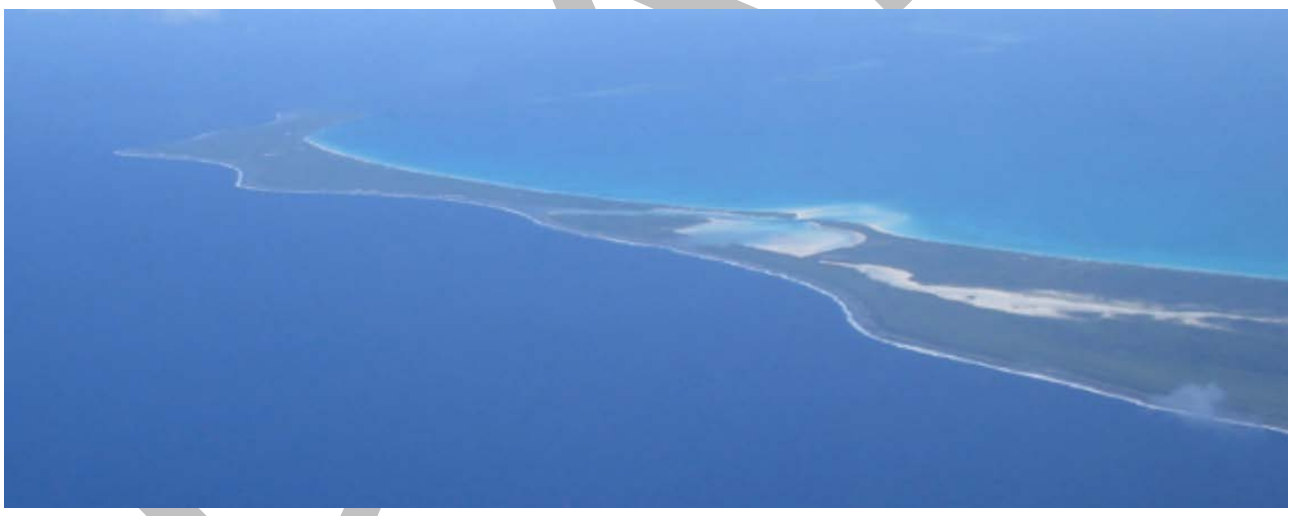
Pacific Community
Communauté du Pacifique

INTEGRE

Mission d'expertise sur les mesures de lutte contre l'érosion pouvant être prises sur 3 sites à enjeux, Ouvéa (Province des îles Loyauté) et ile Ouen (Province Sud) - Nouvelle-Calédonie - Partie 1 : Ouvéa

DRAFT



Ref. : Af-16-0910 / Ra-17-1150

Date : 10 janvier 2017

Auteur : Professeur Michel ALLENBACH & Dr. Sébastien Sarramegna

UNIVERSITÉ DE NOUVELLE-CALÉDONIE

E.M.R.

UNION EUROPÉENNE

Le projet INTEGRE :

« INTEGRE » ou « initiative des territoires pour la gestion régionale de l'environnement » est un projet de développement durable commun aux quatre Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) européens du Pacifique (Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Wallis-et-Futuna et Pitcairn). Financé par l'Union européenne, il a pour objectifs l'amélioration de la gestion et la valorisation durables de l'environnement au bénéfice des populations et le renforcement de la coopération régionale dans le domaine du développement durable. D'un budget total de 12 millions d'euros, sa période de mise en œuvre s'étend du 25 mars 2013 au 28 janvier 2018.

La Polynésie française, représentant les quatre PTOM, pilote le projet. La mise en œuvre a été confiée à la CPS, au sein du programme « durabilité environnementale et changement climatique », qui s'associe à de nombreux acteurs locaux et régionaux pour remplir cette mission.

Le projet INTEGRE est articulé en 2 composantes, fortement liées et s'alimentant l'une l'autre :

Une composante régionale pour favoriser le lien entre les sites du projet, permettre l'apport d'expertise régionale dans les territoires, insérer les PTOM dans les réseaux régionaux et valoriser les actions menées et les diffuser à l'échelle du Pacifique.

Une composante locale consistant en la mise en œuvre de projets de gestion intégrée des zones côtières sur 9 sites pilotes de la région. Pour chacun des sites-pilotes, des plans d'actions ont été élaborés et sont mis en œuvre en suivant une démarche participative. Ils sont complétés par des actions transversales à l'échelle des territoires.

DRAFT

Ce rapport doit être cité de la façon suivante :

Allenbach M & Sarramegna S (2017). Mission d'expertise sur les mesures de lutte contre l'érosion pouvant être prises sur 3 sites à enjeux, Ouvéa (Province des îles Loyauté) et ile Ouen (Province Sud) - Nouvelle-Calédonie- Partie 1 : Ouvéa. Communauté du Pacifique. EMR. 64 pages.

1 Résumé exécutif

La présente note d'expertise est une réponse à la consultation lancée par la CPS (Commission du Pacifique Sud - Programme INTEGRE) pour des missions d'expertise concernant des mesures de lutte contre l'érosion pouvant être prises sur 3 sites à enjeu en Nouvelle-Calédonie.

Elle traite spécifiquement des sites à enjeux de l'île d'Ouvéa (Province des Îles Loyauté) : Le site de Saint-Joseph/Takedji dans le nord de l'île, le site du Pont de Mouli dans le sud et le site de la mangrove de Lekiny dans le sud de l'île

La description de la dynamique sédimentaire et de la géomorphologie littorale des deux sites à partir d'observations naturalistes et les propositions de préconisations techniques pour essayer de limiter l'érosion, ont été rédigées par le Professeur Michel ALLENBACH (Université de la Nouvelle-Calédonie).

L'analyse diachronique de la mangrove de Lekiny (zone sud d'Ouvéa) et l'analyse des conséquences de la construction d'une chaussée coupant la mangrove et les préconisations techniques pour limiter les impacts actuels ont été rédigées par le Dr. Sébastien Sarramegna (bureau d'étude EMR).

Enfin, elle décrit les faits de dynamique sédimentaire affectant la berge occidentale du chenal de Lekiny à son approche du lagon de Faiava et propose là aussi des préconisations techniques d'aménagement.

Au nord de l'île d'Ouvéa, le secteur expertisé est situé dans la partie centrale de la plage de Saint-Joseph, au droit du village du même nom. Contrairement à l'ensemble du linéaire de la cellule sédimentaire de la baie sur lequel l'évolution géomorphologique s'attaque essentiellement à des surfaces naturelles, ce site fait l'objet d'une érosion qui met en danger les infrastructures communes (la route) et menace, si rien n'est fait, les habitations qui sont implantées en amont de celle-ci.

Au cours de visites du site réalisées en 2014 et 2015 pour l'encadrement du travail de thèse de Matthieu le Duff, préalablement à l'expertise commanditée par INTEGRE, l'observation de la zone avait permis de constater la présence d'un dysfonctionnement assez générique des zones côtières anthropisées : l'existence de plusieurs petits aménagements en saillie sur le trait de côte ayant été édifiés sans prise en compte de leur impact sur la dynamique sédimentaire littorale. Ces reliques de construction contrariant la dérive sédimentaire dans le secteur de la tribu de Saint-Joseph, selon un schéma classique qui veut que se créée une accrétion (dépôt) du côté d'où vient le transit et une érosion de l'autre côté, il avait alors été conseillé aux riverains de détruire ces constructions et d'édifier avec les blocs récupérés un cordon d'enrochement dont le principe constructif avait été explicité.

L'expertise confiée à EMR par INTEGRE a été actée tardivement, de sorte qu'une première phase de travaux considérés comme urgents, avec raison, par la mairie, a été réalisée avant le rendu de cette note, au début de l'année 2016, grâce à la présence à Ouvéa d'une société en capacité de réaliser ce type de travail. L'aménagement a été effectué dans l'esprit de ce qui avait été préconisé, mais l'expert UNC n'a pas été consulté pour conseiller l'entreprise dans la réalisation de l'ouvrage. Il s'ensuit un profil à la mer moins pentu que ce qu'il aurait être dans l'idéal, une utilisation pas toujours optimale des blocs disponibles au niveau de la butée de pied, une quasi absence à certains endroits de la sous-couche granulométrique derrière la carapace, un couronnement en gros blocs trop étroit. Ce faisant, le cordon mis en place peut tout de même être considéré comme correctement posé et respectueux des grands principes évoqués oralement en 2014. Les levés topographiques de la plage réalisés postérieurement à la pose du cordon, sont conformes aux résultats attendus avec une linéarisation du trait de côte et un profil de plage correct en pied d'ouvrage. Le cordon devant être prolongé vers le nord dans une deuxième phase de réalisation, la

DRAFT

note présente la coupe type en travers de l'ouvrage à réaliser et ses caractéristiques techniques (pente, blocométrie). Il est conseillé de faire réaliser un levé de recollement de l'ouvrage lorsqu'il sera terminé et de suivre l'évolution géomorphologique du site par des profils de plage répétitifs.

Si l'ouvrage a vocation à protéger momentanément les infrastructures de la tribu, il ne permettra pas, à terme, de lutter de façon pérenne contre la transgression marine en cours et l'érosion qu'elle va générer. Il offre un moment de répit permettant aux riverains de réfléchir à des solutions plus durables pour les générations futures et la note évoque la perspective d'une délocalisation de la tribu vers des zones intérieures plus hautes et la nécessité de ne plus construire, dès aujourd'hui, d'infrastructures à proximité immédiate du trait de côte.

Au sud de l'île d'Ouvéa, 3 secteurs sont analysés dans la note :

- le premier concerne la zone du Pont de Mouli. Il a été observé, de part et d'autre des culées du pont, des accrétions au vent des dérives littorales et des érosions sous le vent. Ces phénomènes sont conformes à la logique sédimentaire et sont directement liés au principe constructif des rampes d'accès au pont et des culées de ce même ouvrage. Ces éléments fonctionnent en « épi » étanche en regard des dérives sédimentaires. Sauf à les détruire - ce qui sous-entend une reprise d'ouvrage très couteuse - pour les remplacer par des éléments sur pilotis, les phénomènes sédimentaires actuellement constatés ne s'annuleront pas et les érosions notées, côté lagon de Faiava, se poursuivront. Pour les combattre, une solution souple par système by-pass de sédiments et mise en place de mini-plages alvéolaires par l'implantation de mini épis en « T » est évoquée, mais sous-entend des coûts de fonctionnement élevés. Compte tenu de l'importance des phénomènes érosifs constatés, pour réduire les effets des dysfonctionnements générés par le pont, la solution passe par la mise en place, en urgence, de cordons d'enrochements pour protéger la route au plus près des culées et la dune des deux côtés nord et sud du pont, sur la façade ouverte vers le lagon de Faiava du cordon littoral. Le principe constructif de ces cordons est identique à celui décrit pour Saint-Joseph. Les échanges avec la population ont laissé entendre qu'une reprise de l'ouvrage, voire son doublement pourraient être « dans les tuyaux ». Si la chose s'avérait vraie, il conviendrait que les observations et les conseils donnés plus avant soient intégrés dans la réflexion. Le dimensionnement des ouvrages de confortation évoqués à l'alinéa précédent est indissociable des décisions politiques et techniques qui vont être prises au niveau provincial pour le pont. L'efficacité impose une concertation étroite entre les différents acteurs pouvant intervenir sur les décisions à prendre (coutumiers, politiques et services techniques municipaux et provinciaux, bureaux d'études spécialisés) ;

- le second évoque le problème de la route coupant la mangrove de Lekiny. Il a été observé des pertes en biodiversité pour les palétuviers de la zone. Ce constat doit être considéré en tenant compte d'un contexte climatique régional défavorable qui est explicité. La question posée dans le cadre de cette note était de rendre un avis sur le rôle joué par la route et de fournir des préconisations d'aménagement pour minimiser les pertes en végétaux. La réponse est clairement oui. En premier lieu, la présence de la route crée une barrière physique aux écoulements et ainsi bloque les échanges entre eau douce et eau de mer, les apports d'origine terrigène n'irrigant plus la mangrove et inversement pour les apports d'origine marine. En second lieu, la présence de la route crée des zones de moindre hydrodynamisme (essentiellement en fond de baie) dont l'effet est une augmentation de la sédimentation, et donc une hausse du niveau topographique qui entraîne une diminution de la fréquence des inondations et donc un assèchement des sols, un

DRAFT

accroissement important de la salinité des sols et une augmentation de la température du sol qui cause la mort des végétaux présents et transforme progressivement la zone en une zone de tannes d'arrière mangrove. Ce ne sont pas les seules causes, mais ce sont des causes importantes dont les conséquences sont amplifiées par les tendances régionales signalées plus avant. Pour minimiser, les dysfonctionnements d'origine locale, il convient de rétablir les échanges d'eau partiellement bloqués par la route. Pour ce faire, un système de buses est proposé ;

- le troisième a été observé suite à la demande exprimée par les coutumiers de la zone ayant participé à la visite de terrain. Il s'agit de la berge du chenal d'alimentation de la mangrove de Lekiny. Le lieu faisant l'objet de la demande est proche du raccordement du chenal avec le lagon de Faiava, en rive opposée aux célèbres falaises de Lekiny. En amont de la berge, la dune est habitée et elle fait l'objet d'une érosion qui s'attaque aux terrains stabilisés. Là encore, si les moyens financiers l'autorisent, il est conseillé un confortement du rivage par la mise en place d'un cordon d'enrochement, au droit du linéaire menacé faisant face aux habitations.

DRAFT

2 Sommaire.

1 RESUME EXECUTIF 3

2 SOMMAIRE. 6

3 PREAMBULE. 10

4 INVESTIGATIONS DE TERRAIN 10

4.1 EQUIPE DE PROJET 10
4.2 PERIODE D'INVESTIGATION 11
4.3 DELIMITATION DES ZONES D'ETUDE SUR LE SITE D'OUVEA 11

5 LE SECTEUR DE SAINT-JOSEPH/TAKEDJI 14

5.1 LES DONNEES UTILES COMPILEES POUR L'EXPERTISE. 14
5.2 CONTEXTE GENERAL DE LA BAIE DE SAINT-JOSEPH EN REGARD DES PROBLEMATIQUES DE L'EXPERTISE. 15
5.3 OBSERVATIONS NATURALISTES ET COMMENTAIRES SUR LE SITE DE L'EXPERTISE AU SENS STRICT 18
5.3.1 LES PREMIERES OBSERVATIONS ET CONCLUSIONS SUR LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE LA ZONE 19
5.3.2 PRESENTATION DU TRAVAIL DE MATTHIEU LE DUFF A LA CHEFFERIE EN DECEMBRE 2014 ET SES SUITES. 24
5.4 LA CONSULTATION CPS ET LA PRESENTE MISSION D'EXPERTISE. PRECONISATIONS ET RECOMMANDATIONS 25
5.4.1 LES PRECONISATIONS TECHNIQUES 25
5.4.2 RECOMMANDATIONS. 29

6 LE SECTEUR DU PONT DE MOULI 29

6.1 LES DONNEES UTILES COMPILEES POUR L'EXPERTISE 29
6.2 DESCRIPTION DU SECTEUR DU PONT DE MOULI EN REGARD DES PROBLEMATIQUES DE L'EXPERTISE. 29
6.2.1 LE CONTEXTE GENERAL 29
6.2.2 COMMENTAIRES SPECIFIQUES AU SECTEUR DU PONT DE MOULI (S.S.) 31
6.2.2.1 Éléments d'information tirés de l'analyse diachronique 31
6.2.2.2 Les observations naturalistes du linéaire côtier du cordon de Mouli. 32
6.2.2.2.1 Le secteur sud du pont de Mouli. 32
6.2.2.2.2 Le secteur nord du pont de Mouli. 34
6.3 ANALYSE INTERPRETATIVE DES OBSERVATIONS DECRITES 37
6.4 LES PRECONISATIONS TECHNIQUES 41

7 LE SECTEUR DE LA MANGROVE DE LEKINY 42

7.1 LA QUESTION POSEE 42
7.2 DESCRIPTION DU SECTEUR AU REGARD DE LA PROBLEMATIQUE POSEE 43
7.2.1 GENERALITES SUR LES MANGROVES 43
7.2.2 LA MANGROVE DE LEKINY 46
7.2.2.1 Généralité 46
7.2.2.2 Eléments d'information tirés de l'analyse diachronique 49
7.2.2.3 Les observation naturalistes de la mangrove de Lekiny 51
7.3 ANALYSE INTERPRETATIVE DES OBSERVATIONS DECRITES 57
7.4 LES PRECONISATIONS. 60

8 LES BERGES DU CHENAL A L'APPROCHE DE LA LAGUNE 62

8.1 OBSERVATIONS NATURALISTES. 62
8.2 LES PRECONISATIONS TECHNIQUES 65

9 LITTERATURE 67

DRAFT

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des zones étudiées sur l'île d'Ouvéa (source : Google Earth, 2016). 12
Figure 2 : Localisation de la première zone expertisée –Saint-Joseph/Takedji – Ouvéa nord (source : UNC, 2016)..... 12
Figure 3 : Localisation de la deuxième zone expertisée – Le pont de Mouli – Ouvéa sud (source : UNC, 2016). 13
Figure 4 : Localisation de la troisième zone expertisée – Mangrove de Lekiny (source : UNC, 2016)..... 13
Figure 7 : Évolution résultante de la position du trait de côte sur 70 ans (1943 – 2013) selon les études en cours réalisées par Matthieu Le Duff 17
Figure 8 : Photographie aérienne de 1976 (Source : DITTT). Les zones bâties sont encerclées en rouge..... 18
Figure 9 : Les habitants du secteur de Saint-Joseph et le représentant de la mairie en compagnie de l'expert UNC présent sur le site, en septembre 2014 (source : UNC, 2016). 19
Figure 10 : Polder en remblai conforté par un mur en béton en saillie sur le trait de côte et portant un ancien local marchand (encerclé en rouge) (source : UNC, 2016)..... 20
Figure 11 : Ancien bâtiment marchand et quai de chargement hors services et partiellement détruits (encerclé en rouge) (source : UNC, 2016). 20
Figure 12 : Schématisation des effets de la dérive sédimentaire contrariée au niveau de l'ancien bâtiment marchand et de son quai de chargement, hors services et partiellement détruits. Zone d'accrétion entourée en vert et zone d'érosion entourée en rouge. Les laisses des eaux sont matérialisées par un trait bleu (source : UNC, 2016)..... 21
Figure 13 : La façade nord, « sous le vent » de la dérive résultante et les observations naturalistes s'y référant. Encadrement rouge : mur construit pour lutter contre l'érosion, encadrement orange : escalier presque détruit, trait bleu laisse des eaux (source : UNC, 2016)..... 22
Figure 14 : La façade sud, « au vent » de la dérive résultante. Trait bleu : laisse des eaux, encadrement vert : zone d'accrétion (source : UNC, 2016)..... 23
Figure 15 : Vue depuis la plage du cordon implanté au nord du mur préexistant (source : UNC, 2016). 24
Figure 16 : Vue du sommet du cordon et du remblai sableux mis en place en arrière de celui-ci (source : UNC, 2016)..... 25
Figure 17 : Vue du cordon d'enrochement déjà édifié, depuis le nord au premier plan, vers le sud à l'arrière-plan (source : EMR, 2016)..... 26
Figure 18 : Vue du cordon dunaire attaqué par l'érosion marine au nord du cordon d'enrochement visible à la figure 13. Zone à protéger (source : EMR, 2016)..... 27
Figure 19 : Vue du cordon dunaire attaqué par l'érosion marine au nord du cordon d'enrochement visible à la figure 13 et stockage de matériaux pour sa prolongation. Zone à protéger (source : EMR, 2016). ... 27
Figure 20 : Vue en coupe du cordon d'enrochement préconisé..... 28
Figure 21 : La baie de Lékiny dans la partie sud de l'île d'Ouvéa (source : UNC, 2016)..... 30
Figure 22 : Évolution diachronique des pointes sableuses de la zone du pont de Mouli (source : UNC, 2016). 31
Figure 23 : Le cordon dunaire fortement érodé sur sa façade orientale tournée vers la lagune de Faiava au sud de la culée sud du pont de Mouli (source : UNC, 2016). 33
Figure 24 : Le beach-rock affleurant du fait de l'érosion du profil de plage aujourd'hui surbaissé. À droite de la photographie, le dénivelé négatif de la plage permettant la chenalisation des eaux à marée haute (source : UNC, 2016)..... 33
Figure 25 : Au voisinage immédiat de la rampe d'accès à la culée sud du pont de Mouli (source : UNC, 2016)..... 34
Figure 26 : Vue aérienne oblique de la plage proche de la culée nord du pont de Mouli (Façade occidentale du cordon dunaire) (source : UNC, 2016)..... 35
Figure 27 : Vue aérienne oblique du secteur de la plage montrant des signes de dynamique érosive (Façade occidentale du cordon dunaire de Mouli) (source : UNC, 2016)..... 35

DRAFT

Figure 28 : Le linéaire côtier érodé au nord du pont de Mouli entre la culée de ce dernier et la mise à l'eau du camping de Lekine (façade orientale du cordon dunaire de Mouli) (source : UNC, 2016). 36
Figure 29 : Vue aérienne oblique de la zone érodée au nord du pont (façade orientale du cordon dunaire de Mouli) (source : UNC, 2016). 36
Figure 30 : Vue aérienne oblique du chenal d'accès à la lagune de Faiava (source : UNC, 2016). 37
Figure 31 : La culée sud formant épi avec accrétion (cercle vert) d'un côté et érosion de l'autre (cercle rouge) (source : UNC, 2016). 38
Figure 32 : La culée nord formant épi avec accrétion d'un côté (cercle vert) et érosion de l'autre (cercle rouge) (source : UNC, 2016). 39
Figure 33 : Vue depuis l'extrémité de la mise à l'eau du camping de Lekine avec la zone d'accrétion à droite (vers le nord, cercle vert) et la zone d'érosion à gauche (vers le sud, cercle rouge) (source : UNC, 2016). 40
Figure 34 : Vue aérienne oblique de la mise à l'eau du camping de Lekine avec la zone d'accrétion à droite (vers le nord, cercle vert) et la zone d'érosion à gauche (vers le sud, cercle rouge) (source : UNC, 2016). 40
Figure 35 : La mangrove de Lekine au nord de la lagune de Faiava et la route posant problème (source : UNC, 2016). 43
Figure 36 : Zonation de la mangrove généralement retrouvée en Nouvelle-Calédonie. Gradient de la côte vers le large (Source : Duke, 2007) 44
Figure 37 : La baie de Lékiny dans la partie sud de l'île d'Ouvéa 47
Figure 38 : Carte bionomique de la mangrove de Lekiny (source : Virly, 2008). 48
Figure 39 : Illustration de l'étude diachronique de la mangrove de Lekiny entre 1954 et 2017. La signification des figurés est donnée dans le texte du présent rapport (sources : UNC & Google Earth, 2016). 50
Figure 40 : Illustration des espèces végétales rencontrées au niveau de la mangrove de Lekiny. A : *Avicennia marina* ; B : *Brugieria* cf. *gymnorhiza* ; C : *Exoecaria agallocha* ; D : *Lumnitzera racemosa* ; E : *Lumnitzera littorea* ; F : *Rhyzophora stylosa* ; G : *Rhyzophora apiculata* ; H : *Sesuvium portulacastrum* (source : EMR, 2016). 52
Figure 41 : illustration de la zone de tanne d'arrière mangrove de la zone de Lekiny (source : EMR, 2016). 53
Figure 42 : Végétation caractéristique de zone humide qui a colonisé la partie amont de la route traversant la mangrove (source : EMR, 2016). 54
Figure 43 : illustration du substrat meuble et saturé en eau, au niveau de la zone située en amont de la route (source : EMR, 2016). 54
Figure 44 : Présence de spécimen de *Lumnitzera littorea* (à droite que la photo) en lisière de la zone humide (source : EMR, 2016). 55
Figure 45 : Illustration des zones de palétuviers mortes au niveau de la frange interne de la mangrove et en bordure du chenal central (source : EMR, 2016) 56
Figure 46 : La route coupant les échanges d'eau au nord de la mangrove de Lékiny 58
Figure 47 : extraite du journal « Les Nouvelles Calédoniennes » du 20 mars 2017, relatant la mort de milliers d'hectares de mangrove dans le nord de l'Australie. 59
Figure 48 : Evolution des précipitations annuelles à Ouvéa entre 1992 et 2016 (données Météo France). La courbe en bleue présente l'évolution des précipitations annuelles et la courbe le vert présente les écarts des précipitations annuelles par rapport à la moyenne sur la période 1992-2016. 59
Figure 49 : L'un des passages de l'eau lors des épisodes de submersion de la route 61
Figure 50 : Croquis pour la pose des passages busés 61
Figure 51 : Microfalaise érosive de la dune bordant le chenal 62
Figure 52 : Les dernières habitations de Lekine sur la dune bordant le chenal 63
Figure 53 : Dalles effondrées (strates consolidées) en pied de la microfalaise qui s'est créée dans la dune en bordure du chenal 63
Figure 54 : Arbres déchaussés et accumulation de débris végétaux pour essayer de ralentir l'érosion 64
Figure 55 : Déflation significative de la langue sableuse qui marque l'entrée ouest du chenal dans la lagune de Faiava. 64

DRAFT

Figure 56 : Les traces de l'érosion au niveau de l'extrémité sud du cordon de Lékiny à l'entrée dans la lagune de Faiava 65
Figure 57 : Habitation en dur positionnée en arrière de la case traditionnelle visible sur la figure 37 66

DRAFT

3 Préambule.

La présente note d'expertise a été rédigée dans le cadre d'une consultation lancée par la Communauté du Pacifique (CPS) pour des missions d'expertise sur les mesures de lutte contre l'érosion pouvant être prises sur 3 sites à enjeu en Nouvelle-Calédonie. La CPS, en la personne de Yolaine Bouteiller (Coordinatrice adjointe Nouvelle-Calédonie INTEGRE) a mandaté le groupement représenté par le bureau d'études EMR (Environnement de la Mine au Récif) et le Professeur Michel ALLENBACH, enseignant-chercheur au sein de l'équipe d'accueil 4243 de l'UNC (Université de la Nouvelle-Calédonie) pour la « *réalisation de missions d'expertise sur les mesures de lutte contre l'érosion pouvant entre prises sur 3 sites à enjeux* », au niveau de l'île d'Ouvéa et de l'île Ouen.

La présente étude s'inscrit dans la composante 2 du plan d'action INTEGRE pour le grand Sud. « *INTEGRE est un projet de développement durable commun aux quatre Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) européens du Pacifique, financé par l'Union européenne sur l'enveloppe du 10e Fond Européen de Développement (FED) Régional PTOM Pacifique. Mis en œuvre par la CPS et piloté par la Polynésie française (ordonnateur régional du 10e FED), il vise à promouvoir la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) et à renforcer la coopération régionale dans le domaine du développement durable* ». Plus particulièrement, la composante 2 du projet INTEGRE « *correspond aux activités de mise en œuvre de la démarche de GIZC sur 9 sites pilote* ».

Les sites d'étude particuliers, objet de la présente étude, sont le littoral de la tribu de Héo-Saint Joseph/Takedji à Ouvéa, le secteur situé autour du pont de Mouli à Ouvéa et le littoral de la tribu de Ouara à l'ile Ouen. La mission qui a été réalisée, dans le cadre de la présente étude, a consisté à « *réaliser des notes techniques décrivant les travaux pouvant être réalises pour répondre aux enjeux de l'érosion côtière et de l'évolution du trait de côte* » sur les 3 sites précédemment cités et « *rétablir de la circulation hydraulique sur l'arrière mangrove de Lekiny à Ouvéa* ».

Le présent document constitue le rapport de la mission d'expertise et présente d'une part l'expertise de dynamique sédimentaire et géomorphologie littorale du site d'Ouvéa et d'autre part l'expertise de l'évolution spatio-temporelle de la mangrove de Lekiny.

Le rapport de la mission d'expertise et l'expertise de dynamique sédimentaire et géomorphologie littorale du site de l'île Ouen (tribu de Ouara) sont présenté dans un rapport séparé.

4 Investigations de terrain

4.1 Equipe de projet

L'équipe de projet mise à disposition pour réaliser la présente étude se compose des personnes suivantes :

- Pr. Michel Allenbach, Docteur es géologie et docteur es sciences, habilité à diriger les recherches. Spécialiste de sédimentologie littorale et des travaux de génie civil côtier ;
- M. Sébastien Sarramegna, Docteur en biologie marine et directeur du bureau d'études EMR.

Pour chacun de ces sites, le duo d'expert a été accompagné par des représentants des autorités locales. Pour le site de Saint-Joseph/Takedji, c'est l'adjoint au maire d'Ouvéa, Monsieur Albert OUAIEGNEPE qui était présent pour nous expliquer la démarche de la municipalité sur ce secteur du littoral où les travaux

DRAFT

préconisés lors d'une visite de l'expert effectuée dans le cadre des travaux de thèse du doctorant Matthieu le Duff[1] étaient en cours de réalisation.

Dans le sud, c'est un représentant de la chefferie, Monsieur Léon TIAOU (Lekiny) qui nous a guidé et fait part de son ressenti et de ses observations et ce, à la fois au niveau du secteur du pont de Mouli et de la zone de la mangrove de Lekiny. Les propos recueillis sont essentiels pour la compréhension des faits qui affectent les secteurs étudiés dans la mesure où la visite d'expert se fait sur un temps très bref, à un instant donné du cycle temporel, et ce sont les témoignages apportés par les accompagnateurs, fortement concernés par les dysfonctionnements constatés qui viennent éclairer la compréhension de ce qui peut être vu à d'autres moments du cycle annuel, cycle essentiel pour les problématiques objets de l'expertise.

L'équipe d'investigation a également pu bénéficier de l'expertise de Cyril MARCHAND, Chargé de recherches à l'IRD et spécialiste de la mangrove en Nouvelle-Calédonie.

M. Michel Allenbach a rédigé les notes à dire d'expert sur les 3 sites à enjeux (érosion) d'Ouvéa et de l'île Ouen et à participer également à la rédaction de la note concernant le rétablissement de la circulation hydraulique sur l'arrière mangrove de Lekiny à Ouvéa.

M. Sébastien Sarramegna a rédigé la note sur l'étude diachronique de la mangrove de Lekiny et sur le rétablissement de la circulation hydraulique sur l'arrière mangrove de Lekiny.

4.2 Période d'investigation

La présente mission de terrain a été organisée par EMR et s'est effectuée de la manière suivante :

- la mission de terrain sur Ouvéa a été réalisée du 07 octobre 2016 au 08 octobre 2016 ;

Les missions de terrain ont consisté, pour l'expert UNC, accompagné par M. Sébastien SARRAMEGNA, en l'observation naturaliste de l'ensemble des sites prévus dans le cadre de la présente étude. Ces sites ont été expertisés avec comme problématique principale un questionnement sur la dynamique sédimentaire littorale et des érosions actives ainsi que sur la circulation hydraulique au niveau de la mangrove de Lekiny.

4.3 Délimitation des zones d'étude sur le site d'Ouvéa

Sur l'île d'Ouvéa, 2 zones ont été expertisées, la zone de Saint-Joseph/Takedji (au nord du l'île) et la zone de Mouli/Lekiny (au sud de l'île) (Figure 1). Sur la zone de Mouli/Lekiny, 2 sites ont été étudiés, le site du pont de Mouli et le site de la mangrove de Lekiny.

Les figures suivantes (Figure 2, Figure 3 et Figure 4), extraites de copies d'écran modifiées de l'imagerie disponible sur le géoportail de la DTSI, permettent de visualiser les limites des zones expertisées. La Figure 2 concerne le secteur de Saint-Joseph/Takedji situé dans le nord de l'île d'Ouvéa tandis que la Figure 3 adresse le secteur du pont de Mouli. Ces deux sites ont été expertisés avec comme problématique principale un questionnement sur la dynamique sédimentaire littorale et des érosions actives. La Figure 4 concerne la zone de mangroves du secteur de Lékiny *(Ta Hnyel Lekiny)* qui subit le contrecoup de l'édification d'une piste qui perturbe les échanges d'eau, rythmés par les marées, nécessaires au bon fonctionnement de l'écosystème. Cette mangrove a été parcourue et observée depuis la piste qui perturbe

[1] *Thèse de Doctorat de géographie en cours sous la direction scientifique de Michel ALLENBACH et Pascal DUMAS, « La Nouvelle-Calédonie face au changement climatique et aux risques côtiers. Quelles stratégies mettre en place ? Réflexions sur le développement d'un modèle de gestion adapté, application aux îles Loyauté».*

les échanges d'eau dans la partie nord-est du site jusqu'à son raccordement avec le lagon intérieur de Lekiny au sud-ouest, en direction du Pont de Mouli.

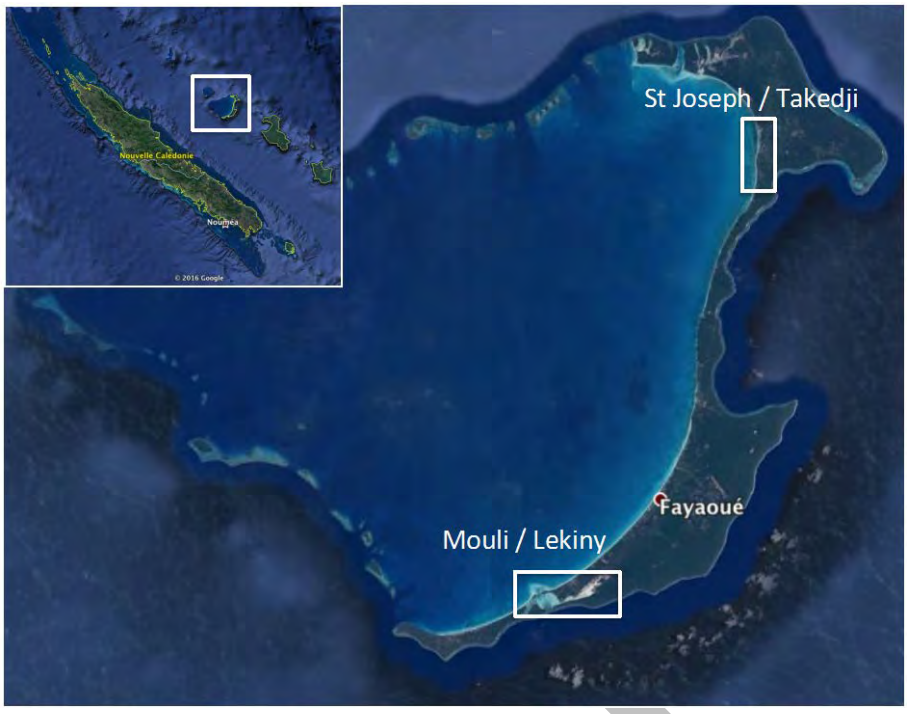


Figure 1 : Localisation des zones étudiées sur l'île d'Ouvéa (source : Google Earth, 2016).

Figure 2 : Localisation de la première zone expertisée –Saint-Joseph/Takedji – Ouvéa nord (source : UNC, 2016).

Figure 3 : Localisation de la deuxième zone expertisée – Le pont de Mouli – Ouvéa sud (source : UNC, 2016).

Figure 4 : Localisation de la troisième zone expertisée – Mangrove de Lekiny (source : UNC, 2016).

5 Le secteur de Saint-Joseph/Takedji

5.1 Les données utiles compilées pour l'expertise.

Elles sont de plusieurs types et concernent aussi bien le site de Saint-Joseph/Takedji que celui du pont de Mouli. Décrites dans ce paragraphe pour le secteur de Saint-Joseph/Takedji, elles ne seront pas reprises pour le secteur de Mouli.

Un premier groupe de données provient des éléments bibliographiques rassemblés pour le travail de thèse de Matthieu LE DUFF (bourse du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, sous la direction scientifique de l'auteur de cette note) qui bénéficie, par ailleurs, d'une aide d'INTEGRE (commanditaire de cette expertise) pour financer le fonctionnement de sa recherche sur Ouvéa et les Loyauté. La thèse n'étant pas encore publiée, il ne sera présenté dans cette note qu'un minimum de résultats indispensables à la compréhension des faits au plan appliqué, résultats déjà publiés sous forme d'articles ou présentés dans des communications orales à l'occasion de différents colloques. Dans ce premier groupe, Il s'agit notamment :

- de l'imagerie satellitaire et aérienne disponible sur le secteur depuis le premier levé en photographie oblique réalisé par l'armée américaine en 1943 jusqu'aux images les plus récentes. L'analyse diachronique du trait de côte permise par cette base de données a été intégrée dans l'analyse de l'expert ;

- des levés topographiques réalisés depuis deux ans sur la zone pour suivre au plus près l'évolution géomorphologique du littoral (avant-plage, plage et dune), toujours dans le cadre du travail de thèse de Matthieu LE DUFF. Ces levés sont menés selon deux types d'approche complémentaires. Il s'agit, d'une part, de mesures utilisant les moyens techniques les plus sophistiqués disponibles pour « *faire du levé de plage* » : semis de points et MNT par DGPS, survol drone et photo restitution des images enregistrées. Ces levés nécessitent une logistique matérielle et humaine importante. Ils ne peuvent donc pas être faits en routine aussi souvent que l'on pourrait le souhaiter pour suivre finement les fluctuations géomorphologiques de la plage. Il a été réalisé entre 2015 et 2016 deux levés de ce type dont les résultats ont également été intégrés dans l'analyse de l'expert. Il s'agit, d'autre part, de méthodes plus simples, facilement réalisables en routine par les habitants des sites concernés, selon le principe de gestion participative du littoral qui sous-tend la thèse de Matthieu LE DUFF. Les profils de plage sont réalisés par la méthode du cadre d'EMERY par des équipes réduites (2 personnes) utilisant un matériel peu onéreux et d'un usage facile, ce qui permet de multiplier les mesures et là encore, les résultats ont été intégrés dans l'analyse de l'expert ;

- des commentaires recueillis auprès des accompagnateurs locaux par les deux missionnaires lors de la mission de terrain auxquels s'ajoutent les nombreux échanges avec les populations riveraines des sites lors des missions de terrain de la thèse de Matthieu LE DUFF ;

- de la photothèque constituée lors de l'expertise des 7 et 8 octobre 2016 à laquelle s'ajoutent les photographies plus anciennes, toujours réalisées lors des missions de terrain de la thèse de Matthieu LE DUFF. Nous n'utiliserons qu'une faible partie de cette photothèque pour illustrer cette note d'expertise, mais le lecteur intéressé pourra, s'il le souhaite, la consulter auprès de l'auteur pour disposer de plus d'éléments visuels descriptifs des sites ;

Un second groupe de sources bibliographiques concerne des documents produits par des services nationaux spécialisés. Dans ce groupe, il a été consulté :

- les données de Météo-France Nouvelle-Calédonie de la station de Ouloup (aéroport d'Ouvéa) qui permettent d'avoir une estimation des conditions de vent, elles-mêmes en relation avec une partie de l'hydrodynamisme ambiant (vagues à l'intérieur du lagon d'Ouvéa) des sites expertisés. Il a également été consulté les données concernant les houles océaniques (travaux de Jérôme AUCAN,

DRAFT

Chargé de recherches à l'IRD Nouméa) et l'analyse des évènements météorologiques exceptionnels que sont les passages des dépressions tropicales et cyclones qui sont les principaux moteurs des évolutions rapides de la géomorphologie littorale ;

- la carte bathymétrique du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) et les données de marée produites par ce même organisme ;

- le rapport du BRGM (Bureau de recherches Géologiques et Minières) intitulé *« Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie. Rapport préliminaire : observations, état des lieux et constats »* BRGM/RP-63235-FR, Février 2014. Dans ce document[2], qui est le fruit d'une collaboration entre le SGNC (Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie) et le BRGM, les sites d'Ouvéa, objet de l'expertise font partie des sites témoins d'un programme coordonné par l'OBLIC (Observatoire du littoral de Nouvelle-Calédonie). Dans ce rapport, on trouve des observations géomorphologiques pertinentes dont certaines seront reprises dans ce texte.

5.2 Contexte général de la baie de Saint-Joseph en regard des problématiques de l'expertise.

Le secteur qui fait l'objet de l'expertise est situé dans la partie centrale de la plage de Saint-Joseph dans la baie du même nom. La plage de Saint-Joseph (se rapporter à la Figure 5) constitue la cellule hydrosédimentaire régionale à considérer pour commenter les faits à expertiser sur la partie du linéaire côtier dont l'évolution est à l'origine de l'inquiétude immédiate de la population riveraine. La baie a la forme d'un large croissant tourné vers l'ouest. Sa pointe Nord orientée est-ouest est limitée par la passe Faasi qui sépare l'île principale des premiers ilots des Pléiades, sommets émergés de la partie de l'île qui est encore sous l'eau. Sa partie sud orientée nord sud se raccorde au secteur littoral de Omtoo/Bomene après une légère inflexion du trait de côte au sud/sud-est.

L'ouverture à l'ouest de la baie est sous la commande des faits géologiques qui ont structuré tectoniquement l'île. Elle est associée au passage de la ride des Loyauté (élément de la plaque tectonique indo-australe) qui porte Ouvéa sur le bombement lithosphérique pré-subduction de la fosse des Nouvelles-Hébrides (plongement sous la plaque Pacifique et l'arc volcanique du Vanuatu). Ce passage se traduit par une élévation verticale de la plaque de l'ordre de 150 m environ à la verticale du bombement. La ride des Loyauté aborde de façon oblique le bombement lithosphérique, ce qui induit des altitudes différentes pour chacune des îles. Ces altitudes décroissent depuis le sud–est (Maré, à la verticale du bombement) vers le nord-ouest (Ouvéa, en phase d'ascension). Ce mouvement induit une dissymétrie du profil transversal topographique est-ouest de l'île d'Ouvéa.

La façade orientale de l'île est la plus élevée (43m). Elle se présente sous la forme d'une côte à falaise tandis que la côte occidentale est basse. Cette dernière est formée essentiellement par des plages de sables fins qui se raccordent, côté terre, à une dune sableuse stabilisée par la végétation. Ces plages se prolongent, côté mer, par une plateforme immergée très plate (l'isobathe - 10m est situé à environ 4 km de la côte) qui forme la partie proximale du grand lagon d'Ouvéa. C'est sur cette façade occidentale que se situe le site, objet de l'expertise.

Les travaux de CHEVILLON (1992), qui a réalisé la cartographie sédimentaire des fonds du lagon d'Ouvéa, indiquent une très grande homogénéité (tri et texture granulométrique, teneur en fines, couleur) des sédiments tapissant les fonds de cette zone. Celle-ci est hydrodynamiquement protégée du régime

[2] https://dimenc.gouv.nc/sites/default/files/brgm_rp_63235_fr.pdf

dominant de sud-est par le relief de l'île. Plus au large, au-delà de l'isobathe -20m, l'influence des entrées maritimes d'ouest devient importante, sans grande incidence sur la sédimentation des fonds littoraux, sauf au moment des évènements hydrométéorologiques fortement énergétiques (coups d'ouest, passage des dépressions tropicales et cyclones). Ces mêmes travaux précisent que le lagon se caractérise par un faible stock sédimentaire et une faible production de sédiments (épaisseur moyenne de la couverture sédimentaire n'excédant pas quelques centimètres et zones de fonds durs très répandues. Dans la zone côtière, les sondages à la lance hydraulique effectués par l'auteur (ALLENBACH, 1991) dans les petits fonds lors des études préliminaires de l'unité de dessalement confirment les faibles épaisseurs sédimentaires meubles au-dessus de fonds coralliens indurés. La prédominance du sable moyen, mal trié, caractéristique d'un sédiment peu évolué, traduit une faible activité des agents hydrodynamiques. À l'échelle du lagon ceux-ci peuvent être considérés comme homogènes et modérés (CHEVILLON, 1992).

La baie de Saint-Joseph est ouverte à l'hydrodynamisme marin vers l'ouest. Les marées sont de type micro-tidal semi-diurne à inégalité diurne, avec un marnage ne dépassant pas 1,8m d'amplitude. Compte tenu de la faible pente des fonds littoraux, la zone intertidale qui découvre est souvent large. Les courants de marée de jusant et de flot sont modérés, mises à part certaines configurations géomorphologiques particulaires (passes). On manque de données sur les vagues et les houles, faute d'instrumentation dédiée mise en place sur une longue durée. Comme pratiquement partout en Nouvelle-Calédonie, les longues séries de données météo-océanologiques sont absentes.

Il convient donc de s'appuyer sur la connaissance des vents locaux, sur le fetch de ces mêmes vents et la connaissance de l'état de la mer des habitants de l'île pour renseigner ce paramètre majeur de la dynamique sédimentaire littorale. L'orientation générale de l'île et la localisation de la baie de Saint-Joseph sur sa façade ouest, induisent logiquement une protection significative des petits fonds littoraux sous les conditions dominantes locales du vent. Les données de la station Météo-France de Ouloup (aéroport) indiquent à ce sujet la prédominance des alizés de secteur est/sud-est à nord-est de 5 à 15 nœuds. Ils représentant plus de 70 % des occurrences observées. Le vent régnant classique au niveau du littoral n'est pas susceptible de lever une mer forte. Cette analyse est confirmée par les éléments d'information transmis par les riverains et les pêcheurs qui signalent des vagues de faible amplitude, inférieure le plus souvent à 1m d'amplitude. C'est uniquement lors des coups d'ouest de la saison fraîche (remontée des dépressions polaires de mai à septembre) et lors du passage des dépressions tropicales et cyclones de la saison chaude – classiquement de mi-novembre à mi-avril) que les vents (vitesse supérieure à 50 nœuds) et les vagues induites « forcent » et peuvent atteindre 2m d'amplitude, voire plus, selon la conjonction des conditions de vents et de marée. Dans ces conditions, l'impact de la mer peut être fort sur la morphologie de la plage et de la dune qui lui fait suite.

Les travaux réalisés dans le cas de la thèse de Matthieu LE DUFF permettent la quantification de l'évolution géomorphologique du trait de côte sur un intervalle de temps de 70 ans (1943-2013). Cette quantification, réalisée sur la base de l'analyse diachronique de six jeux de photographies aériennes, ne sera pas détaillée dans cette expertise aux objectifs très finalisés centrés sur le seul linéaire côtier de la tribu de Saint-Joseph. Les résultats de l'analyse diachronique n'étant pas encore publiés (soutenance de thèse prévue en décembre 2017), nous n'en extrairons que quelques idées fortes utiles à l'expertise.

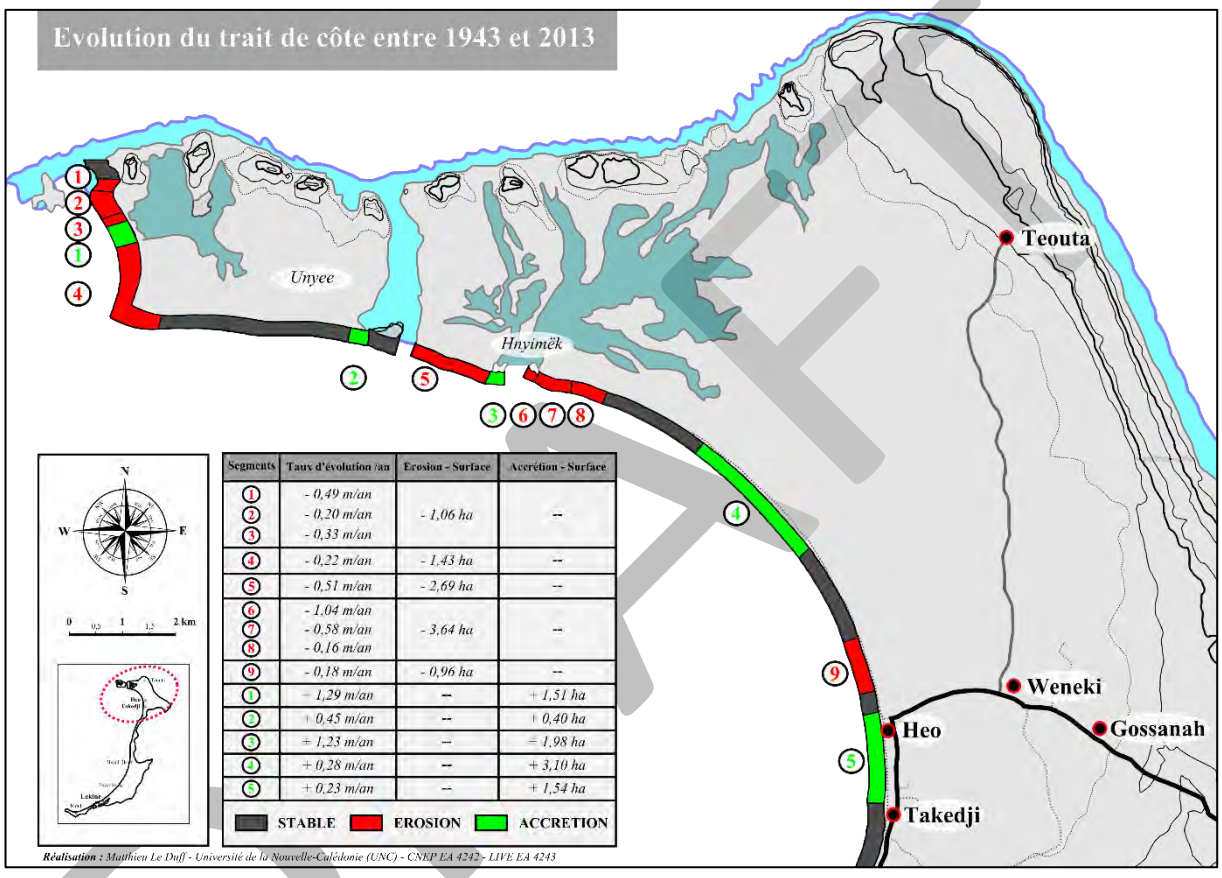
La première concerne les transits sédimentaires littoraux au sein de la cellule hydrosédimentaire régionale telle que présentée plus avant. On reconnait deux transits résultants de direction opposée, de part et d'autre de la passe de Hnyimëk. Le transit est sous dominante ouest/nord-ouest – est/sud-est à l'extrême nord de l'île et il est sud/nord au sud de la passe. La zone de confrontation de ces deux orientations opposées se situe au niveau de la passe de Hnyimëk où deux flèches se font front, de part et d'autre du chenal. Nous retiendrons pour l'objet de cette expertise que le site du village de Saint-Joseph est soumis à un transit résultant sud-nord dont l'influence sera commentée dans les solutions préconisées.

L'ensemble de la cellule hydrosédimentaire est le siège d'une érosion significative que l'on observe aisément en parcourant la plage. L'observation naturaliste montre que dans la partie septentrionale de la baie, les traces de l'érosion s'accentuent progressivement. On note la présence d'une microfalaise érosive

DRAFT

dont la hauteur augmente au fur et à mesure que l'on progresse vers le nord-ouest, avec une attaque significative (profil vertical du talus d'érosion d'une hauteur de 2m à certains endroits) du cordon dunaire littoral végétalisé. Parallèlement, la largeur de la plage diminue, ce qui confirme la tendance érosive marquée du linéaire côtier considéré. Vers le sud de la baie de Saint-Joseph, l'amplitude de la microfalaise diminue mais reste présente, témoignant de l'existence généralisée de l'érosion du cordon dunaire et de la plage qui le prolonge côté mer.

L'étude diachronique réalisée montre, elle, une évolution cyclique de la position du trait de côte sur les 70 années d'observation dont on dispose. Globalement sur la période, il ressort de nos traitements que la zone d'étude se caractérise avant tout par une relative stabilité de la position du trait de côte (Figure 5) et cela aussi bien sur les paramètres de quantification surfaciques que linéaires.



Segments	Taux d'évolution /an	Erosion - Surface	Accrétion - Surface
1 2 3	- 0,49 m/an - 0,20 m/an - 0,33 m/an	- 1,06 ha	--
4	- 0,22 m/an	- 1,43 ha	--
5	- 0,51 m/an	- 2,69 ha	--
6 7 8	- 1,04 m/an - 0,58 m/an - 0,16 m/an	- 3,64 ha	--
9	- 0,18 m/an	- 0,96 ha	--
1	+ 1,29 m/an	--	+ 1,51 ha
2	+ 0,45 m/an	--	+ 0,40 ha
3	+ 1,23 m/an	--	+ 1,98 ha
4	+ 0,28 m/an	--	+ 3,10 ha
5	+ 0,23 m/an	--	+ 1,54 ha

Figure 5 : Évolution résultante de la position du trait de côte sur 70 ans (1943 – 2013) selon les études en cours réalisées par Matthieu Le Duff

Cette relative stabilité résultante sur la période considérée n'est pas homogène sur l'ensemble du linéaire côtier de la baie et l'on note, à côté de secteurs « stables » (linéaire gris), des secteurs en accrétion (linéaire vert) et des secteurs en déflation (linéaire rouge). Les taux d'évolution (accrétion, érosion, stabilité) indiqués dans le tableau sont des valeurs moyennes. Ces dernières donnent des ordres de grandeur relatifs mais dont il faut garder à l'esprit qu'ils sont soumis aux marges d'erreurs méthodologiques propres à l'analyse diachronique, marges d'erreur qui sont proches souvent, sur le linéaire considéré, des taux d'évolution quantifiés. Nous retiendrons de ce paragraphe la relative stabilité du trait de côte (sur d'autres segments littoraux de par le monde, les évolutions régressives sont beaucoup plus spectaculaires) et que localement, le site propre de l'expertise ressort « en érosion » sur l'intervalle de 70 ans alors que ses équivalents latéraux sont stables ou en accrétion. Il existe donc une dynamique sédimentaire particulière sur ce segment de côte, dynamique particulière qui sera explicitée dans la suite de cette note.

DRAFT

Cette stabilité apparente ne signifie pas nécessairement une absence d'érosion car celle-ci peut également se manifester par un dégraissement du profil de plage qu'il est difficile de cerner à partir de la seule interprétation des photographies aériennes par l'approche méthodologique utilisé ici et qui justifie le recours à des mesures in situ menées dans le cadre du travail de thèse de Matthieu LE DUFF.

5.3 Observations naturalistes et commentaires sur le site de l'expertise au sens strict

L'expertise sollicitée concerne le linéaire côtier situé au droit du village de Saint-Joseph. Contrairement à l'ensemble du linéaire évoqué au paragraphe 5.2. sur lequel l'évolution géomorphologique s'attaque essentiellement à des surfaces naturelles, ce site fait l'objet d'une érosion qui met en danger les infrastructures communes (la route) et menace, si rien n'est fait, les habitations qui sont implantées en amont de celles-ci. Ces infrastructures sont présentes de longue date ainsi que le montre la photographie aérienne (Figure 6) de la zone, en date de 1976 (document DITTT) sur laquelle nous avons entouré de rouge les zones bâties (Saint-Joseph – Heo).

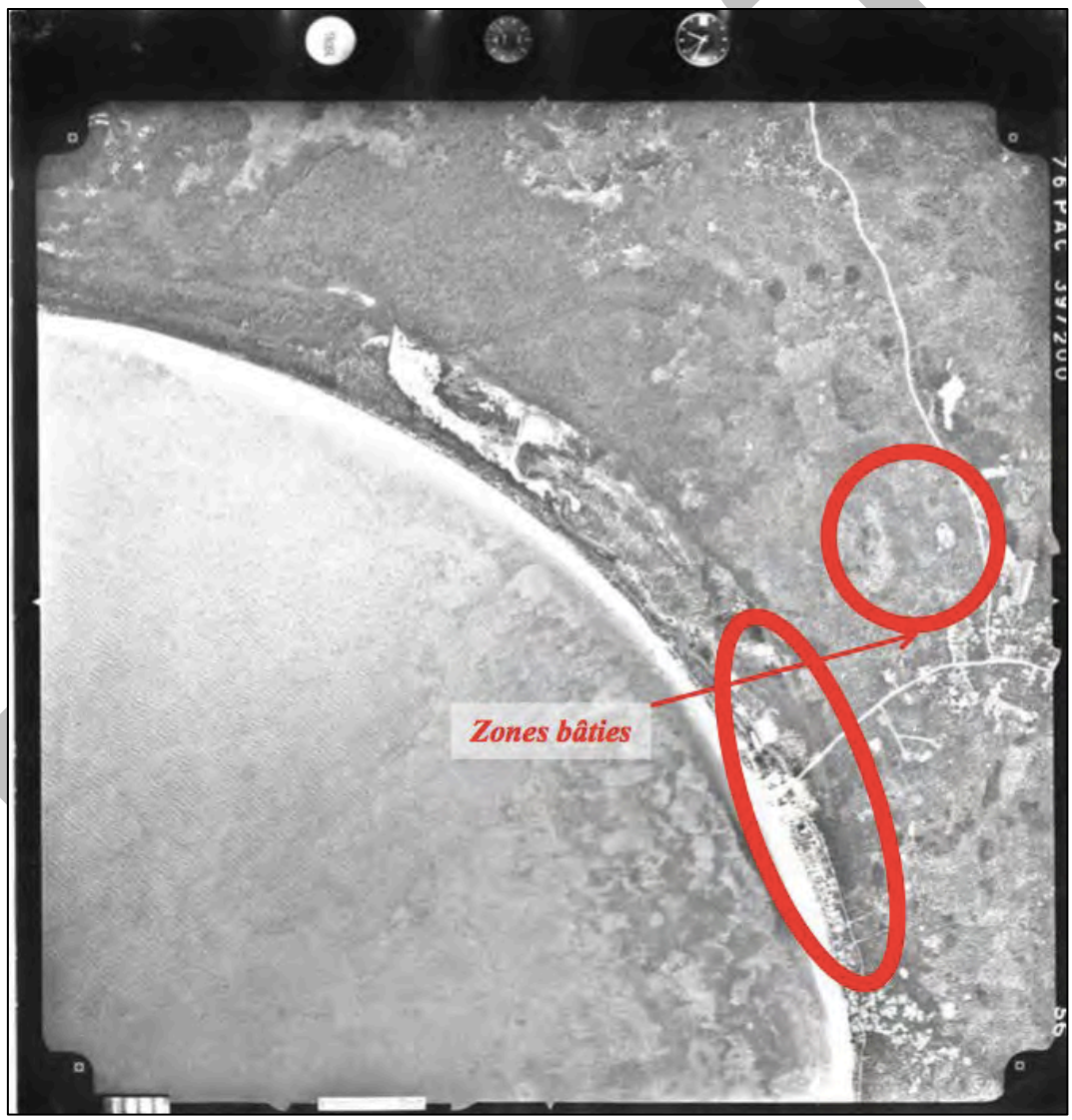


Figure 6 : Photographie aérienne de 1976 (Source : DITTT). Les zones bâties sont encerclées en rouge.

5.3.1 Les premières observations et conclusions sur la dynamique sédimentaire de la zone

Elles sont antérieures à l'expertise. Elles ont été réalisées lors d'une visite de site liée à l'encadrement scientifique de la thèse de Matthieu LE DUFF, en septembre 2014, (Reconnaissance préliminaire de la zone atelier de la thèse). À cette occasion, l'expert a été questionné par les habitants du secteur et par l'adjoint au maire, M. Albert OUAIEGNEPE, sur les causes de l'érosion s'attaquant au linéaire côtier devant les maisons et surtout sur les moyens d'y remédier. La photographie présentée à la Figure 7 permet d'illustrer de visualiser les acteurs de l'échange à cette occasion.

Figure 7 : Les habitants du secteur de Saint-Joseph et le représentant de la mairie en compagnie de l'expert UNC présent sur le site, en septembre 2014 (source : UNC, 2016).

Au-delà des tendances générales dans la baie décrites au paragraphe précédent, l'observation de la zone montrait alors la présence d'un dysfonctionnement générique des zones côtières anthropisées : l'existence de plusieurs petits aménagements en saillie sur le trait de côte ayant été édifiés sans prise en compte de leur impact sur la dynamique sédimentaire littorale. Certains de ces aménagements étaient non fonctionnels depuis de nombreuses années. Les photographies présentées aux figures suivantes (Figure 8 et Figure 9) permettent de visualiser ces aménagements (zones cerclées de rouge).

DRAFT

Figure 8 : Polder en remblai conforté par un mur en béton en saillie sur le trait de côte et portant un ancien local marchand (encerclé en rouge) (source : UNC, 2016).

Figure 9 : Ancien bâtiment marchand et quai de chargement hors services et partiellement détruits (encerclé en rouge) (source : UNC, 2016).

Ces reliques de construction contrarient le transit sédimentaire résultant dans le secteur de la tribu de Saint-Joseph, selon un schéma classique illustré à la Figure 10 qui veut que se créée une accrétion (dépôt) du côté d'où vient le transit (zone cerclée de vert) et une érosion de l'autre côté (zone cerclée de rouge).

Les deux traits bleus montrent la position de la laisse des eaux au moment de la prise de la photographie (Figure 10). On voit nettement qu'au second plan, la laisse des eaux est décalée vers la terre et proche de la dune tandis qu'au premier plan, elle est décalée vers la mer avec une accumulation de sable qui surélève le profil de la plage. Ce secteur est en accrétion. A l'inverse, en aval de la dérive de l'autre côté de l'obstacle, le profil de plage est creusé (on voit l'eau) et la plage exondée est réduite en largeur. Ce secteur est en érosion.

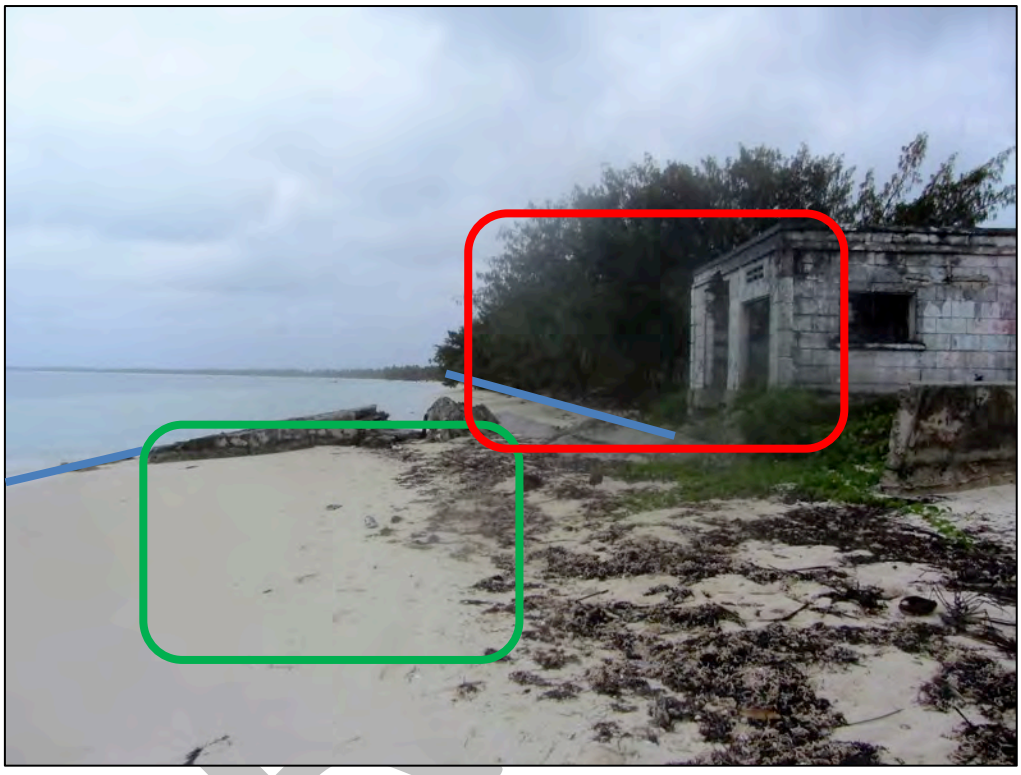


Figure 10 : Schématisation des effets de la dérive sédimentaire contrariée au niveau de l'ancien bâtiment marchand et de son quai de chargement, hors services et partiellement détruits. Zone d'accrétion entourée en vert et zone d'érosion entourée en rouge. Les laisses des eaux sont matérialisées par un trait bleu (source : UNC, 2016).

Les mêmes constations ont été faites au niveau du premier aménagement en saillie sur le trait de côte présenté à la figure suivante (Figure 11) L'érosion en aval du transit est moins spectaculaire sur la photographie présentée car une défense a déjà été édifiée pour lutter contre l'érosion. Il s'agit du mur en béton (secteur encadré de rouge sur la photographie). Trop vertical, ce mur n'a pas été édifié en respectant toutes les règles de l'art et il montre des signes de fragilisation et de destruction partielle, mais il a permis de limiter l'érosion de la dune et de la route sur l'essentiel de son linéaire. Les dysfonctionnements constructifs sont, d'une part, la présence du remblai contre lequel il s'appuie et qui est la cause des désordres, sa verticalité qui ne facilite pas le dépôt en pied mais favorise, au contraire, son affouillement en période d'agitation hydrodynamique et d'autre part, son ancrage insuffisant dans le beach-rock du platier frangeant. Cette fragilisation peut être observée au niveau de l'escalier visible au premier plan (zone cerclée d'orange) qui est en voie de destruction. Sur la face nord de l'ouvrage, La largeur de la plage est réduite et le profil de plage est surbaissé avec très peu de sédiment meuble déposé au-dessus du platier sous-jacent. Il s'agit d'une zone d'érosion située « au vent » de la dérive sédimentaire résultante. On notera la position de la laisse des eaux (le trait bleu) qui arrive à peu près à la moitié du mur de béton ceinturant le

polder et on la comparera à celle visible sur la photographie suivante (Figure 12), prise de l'autre côté (façade sud) du remblai poldérisé en saillie sur le trait de côte.

Figure 11 : La façade nord, « sous le vent » de la dérive résultante et les observations naturalistes s'y référant. Encadrement rouge : mur construit pour lutter contre l'érosion, encadrement orange : escalier presque détruit, trait bleu laisse des eaux (source : UNC, 2016).

Sur cette deuxième photographie (Figure 12), on voit la laisse des eaux (le trait bleu) positionnée à la terminaison du mur et non pas à la moitié. Le profil de plage est plus pentu et la largeur également plus importante, témoignages de l'accrétion (zone ceinturée de vert) qui s'effectue au vent du polder.

On retrouve donc, pour ce second aménagement réalisé à proximité immédiate de la chefferie, les mêmes faits que ceux décrits à proximité de l'église. Il y a accrétion de la plage « au vent » de l'obstacle (le polder) et érosion « sous le vent » de ce même obstacle sous la commande de la dérive sédimentaire littorale orientée sud-est/nord-ouest au droit de la tribu.

DRAFT

Figure 12 : La façade sud, « au vent » de la dérive résultante. Trait bleu : laisse des eaux, encadrement vert : zone d'accrétion (source : UNC, 2016).

Lors de la réunion spontanée s'étant organisée lors de cette mission de septembre 2014 (*cf*. Figure 7), l'expert UNC a expliqué sa vision des faits et proposé spontanément une solution minimale. Cette solution n'avait pas vocation à essayer de réduire les mécanismes naturels actifs dans l'ensemble de la baie (ce n'était d'ailleurs pas la préoccupation des habitants du secteur), mais visait plus modestement à réduire très localement les dysfonctionnements érosifs générés par les aménagements en saillie sur le trait de côte en les détruisant et en récupérant les blocs de béton ainsi libérés pour mettre en place vers le nord une « suite » au mur en place afin de stopper l'onde érosive qui s'y développait.

Il a été alors préconisé que cette « suite » prenne la forme d'un cordon d'enrochement constitué à partir des matériaux récupérés par la destruction des aménagements en saillie et complétés autant qu'il se pourrait par des blocs naturels à récupérer dans les carrières de la zone. Ce faisant, on rétablirait les transits littoraux avec une linéarisation attendue du trait de côte et une recharge des zones en érosion visibles sur les figures présentées plus avant. Cette solution a été proposée sur la base d'une intervention des services techniques de la mairie faiblement dotés en engins de chantier et après avoir entendu l'argument selon lequel les ressources en blocs naturels étaient faibles. Au nord du mur, l'accotement de la route était réduit en largeur et proche de la microfalaise érosive active qui s'y développait. On pouvait craindre à court terme, à l'occasion d'un évènement météo-océanologique significatif (le futur passage d'une dépression tropicale forte ou d'un cyclone), que de sérieux dégâts puissent être constatés, tant au niveau de la route que des habitations qui la bordent côté terre.

Il a été fait sur site un schéma constructif du cordon qui pourrait être mise en place : positionnement du couronnement, pente minimale de 1/1 pour la face à la mer, tri des matériaux disponibles pour mise en place d'une butée de pied, intérêt de la pose d'une sous couche blocométrique de 30 à 50 kg en arrière de la carapace, carapace constituée de blocs de 300 à 500 kg minimum avec sélection des plus gros blocs à réserver pour la butée de pied, remblaiement jusqu'à l'accotement par du tout-venant. La solution spontanément proposée a été bien accueillie par les habitants présents et par le représentant de la mairie

DRAFT

et la réunion a été levée pour laisser place au travail de recherche de la thèse de Matthieu LEDUFF et il a été acté que les coutumiers et la mairie discuteraient de la proposition, puis reviendraient vers l'université pour une assistance aux travaux à venir si la décision de suivre les conseils donnés était prise.

5.3.2 Présentation du travail de Matthieu LE DUFF à la chefferie en décembre 2014 et ses suites.

Dans le respect de la coutume, les travaux de recherche de Matthieu LE DUFF ont été présentés à la chefferie en décembre 2014 et à cette occasion, interrogé sur le côté appliqué des recherches fondamentales menées par le doctorant, l'expert UNC a de nouveau expliqué les grands principes des actions qu'il préconisait au niveau de la tribu de Saint-Joseph. Par la suite, le doctorant, à chacun de ses passages sur la zone a rappelé aux habitants et aux services techniques de la mairie les conseils d'aménagement préconisés par son directeur de thèse. Le passage à l'acte a été assez long puisque rien n'a été décidé et fait courant 2015. Il faut y voir le temps de la discussion coutumière, des difficultés matérielles au niveau de la disponibilité des engins municipaux pour réaliser les travaux en direct. La présence d'une société travaillant pour la construction du nouveau wharf de Wadrilla et disposant d'engins de chantier spécialisés a permis de débloquer la situation. Une première phase de réalisation des travaux préconisés en septembre 2014 a été réalisée au début de l'année 2016. Ces travaux ont été effectués dans l'esprit de ce qui avait été préconisé, mais l'expert UNC n'a pas été consulté pour conseiller l'entreprise dans la réalisation de l'ouvrage. Il s'ensuit un profil à la mer moins pentu que ce qu'il aurait être dans l'idéal, une utilisation pas toujours optimale des blocs disponibles au niveau de la butée de pied, une quasi absence à certains endroits de la sous-couche granulométrique derrière la carapace, un couronnement en gros blocs trop étroit. Les photographies présentées aux figures suivantes (Figure 13 et Figure 14) permettent de visualiser le cordon mis en place et les petites erreurs constructives citées.

Figure 13 : Vue depuis la plage du cordon implanté au nord du mur préexistant (source : UNC, 2016).

Figure 14 : Vue du sommet du cordon et du remblai sableux mis en place en arrière de celui-ci (source : UNC, 2016).

Ce faisant, le cordon mis en place peut tout de même être considéré comme correctement posé et respectueux des grands principes évoqués oralement en 2014. Les levés topographiques de la plage réalisés par l'UNC dans le cadre des travaux de recherche de Mathieu LE DUFF, postérieurement à la pose du cordon, sont conformes aux résultats attendus avec une linéarisation du trait de côte et un profil de plage correct en pied d'ouvrage.

Les discussions avec l'adjoint au maire en charge du dossier ont permis d'établir que, profitant de la présence des engins travaillant sur le chantier du wharf et de l'extraction de blocs de corail de taille convenable sur ce même chantier, la mairie avait passé commande à l'entreprise de la pose d'un prolongement du cordon vers le nord, selon les mêmes principes directeurs en tenant compte des détails à améliorer.

5.4 La consultation CPS et la présente mission d'expertise. Préconisations et recommandations

5.4.1 les préconisations techniques

Dans la continuité des actions du programme INTEGRE financé par l'union européenne, la Communauté du Pacifique (CPS) a choisi de lancer, en juillet 2016, avec ses partenaires calédoniens, une consultation ayant pour objet la réalisation d'une expertise technique dans le domaine de la lutte contre l'érosion côtière sur 3 sites à enjeux dont celui de Saint-Joseph. C'est le bureau d'études EMR qui a été retenu comme lauréat. Il s'est associé à l'UNC pour la production d'une note technique sur le sujet de la consultation.

Comme indiqué à l'introduction de cette note, la mission de terrain propre à l'expertise a été faite les jeudi 7 et vendredi 8 octobre 2016. En ce qui concerne le secteur de Saint-Joseph, le site a été visité en compagnie de l'adjoint au maire, M. Albert OUAIEGNEPE, en charge des travaux réalisés et à réaliser sur le site. Il a été observé le cordon d'enrochement mis en place au début de l'année 2016. Les petits défauts constructifs cités au paragraphe III.3.2 ont été explicités et l'échange a porté sur les travaux à venir pour

DRAFT

prolonger le cordon vers le nord. La Figure 15 permet de visualiser l'ouvrage tel qu'il était au mois d'octobre 2016 et les suivantes (Figure 16 et Figure 17), la zone que la mairie souhaite protéger dans le prolongement du cordon déjà édifié.

On notera à la Figure 16 la présence des dépôts de matériel déjà transportés pour construire l'extension vers le nord. Ces matériaux vont être repris par les engins de chantier pour profiler correctement l'ouvrage.

Figure 15 : Vue du cordon d'enrochement déjà édifié, depuis le nord au premier plan, vers le sud à l'arrière-plan (source : EMR, 2016).

DRAFT

Figure 16 : Vue du cordon dunaire attaqué par l'érosion marine au nord du cordon d'enrochement visible à la figure 13. Zone à protéger (source : EMR, 2016).

Figure 17 : Vue du cordon dunaire attaqué par l'érosion marine au nord du cordon d'enrochement visible à la figure 13 et stockage de matériaux pour sa prolongation. Zone à protéger (source : EMR, 2016).

Compte tenu de la granulométrie assez hétérogène de ces matériaux, il a été conseillé que ces produits soient triés par le pelliste pour être affectés, soit à la sous-couche (les plus petits blocs), soit à la carapace (les plus volumineux). Il a été rappelé que celle-ci doit être faite à partir de blocs d'un poids compris entre 300 kg et 500 kg minimum (en fonction de ce qui peut être disponible), blocs qui doivent être trouvés selon l'adjoint au maire sur le site de la plateforme en cours de réalisation en arrière du wharf de Wadrilla.

L'une des contraintes de la présente expertise est de s'adosser à des opérations de chantier déjà en cours, avec un chef de chantier construisant l'ouvrage sur la base de recommandations orales et sur sa pratique de la pose de tels aménagements, sans qu'il ait été établi de plans de positionnement précis et de coupes du cordon puisque la commande de la présente note est arrivée en cours de travail.

Comme indiqué plus avant, la réalisation technique est globalement correcte malgré quelques défauts constructifs, mais il n'y a pas eu de suivi réel du chantier de construction et adossement de ce dernier à des plans et coupes. La réalisation de ce travail aujourd'hui est du domaine de l'exercice de style puisque les aménagements préconisés sont déjà construits.

Le plan d'implantation en XY (vue par-dessus de l'ouvrage) nécessitait la réalisation d'un levé topographique du site qui n'a pas été fait, mais le chef de chantier a globalement respecté la consigne orale qui consistait à aligner le cordon sur la rangée de cocotiers visible sur la Figure 15 en conservant les arbres dans le remblai mais sans chercher à poldériser plus avant vers la mer.

La coupe en travers de l'ouvrage transmise sous la forme d'un croquis rapide lors des visites de 2014 est présentée ci-après (Figure 18), tout en sachant qu'elle ne présente plus aujourd'hui qu'un intérêt relatif puisque l'ouvrage est construit.

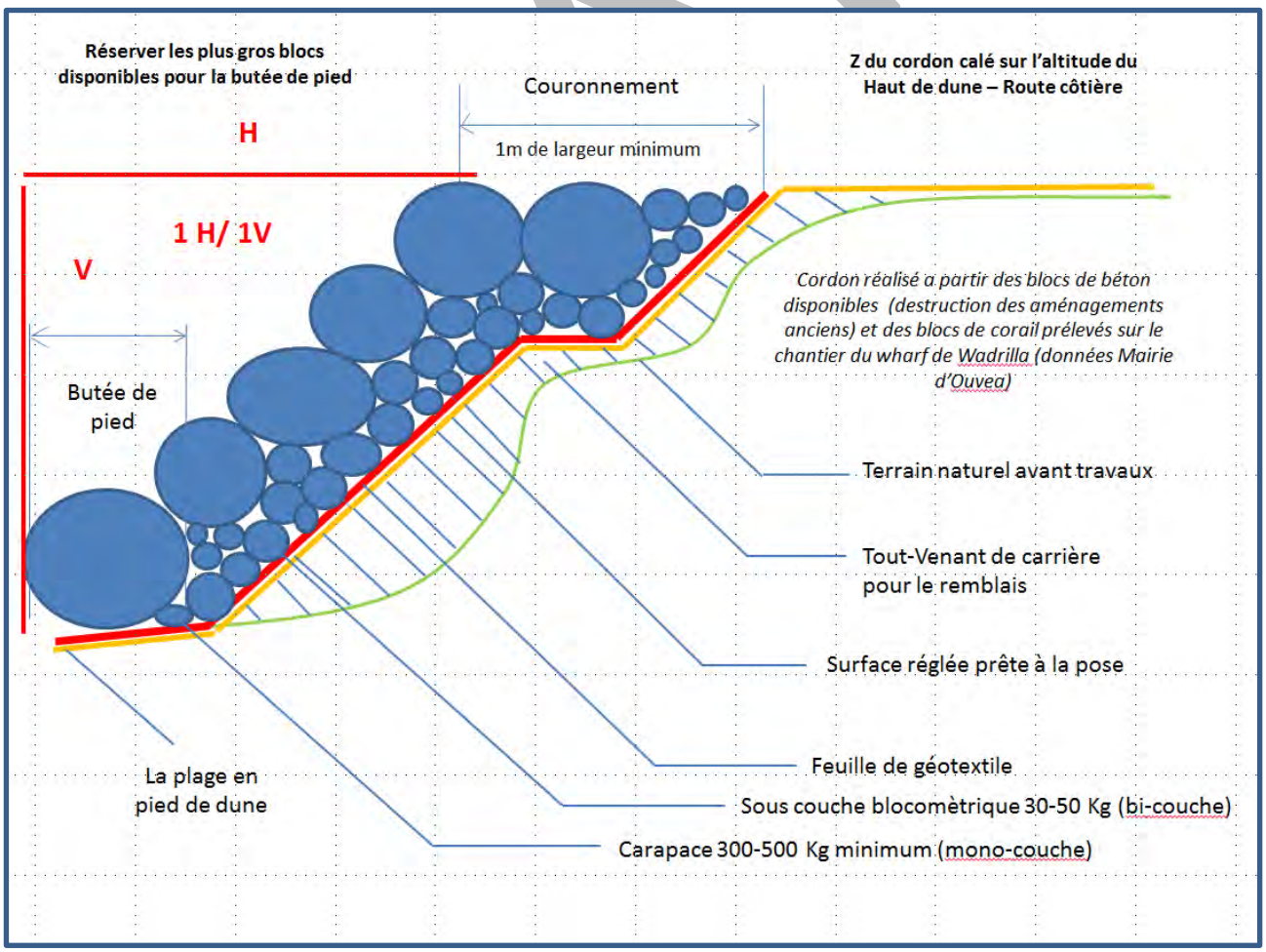


Figure 18 : Vue en coupe du cordon d'enrochement préconisé

Il convient désormais de procéder à un levé de recollement de l'ouvrage et de continuer les profils de plage dans la zone. Ce travail sera fait au moins une fois dans le cadre de la thèse de Matthieu LE DUFF, mais il faudra le poursuivre au-delà de ce travail pour analyser les tendances évolutives du site sur le moyen terme.

5.4.2 Recommandations.

Le cordon d'enrochement mis en place à Saint-Joseph va permettre une résilience temporaire contre l'érosion qui s'attaque à l'ensemble du linéaire côtier meuble d'Ouvéa. Cette érosion qui se visualise de façon plus ou moins spectaculaire et sporadique lors des événements météo-océanologiques fortement énergétiques (tempêtes classiques et passage des dépressions tropicales et cyclones) est de fait continue. Rien ne laisse présager qu'elle va s'arrêter dans les années à venir. Il faut même s'attendre à une amplification des tendances actuelles d'après les travaux du GIEC (le groupe international d'experts sur le climat). La mer va monter d'une hauteur que ces mêmes experts estiment comprise entre 0,6m et 1m d'ici la fin du siècle. Les chiffres actuels indiquent une valeur moyenne mondiale pour la transgression de l'ordre de 1,8mm/an. Cet ordre de grandeur va très certainement croitre dans les décennies à venir. Il convient donc aux populations qui vivent sur des espaces littoraux constitués de matériaux meubles (et c'est le cas de la dune littorale de Saint-Joseph Takedji), menacées à court ou moyen terme par cette réalité inéluctable, d'intégrer ce fait. Les solutions de confortation du trait de côte n'auront qu'un temps. Il faut engager dès à présent une réflexion au sein des clans pour envisager un recul stratégique à l'intérieur des terres, sur des zones d'altimétrie plus élevées. Cette réflexion est d'autant plus importante à Ouvéa qu'elle concerne des terres coutumières et que la gestion de ces territoires doit être consensuelle au sein des clans, ce qui sous-entend du temps, pour obtenir le consensus. Les solutions techniques envisageables et cadrées par la loi sur d'autres espaces du littoral national ne sont pas applicables aujourd'hui sur le site étudié. Le sujet d'un recul stratégique à l'intérieur des terres a été longuement évoqué avec les représentants des autorités coutumières et des élus lors des réunions de travail et d'informations qui ont été tenues dans le cadre du travail de thèse de Matthieu Le Duff. Il a été conseillé, à minima, dans l'attente des décisions à prendre sur le sujet et qui ne le seront pas dans le proche immédiat car l'urgence n'est pas absolue à Saint-Joseph/Takedji, de « geler » tout projet de construction en dur, public et si possible privé, sur l'espace littoral proche du trait de côte et de faible altimétrie. Ces propos tenus lors des réunions publiques citées plus avant sont naturellement toujours d'actualité et ils sont réaffirmés par l'écrit dans cette note. Les populations du secteur doivent engager une réflexion et une concertation entre les parties intéressées pour permettre ce repli stratégique à moyen terme.

6 Le secteur du pont de Mouli

6.1 Les données utiles compilées pour l'expertise

On se réfèrera au paragraphe 5.1 pour les sources bibliographiques consultées.

6.2 Description du secteur du pont de Mouli en regard des problématiques de l'expertise.

6.2.1 Le contexte général

Le site de l'expertise est situé dans le secteur sud de l'île principale d'Ouvéa à égale distance entre les lieux dits de Baahlaba au nord et de Mouli au sud. Sur ce segment littoral, l'île se présente sous la forme d'une bande de terre étroite (largeur voisine du kilomètre et souvent moins) qui évoque assez bien la forme d'une crosse, au sud du pont de Mouli. Cette bande s'élargit progressivement au nord de ce dernier. Le trait de côte tourné vers le grand lagon d'Ouvéa au nord-ouest est globalement rectiligne et de faible altitude. Il est orienté au nord-est/sud-ouest sur plus d'une dizaine de kilomètres avant de s'incurver

DRAFT

légèrement vers le nord-ouest, sur un peu plus de 2 kilomètres, à l'approche de la passe du Coetlogon qui marque la fin de l'île et la transition vers les Pléiades du sud (Figure 19).

Figure 19 : La baie de Lékiny dans la partie sud de l'île d'Ouvéa (source : UNC, 2016).

La côte tournée vers le bassin des Loyauté au sud-est est plus découpée en larges croissants limités par des caps (du sud-ouest vers le nord-est, Pointe de Mouly, Pointe Akijikic, Pointe Wasic, Pointe Gervaise). L'orientation est globalement ouest-sud-ouest/est-nord-est et son altitude est plus élevée (quelques dizaines de mètres) en liaison directe avec le basculement général de l'île associé à la surrection tectonique (*cf*. paragraphe 5.2).

La spécificité géomorphologique de la baie de Lekine est la présence du lagon interne de Faiava qui fait communiquer le grand lagon d'Ouvéa (côte occidentale) au bassin des Loyauté (côte orientale). Cette communication qui s'amorce au niveau du pont de Mouli s'effectue par deux passes, la passe de Lifou, d'une part, qui est orientée vers le sud-est et d'autre part, la passe de la Calédonie, vers le sud-ouest. On notera sur cette figure la présence du chenal de Hnyimek qui permet l'entrée de l'eau marine à l'intérieur de la mangrove de Lekiny, mangrove dont il sera question au **§7** de cette note. À travers ces passes se produisent des circulations rythmées par l'alternance des marées qui jouent un rôle essentiel de la dynamique sédimentaire du site de l'expertise.

Le contexte météo-océanologique est identique à celui décrit pour la baie de Saint-Joseph. Pour rappel, la côte est ouverte à l'hydrodynamisme marin vers l'ouest. Les marées sont de type micro-tidal semi-diurne à inégalité diurne avec un marnage ne dépassant pas 1,8m d'amplitude. Compte tenu de la faible pente des fonds littoraux, la zone intertidale qui découvre est souvent large. Les courants de marée de jusant et de flot sont modérés, mis à part certaines configurations géomorphologiques particulaires (passes). On manque de données sur les vagues et les houles faute d'instrumentation dédiée.

6.2.2 Commentaires spécifiques au secteur du Pont de Mouli (s.s.)

6.2.2.1 Éléments d'information tirés de l'analyse diachronique

On s'appuiera tout d'abord sur le travail réalisé dans le cadre de la thèse de Mathieu Le Duff. Ce travail permet de commenter l'évolution géomorphologique du site de l'expertise au sens strict sur la base de l'analyse diachronique de cinq images couvrant la période 1954 – 2012. Là encore, le travail de thèse n'étant pas soutenu, nous ne présenterons qu'un extrait (Figure 20) des études réalisées.

Traits de côtes successifs :

1954 **1976** **1982** **2002** **2012**

Tendances évolutives du trait de côte :

Accrétion Érosion

Figure 20 : Évolution diachronique des pointes sableuses de la zone du pont de Mouli (source : UNC, 2016).

Sur la période considérée, on note :

- le développement de deux flèches sableuses, de part et d'autre du chenal d'entrée dans la lagune de Faiava ;
- l'agrandissement et le raccordement de deux flèches sableuses dans la zone sud du site entre une ancienne zone de pinacles coralliens et un ancien ilot.

Ces tendances démontrent une tendance résultante à l'accrétion sur la façade occidentale du cordon dunaire de Mouli sur la période considérée.

DRAFT

Une autre tendance forte apparaît sur les vues aériennes postérieures à 1976. Elle concerne la façade orientale de ce même cordon de Mouli. Une évolution érosion nette est apparue dans certains secteurs côtiers bordant la lagune de Faiava, en particulier des deux côtés du pont de Lekine construit en 1978.

6.2.2.2 Les observations naturalistes du linéaire côtier du cordon de Mouli.

6.2.2.2.1 Le secteur sud du pont de Mouli.

En parcourant la côte nord-ouest (côté grand lagon d'Ouvéa) depuis l'extrémité sud de l'île vers le nord, on note la présence d'un recul de la dune sous la forme d'une microfalaise érosive active. D'une hauteur d'ordre métrique au niveau du cimetière de Mouli (secteur qui mériterait que la municipalité s'y intéresse et qu'un aménagement protecteur du site soit envisagé), son dénivelé diminue en se rapprochant du pont en même temps que la plage s'élargit. Mis à part le secteur du cimetière, ce segment littoral ne pose pas de problème majeur.

C'est du côté ouvert sur la lagune de Faiava que l'on constate les désordres érosifs les plus marqués de la zone sud du pont avec une attaque nette de la dune littorale (microfalaise érosive de 2 à 3 mètres de dénivelé à certains endroits). Les Figure 21 à Figure 23 illustrent ces commentaires.

Sur la Figure 21, on distingue nettement au second plan la microfalaise érosive active haute de près de 3 mètres en ce point et au premier plan les souches des arbres morts déchaussés par l'érosion marine qui s'attaque au cordon dunaire portant la route.

Sur la Figure 22, la plage est réduite et surbaissée en arrière du beach-rock aujourd'hui affleurant et sous cavité par la mer alors qu'il était plus largement enfoui dans un passé récent. La chenalisation qui s'est créée en arrière du beach-rock facilite l'affouillement de la dune à marée haute

La photographie présentée à la Figure 23 montre l'étroitesse de la plage immédiatement au sud de l'enrochement qui protège la rampe d'accès à la culée sud du pont de Mouli. La plage est en train de disparaître et les arbres déchaussés meurent et s'effondrent. La route est menacée à court terme par l'onde érosive si un confortement du bas-côté de la route n'est pas mis en place.

DRAFT

Figure 21 : Le cordon dunaire fortement érodé sur sa façade orientale tournée vers la lagune de Faiava au sud de la culée sud du pont de Mouli (source : UNC, 2016).

Figure 22 : Le beach-rock affleurant du fait de l'érosion du profil de plage aujourd'hui surbaissé. À droite de la photographie, le dénivelé négatif de la plage permettant la chenalisation des eaux à marée haute (source : UNC, 2016).

Figure 23 : Au voisinage immédiat de la rampe d'accès à la culée sud du pont de Mouli (source : UNC, 2016).

6.2.2.2.2 Le secteur nord du pont de Mouli.

Un constat voisin de celui observé dans le secteur sud a été fait. La façade occidentale du cordon tournée vers le grand lagon d'Ouvéa ne pose pas de problème majeur. On y note la présence d'une plage au profil classique compte tenu du contexte hydrodynamique du site (bermes de tempête visibles par place) et des tendances globales érosives des littoraux meubles. Le haut de plage est végétalisé et il n'a pas été noté de déchaussement d'arbres sur la plage proche de la culée du pont. Il n'y a pas de trace de dynamique d'érosion comme l'analyse diachronique l'a montré, mais plutôt une tendance à l'accrétion.

La Figure 24 est une copie d'écran d'un film réalisé à l'aide d'un drone par Pascal Dumas dans le cadre de la thèse de Matthieu LE DUFF *(toutes les vues aériennes obliques actuelles fournies dans la note ont cette origine)*. Elle permet de visualiser (secteur cerclé de rouge) la situation du secteur décrit à l'alinéa précédent.

DRAFT

Figure 24 : Vue aérienne oblique de la plage proche de la culée nord du pont de Mouli (Façade occidentale du cordon dunaire) (source : UNC, 2016).

Ce n'est que plus au nord (zone cerclée de rouge) que des traces d'érosion sont visibles (Figure 25) avec une largeur de plage qui se raccourcit, un couvert végétal arboré proche de la laisse des eaux et des traces de petites microfalaises érosives en haut de plage.

Figure 25 : Vue aérienne oblique du secteur de la plage montrant des signes de dynamique érosive (Façade occidentale du cordon dunaire de Mouli) (source : UNC, 2016).

C'est au niveau de la façade orientale du cordon tournée vers la lagune de Faiava qu'apparaissent également les dysfonctionnements érosifs. Le cordon est érodé entre la culée du pont et la mise à l'eau du camping de Lekine. La plage est réduite, surtout dans l'ombre hydrodynamique de la mise à l'eau (côté sud) où les arbres sont déchaussés par l'érosion et où l'on observe une microfalaise érosive active. La Figure 26 permet de visualiser l'ensemble du linéaire érodé.

Figure 26 : Le linéaire côtier érodé au nord du pont de Mouli entre la culée de ce dernier et la mise à l'eau du camping de Lekine (façade orientale du cordon dunaire de Mouli) (source : UNC, 2016).

La vue aérienne oblique de la zone (Figure 27) permet de visualiser les arbres déchaussés au premier plan (zone cerclée de rouge), indice de l'érosion qui s'attaque au cordon dunaire.

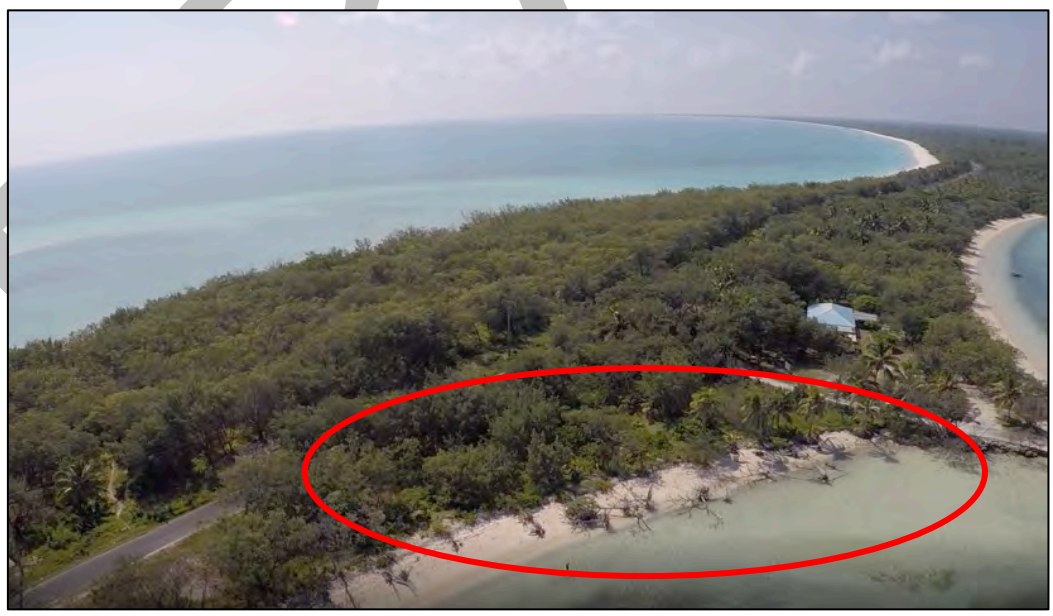


Figure 27 : Vue aérienne oblique de la zone érodée au nord du pont (façade orientale du cordon dunaire de Mouli) (source : UNC, 2016).

6.3 Analyse interprétative des observations décrites

La dynamique sédimentaire du secteur de la passe de Mouli faisant communiquer la lagune de Faiava au grand lagon d'Ouvéa est sous la commande majeure de l'hydrodynamisme régnant dans la chenalisation et sur la façade occidentale des formations sédimentaires constitutives de l'extrémité sud de l'île d'Ouvéa. L'influence des circulations vers le bassin des Loyauté à travers les passes de la Calédonie et de Lifou joue un rôle significatif dans la compréhension des faits sédimentaires à l'échelle de la lagune de Faiava, mais il est minime lorsque l'on s'intéresse aux phénomènes érosifs décrits autour du pont de Mouli.

La compréhension de ces phénomènes est à rechercher à l'échelle locale en s'intéressant aux actions anthropiques ayant été réalisées sur la zone.

Avant la construction du pont de Mouli, la passe ouest d'accès à la lagune de Faiava était encadrée par des flèches sableuses à bords libres, mouvantes au gré des conditions hydrodynamiques ambiantes. Ce fonctionnement naturel a été perturbé par deux actions anthropiques dont les impacts sur la dynamique sédimentaire du site ont mal été appréciés par les concepteurs des ouvrages. Il s'agit, d'une part, du pont de Mouli et d'autre part, de la rampe de mise à l'eau du camping de Lékiny. La logique est fondamentalement la même que celles des petits ouvrages du secteur de Saint-Joseph dans le nord de l'île. Les ouvrages ont été construits perpendiculairement au trait de côte sans prise en compte des dérives sédimentaires très actives dans la zone du fait de l'hydrodynamisme fort lié à la chenalisation de la passe de Faiava.

La Figure 28 est une vue aérienne oblique du site où l'on peut très nettement voir le chenal par la différence de couleur de la mer, chenal au sein duquel les courants atteignent des vitesses élevées à mi marées de flot et de jusant. Ces vitesses permettent des mouvements de sédiments des dérives sédimentaires littorales alternées qui s'exprimaient librement avant l'édification des ouvrages qui viennent les perturber.

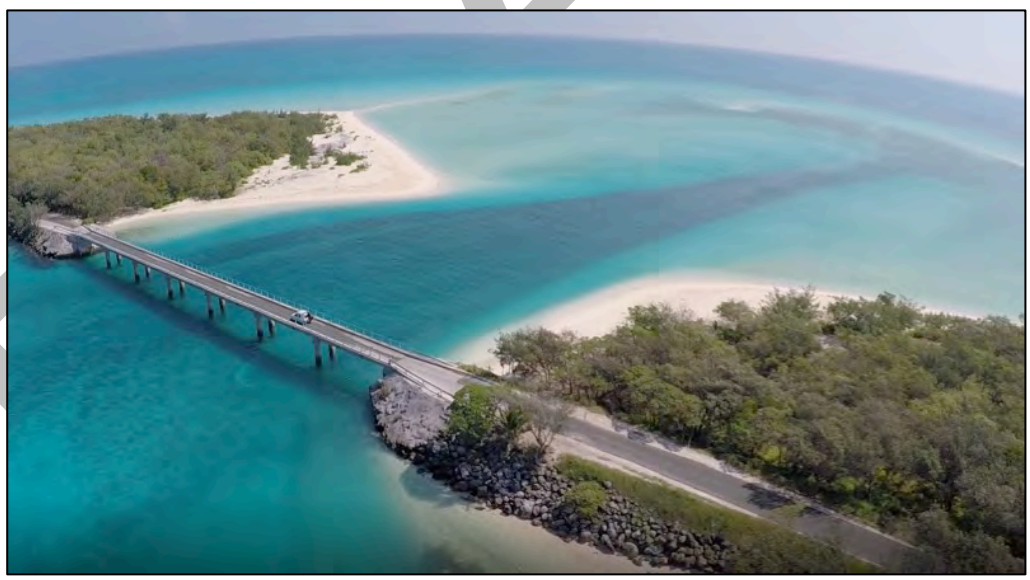


Figure 28 : Vue aérienne oblique du chenal d'accès à la lagune de Faiava (source : UNC, 2016).

Les ouvrages cités perturbent les dérives sédimentaires en facilitant l'accrétion « au vent » de la dérive résultante et l'érosion « sous le vent » de cette même dérive résultante. Il s'agit là d'erreurs génériques en matière de génie civil côtier.

DRAFT

En ce qui concerne le pont de Mouli, il est aisé de voir sur la Figure 29, le rôle de la culée sud du pont sur la dynamique sédimentaire du site, tout comme il est possible de le voir sur la Figure 30 pour la culée nord. Le principe constructif choisi pour édifier les culées et réduire la longueur du tablier les faits agir comme des épis bloquant les dérives. Les zones cerclées de vert correspondent aux zones d'accrétion sédimentaire et celles qui le sont en rouge aux zones d'érosion décrites dans le paragraphe 6.2.2.2 (Observations naturalistes)

Figure 29 : La culée sud formant épi avec accrétion (cercle vert) d'un côté et érosion de l'autre (cercle rouge) (source : UNC, 2016).

DRAFT

Figure 30 : La culée nord formant épi avec accrétion d'un côté (cercle vert) et érosion de l'autre (cercle rouge) (source : UNC, 2016).

En ce qui concerne la mise à l'eau du camping de Lekine, on se retrouve une nouvelle fois dans le cas d'un ouvrage s'opposant à la dérive résultante sur la zone, avec une accrétion « au vent » et une érosion « sous le vent » de l'ouvrage qui joue en épi transverse au trait de côte.

La Figure 31 est une première illustration de ce fait. La photographie est prise depuis la mise à l'eau. On remarque, à droite de la vue, l'accrétion (zone cerclée de vert) et à gauche, l'érosion. Sur la Figure 32, on voit les mêmes choses, mais sous l'angle d'une prise de vue aérienne.

DRAFT

Figure 31 : Vue depuis l'extrémité de la mise à l'eau du camping de Lekine avec la zone d'accrétion à droite (vers le nord, cercle vert) et la zone d'érosion à gauche (vers le sud, cercle rouge) (source : UNC, 2016).

Figure 32 : Vue aérienne oblique de la mise à l'eau du camping de Lekine avec la zone d'accrétion à droite (vers le nord, cercle vert) et la zone d'érosion à gauche (vers le sud, cercle rouge) (source : UNC, 2016).

Au-delà des tendances globales à l'érosion généralisée des littoraux meubles qui n'épargne pas l'île d'Ouvéa, il ressort très clairement des faits observés que des erreurs anthropiques amplifient le phénomène érosif sur le secteur littoral objet de cette note d'expertise.

6.4 Les préconisations techniques

En ce qui concerne le pont, les désordres sont, pour l'essentiel, liés au principe constructif des culées qui s'appuient sur des rampes d'accès réalisées à l'avancement sur du remblai conforté par des enrochements. Ces culées jouent le rôle d'épis qui perturbent le jeu naturel des dérives sédimentaires. Il est difficilement pensable, mais pas impossible dès lors que les moyens financiers sont disponibles, que l'on puisse reprendre l'ouvrage existant à ce niveau pour fonder les rampes d'accès sur des pieux ne bloquant pas les dérives, variante qui aurait due être analysée au moment de la construction en regard des impacts induits plutôt que du côté des couts de réalisation et de la faisabilité technique des choses. On voit aujourd'hui à l'exemple de la construction du nouveau wharf de Wadrilla que la technicité pour ce type d'ouvrage est maitrisée en Nouvelle-Calédonie. Les échanges avec la population ont laissé entendre qu'une reprise de l'ouvrage, voire son doublement pourrait être « dans les tuyaux ». Si la chose s'avérait vraie, il conviendrait que les observations et les conseils donnés plus avant soient intégrés dans la réflexion.

En l'absence de reprise d'ouvrage au niveau des culées, il convient de conforter rapidement les linéaires en voie d'érosion si l'on veut éviter l'amplification des désordres actuels dont il n'est pas possible d'envisager un retour à l'équilibre à court terme par des voies naturelles. La solution proposée, à minima et dans l'attente de certitudes sur ce que les décideurs envisagent de faire au niveau du pont (reprise d'ouvrage, doublement de sa largeur ?) est celle de la pose de cordons d'enrochement sur les linéaires les plus proches du pont où la route est menacée. Au-delà de ces mesures d'urgence, le linéaire à protéger de l'érosion étant important sur la façade sud du cordon littoral, le dimensionnement d'ouvrages et le principe même de leur pose sont indissociables des décisions politiques et techniques qui vont être prises au niveau provincial pour le pont. Il n'est donc possible aujourd'hui de conseiller utilement la mairie sur les choses à faire sans être associé au projet d'aménagement du pont. Au vu du seul constat actuel des faits, c'est le segment situé sur la façade orientale du cordon de Mouli au sud du pont qui devrait être la priorité des actions à mener, suivi du segment situé entre la mise à l'eau du camping de Lekine et la culée nord. Mais, comme écrit plus avant, l'efficacité impose une concertation entre les différents acteurs pouvant intervenir sur les décisions à prendre (coutumiers, politiques et services techniques municipaux et provinciaux, bureaux d'études spécialisés).

Il est possible techniquement de solutionner le blocage des sédiments derrière les culées du pont par la mise en place d'un système by-pass concernant à « pomper » la sable du côté de l'accrétion pour le refouler du côté de l'érosion. Ce système est en usage sur des secteurs littoraux où le même type de problème a été identifié, sur la Gold Coast australienne, par exemple. S'il fait partie des méthodes dites « douces » qui n'ont pas d'impact paysager fort et qui permettraient de ne pas toucher au pont actuel, il faut bien avoir à l'esprit lorsque l'on choisit de mettre en œuvre un tel système que son usage doit être continu dans le temps. Les effets positifs du rechargement en sable s'estomperont dès lors que l'on arrêtera de faire fonctionner le système by-pass. Le cout de fonctionnement de la méthode sur le long terme peut s'avérer élevé et ne cessera d'augmenter dans le temps puisqu'il s'agira d'une charge à budgétiser régulièrement. Le bénéfice des actions de rechargement, dans le cas du lagon de Faiava, pourrait toutefois être durablement augmenté en mettant en place une série de mini-épis en « T » en enrochements ou en geotubes perpendiculaires au trait de côte. L'objectif de ces épis est de créer des compartiments, sortes de plages alvéolaires, s'opposant aux départs de matériaux associés à la dérive littorale active sur la zone. Ce schéma d'aménagement est envisageable sur le site du pont de Mouli, mais encore une fois, comme écrit plus avant, l'optimisation des choix ne peut se faire qu'en étroite concertation avec les décideurs et en synergie avec ce qui est envisagé pour le pont.

DRAFT

Le reprofilage, voire la destruction de la mise à l'eau de Lekine pourrait momentanément créer une onde sédimentaire vers la culée nord et recharger le profil de plage dans la zone érodée mais nous ne préconisons pas d'intervention hâtive à ce sujet et ce, pour plusieurs raisons :

- la migration du sable bloqué par la mise à l'eau sous l'action de la dérive littorale nord sud actuellement dominante devant le camping entrainerait un recul significatif de la plage au droit de ce dernier. Ce recul serait commandé par la rectification géomorphologique attendue (effet de linéarisation) de la destruction de l'ouvrage. La plage est aujourd'hui un lieu d'activités récréatives et pédagogiques. Il serait dommage de la voir se réduire drastiquement ;

- la recharge au sud de la mise à l'eau, devant le linéaire en croissant érodé qui s'appuie sur la culée nord ne serait que momentanée. En effet, en cas de destruction de l'épi et linéarisation attendue du trait de côte, à terme après rééquilibrage des stocks sédimentaires disponibles, la présence de la culée nord facilitera la décharge progressive du matériel par un transit résultant orienté vers le nord ;

- enfin et surtout, parce que la zone est sensible et que toute opération anthropique sur ce secteur littoral doit être réfléchie et décidée dans un schéma d'aménagement concerté de la zone prenant en compte toutes les parties prenantes.

7 Le secteur de la mangrove de Lekiny

7.1 La question posée

La question posée (impact d'une route sur la mangrove et préconisations d'aménagement possibles) par l'adjoint au maire, Monsieur Albert OUAIEGNEPE a été relayée sur le terrain par Monsieur Léon TIAOU qui nous a fait longuement fait visiter la mangrove de Lekine en nous faisant part de ses observations et de sa connaissance intime du terrain. La zone observée s'étend, au nord, de la route (zone cerclée de jaune sur la Figure 33) qui fait l'objet de ce volet de la note d'expertise au sens strict jusqu'au débouché du chenal dans la lagune de Faiava au sud (zone cerclée de rouge sur la Figure 33).

DRAFT

Figure 33 : La mangrove de Lekine au nord de la lagune de Faiava et la route posant problème (source : UNC, 2016).

7.2 Description du secteur au regard de la problématique posée

7.2.1 Généralités sur les mangroves

La mangrove est un écosystème structuré à partir de palétuviers[3] (qui sont des arbres halophiles) qui se développe à l'interface entre terre et mer et qui couvre plus de 181 000 km² des côtes tropicales, subtropicales et plus rarement tempérées de la terre (Alongi, 2002 ; Duke, 1995). Du fait de ce développement en zone de balancement de marées, la diversité génétique de la mangrove est faible. Il existerait environ 70 espèces de palétuviers formant un ensemble polyphylétique, reparties dans 6 régions biogéographiques limitées par la tolérance aux faibles températures, en effet ceux-ci ne se développent pas en dessous d'une température de l'eau de mer de 20 °C. La France possède 100 000 ha de mangroves ce qui positionne le pays au 32ème rang mondial. Celles de Nouvelle-Calédonie, sont très peu représentées sur les îles loyautés (1% de la superficie). En effet, la Grande Terre qui présente 99% des surfaces de mangrove de Nouvelle-Calédonie, et plus particulièrement en Province Nord (59%) et sur la côte ouest (88%), représente à elle seule plus du quart de la superficie des mangroves françaises et la plus grande diversité avec 24 espèces réparties en 13 familles. Cinquante pour cent des mangroves de Nouvelle-Calédonie sont dominées par des palétuviers du genre *Rhizophora* sp. et 15% par ceux de l'espèce

[3] *Nom commun à divers arbres habitant les mangroves tropicales et appartenant aux genres Avicennia, Bruguiera, Rhizophora, etc., caractérisés par des racines aériennes formant arceaux ou des racines pneumatophores sortant de la vase, et par leur graine qui germe sur l'arbre en donnant une radicule en forme de flèche qui se fiche fortement dans la vase (Larousse, 2015)*

DRAFT

Avicennia marina (Marchand *et al.*, 2012). Les mangroves de Nouvelle-Calédonie existent principalement sous 3 types géomorphologiques (Thollot, 1992) :

- les mangroves fluvio-maritimes, situées au niveau des embouchures des rivières ;
- les mangroves de bordures côtières ;
- les mangroves de fonds de baies. Ces dernières sont majoritaires à 40% en Nouvelle-Calédonie.

La distribution des mangroves est donc tout d'abords contrôlée par le climat mais aussi par la salinité, le régime de marées, la sédimentation, l'énergie des vagues, la topographie ou encore l'hydrologie. Il faut également souligner que divers paramètres tels que la lumière, le CO2, le vent, les marées, les conditions du sol, la salinité, les pollutions, les espèces nuisibles, la pression anthropique, sont des paramètres important dans la distribution des espèces de mangrove. Il en résulte qu'une généralisation des réponses de ces écosystèmes serait hasardeuse. Ainsi, la complexité de l'écosystème mangrove est due à l'interaction des forces physiques en présence (salinité, courant, oxygénation, lumière, etc.) ainsi qu'aux variations sédimentaires, et nutritives (Berger *et al.*, 2008). La salinité est le facteur principal influençant la zonation des différentes espèces de palétuviers (Marchand *et al.*, 2012). La plupart des taxons de mangrove sont caractérisés par leurs facultés à vivre dans un milieu où la salinité est fluctuante et dans des sols saturés en eau (Duke, 1995). Les différentes espèces de palétuviers se succèdent sur différents étages littoraux selon leurs niches trophiques qui dépendent des conditions physico-chimiques (Meynecke *et al.*, 2007) (Figure 34). La diversité écologique rencontrée dans les mangroves augmente lorsque les températures sont élevées mais diminue lorsque les marées sont de fortes amplitudes (Smith et Duke, 1987).

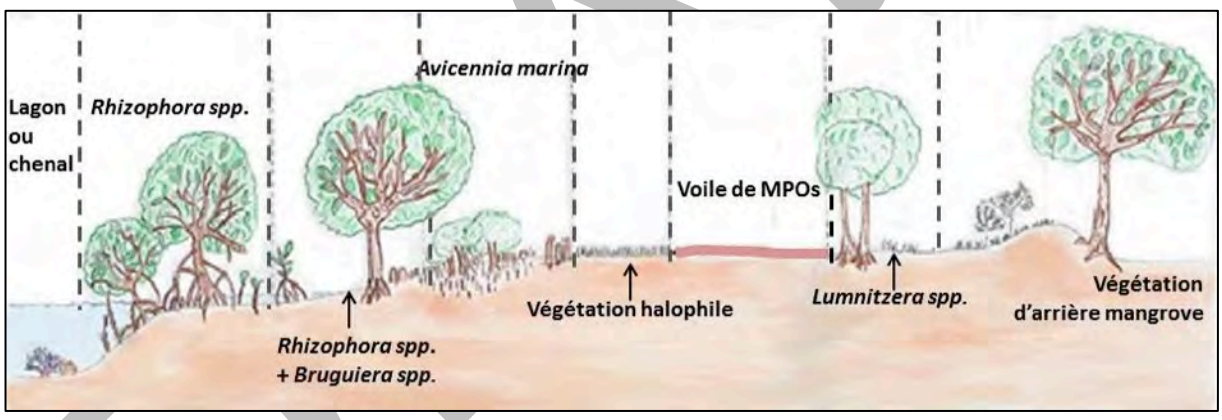


Figure 34 : Zonation de la mangrove généralement retrouvée en Nouvelle-Calédonie. Gradient de la côte vers le large (Source : Duke, 2007)

Cet écosystème terrestre est le plus productif en production primaire (Roussel, 2001). Les mangroves constituent en effet des lieux de vie, des nurseries et des emplacements propices à la reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux, de poissons, de crustacés, de mollusques, de reptiles et de mammifères (Alongi, 2002). La faune impacte le développement des palétuviers. En effet, par exemple, en Floride, une espèce de crabe vit dans des galeries, exactement comme *Scylla serrata* en Nouvelle-Calédonie, et aère le sol des mangroves ce qui a pour résultat d'augmenter significativement la hauteur des palétuviers, le diamètre des troncs et la production de feuilles. Il permet aussi de maintenir les taux de salinité et d'oxydo-réduction adéquats mais n'affecte ni le pH ni la concentration en sulfides (Smith et Wilcox, 2009). Certaines espèces de crabes se nourrissent de la litière et participent donc au maintien de la matière organique dans

DRAFT

l'écosystème. D'autres abiment les feuilles de palétuviers en s'en nourrissant ou s'alimentent de propagules[4] et mettent donc en danger la pérennité de la mangrove (Cannicci et al., 2008 ; Ferreira *et al.*, 2012). Des insectes mangent l'épicotyle[5] des feuilles, le bois et les propagules des palétuviers. La présence de fourmis peut enrayer ce phénomène. Les gastéropodes consomment, eux-aussi, les feuilles et les propagules de palétuviers. Les éponges, huîtres et bernacles croissent sur les racines des palétuviers et fournissent des nutriments aux arbres. Si leur accumulation est trop importante, elle limite la croissance des palétuviers. Il arrive aussi que les tortues se nourrissent des propagules, c'est le cas en Australie (Cannicci *et al.*, 2008). Certaines bactéries transforment les débris végétaux et animaux en nutriments disponibles à nouveau pour les palétuviers et donc, pour la chaine alimentaire (Bashan et Holguin, 2002).

Les palétuviers participent à l'accrétion des sédiments et donc au maintien du trait de côte malgré le réchauffement climatique et la montée des eaux (Walters *et al.*, 2008). Ils dissipent l'énergie d'évènements plus ponctuels et violents comme les tsunamis, limitent l'impact des crues et participent à la protection du littoral et des populations qui y vivent (Alongi, 2002 ; Alongi, 2008 ; Dahdouh-Guebas *et al.*, 2005 ; McKee, 2011 ; Roussel, 2001 ; Barbier, 2006). Les mangroves limitent donc aussi la turbidité de l'eau ce qui permet aux herbiers et aux coraux de se développer au large à l'abri de la sédimentation tout en profitant des nutriments d'origine terrigène qui ruissellent du continent (Roussel, 2001 ; Iltis, 1986). Ces arbres stockent le carbone et les nutriments (Alongi, 2002). Les métaux comme le fer ou le nickel, très présents en Nouvelle-Calédonie, sont déposés dans les mangroves sous leurs formes oxydées. Les bactéries les utilisent pour réaliser la décomposition de la matière organique (Marchand *et al.*, 2012).

La mangrove constitue également une source de bois utilisée par les populations locales pour le chauffage ou la construction (Alongi, 2002 ; Gaudin, 2006). Elle fournit même de la matière première pour la production de papier et de fourrage. Elle devient aussi un pôle important du tourisme vert (Gaudin, 2006). La mangrove a, en plus de sa valeur économique et environnementale, une valeur culturelle très forte. En effet, la population locale y pêche, y chasse et y trouve des plantes contenants des substances pharmaceutiques (Burchmore, 2009 ; Robertson et Duke, 1990 ; Duke *et al.*, 2007 ; Meynecke *et al.*, 2007 ; Negelkerken, 2008 ; Walters *et al.*, 2008). Les communautés locales y conservent des lieux tabous (Marchand et al., 2012). En moyenne, la valeur des services rendus par les mangroves vaut entre 21 770 000 xpf (soit 182 400 €/ha) et 98 000 000 xpf/ha (soit 821 000 € /ha), cette estimation n'a pas été réalisée pour l'Outre-Mer Français (Roussel, 2001).

Malheureusement, les mangroves sont menacées par des facteurs naturels comme les cyclones, les tsunamis, la sécheresse et le changement climatique (Roussel, 2001 ; Marchand *et al.*, 2012) ainsi que par des facteurs humains comme le développement urbain, l'aquaculture et l'agriculture, ou le développement de mines, la surexploitation du bois et des ressources marines et l'augmentation de la pollution (Alongi, 2002 ; Burchmore, 2009 ; Gilman *et al.*, 2008 ; Imbert, 2002 ; Polidoro *et al.*, 2010 ; Stevenson *et al.*, 1999). Depuis le début du 20ème siècle, la moitié des mangroves ont disparu en Europe, en Chine, en Australie, en Amérique du Nord (Moreno-Mateos *et al.*, 2012). Le taux de disparition annuel des mangroves oscille entre 1 et 2% (Duke *et al.*, 2007). Les activités de développement économique du territoire sont très importantes mais elles impactent l'environnement de multiples façons. Elles induisent la fragmentation voire la disparition d'habitats ce qui peut avoir pour conséquence le changement du coefficient de ruissellement du milieu et donc, le déplacement de la faune et de la flore (Bonvallot *et al.*, 2012). La sur-sédimentation peut en effet induire une baisse de l'activité photosynthétique des plantes, diminuer le recrutement larvaire et étouffer les organismes benthiques de la mangrove (Thollot et Wanthiez, 1996). L'activité humaine altère la qualité de l'air par l'envoi de contaminants atmosphériques comme le SO2, NOx dans l'environnement (pluies acides) et augmente les nuisances sonores. La performance photosynthétique d'une mangrove

DRAFT

---

[4] *Structure végétative qui peut se détacher d'une plante et donner naissance à un nouvel individu (Oxford Dictionnary, 2015).*

[5] *Portion de la tige située au-dessus des cotylédons dans la plantule en germination et qui donnera ensuite presque toute la partie aérienne de la plante (Larousse, 2015).*

diminue en présence de stresseurs comme le cuivre ou le plomb (Rovai *et al.*, 2013). La qualité de vie et la santé des espèces faunistiques et floristiques sont donc impactées. Certaines espèces pourraient voir une diminution de leurs fonctions physiologiques et voir leurs aires de répartition se déplacer vers d'autres régions ou écosystèmes (Projet Goro Nickel, 2004 ; Jourdan *et al.*, 2012 ; Juncker *et al.*, 2006 ; Bonvallot *et al.*, 2012).

Même s'il est envisagé que les mangroves disparaissent de la surface de la terre (Duke *et al.*, 2007), l'espoir pour leur avenir réside dans l'amélioration de leur gestion et des connaissances accumulées sur le milieu ainsi que sur les causes de leurs dégradations, sur une législation plus adaptée ainsi que sur une réduction du taux de croissance de la population humaine (Alongi, 2002, Burchmore, 2009 ; Datta *et al.*, 2012; Mitsch, 2014). La première région de mangrove gérée au monde semble être celle des Sundarbans en Inde depuis 1769 (Kairo *et al.*, 2001). Dans le monde, un grand nombre de projets de replantation de palétuviers ont vu le jour notamment au Vietnam suite au développement de la crevetticulture (Thinh *et al.*, 2008), en Malaisie où la mangrove est gérée depuis plus d'un siècle pour la production de bois de construction (Walters, 2000 ; Stanley et Lewis, 2009), dans la Baie de Biscayne en Floride (Milano, 1999) et à Hawaï et aux îles Fidji afin de limiter les impacts de phénomènes tempétueux (Kairo *et al.*, 2001). En Tasmanie, les mangroves et leur gestion ont été nationalisées mais le manque d'argent ne permet pas une gestion adéquate et efficace de cet écosystème, la population locale continue donc son utilisation traditionnelle de la mangrove sans prendre en compte les décisions gouvernementales (Mangora, 2011).

7.2.2 La mangrove de Lekiny

7.2.2.1 Généralité

La mangrove de Lekiny est une mangrove lagunaire présente au niveau de la baie de Lekiny. La mangrove de Lekiny présente la particularité (comme les autres mangroves d'Ouvéa) de se développer dans un environnement corallien strict. De plus, la spécificité géomorphologique de la baie de Lekiny est de présenter un lagon interne (lagon de Faiava) qui fait communiquer le grand lagon d'Ouvéa (côte occidentale) au bassin des Loyauté (côte orientale). Cette communication qui s'amorce au niveau du pont de Mouli s'effectue par deux passes, la passe de Lifou, d'une part, qui est orientée vers le sud-est et d'autre part, la passe de la Calédonie, vers le sud-ouest. Il faut noter également la présence du chenal de Hnyimek qui permet l'entrée de l'eau marine à l'intérieur de la mangrove de Lekiny (Figure 35). À travers ces passes se produisent des circulations rythmées par l'alternance des marées qui jouent un rôle essentiel de la dynamique du site de l'expertise.

Le contexte météo-océanologique est identique à celui décrit pour la baie de Saint-Joseph. Pour rappel, la côte est ouverte à l'hydrodynamisme marin vers l'ouest. Les marées sont de type micro-tidal semi-diurne à inégalité diurne avec un marnage ne dépassant pas 1,8m d'amplitude. Compte tenu de la faible pente des fonds littoraux, la zone intertidale qui découvre est souvent large. Les courants de marée de jusant et de flot sont modérés, mis à part certaines configurations géomorphologiques particulaires (passes).

La mangrove de Lekiny, a fait l'objet d'une cartographie détaillée en 2008 (Virly, 2008). Cette dernière a montré que la mangrove présentait une zonation relativement classique pour une mangrove lagunaire de fond de baie (Figure 36). Les différentes formations végétales présentent une succession relativement classique en fonction des paramètres mésologiques rencontrés. En effet, on note au niveau de la frange maritime de la mangrove en limite du chenal principal de Hnyimek, des formations de tannes vifs avec de petits arbustes et des formations mixtes denses, traduisant un substrat relativement salé lié à apports d'eau de mer relativement irréguliers (Figure 36). Au niveau de la zone est de la mangrove, dans sa limite interne, on note la présence de formation de *Rhyzophora* et d'*Avicennia* denses, traduisant la présence d'un sol moins saturé en sel lié à des apports d'eau plus réguliers et importants que précédemment.

DRAFT

Figure 35 : La baie de Lékiny dans la partie sud de l'île d'Ouvéa

DRAFT

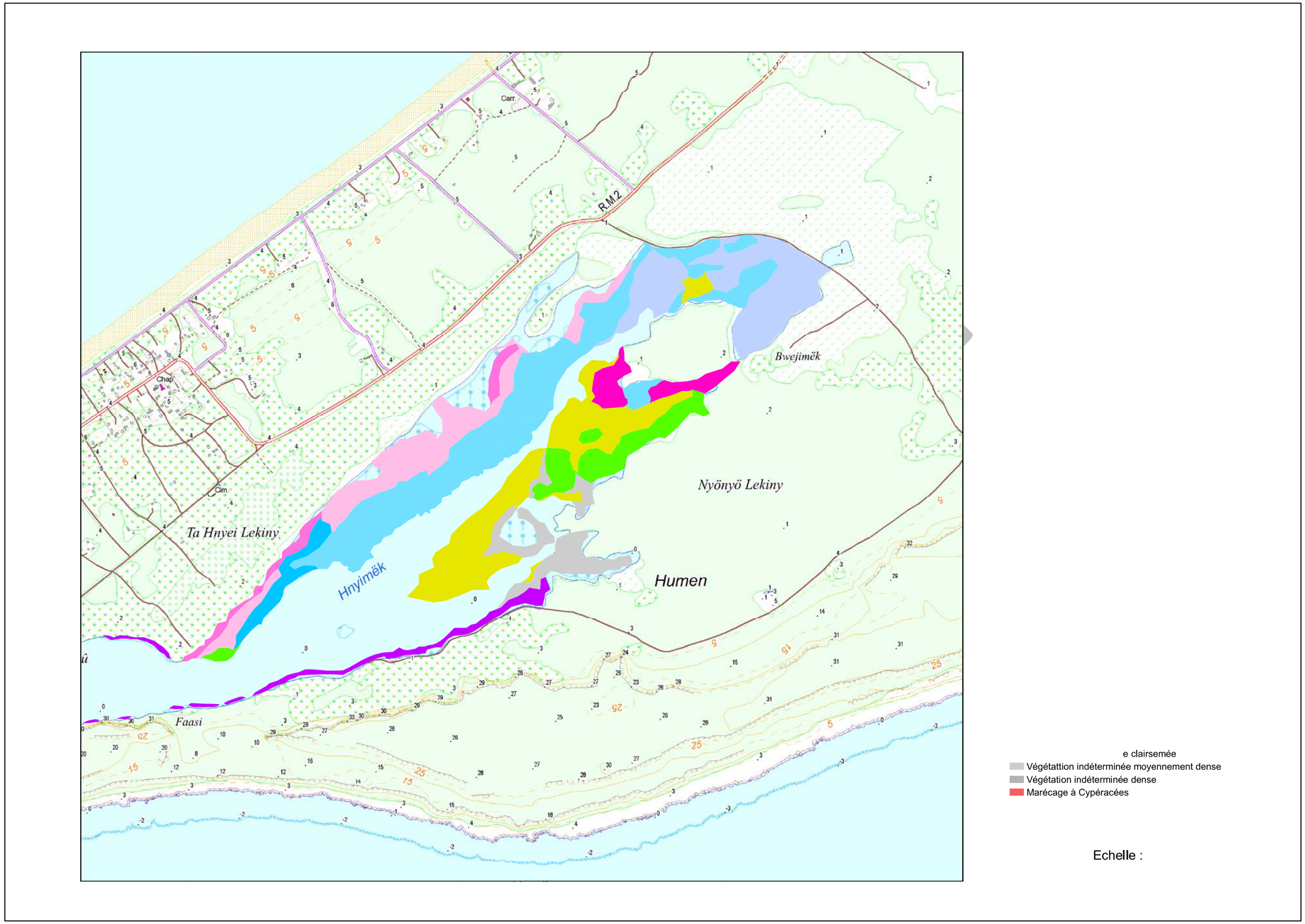


Figure 36 : Carte bionomique de la mangrove de Lekiny (source : Virly, 2008).

7.2.2.2 Eléments d'information tirés de l'analyse diachronique

Les données utilisées ici sont les mêmes que celles utilisées pour l'ensemble de l'étude et sont détaillées au chapitre 5.1. Ces dernières ont été complétées par les données disponibles sur Google Earth. Ainsi, 3 photographies aériennes (1954, 1976 et 1982) ainsi que 4 images satellites (202, 2011, 2013, et 2017) ont été analysées et comparées entre elles. La figure suivante (Figure 37) regroupe l'ensemble des ces informations et permet d'établir les éléments suivants :

- en 1954, la mangrove est bien présente dans l'ensemble de la baie et se développe relativement profondément à l'intérieure des terres (cercle blanc sur la Figure 37). Il faut noter la présence de 2 chenaux secondaire de petite dimension dans la partie internet de la mangrove (flèches bleues sur la Figure 37). La route qui traverse la partie nord de la mangrove n'existe pas encore ;

- en 1976, la route qui traverse la partie nord de la mangrove est présente. Toutefois, nous ne disposons pas d'information concernant la date exacte de la construction de cette route. La mangrove est toujours bien présente dans l'ensemble de la baie et ne présente d'évolution significative dans la partie aval de la route. En revanche, en amont de la route, il faut noter la présence des premières zones de mortalité de la mangrove (flèche rouge sur la Figure 37). La mangrove est toujours présente en aval de la route mais la superficie diminue par rapport à 1954 (cercle blanc sur la Figure 37). Les 2 chenaux secondaires (flèches bleues sur la Figure 37) sont moins marqués qu'en 1954 ;

- en 1982 on ne note pas d'évolution particulière par rapport à la situation de 1976. La mangrove est toujours bien développé dans la partie aval de la route, les zones de mortalités (flèche rouge sur la Figure 37) n'évoluent pas de manière significative et il en est de même pour la mangrove qui est toujours présente en amont de la route dont la superficie n'évolue pas de manière significative par rapport à 1976 (cercle blanc sur la Figure 37) ;

- en 2002, la mangrove est toujours bien présente dans l'ensemble de la baie et ne présente d'évolution significative dans la partie aval de la route. En revanche, en amont de la route la mangrove initialement présente est remplacée par une végétation de type terrestre (cercle blanc sur la Figure 37). Il faut noter également la présence d'un chemin d'écoulement qui c'est déplace vers nord (flèche bleue sur la Figure 37) ;

- en 2011, il faut noter au niveau de l'embouchure du chenal de Hnyimek, à la rencontre du lagon de Faiava, la présence d'un herbier/algueraie de faible superficie (flèche verte sur la Figure 37). la mangrove est toujours bien présente dans l'ensemble de la baie et ne présente d'évolution significative dans la partie aval de la route ;

- en 2013, l'élément important à noter et la disparition de la zone d'herbier/algueraie (flèche rouge sur la Figure 37). Cette disparition traduit probablement l'accroissement des dépôts sédimentaires à ce niveau. la mangrove est toujours bien présente dans l'ensemble de la baie et ne présente d'évolution significative dans la partie aval de la route ;

- en 2017, la zone d'herbier/algueraie est toujours absente (flèche rouge sur la Figure 37) et il apparaît que le chenal de Hnyimek s'est comblé légèrement. la mangrove est toujours bien présente dans l'ensemble de la baie et ne présente d'évolution significative dans la partie aval de la route.

DRAFT

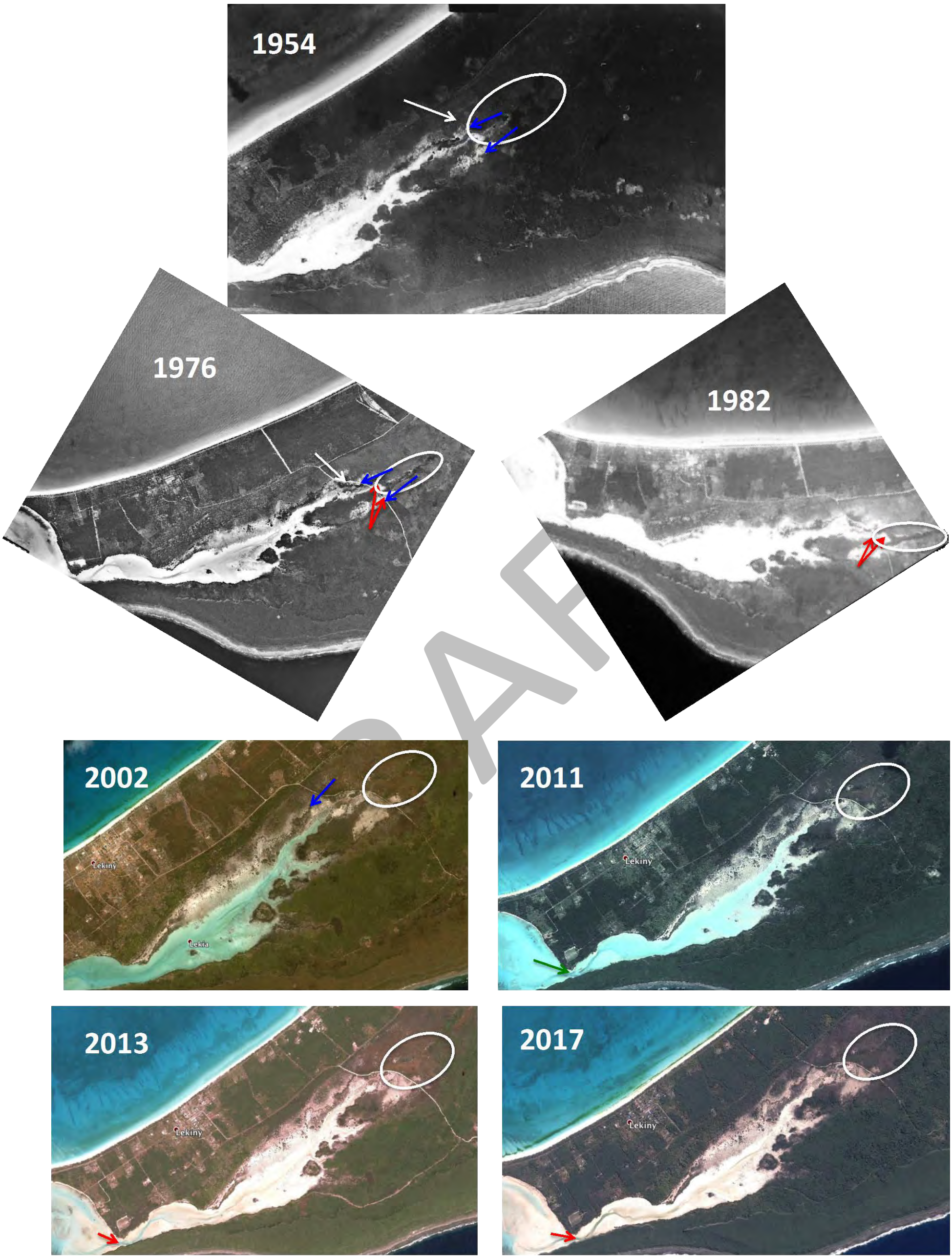


Figure 37 : Illustration de l'étude diachronique de la mangrove de Lekiny entre 1954 et 2017. La signification des figurés est donnée dans le texte du présent rapport (sources : UNC & Google Earth, 2016).

7.2.2.3 Les observation naturalistes de la mangrove de Lekiny

La mangrove de Lekiny est une mangrove relativement riche et diversifiée au regard de sa superficie et du contexte local de son développement. Les principales espèces végétales classiques des formations de mangrove ont été rencontrées, il s'agit :

- *Avicennia marina* (Figure 38 A),
- *Brugieria* cf. *gymnorhiza* (Figure 38 B) ;
- *Excoecaria agallocha* (Figure 38 C) ;
- *Lumnitzera racemosa* et *L. littorea* (Figure 38 D et E),
- *Rhyzophora stylosa* et *R. apiculata* (Figure 38 F et G),
- *Sesuvium portulacastrum* (Figure 38 H).

DRAFT

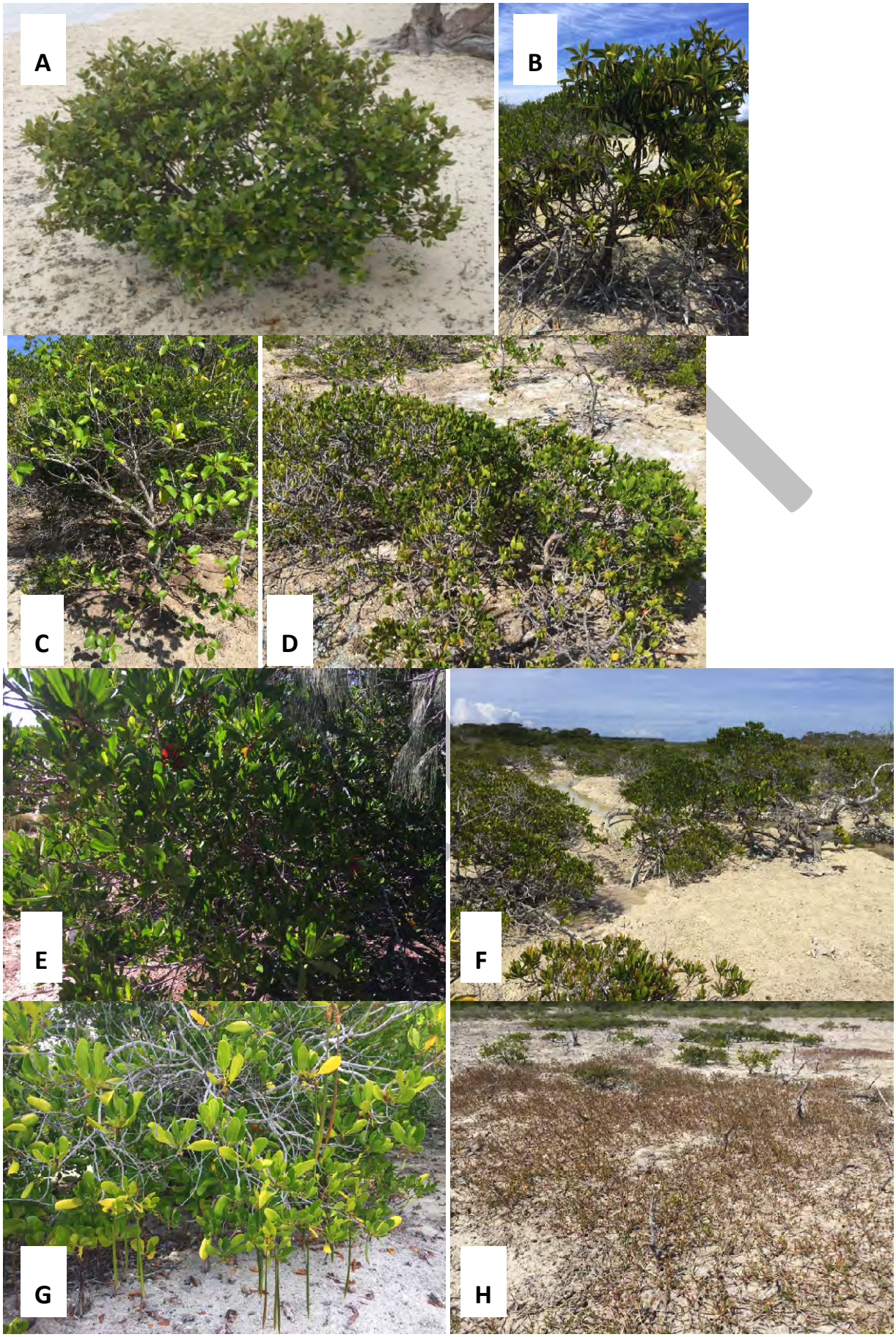


Figure 38 : Illustration des espèces végétales rencontrées au niveau de la mangrove de Lekiny. A : *Avicennia marina* ; B : *Brugieria* cf. *gymnorhiza* ; C : *Exoecaria agallocha* ; D : *Lumnitzera racemosa* ; E : *Lumnitzera littorea* ; F : *Rhyzophora stylosa* ; G : *Rhyzophora apiculata* ; H : *Sesuvium portulacastrum* (source : EMR, 2016).

Les zones de tanne d'arrière mangrove sont classiques des mangroves habituellement rencontrées (Figure 39).

Les observations faites au niveau de la zone située en amont de la route qui traverse la mangrove, et qui était occupée par de la mangrove jusque dans les années 1980, confirment les analyses faites sur les images aériennes et satellites (voir paragraphe Figure 37). En effet, cette zone est entièrement colonisée par une végétation caractéristique de zones humides (Figure 40). Le substrat y est très meuble et saturé en eau comme l'illustre la Figure 41. Il faut notre que seuls quelques individus e *Lumnitzera littorea* (Figure 42) subsistent en lisière de cette zone, traduisant des apportes en eau douce.

Figure 39 : illustration de la zone de tanne d'arrière mangrove de la zone de Lekiny (source : EMR, 2016).

DRAFT

Figure 40 : Végétation caractéristique de zone humide qui a colonisé la partie amont de la route traversant la mangrove (source : EMR, 2016).

Figure 41 : illustration du substrat meuble et saturé en eau, au niveau de la zone située en amont de la route (source : EMR, 2016).

Figure 42 : Présence de spécimen de *Lumnitzera littorea* (à droite que la photo) en lisière de la zone humide (source : EMR, 2016).

La visite de la mangrove a permis de constater des pertes en palétuviers sur des surfaces relativement importantes. Ces zones dégradées sont essentiellement localisées dans le fond de la baie de Lekiny au niveau de la frange intérieure de la mangrove, à proximité de la route (Figure 43). Il faut noter également la présence de plusieurs individus de *Rhyzophora* sp. morts ou moribonds de part et d'autre du chenal central (Figure 43).

DRAFT

Figure 43 : Illustration des zones de palétuviers mortes au niveau de la frange interne de la mangrove et en bordure du chenal central (source : EMR, 2016).

7.3 Analyse interprétative des observations décrites

A l'origine, la mangrove de Lekiny s'est développée dans une baie profonde, étroite et de faible profondeur. Cette baie présente un chenal central (chenal de Hnyimek) permet l'entrée de l'eau marine profondément à l'intérieur de la mangrove de Lekiny. La sortie de la est caractériser par un lagon un lagon interne (lagon de Faiava) qui fait communiquer le grand lagon d'Ouvéa (côte occidentale) au bassin des Loyauté (côte orientale). Cette communication qui s'amorce au niveau du pont de Mouli s'effectue par deux passes, la passe de Lifou, d'une part, qui est orientée vers le sud-est et d'autre part, la passe de la Calédonie, vers le sud-ouest. Ces ouvertures permettaient et permettent toujours des échanges libres, réguliers (chaque cycle de marée) et importants des eaux de la baie avec les eaux du lagon d'Ouvéa et du bassin des Loyauté. A l'opposé, au niveau de la limite terrestre de la mangrove, la progression de cette dernière était limitée d'une part, par l'apport d'eau douce en provenance des terres (ruissèlement, résurgence etc.) et d'autre part, par la topographie de la zone. Cette situation, classique, permettait un équilibre dynamique entre les apports d'eau douce (d'origine terrestre) et les apports d'eau salée (d'origine marine). Cette zone de libres échanges créait également les conditions favorables permettant d'éviter une trop forte sédimentation. L'ensemble des conditions permettait donc un environnement favorable au développement d'une végétation de mangrove qui se distribuait principalement selon un gradient de salinité et d'inondation.

La création de la route de la route (Figure 44) a eu trois conséquences principales :

- la première, de créer une barrière physique aux écoulements et ainsi bloquer les échanges entre eau douce et eau de mer, les apports d'origine terrigène n'irrigant plus la mangrove et inversement pour les apports d'origine marine. Le passage de l'eau n'étant réellement permis, par submersion de la route, que lorsque la zone est soumise à de fortes précipitations conjuguées à des marées hautes. Cette situation a eu pour effet l'accumulation des eaux douces d'origine terrigène en amont de la route. Cette accumulation d'eau douce, couplée à la suppression des apports lagonaires, a entrainé une désalinisation régulière et ainsi créer une zone humide de type « eaux dormantes ». La conséquence en a été la colonisation de la zone initialement occupée par la mangrove, par une végétation terrestre caractéristique ;

- la seconde, de créer des zones de moindre hydrodynamisme (essentiellement en fond de baie) dont l'effet est une augmentation de la sédimentation préférentiellement à ce niveau. Cet accroissement la sédimentation a pour conséquence une hausse du niveau topographique des zones considérées. Cette hausse entraîne une diminution de la fréquence des inondations par le cycle des marées, les parties les plus élevées n'étant inondées que lors de marée de forts coefficients. Ces effets, cumulés à ceux liés à l'arrêt des apports d'eau douce, ont pour conséquences principales, un assèchement des sols, un accroissement important de la salinité des sols (en effet, l'ensoleillement entraîne une évaporation importante à ce niveau et donc une forte hausse de la concentration en sel dans les sols) et une augmentation de la température du sol. Ceci cause la mort des végétaux présents et transforme progressivement la zone en une zone de tannes d'arrière mangrove ;

- la troisième est liée à la seconde. En effet, l'accroissement de la sédimentation qui a débuté en fond de baie, se poursuit progressivement dans le temps vers la sortie de la baie et a pour conséquence le comblement du chenal de Hnyimek. Ces éléments sont corroborés par la disparition de la zone d'herbier/algueraie (voir paragraphe 7.2.2.2) et par les observations de notre interlocuteur sur place (Monsieur Léon TIAOU). En effet, ces derniers nous disent qu'il est maintenant possible de traverser le chenal à pied là où cela n'était pas possible par le passé. Cette sédimentation a également comme conséquence de limiter les apports marins en provenance du lagon de Faiava, par le même processus que celui expliquer précédemment.

DRAFT

Figure 44 : La route coupant les échanges d'eau au nord de la mangrove de Lékiny

Au delà des explications données précédemment, d'autre éléments peuvent également contribuer au dépérissement de la mangrove de Lekiny. Il s'agit :

- d'influences locales : les mouvements de dunes hydrauliques sableuses dans la zone aval de la chenalisation (sans doute liées aux dysfonctionnements érosifs signalés au niveau du Pont de Mouli) qui peuvent contribuer, pour partie au dépérissement des palétuviers en perturbant les circulations dans le chenal parcourant la mangrove ;

- des influences régionales (phénomène El Nino, sécheresse, hausse saisonnière des températures, baisse ponctuelle du niveau moyen des mers) décrites dans de nombreux pays de la zone (exemple de l'Australie, avec des mortalités significatives notées dans les écosystèmes de mangroves (Cyril Marchand, com.pers.) (Figure 45). L'étude des précipitations annuelles entre 1992 et 2016 montre en effet une tendance baissière depuis 2008, mais également un écart négatif de plus en plus important entre le total des précipitations annuelles et la moyenne des précipitations annuelles sur la même période (Figure 46).

DRAFT

La mangrove « meurt de soif »

AUSTRALIE. Des milliers d'hectares de mangroves ont péri, victimes de la soif, dans l'extrême nord, le plus important phénomène du genre de ces dernières années.

Quelque 7 400 hectares de mangroves, ces écosystèmes de marais maritimes, ont péri dans le Golfe de Carpentarie semi-aride, sur une étendue d'un millier de kilomètres, expliquent des chercheurs de l'université australienne James-Cook dans le *Journal of Marine and Freshwater Research*.

Ce dépérissement — qui se traduit soit par la mort des mangroves soit par leur défoliation — a été confirmé par des observations aériennes et des cartographies satellitaires remontant à 1972, combinées à l'analyse d'archives météorologiques.

Norm Duke, spécialiste de cet écosystème au sein de l'université, a expliqué cet événement, le pire épisode de dépérissement de mangroves dû au changement climatique, par trois facteurs.

CRABES, TORTUES ET DUGONGS

« *Depuis 2011, la côte connaît une pluviométrie inférieure à la moyenne et la sécheresse 2015-2016 est particulièrement sévère* », dit-il. « *Deuxièmement, les températures dans la région ont atteint des niveaux records et troisièmement, certaines mangroves se sont retrouvées à secs le niveau de la mer a baissé d'environ 20 centimètres à cause d'un El Niño* [illegible]

Photo AFP/James Cook University

Environ 7 % des mangroves de la planète se trouvent en Australie.

nifestations atmosphériques inhabituelles dans le monde entier, causant à la fois la sécheresse et des inondations. « *En fait, elles sont mortes de soif* », explique le scientifique. Forêts de palétuviers présentes sur près des trois quarts des côtes tropicales [illegible]

filtrant les ruissellements, elles servent de site de reproduction pour les poissons et absorbent de grandes quantités de carbone présent dans l'atmosphère.

Les scientifiques savent que les mangroves, comme les [illegible]

s'est produit fin novembre ou début décembre. Des pêcheurs et des scientifiques qui ne-naient d'autres recherches dans cette région peu peuplée s'en sont aperçus les premiers. Des gardes forestiers ont remarqué que certaines espèces [illegible]

Figure 45 : extraite du journal « Les Nouvelles Calédoniennes » du 20 mars 2017, relatant la mort de milliers d'hectares de mangrove dans le nord de l'Australie.

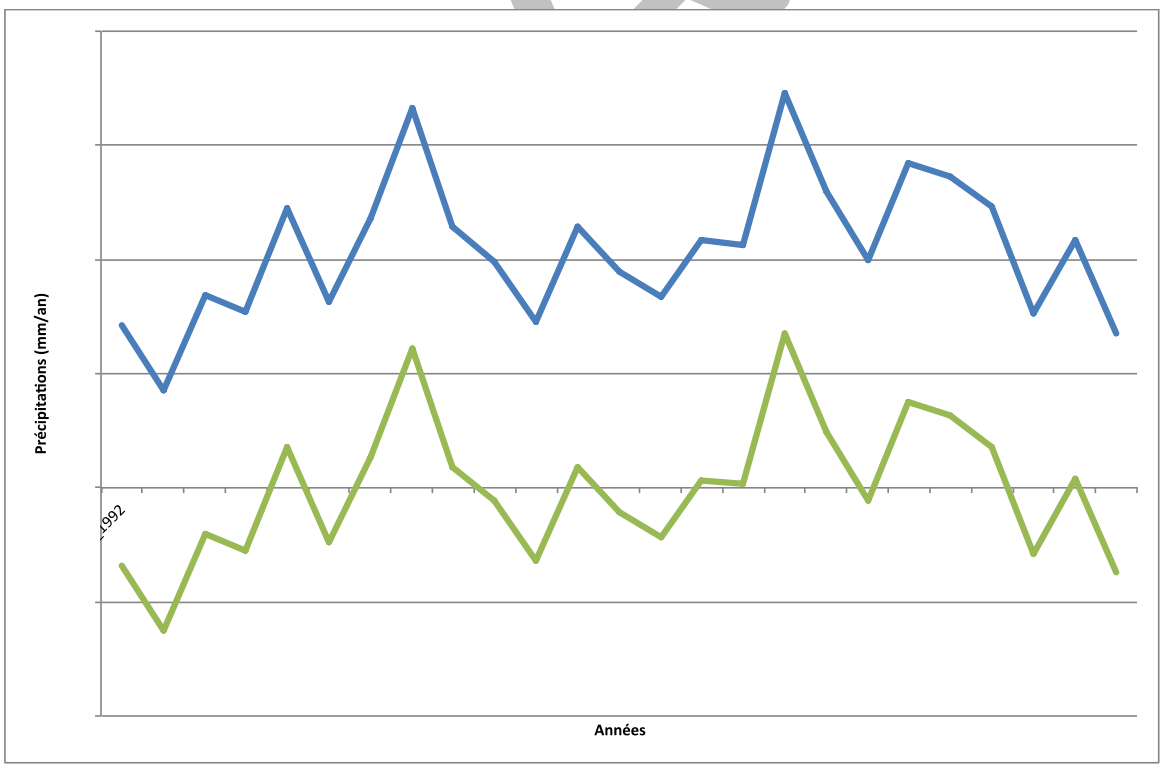


Figure 46 : Evolution des précipitations annuelles à Ouvéa entre 1992 et 2016 (données Météo France). La courbe en bleue présente l'évolution des précipitations annuelles et la courbe le vert présente les écarts des précipitations annuelles par rapport à la moyenne sur la période 1992-2016.

La question posée dans le cadre de cette note était de rendre un avis sur le rôle joué par la route et de fournir des préconisations d'aménagement pour minimiser les pertes en végétaux. La réponse est clairement oui, la présence de la route perturbe les échanges d'eau et joue un rôle négatif sur la bonne santé de l'écosystème. Ce n'est pas la seule cause, mais c'est une cause importante dont les conséquences sont amplifiées par les tendances régionales signalées plus avant.

7.4 Les préconisations.

La solution la plus évidente et recommandée consiste à déplacer la route vers le nord afin qu'elle ne traverse pas la mangrove. Tous les conseils d'aménagement de cet écosystème préconisent l'abstention de ce type de pratique qui bloque les nécessaires échanges d'eau. Donc, si cette route n'est l'objet que d'un trafic ponctuel, il est conseillé de la déplacer. Si ce n'est pas le cas et que le maintien de la route sur son positionnement actuel s'impose pour des raisons coutumières, notamment, alors il faut permettre le rétablissement des échanges d'eaux.

Il est conseillé, dans ce cas, de mettre en place un réseau de buses d'un diamètre de 600 mm minimum au niveau des passages d'eau aujourd'hui bloqués par la présence de la route. Les buses seront calées en altimétrie sur le Z du terrain naturel et en aucun cas, enfouies dans ce dernier. Les buses (un minimum de 3 unités parallèles et distantes de 1m par passage) devront être posées dans l'axe des écoulements naturels bloqués par la route. Ces zones sont celles où se produisent aujourd'hui les passages d'eaux non contrôlés en cas de fortes précipitations conjuguées à des marées hautes. Deux zones ont été identifiées, bien connues des riverains. En effet, ces passages nous ont été indiqués par notre guide Léon TIAOU. On peut visualiser l'un de ces passages (zone cerclée de rouge) à la Figure 47 où l'on observe une chaussée déformée sur la zone d'écoulement incontrôlé. Les coordonnées approximatives (Levés GPS de poche) sont les suivantes dans le système WGS84 : Passage 1, X = 166,506308, Y =- 20,689404 ; Passage 2, X = 166, 508937, Y = -20,689795

Pour ne pas imposer la présence de rampes fortement pentues en regard, de part de d'autre des passages busés, il conviendra de profiler la route avec une pente de 5% pour le remblai à mettre en place pour surélever la route au-dessus des buses. À ce niveau, une couverture de 30 à 50cm est conseillée. Pour le remblai, l'usage de matériaux argileux est proscrit. On utilisera préférentiellement du katcha. En matière de mise en place du remblai, il conviendra de procéder par couches symétriques afin de bien caler les buses, d'arroser copieusement le remblai, de le compacter par couches, si possible en ajoutant du béton maigre pour caler les « reins » des buses.

DRAFT

Figure 47 : L'un des passages de l'eau lors des épisodes de submersion de la route

La Figure 48 est un schéma constructif de ce qu'il convient de faire pour réaliser ces deux zones de passages busés.

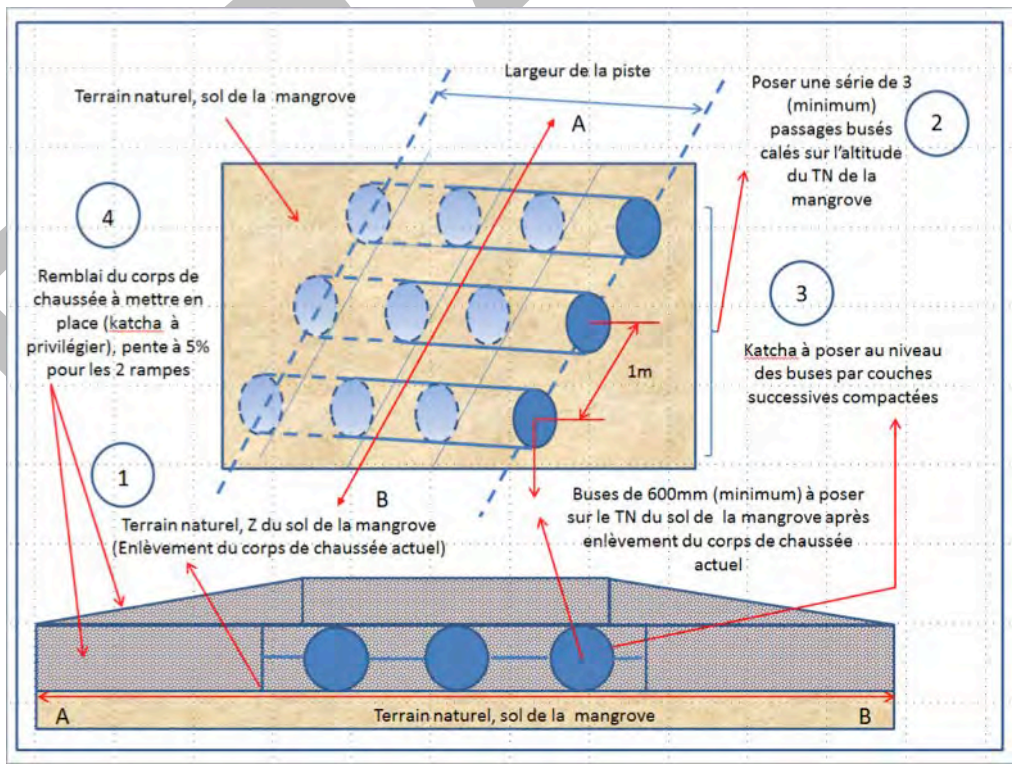


Figure 48 : Croquis pour la pose des passages busés

8 Les berges du chenal à l'approche de la lagune

8.1 Observations naturalistes.

Après nous avoir fait observer la mangrove, nos guides nous ont amenés en bordure du chenal d'alimentation de la mangrove de Lekine, à proximité de son raccordement à la lagune de Faiava, sur la rive opposée aux célèbres falaises de Lekine (Figure 49).

Figure 49 : Microfalaise érosive de la dune bordant le chenal

Il s'agissait, pour eux, de nous montrer un secteur, celui de Kou, sur lequel est enclenchée une érosion de la dune bordant le chenal, dans un secteur où se trouvent construites les dernières habitations de la zone (Figure 50). Les coordonnées de la zone, prises au GPS de poche, sont comprises entre X= 166,487453, Y = -20,701204 et X = 166,487239, Y = -20,701296

DRAFT

Figure 50 : Les dernières habitations de Lekine sur la dune bordant le chenal

En ce lieu, la dune est constituée par une alternance de strates meubles et consolidées. Ces dernières s'effondrent lorsqu'elles sont sous-cavitées par l'affouillement lié à la circulation de l'eau dans le chenal. Elles s'accumulent alors sous forme de dalles (Figure 51) au pied de la microfalaise érosive active.

Figure 51 : Dalles effondrées (strates consolidées) en pied de la microfalaise qui s'est créée dans la dune en bordure du chenal

Le terrain stabilisé qui sépare la microfalaise du chemin menant aux habitations visibles à la Figure 50 est étroit (quelques mètres) ainsi que le montre la Figure 52. Au niveau de la microfalaise, les arbres

morts déchaussés témoignent de l'érosion contre laquelle les habitants s'efforcent de lutter en accumulant les débris végétaux dont ils disposent.

Figure 52 : Arbres déchaussés et accumulation de débris végétaux pour essayer de ralentir l'érosion

La suite de la visite nous a conduits à la berge du chenal, au droit du stade de Lekine et face aux falaises du même nom. La Figure 53 nous montre que là aussi, la dune, moins haute que sur le segment précédent, est érodée. Les racines des arbres sont déchaussées, ce qui indique une déflation significative de la langue sableuse qui borde l'entrée ouest du chenal dans la lagune de Faiava.

Figure 53 : Déflation significative de la langue sableuse qui marque l'entrée ouest du chenal dans la lagune de Faiava.

Les traces de l'érosion (dalles effondrées, microfalaise active, arbres morts) s'observent également sur la figure 41 prise au débouché (côté ouest du chenal) dans la lagune de Faiava.

Figure 54 : Les traces de l'érosion au niveau de l'extrémité sud du cordon de Lékiny à l'entrée dans la lagune de Faiava

Il ressort très nettement de l'observation de la zone de Lekine que nous a fait visiter M. Léon TIAOU une tendance marquée à l'érosion de la dune qui borde la façade occidentale du chenal d'alimentation de la mangrove de Lekine. Cette érosion est active.

8.2 Les préconisations techniques

Le linéaire dunaire affecté par l'érosion en limite occidentale du chenal de Lekine est important (plusieurs centaines de mètres). Pour l'essentiel de ce linéaire, il n'apparaît pas d'intérêt stratégique significatif où l'on pourrait conseiller de mettre en place une défense d'envergure pour essayer de lutter contre les mécanismes en cours d'évolution. Seul, le secteur de Kou décrit par les commentaires accompagnant les figures 51 à 54 peut faire l'objet d'une préconisation différente. L'érosion notée sur ce secteur ne met pas en danger, pour le moment, les habitations en dur de la zone (Figure 55).

DRAFT

Figure 55 : Habitation en dur positionnée en arrière de la case traditionnelle visible sur la figure 37

Elle entraine cependant une perte de terrain devant la case traditionnelle et l'habitation légère qui figure sur la Figure 52. Si la défense de ce terrain est jugée prioritaire par la municipalité et les coutumiers, il est envisageable de mettre en place un cordon d'enrochement du même type que celui préconisé pour Saint-Joseph. Compte tenu du contexte hydrodynamique plus calme du site, la blocomètrie de la sous-couche et de la carapace peut être diminuée, pour passer respectivement à du 20-30 kg pour la sous-couche et du 200-300 kg pour la carapace. La pente 1H/1V doit être conservée après nettoyage et surfaçage de la pente de la microfalaise. Le cordon mis en place ne devra pas chercher la poldérisation de l'espace pour regagner du terrain, mais être aligné sur le dessin moyen en X/Y du haut talus. Le couronnement devra être calé en altimétrie sur le Z du terrain naturel. L'établissement d'un plan d'implantation et d'une coupe précise sont subordonnés à la réalisation d'un levé topographique du site.

DRAFT

9 Littérature

Alongi, D., 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. Environmental Conservation 29 (3), 331-349.

Alongi, D., 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76, 1-13.

Bashan, Y., Holguin, G., 2002. Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. Trees 16:159-166.

Barbier, E., 2006. Natural barriers to natural disasters: replanting mangroves after the tsunami. Front Ecol Environ 4(3): 124–131.

Berger, U., Rivera-Monroy, V., Doylen T., Dahdouh-Guebas, F., Duke, N., Fontalvo-Herazo, M., Hildenbrandt, H., Koedam, N., 2008. Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests: A review. Aquatic Botany 89, 260–274.

Bonvallot, J., Gay, J.-Ch., Habert, E., 2012. Atlas de la Nouvelle-Calédonie. Marseille-Nouméa, IRD-Congrès de la Nouvelle-Calédonie, 272.

Burchmore, J., 2009. Management of the estuarine habitat. Bureau of Resource Sciences Proceedings, 184-187.

Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., Smith, T., Offenberg, J., Dahdouh-Guebas, F., 2008. Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. Aquatic botany 89, 186-200.

Dahdouh-Guebas, F., Jayatissa, L., Di Nitto, D., Bosire, J., Seen, D., Koedam, N., 2005. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? Current Biology 15 (12).

Datta D., Chattopadhyay, R., Guha, P., 2012. Community based mangrove management: A review on status and sustainability, Journal of Environmental Management 107, 84-95.

Duke, N., 1995. Genetic diversity, distributional barriers and rafting continents -more thoughts on the evolution of mangroves. Hydrobiologia 295, 167-181.

Duke N., Meynecke, J., Dittmann, S., Ellison, A., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, C., Field, C., Koedam, N., Lee, S., Marchand, C., Nordhaus, I., Dahdouh_Guebas, F., 2007. A World without mangrove? Science 317, 41-42.

Erwin, 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecol Manage,17:71–84.

Ferreira, A., Ganade, G., Morais Freire, F., Attayde, J., 2012. Propagule predation in a Neotropical mangrove: the role of the Grapsid crab Goniopsis cruentata. Hydrobiologia.

Gaudin, C., 2006. Cadre juridique international et national de protection des mangroves. Etude juridique en ligne #53, FAO.

Gilman, E., Ellison, J., Duke, N., Field, C., 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. Aquatic botany 89, 237-250.

Iltis, J., 1986. Cyclones tropicaux et interventions anthropiques. La question de l'érosion des décharges minières en Nouvelle-Calédonie. Institut français de recherche pour le développement en coopération – ORSTOM 33-44.

Imbert, D., 2002. Impact des ouragans sur la structure et la dynamique forestières dans les mangroves des Antilles. Bois et forêts des tropiques 273 (3), 69-78.

Jourdan, H., Vidal, E., Lhuillier, L., 2012. Les principales pressions et menaces en milieux terrestres. Œil, IRD, IAC, IMDE.

Juncker, M., Lévy-Hartmann, L., Bucco, H., Bouvet, G., 2006. Introduction à l'étude des études et des menaces sur les écosystèmes littoraux de Nouvelle-Calédonie. CRISP, WWF, DTSI.

Kairo, J., Dahdouh-Guebas, F., Bosire, J., Koedam, N., 2001. Restoration and management of mangrove systems — a lesson for and from the East African region. South African Journal of Botany 67: 383–389.

Mangora, M., 2011. Poverty and institutional management stand-off: a restoration and conservation dilemma for mangrove forests of Tanzania. Wetlands Ecol Manage, 19:533–543.

Marchand, C., Fernandez, J., Moreton,B., Landi,L., Lallier-Verges, E., Baltzer F., 2012. The partitioning of transitional metals (Fe, Mn, Ni, Cr) in mangrove sediments downstream of a ferralitised ultramafic watershed (New Caledonia), Chemical geology, 300-301, 70-80.

McKee K., 2011. Biophysical controls on accretion and elevation change in Caribbean mangrove ecosystems. Estuarine, Coastal and Shelf Science 91, 475-483.

Meynecke, J., Lee, S., Duke, N., Warnken, J., 2007. Relationships between estuarine habitats and coastal fisheries in Queensland, Australia. Bulletin of marine science, 80 (3), 773-793.

Milano, G., 1999. Restoration of coastal wetlands in southeastern Florida. Wetland Journal 11(2): 15-24.

DRAFT

Mitsch, W., 2014. When will ecologists learn engineering and engineers learn ecology? Ecological Engineering 65, 9–14.

Moreno-Mateos, D., Power, M., Comin, F., Yockteng, R., 2012. Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems. PLoS Biol 10(1).

Negelkerken, I., Blaber, S., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton L., Meynecke, J., Pawlik, J., Penrose, H., Sasekumar, A., Somerfield, P., 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. Aquatic Botany 89, 155-185.

Polidoro, B., Carpenter, K., Collins L., Duke N., Ellison A., Ellison, J., Farnsworth, E., Fernando, E., Kandasamy, K., Koedam, N., Livingstone, S., Miyagi, T., Moore, G., Nam, V., Ong, J., Primavera, J., Salmo, S., Sanciangco, J., Sukardjo, S., Wang, Y., Hong Yong, J., 2010. The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. PLoS ONE 5(4).

Projet Goro Nickel, 2004. Etude d'impact Tome 3 – Effets environnementaux du Projet Vol.3 – Demande d'autorisation d'exploiter des installations classées.1-23.

Robertson, A., Duke, N., 1990. Recruitment, Growth and Residence Time of Fishes in a Tropical Australian Mangrove System. Estuarine, Coastal and Shelf Science 31,723-743.

Roussel, E., 2001. Les mangroves de l'Outre-Mer Français - Écosystèmes associés aux récifs coralliens. IFRECOR et Conservatoire du Littoral, 145.

Rovai, A., Barufi, J., Pagliosa, P., Scherner, F., Torres, M., Horta, P., Simonassi, J., Cunha Quadros, D., Gallindo Borges, D., Soriano-Sierra, E., 2013. Photosynthetic performance of restored and natural mangroves under different environmental constraints. Environmental Pollution 181, 233.

Smith, T., Duke, N., 1987. Physical determinants of inter-estuary variation in mangrove species richness around the tropical coastline of Australia. Journal of biogeography 14, 9-19.

Smith, N., Wilcox, C., 2009. Fiddler crab burrowing affects growth and production of the white mangrove (Laguncularia racemosa) in a restored Florida coastal marsh. Mar Biol.

Stanley, O., Lewis, R., 2009. Strategies for mangrove rehabilitation in an eroded coastline of selangor, peninsular Malaysia. Journal of Coastal Development, Volume 12, Number 3, June 2009 : 142 – 154.

Stubbs, B., Saenger, P., 2002. The application of forestry principles to the design, execution and evaluation of mangrove restoration project, Bois et Foréts des Tropiques, vol. 56, no. 273, 5-21.

Thinh, N., Huan, N., Uy, P., Tung, N., 2008. Landscape ecological planning based on change analysis: A case study of mangrove restoration in Phu Long - Gia Luan area, Cat Ba Archipelago. VNU Journal of Science, Earth Sciences 24, 133-144.

Thollot, P., Wantiez, L., 1996. Evaluation des impacts du projet GORO NICKEL sur les communautés biologiques marines de la baie Kwé et de la zone portuaire de Prony. Environnement et ressources marines.

Twilley, R., Rivera-Monroy, V.,Chen, R., Botero, L., 1998. Adapting an Ecological Mangrove Model to Simulate Trajectories in Restoration Ecology. Marine Pollution Bulletin Vol. 37, Nos. 8-12, 404-419.

Twilley, R., Rivera-Monroy, V., 2005. Developing Performance Measures of Mangrove Wetlands Using Simulation Models of Hydrology, Nutrient Biogeochemistry, and Community Dynamics. Journal of Coastal Research 40, 79-93.

Virly, S., 2008. L'Atlas des mangroves de Nouvelle-Calédonie. Zoneco.

Walters, B., 2000. Local Mangrove Planting in the Philippines : Are fisherfolk fishpond owners effective restorationists ? Society for Ecological Restoration.

Walters, B., Rönnbäck, P., Kovacs, J., Crona, B., Ainul Hussain, S., Badola, R., Primavera, J., Barbier, E., Dahdouh-Guebas, F., 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. Aquatic Botany 89, 220-236.

DRAFT