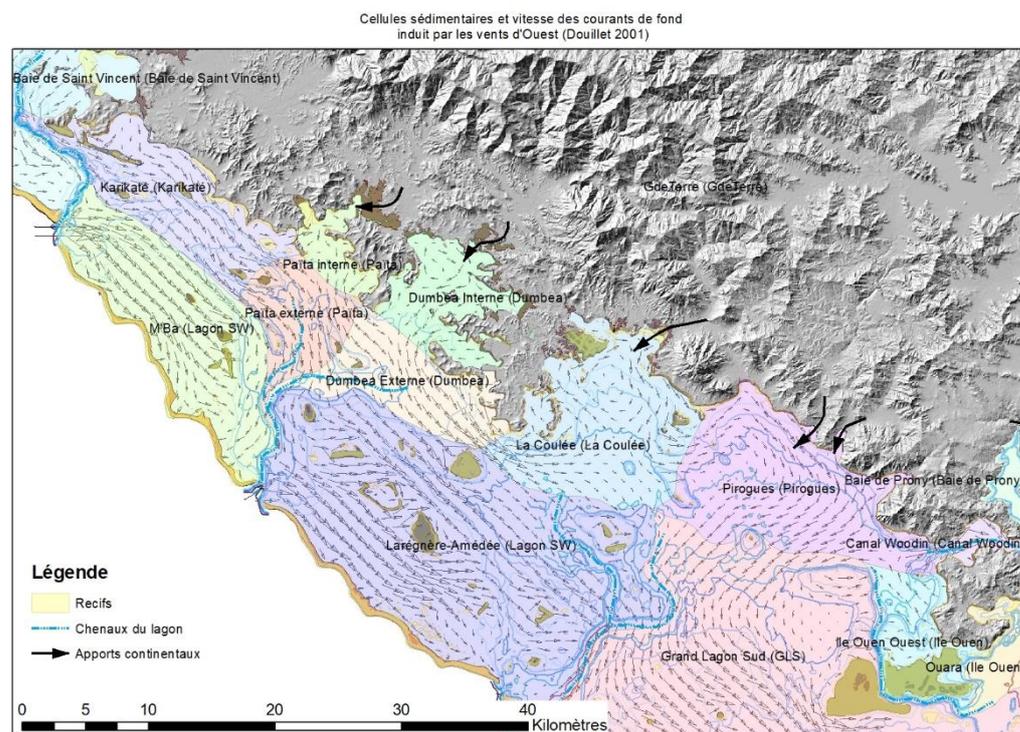
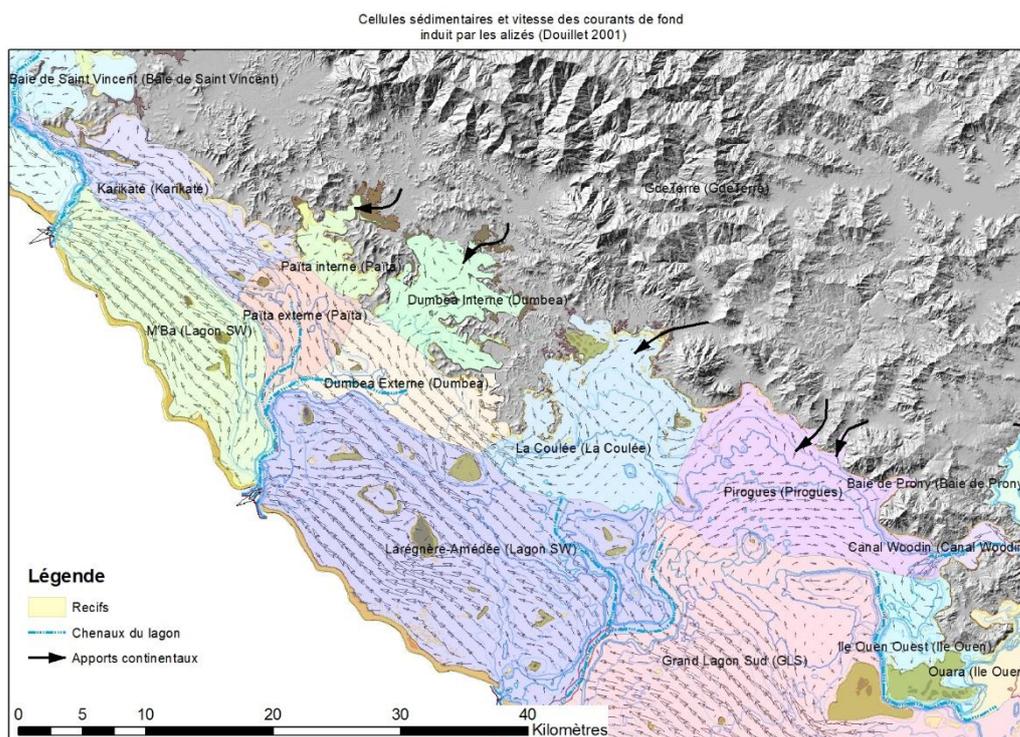


Figure 34 : Exemple de relations entre les cellules hydrosédimentaires et les courants de fond (Douillet 2001) induits par les alizés (en haut) et par les « coup d'ouest » (en bas).

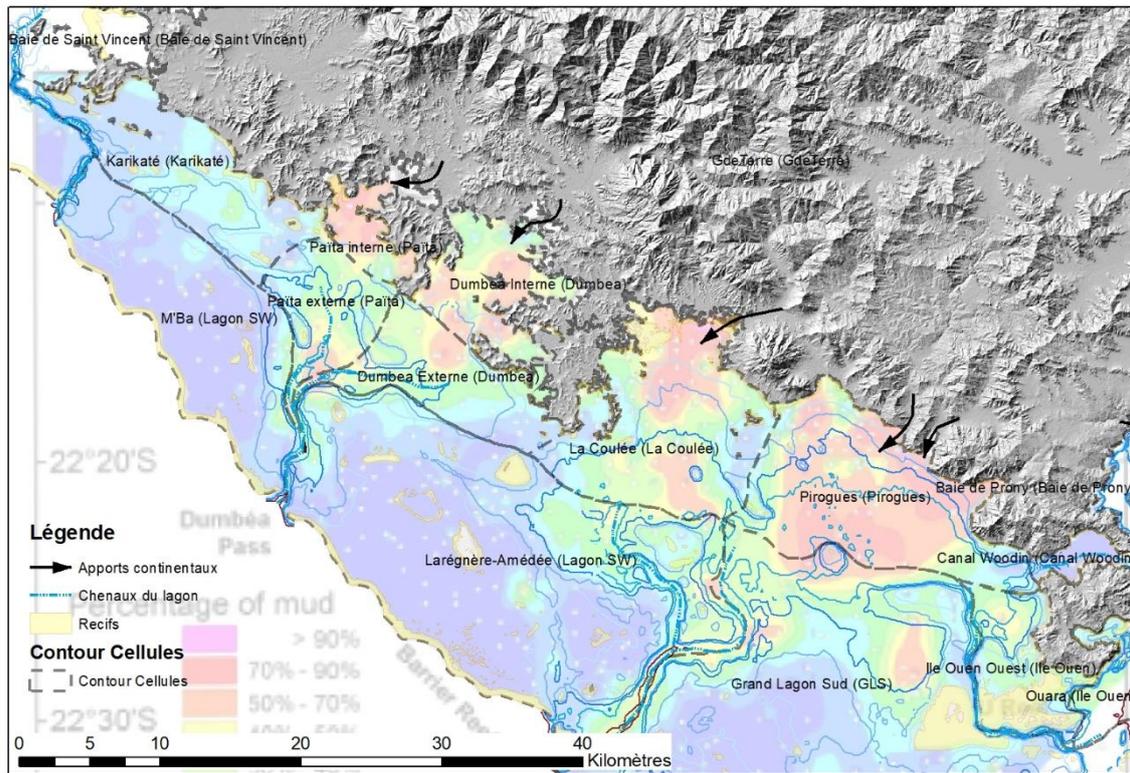


Figure 35 : Relation entre les cellules sédimentaires, le pourcentage de fraction fine des sédiments de surface du lagon et les sources de terrigène (Debenay 1987).

4. CONCLUSION

L’avancement du travail est conforme aux prévisions, les tâches 1 et 2 sont quasiment achevées.

Toutefois, certaines tâches (3, 4, 5) n’ont été qu’initiées ou sont en attente car elles sont conditionnées par :

- la réception des données par des organismes externes (Météo France, Ifremer,...)
- la réalisation de mission de terrain (WWF) prévue à la fin de l’année et en début d’année 2022,
- la tenue de réunions avec des organismes gestionnaires de littoraux (Mairie de Nouméa, Provinces, etc.).

Ces tâches pourront être menées à bien et finalisées dès que ces contraintes auront été levées.

5. BIBLIOGRAPHIE

BRGM et ONF (2018) - Atlas morphodynamique de la côte sableuse aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-67152-FR, 280 p., 227 ill., 6 ann. Source: <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-67152-FR.pdf>

Debenay J.P. (1987) - Répartition des sédiments carbonates et relation avec l'hydrodynamisme dans un environnement récifal complexe; le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (1987) III (4): 769–776.

Douillet P. (2001) - Atlas hydrodynamique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. ZoNéCo

Garcin M., Baills A., Le Cozannet G., Bulteau T., Auboin A-L., Sauter J. (2013) - Pluridecadal impact of mining activities on coastline mobility of estuaries of New Caledonia (South Pacific), *Journal of Coastal Research*, 65, p. 494-499, 2013

Garcin M., Lesimple S. (2013) – Identification des rivières sur-engravées de la Grande-Terre (Nouvelle-Calédonie) - Aptitude à l'exploitation pour granulats. Rapport BRGM/ RP- 62297-FR, p., fig

Garcin M., Richard D., Liébault F., Recking A., Piton G., Sabinot C., Worliczek E., Lesimple S., Bertrand M., Gastaldi Y., Burlat T., Gosset L., A. Pidjo A. (2017) – Gestion du passif minier – Rapport scientifique. CNRT « Nickel & son environnement ». 131 pages, 42 fig., 18 Tab.1 ann.

Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2013) - Évolution récente et future des systèmes côtiers en Nouvelle-Calédonie – Rapport de fin de mission – 14 p., 5 fig. - Convention DIMENC-BRGM 2012.

Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2014) - Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie – Rapport préliminaire : observations, état des lieux et constats. Rapport BRGM/RP-63235-FR, 125 p., 154 fig.

Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2015) - Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie – Bilan des actions 2014 - Cartographie et analyse des évolutions temporelles des sites pilotes. BRGM/RP-64824-FR, 145 p., 173 fig., 4 tabl., 2 ann.

Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2016) - Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie - Bilan des activités 2015, Typologie, méthodes et suivi des sites pilotes. BRGM/RP-65637-FR, 169 p., 148 fig., 14 tabl., 2 ann.

Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2018) - Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie – Bilan des actions 2018 : tome 2 – Suivi des sites, rapport BRGM/RP-69223-FR, 141 p., 151 fig., 13 tabl., 1 ann.

Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2020) - Coastline artificialization and land use changes in coastal cities: Implication for coastal management in Nouméa (New Caledonia). *J.N.G.C.G.C* 2020, *Paralia*, 71, 639-648. DOI:10.5150/jngcgc.2020.071

Garcin M., Vendé-Leclerc M., Desmazes F. avec la collaboration de Jeanne V. (2018) - Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie - Bilan des actions 2018 : tome 1, rapport BRGM/RP-68303-FR, 118 p., 93 fig., 12 tabl..

Garcin M., Vendé-Leclerc M., Maurizot P., Le Cozannet G., Robineau, B. Nicolae-Lerma A. (2016) - Lagoon islets as indicators of recent environmental changes in the South Pacific - the New Caledonian example, *Continental Shelf Research*, 122, 120-140.

Garcin M., Vendé-Leclerc M., Mengin M. (2017) - Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie - Bilan des activités 2016. Rapport BRGM/RP-66941-FR, 180 p., 169 fig., 8 tabl., 1 ann.

Jouon A. (2007) - Hydrodynamique et transport de particules en suspension dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Milieux et Changements globaux. Thèse de l’Université du Sud Toulon-Var.

Le Duff M. (2018) - Les risques naturels côtiers en Nouvelle-Calédonie : contribution pour une gestion intégrée : De la caractérisation du risque à la participation citoyenne, quelques perspectives pour la prévention des risques aux îles Loyauté. Thèse de doctorat de l’Université de Nouvelle-Calédonie, 488 p.

Richard D., Garcin M., Liébault F., Recking A., Piton G., Sabinot C., Worliczek E., Lesimple S., Bertrand M., Gastaldi Y., Burlat T., Gosset L., Pidjo A., Gosselin N. (2019) – Gestion du passif minier – Guide méthodologique. CNRT « Nickel & son environnement ». 79 pages, 20 fig., 15 Tab. https://cnrt.nc/wp-content/uploads/2020/08/CNRT-GUIDE-GESTION-du-PASSIF_Tome-ENV-Edition-2018_vc2.pdf

Sous D., Chevalier C., Devenon J.L., Blanchot J., Pagano M. (2017) Circulation patterns in a channel reef-lagoon system, Ouano lagoon, New Caledonia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 196

Sous D., Tissier M., Rey V., Touboul J., Bouchette F., Devenon J.L., Chevalier C., Aucan J. (2019) - Wave transformation over a barrier reef. *Continental Shelf Research* 184(6)



Centre scientifique et technique
Direction Risques et Prévention
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr