

# Évolution historique récente du littoral de la zone urbaine de Nouméa



Rapport de stage de Licence Professionnelle SIG

Valentin JEANNE

Université de la Rochelle

Maîtres de stage :

Myriam VENDE-LECLERC (DIMENC/SGNC)

Manuel GARCIN (BRGM)

## Remerciements

La réalisation de ce stage a été pour moi l'opportunité de mettre à profit mes trois dernières années d'études, le tout à l'autre bout du monde. Quelle chance exceptionnelle de finir son cursus universitaire sur une telle expérience.

Je remercie profondément mes maîtres de stage, Manuel GARCIN avec son œil extérieur, et Myriam VENDE-LECLERC pour leur disponibilité, leur investissement et le suivi de mon travail. Leur présence et leur soutien au quotidien m'ont guidé à travers les différentes étapes de ce stage. Merci aussi à eux d'avoir facilité toutes les démarches ayant permis de m'accueillir, notamment en termes de logement et de transport.

Je souhaite remercier les membres de la DIMENC, et plus particulièrement tout ceux du SGNC qui m'ont accueilli durant ces quelques mois dans un environnement plus qu'idéal, et avec qui j'ai partagé mes journées. Une attention particulière pour Mathieu MENGIN, sa bonne humeur et son sens musical aiguisé, avec qui j'ai partagé le bureau au quotidien, et à Julie JEANPERT de m'avoir prêté son vélo, qui m'a permis de découvrir Nouméa. Ma dernière pensée pour le service va pour Pierrot (Pierre Maurizot), à qui je souhaite de revenir en pleine santé et retourner à la pêche lorsque le temps le permettra.

Merci également à mes colocataires (Fafa, Flora et Marion) de m'avoir fait découvrir la Nouvelle-Calédonie à mon arrivée et pour le partage joyeux de l'appartement.

Pour finir, je remercie du fond du cœur toutes les personnes que j'ai pu rencontrer, Marianne, Sabrina, Emile, Sylvain, Clara, William et les autres avec qui j'ai pu partager des aventures, que ce soit à Nouméa ou sur la Grande Terre. Avec une attention particulière auprès d'Oona et Guillaume qui n'ont eu de cesse de faire les chauffeurs. Merci à ces nouveaux amis que j'espère retrouver rapidement.

## Table des matières

Remerciements .....	1
Introduction.....	5
I. Présentation des organismes d'accueil .....	8
a) Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) .....	8
b) La Direction de l'Industrie, des Mines et de L'Énergie de la Nouvelle Calédonie (DIMENC) .....	9
c) Service de la Géologie de la Nouvelle Calédonie (SGNC) .....	11
d) L'Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie(OBLIC) .....	12
II. Objectifs du stage.....	13
III. Données et méthodes .....	15
a) Données disponibles .....	17
b) Définition des typologies.....	28
c) Structuration de la base SIG .....	34
d) Traitement des données .....	38
IV. Exemple d'analyses de l'évolution du littoral .....	44
a) Évolution de la surface urbaine de Nouméa .....	44
b) Évolution diachronique du trait de côte .....	45
c) Évolution de la nature du trait de côte de Nouméa.....	52
d) Évolution des aménagements et ouvrages côtiers .....	54
e) Évolution de l'occupation du sol .....	56
V. Conclusion .....	63
Bibliographie / Webographie .....	64
Annexes .....	66

## Table des figures

Figure 1 : Localisation de la Nouvelle-Calédonie et de Nouméa.....	5
Figure 2 : Répartition de l'activité du BRGM par domaines (2015).....	9
Figure 3 : Organigramme de la DIMENC.....	10
Figure 4 : Membres du comité utilisateurs de l'OBLIC.....	12
Figure 5 : Schéma organisationnel (Niveau 0).....	13
Figure 6 : Schéma organisationnel de déroulement du stage (Niveau 1).....	15
Figure 7 : Emprises des campagnes de photographies de 1935 et 1943 avec le trait de côte de Nouméa 2016.....	18
Figure 8 : Photo type avant traitement (campagne DITTT_2000_SEFP_NOUMEA_80c.....	19
Figure 9 : Zone d'emprise utilisée pour découper l'image (1971).....	19
Figure 10 : Traitement de découpage des bordures (particularité pour l'année 2000, photos orientées dans deux sens, ce qui explique les deux découpages car les bordures sont plus épaisses d'un côté que de l'autre).....	20
Figure 11 : Rendu d'une photo de la campagne DITTT_2000_SEFP_NOUMEA_80c avant (à gauche) et après découpage (à droite) à l'aide de FME.....	20
Figure 12 : Illustration d'un alignement de photos, type PhotoScan.....	21
Figure 13 : Nuage de points dense (série photos 1976_IGN_PAC_02_80) issu du traitement sous PhotoScan.....	22
Figure 14 : Modèle maillé 3D généré par PhotoScan (série photos 1976_IGN_PAC_02_80).....	22
Figure 15 : Orthomosaïque issue de la série de photos « 1976_IGN_PAC_02_80 », réalisée avec PhotoScan.....	23
Figure 16 : Exemples de points remarquables pour le géoréférencement (1976 à gauche/2016 à droite).....	24
Figure 17 : Évolution de la production de Nickel.....	27
Figure 18 : Frise temporelle récapitulative des dates utilisées (en bleu : traits de côte numérisés, en rouge : dates pour les typologies).....	27
Figure 19 : Coupe schématique des trois compartiments pris en compte dans la typologie du littoral (d'après Garcin et Vendé-Leclerc, rapport OBLIC 2016).....	30
Figure 20 : Organisation de la géodatabase fichier (@ESRI).....	34
Figure 21 : Exemple des domaines mis en place pour le linéaire côtier.....	36
Figure 22 : Typologies et emplacements du trait de côte.....	39
Figure 23 : Exemple de représentation de traits de côte diachrone (secteur de la Pointe Magnin)....	40
Figure 24 : Exemple de trait de côte segmenté selon la typologie définie (Nouvelle) – Orthophotographie 2016 GIE SERAIL.....	41
Figure 25 : Remplissage des attributs d'un segment de côte à l'aide d'une liste déroulante provenant des domaines.....	41
Figure 26 : Numérisation des aménagements côtiers (promenade Pierre Vernier).....	42
Figure 27 : Exemple de restitution de cartographie de l'occupation du sol.....	43
Figure 28 : Évolution de la surface de Nouméa entre 1954 et 2016.....	44
Figure 29 : Illustration de la fermeture des traits de côte.....	45
Figure 30 : Illustration des données en érosion et en accrétion.....	45
Figure 31 : Exemple d'évolution diachronique du littoral entre T0 et T1 (sur la campagne photo de 1985), route des 3 baies.....	46

Figure 32 : Différentes étapes de la construction de transects (Orthophotographie 2016 – GIE SERAIL ; trait de côte 2016 en blanc) .....	47
Figure 33 : Création de transects avec informations de longueur (Orthophoto 2016 – GIE SERAIL), extrémité Sud de la plage de l'Anse Vata.....	48
Figure 34 : Schéma explicatif de la marge d'erreur définie.....	48
Figure 35 : Visuel de l'évolution du littoral de l'Anse Vata (en cm/an).....	50
Figure 36 : Évolution du linéaire côtier de l'Anse Vata .....	51
Figure 37 : Restitution possible avec la couche SIG mise en place (ex : pour la typologie des côtes)..	52
Figure 38 : Exemple de restitution possible pour l'avant-côte .....	53
Figure 39 : Évolution des aménagements côtiers dans la baie de l'Orphelinat .....	55
Figure 40 : Composition de l'occupation du sol côtière Nouméa .....	57
Figure 41 : Restitutions possibles avec les différents niveaux de la couche d'occupation du sol en 1943 ; a) Ensemble (niveau 0) ; b) Type (niveau 1) ; c) Sous-type (niveau 2) ; d) Remblais.....	59
Figure 42 : Restitutions possibles avec les différents niveaux de la couche d'occupation du sol en 2016 ; a) Ensemble (niveau 0) ; b) Type (niveau 1) ; c) Sous-type (niveau 2) ; d) Remblais.....	60
Figure 43 : Évolution du remblai sur la bande côtière de Nouméa.....	61
Figure 44 : Évolution des remblais au niveau de la SLN .....	62

## Table des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des cartographies thématiques complémentaires ainsi que leurs propriétaires .....	16
Tableau 2 : Récapitulatif des images aériennes utilisées dans le cadre du stage .....	17
Tableau 3 : Informations par mosaïque géoréférencée, en fond vert la transformation utilisée, les erreurs QM sont en mètres.....	25
Tableau 4 : Inventaire des environnements existant sur le littoral de Nouméa.....	29
Tableau 5 : Les descripteurs d'avant-côte.....	30
Tableau 6 : Les descripteurs du trait de côte .....	30
Tableau 7 : Les descripteurs d'arrière-côte.....	31
Tableau 8 : Description de la typologie des aménagements côtiers.....	31
Tableau 9 : Typologie de l'occupation du sol (partie 1) .....	32
Tableau 10 : Typologie de l'occupation du sol (partie 2) .....	33
Tableau 11 : Structure de la table attributaire du linéaire côtier .....	35
Tableau 12 : Structure de la table attributaire des aménagements du territoire .....	36
Tableau 13 : Structure de tableau attributaire de l'occupation du sol .....	37
Tableau 14 : Composition de la côte de Nouméa en kilomètres et en pourcentage.....	52
Tableau 15 : Composition de l'avant-côte de Nouméa en kilomètres.....	54
Tableau 16 : Aménagements côtiers par année sur Nouméa .....	54
Tableau 17 : Comparaison OCS naturelle et artificielle.....	56
Tableau 18: Composition de la bande côtière en fonction du type d'environnement (deuxième niveau).....	57

## Introduction

La Nouvelle-Calédonie est un territoire français ultramarin, formée d'un ensemble d'îles et d'archipels situé dans l'océan Pacifique Sud. Nouméa en est la capitale et la principale ville portuaire. Elle est située sur une presqu'île de la côte sud-ouest de la Grande Terre<sup>1</sup> (Figure 1). Son littoral côtier de 160 kilomètres de long, formé de succession de baies, est de nature très variée.



Figure 1 : Localisation de la Nouvelle-Calédonie et de Nouméa

Historiquement, Port-de-France, qui va devenir Nouméa en 1866, a été fondé en 1854 par Tardy de Montravel, comme nouveau poste militaire fortifié. Le choix de son emplacement est due à sa situation littorale, avec une rade profonde et une côte-sous-le-vent<sup>2</sup>, bien abritée des vents dominants.

En 1942, le gouvernement américain décide de transformer la Nouvelle-Calédonie en base relais pour son armée. Nouméa va alors subir une transformation avec la mise en place de nouveaux quartiers, de l'aérodrome de Magenta et le remblaiement des zones de marais et zones humides. La

<sup>1</sup> Île principale de la Nouvelle-Calédonie

<sup>2</sup> Nom utilisé pour qualifier les côtes occidentales des îles qui étaient généralement protégées des vents dominants venant de l'est, les alizés, ici par un massif montagneux

seconde guerre mondiale et la présence de l'armée américaine ont donc entraîné de profondes mutations de la société et de l'économie néo-calédonienne, notamment à Nouméa.

Puis le « Boom du Nickel » a entraîné une croissance économique forte dans les années 1970. De 1970 à 1975, le développement de l'exploitation du Nickel et des secteurs liés, métallurgie, bâtiment, énergie, etc. permet à l'île de s'enrichir, surtout Nouméa, qui bénéficie des retombées économiques grâce à l'usine SLN<sup>3</sup>. Ce « Boom du Nickel » va avoir pour conséquence des mutations dont une forte urbanisation, de par l'attrait qu'il a généré auprès des populations. En effet, on assiste à un déplacement des populations de la « Brousse<sup>4</sup> » et des « îles<sup>5</sup> » vers Nouméa. À cette période, Nouméa connaît un essor grandissant. Cependant, cette presque-île est limitée par l'espace disponible. C'est pour cette raison que les extensions sur la mer, par l'intermédiaire de remblais (miniers ou autres), font leur apparition. Elles sont les seules possibilités d'extension du territoire.

Dans un contexte d'incertitudes concernant l'évolution climatique future et les fragilités qui l'accompagnent, il est important d'évaluer la résilience des systèmes côtiers ; faculté de ces milieux à s'adapter à un phénomène et principalement, la résilience d'un milieu urbain tel que Nouméa, qui a subi au cours du temps des changements notables de son fonctionnement naturel.

Dans le cadre de l'Observatoire du Littoral de Nouvelle Calédonie (OBLIC), le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et le Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie (SGNC) réalisent depuis 2013 une étude portant sur l'évolution récente et future des systèmes côtiers de Nouvelle-Calédonie. Ce travail est réalisé sur plusieurs sites pilotes. Parmi ces sites figure la zone urbaine de Nouméa ; ce stage s'intègre dans ce contexte.

L'étude de l'évolution historique de la zone urbaine de Nouméa et de son linéaire côtier vise :

- en termes scientifique :
  - o à améliorer la connaissance de la dynamique du littoral en lien avec les facteurs de forçage ;
- en termes d'aménagement du territoire :
  - o à mieux appréhender les désordres constatés et l'évolution future plausible des secteurs concernés,
  - o à orienter les choix d'aménagements ;
- en termes de risque :
  - o à appréhender les aléas côtiers (aléas érosion et submersion marine),
  - o à surveiller des évolutions de la côte sur ce territoire où les enjeux sont omniprésents.

Pour répondre à ces attentes, il faut quantifier, mesurer, caractériser et analyser les évolutions du littoral pour avoir le recul temporel nécessaire à l'évaluation des facteurs conduisant à

---

<sup>3</sup> Société Le Nickel : Entreprise minière et métallurgique française de Nouvelle-Calédonie, située à Nouméa

<sup>4</sup> Nom donné aux grands espaces ruraux de Nouvelle-Calédonie, tout ce qui est hors de Nouméa

<sup>5</sup> Nom donné aux îles Loyauté

ces évolutions. Le présent stage vise à fournir des données de références afin de pouvoir répondre à ces attentes.

Pour ce faire, l'étude a été réalisée à partir de photo-interprétation sur des photographies aériennes et orthophotographies. Ces photographies ont été initialement acquises dans le cadre du programme de couverture de la Nouvelle-Calédonie en photographies aériennes et destinées à produire la BD TOPO NC au 1/10 000<sup>ième</sup> et au 1/50 000<sup>ième</sup>. Ce qui permet de disposer de plusieurs campagnes de photographies. Le choix a été fait de n'utiliser que des photographies aériennes et des orthophotographies, et non d'utiliser des cartes plus anciennes pourtant disponibles. En effet la période récente (post 2<sup>ème</sup> Guerre Mondiale) a été soumise à de profondes mutation en termes d'urbanisation et aménagements du territoire alors que la période plus ancienne a connu une évolution plus modérée.

Le premier chapitre sera consacré à la présentation des organismes d'accueil. Le chapitre suivant présentera les objectifs attendus autour de cette étude. Le chapitre 3 présentera quant à lui la méthodologie utilisée tout au long du stage, qui permettra de donner ensuite des exemples de traitements et d'analyses autour de l'évolution de la zone littorale urbaine de Nouméa (chapitre 4). Enfin, les derniers chapitres permettront de revenir sur les résultats obtenus et les perspectives que laisse entrevoir cette étude.

## I. Présentation des organismes d'accueil

Le présent stage est effectué sous la tutelle de deux organismes, à savoir le Bureau de Recherches Géologiques et Minières et le Service de la Géologie (SGNC) de la Direction de l'Industrie, des Mines et de L'Énergie de la Nouvelle Calédonie (DIMENC) ; ce qui a permis un double encadrement tant pour les aspects géomatique que les aspects littoraux.

### *a) Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)*

Créé en 1959, le BRGM est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol. C'est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC). Il est le service géologique national français.

Le BRGM emploie plus de 1 000 personnes, dont plus de 700 chercheurs et ingénieurs dans ses 29 implantations en France métropolitaine et en Outre-mer. Ses activités sont destinées à répondre aux différents enjeux industriels et sociétaux. Son centre technique et scientifique est situé à Orléans.

Ces principaux objectifs sont de :

- Comprendre les phénomènes géologiques et les risques associés.
- Développer des méthodologies et des techniques nouvelles.
- Produire et diffuser des données pour la gestion du sol et du sous-sol.
- Mettre à disposition les outils nécessaires à la gestion du sol, du sous-sol et des ressources, à la prévention des risques et des pollutions, aux politiques de réponse au changement climatiques

Pour réaliser cela, les actions du BRGM s'articulent autour de 5 missions :

- La **recherche scientifique**, qui a pour enjeu de répondre aux défis des changements globaux.
- L'**appui aux politiques publiques**.
- La **coopération internationale**, Le BRGM intervient à l'international pour la protection durable des populations et des ressources (plus de 200 projets chaque année dans 35 pays).
- La **sécurité minière** avec la surveillance et les actions de prévention des pollutions et des risques des anciens sites miniers.
- La **formation**, avec un rôle de soutien à l'enseignement supérieur dans le domaine des géosciences (BRGM Campus).

Ses opérations s'organisent dans les grands domaines des géosciences (Figure 2).



Figure 2 : Répartition de l'activité du BRGM par domaines (2015)

Le stage a été réalisé à l'antenne calédonienne de la Direction des Actions Territoriales (DAT/NC) et a été encadré par l'Unité Risques Côtiers et Changement Climatique de la Direction des Risques et de la Prévention (R3C/DRP).

### *b) La Direction de l'Industrie, des Mines et de L'Énergie de la Nouvelle Calédonie (DIMENC)*

La DIMENC est l'organisme d'accueil physique.

La DIMENC contribue au développement industriel durable de la Nouvelle-Calédonie. Cette direction est située à Nouméa.

Créé en 1873 lors du développement de l'activité minière, elle portait à la base le nom de service des mines, au fur et à mesure elle a élargi ses compétences pour devenir aujourd'hui la DIMENC. Elle se concentre à présent sur des actions de prospective en matières énergétique et minière, dans le contrôle et l'encadrement réglementaire des activités industrielles susceptibles de porter atteinte à l'environnement, ainsi que dans la connaissance de son sous-sol. Ses missions sont menées pour le compte des différentes collectivités et pour le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie.

La direction est organisée en 6 services (Figure 3) qui traitent des thématiques suivantes :

- Énergie : veille à diminuer la dépendance de la Nouvelle-Calédonie et à la maîtrise des consommations d'énergie (hydrocarbures, lignes électriques etc.).

- Mines et métallurgie : participe à la valorisation de la ressource minérale en garantissant une insertion harmonieuse de l'activité dans son environnement, dans une perspective de développement durable (gestion du cadastre minier, police des mines, contrôle des exportations, etc.).
- Industrie : contrôle les activités industrielles susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement, la santé et la sécurité des personnes (ICPE, contrôle des équipements sous pression, métrologie légale etc.).
- Géologie : accompagner les politiques d'aménagement du territoire par une meilleure connaissance de la géologie terrestre et marine de la Nouvelle-Calédonie dans une perspective de développement durable.

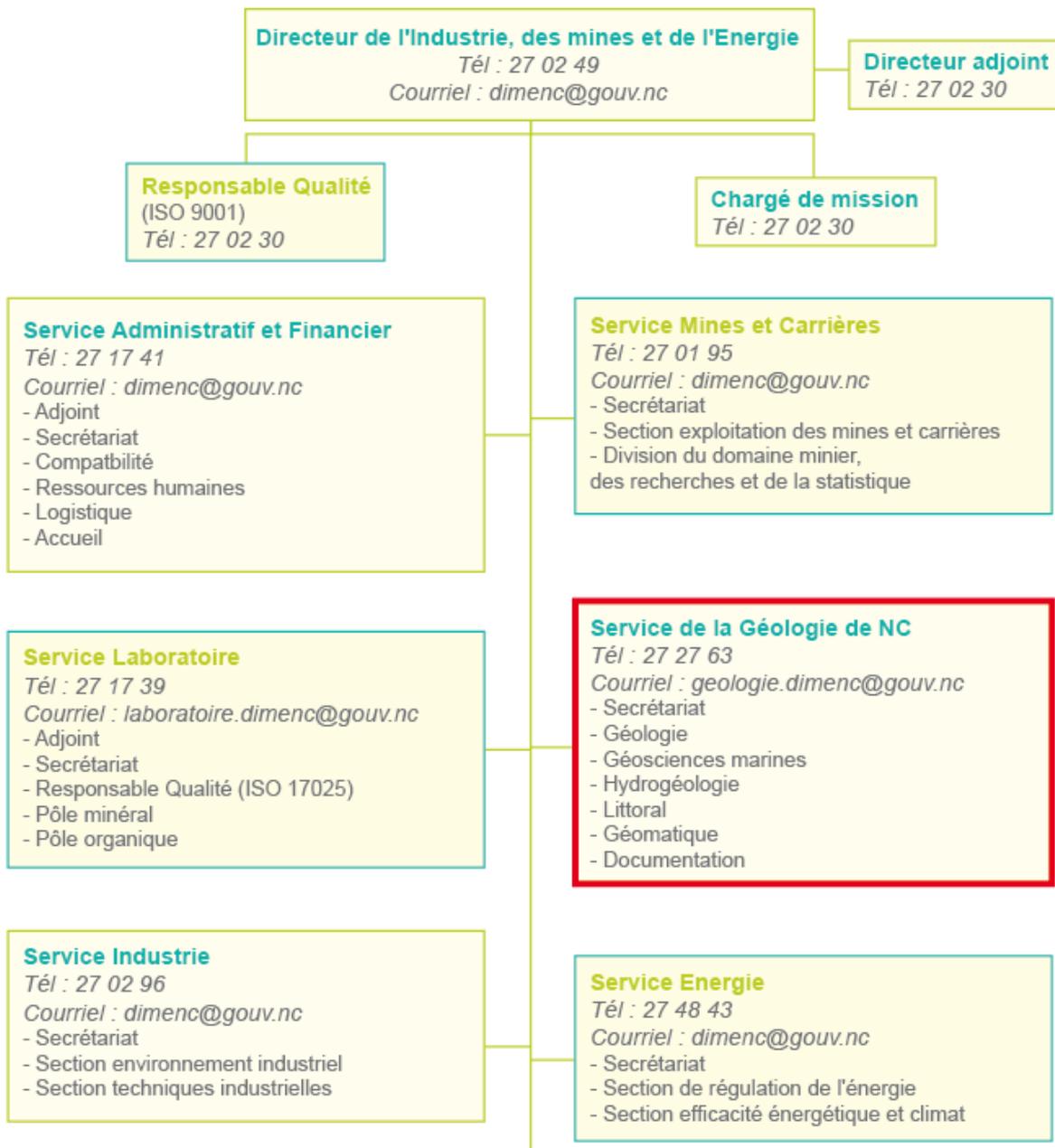


Figure 3 : Organigramme de la DIMENC

### *c) Service de la Géologie de la Nouvelle Calédonie (SGNC)*

Le stage effectué au cours des derniers mois c'est effectué au sein du SGNC.

Le SGNC compte 12 agents dont 1 chef de service, 1 géomaticienne, 1 hydrogéologue, 6 géologues (dont un en accueil du BRGM) et 3 géologues/géophysiciens marins (dont deux en accueil, 1 de l'IFREMER<sup>6</sup> et 1 de l'ADECAL<sup>7</sup>).

Ce service, créé en 2006, est en charge d'acquérir, de thésauriser, de synthétiser et de mettre à disposition les données d'infrastructures géologiques, dans la zone terrestre et maritime, afin d'orienter les politiques publiques en s'appuyant sur des bases scientifiques et techniques.

Il couvre plusieurs domaines thématiques :

- La géologie (cartographie)
- Les ressources minérales (nickel, cobalt, hydrocarbures)
- Les ressources en eau (inventaire de la ressource en eau souterraine et amélioration de sa connaissance)
- Les géosciences marines (tectonique et sédimentologie du Sud-Ouest Pacifique, potentiel pétrolier de la Zone Economique Exclusive (ZEE))
- Les risques naturels (amiante environnemental, mouvements de terrain, aléas côtiers)
- Les systèmes d'information (géomatique, documentation)

Les domaines d'application du SGNC s'impliquent dans différentes missions :

- Fournir un appui aux politiques publiques sur des bases scientifiques reconnues.
- Contribuer, à la recherche scientifique appliquée en géosciences à l'échelle régionale.
- Répondre à des demandes d'expertise dans les géosciences.
- Participer à l'effort de formation du territoire, par l'encadrement de stagiaires, l'intervention dans la filière géosciences de l'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC), la vulgarisation des géosciences pour le grand public.
- Diffuser les données géosciences par des sites internet dédiés.

Pour mener à bien ces missions, le service collabore avec les différents organismes de recherche présents sur le territoire, notamment le BRGM, l'IRD<sup>8</sup>, l'UNC, l'IFREMER ainsi que les services géologiques et universités en Australie et en Nouvelle-Zélande.

---

<sup>6</sup> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

<sup>7</sup> Agence de Développement Economique de la Nouvelle-Calédonie

<sup>8</sup> Institut de Recherche pour le Développement

#### d) L'Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie(OBLIC)

Ce stage a été réalisé dans le cadre de l'OBLIC. Né en 2013 d'une volonté d'améliorer la connaissance de l'évolution côtière, cet observatoire se positionne comme un outil d'aide à la décision et à la gestion du littoral.

L'OBLIC a pour principaux objectifs de :

- centraliser et mettre à disposition à travers un **espace de partage et de diffusion**, (explorateur cartographique OBLIC disponible sur le portail d'information géographique de la Nouvelle-Calédonie : [www.georep.nc](http://www.georep.nc)) les données publiques acquises par les administrations, les collectivités locales et les organismes de recherche dans le cadre de leur travaux de recherche ou leurs études techniques ;
- réunir les acteurs locaux afin de favoriser les échanges, le dialogue, la coordination et la mutualisation des actions au sein d'un **réseau appelé « comité utilisateurs OBLIC »**.

Le comité utilisateur de l'OBLIC réunit les représentants des collectivités publiques et des organismes de recherche travaillant sur le littoral (Figure 4).



Figure 4 : Membres du comité utilisateurs de l'OBLIC

Cette réunion d'acteurs permet de définir les attentes des partenaires et de ce fait, de déterminer les orientations, le cadre et le contenu de l'OBLIC. De plus, cela facilite la mise en place de projet commun et la mutualisation des compétences, moyens et ressources en mettant en place une synergie entre les projets et en coordonnant les actions à mener.

## II. Objectifs du stage

L'objectif général de ce stage est d'effectuer la caractérisation de l'évolution temporelle du littoral de Nouméa et de son artificialisation au cours des 8 dernières décennies, tant sur le linéaire côtier, que pour l'occupation du sol ou les aménagements/ouvrages côtiers. Les données produites seront d'éventuelles bases pour des études à venir concernant notamment les aléas côtiers ou les projets d'aménagements côtiers de la ville de Nouméa. La présente étude a pour intérêt de fournir des données de références, à la province Sud et à la ville de Nouméa, tous les 2 gestionnaires de la zone littorale de la commune de Nouméa, ainsi que le gouvernement en ce qui concerne les risques.

Pour y parvenir, il a fallu procéder à l'interprétation de photographies aériennes anciennes et d'orthophotographies aériennes récentes (moins de 20 ans). Plusieurs études avaient déjà été menées, dans le cadre de l'OBLIC (Rapports OBLIC 2013, 2014, 2015 et 2016), sur l'évolution des littoraux de plusieurs sites côtiers répartis sur les trois provinces, mais jamais sur la ville de Nouméa voire même sur un territoire situé en zone urbaine. Elle représente pourtant un fort intérêt notamment avec des spécificités comme l'évolution des zones de remblais gagnées sur la mer, celle des zones de mangroves, sans compter les modifications des littoraux en lien avec les aménagements et constructions anthropiques.

Cette étude s'organise en quatre étapes (Figure 5), qui seront détaillées dans le chapitre 3 (Méthode générale). La première, purement technique, concerne la mise en forme et la préparation des données, la seconde va poser une réflexion afin de caractériser et définir les différents types de côtes, d'occupation du sol et d'aménagements côtiers présents à Nouméa. La mise en commun des deux étapes précédentes va permettre de créer des cartographies. Ces dernières vont quant à elles permettre d'arriver à des interprétations et à une caractérisation de l'évolution du littoral de Nouméa. Les résultats attendus sont notamment une évolution du trait de côte sur 80 ans, mais également une évolution de la typologie côtière, des aménagements côtiers et de l'occupation du sol côtière entre trois dates clés. À partir de ces produits finaux, il sera possible d'extraire d'autres résultats, tel que par exemple, un pourcentage d'artificialisation de la zone côtière de Nouméa, des vitesses d'évolution des zones de plage, ou les gains de territoire sur remblais à Nouméa.

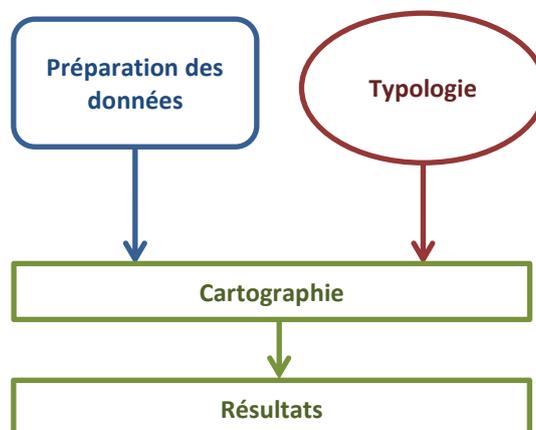


Figure 5 : Schéma organisationnel (Niveau 0)

Les attentes autour de ce stage sont les suivantes :

- inventier, collecter et géoréférencer des photos-aériennes et satellitaires disponibles / existantes ;
- proposer une typologie de l'occupation du sol et des aménagements côtiers de la ville de Nouméa ;
- réaliser la cartographie des évolutions temporelles du littoral, de l'occupation du sol et des aménagements côtiers puis évaluer les dynamiques, vitesses et tendances d'évolution au cours du temps ;
- structurer les données dans un SIG ;
- valoriser les données SIG : édition de statistiques, de graphiques et mise à disposition des données sous la forme d'un service web sur l'exportateur cartographique OBLIC ;
- participer aux missions de reconnaissance/validation terrain sur la commune de Nouméa.

### III. Données et méthodes

Afin de répondre aux objectifs précédemment cités, le déroulement du stage a été découpé en trois phases, elles-mêmes partitionnées en tâches (Figure 6). Cette figure présente également l'état des moyens et des méthodes qui ont été mis en œuvre pendant le stage.

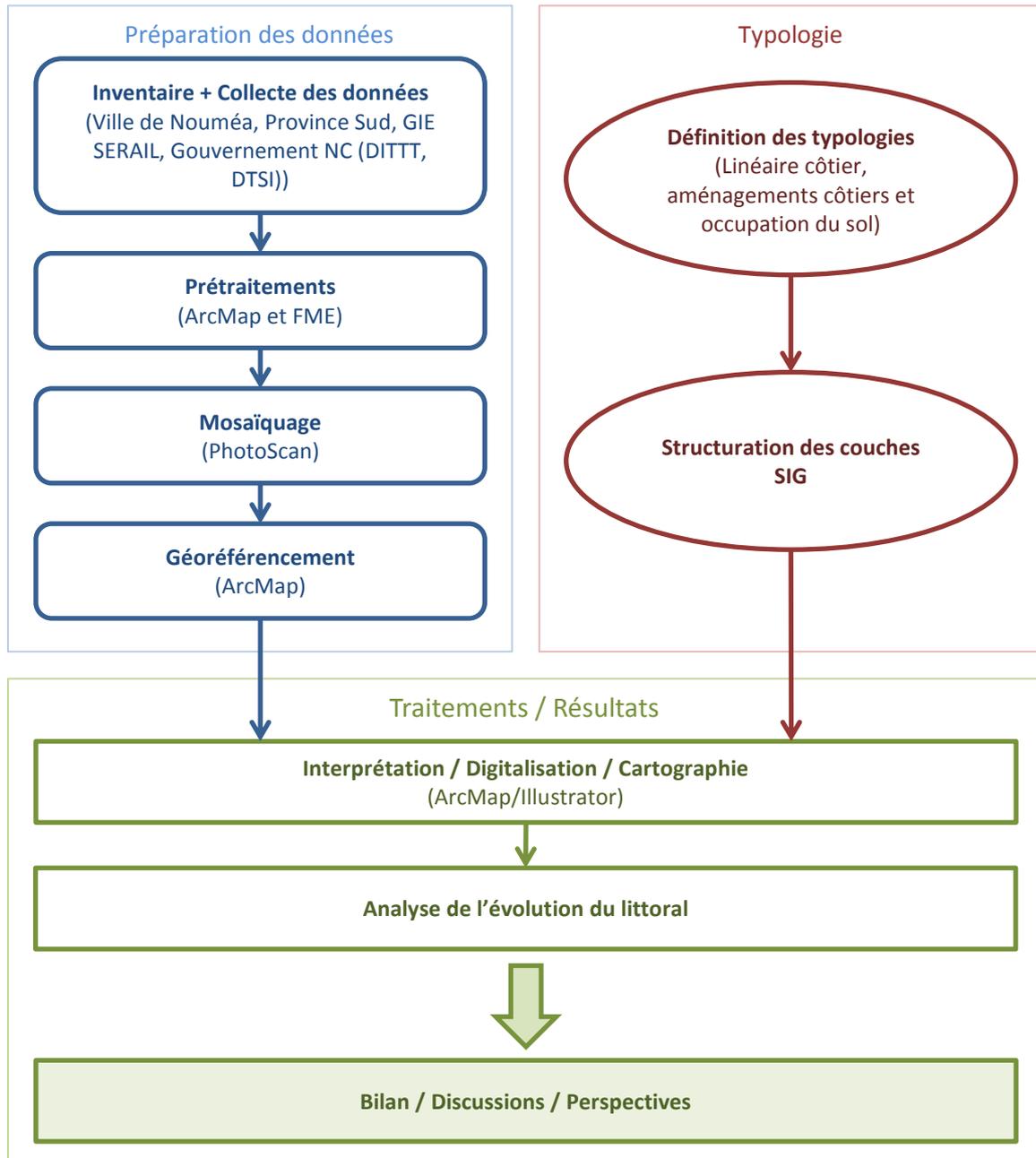


Figure 6 : Schéma organisationnel de déroulement du stage (Niveau 1)

La première étape a été d'effectuer un inventaire des données disponibles, c'est-à-dire les photographies aériennes, puis de les récupérer auprès des organismes compétents du gouvernement, de la ville de Nouméa, du GIESERAIL et des organismes publics et de recherche

(SHOM<sup>9</sup> et IFREMER). Une fois la récolte des données terminée, il a été nécessaire d'effectuer des traitements spécifiques (découpages des photographies, mosaïquage) afin de faciliter le géoréférencement des photos.

Dans un second temps, des typologies ont été définies dans le but de caractériser le littoral. Ces dernières ont été structurées dans des couches d'informations SIG avec les champs correspondants. La typologie du littoral de Nouméa consiste à identifier, caractériser puis classer les différents types de littoraux, aménagements et occupations du sol présents sur le territoire. Une fois cette typologie réalisée, il est alors possible de cartographier l'ensemble des côtes de Nouméa selon cette nomenclature.

La combinaison de ces deux étapes va permettre par interprétation de digitaliser le trait de côte en fonction des typologies préalablement définies. Les cartographies issues de cette interprétation permettront d'analyser et de caractériser l'évolution du littoral de Nouméa ainsi que son anthropisation sur les 8 dernières décennies.

Les différentes étapes décrites succinctement ici seront détaillées par la suite dans les sous-catégories du chapitre 3. Pour les réaliser, les logiciels de la suite ArcGIS Desktop (10.2.2) : ArcView, ArcEditor et ArcInfo (@ ESRI), Photoscan (@ Agisoft LLC), FME (@ SAFE Software), Adobe Illustrator (@Adobe Systems), ainsi que les logiciels de bureautiques standards ont été utilisés.

Outre les photos aériennes, des cartographies thématiques complémentaires ont été récoltées (Tableau 1) auprès de différents organismes (mairie de Nouméa, DITTT, IRD, DTSI, Province Sud etc.).

**Tableau 1 : Récapitulatif des cartographies thématiques complémentaires ainsi que leurs propriétaires**

Appellation	Type (raster/vecteur)	Propriétaire
<b>BD Topo 50 000 et 10 000</b>	Raster	Gouvernement NC/DITTT
<b>BD Topo 10 000</b>	Vecteur	Gouvernement NC/DITTT
<b>MNT 2 mètres</b>	Raster	GIE SERAIL
<b>MNT 10 mètres</b>	Raster	Gouvernement NC/DTSI
<b>Fond de plan NC</b>	Vecteur	GIE SERAIL
<b>Typologie côte NC</b>	Vecteur	Gouvernement NC/OBLIC/SGNC
<b>Typologie littoral</b>	Vecteur	Littoralys
<b>Occupation du sol 2008 et 2014</b>	Vecteur	Gouvernement NC/DTSI-OEIL
<b>Mangrove</b>	Vecteur	Programme ZoNeco
<b>Mangrove</b>	Vecteur	Gouvernement NC/DITTT
<b>Récif</b>	Vecteur	IRD/IFRECOR
<b>Récif</b>	Vecteur	SHOM
<b>Récif</b>	Vecteur	Gouvernement NC/DITTT
<b>Remblais</b>	Vecteur	Ville de Nouméa
<b>Milieux naturels</b>	Vecteur	Province Sud/DENV
<b>Cadastre</b>	Vecteur	Gouvernement NC/DITTT

Les métadonnées de ces diverses couches d'informations ont été consultées sur le catalogue du gouvernement : <http://georep.nc/>

<sup>9</sup> Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

## a) Données disponibles

**Inventaire et collecte**

L'inventaire et le recueil des images aériennes ont été réalisés avec la contribution de plusieurs organismes gestionnaires et producteurs de données. Ces derniers ont permis l'accès et la mise à disposition de leurs données. Il s'agit de la Ville de Nouméa, du Gouvernement de Nouvelle-Calédonie (DITTT<sup>10</sup>, DTSI<sup>11</sup>) du GIE SERAIL<sup>12</sup>, du SHOM et de l'IFREMER). La majorité des photographies anciennes est disponible sur la plateforme de téléchargement du géorépertoire de Nouvelle-Calédonie (<http://georep.nc/>), une partie des images est également disponibles dans la rubrique « remonter le temps » de l'IGN. Les orthophotographies provenant du GIE SERAIL nous ont été transmises directement par la DITTT. En effet, les photographies récentes utilisées pour les orthophotographies étaient disponibles en ligne, cependant leurs qualités étant volontairement dégradées pour autoriser la diffusion, les clichés haute résolution ont été récupérés directement auprès de ces organismes.

Le récapitulatif et les caractéristiques de l'ensemble des images collectées sont visibles dans le Tableau 2. Cet inventaire permet de donner un aperçu des années de prises de vue disponibles, ainsi qu'une idée de l'écart de temps entre chacune d'elles.

Tableau 2 : Récapitulatif des images aériennes utilisées dans le cadre du stage

Année (s)	Mission	Matricule des images à utiliser / importer de l'explorateur	Propriétaire / Gestionnaire	Résolution	Lieu de récolte
1935	Photos IFREMER	Déjà mosaïqués et géoréférencés	SHOM, IFREMER, Photothèque nationale, Ville de Nouméa, Gouvernement NC	0,25 m	Mairie
1943	1943_US_2036_300	V124 à V130	U.S NAVY / Gouvernement NC	1 m	Explorateur-carto
1950	Photos IFREMER	Déjà mosaïqués et géoréférencés	SHOM, IFREMER, Photothèque nationale, Ville de Nouméa, Gouvernement NC	0,85 m	Ville de Nouméa
1954	1954_IGN_PAC_14_400	1 à 10, 55 à 63	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1954	1954_Noumea_100	1 à 177	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1971	1971_IGN_PAC_02_80	1 à 95, 185 à 213	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1971	1971_IGN_PAC_02_200	1 à 6, 12 à 29	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1976	1976_IGN_PAC_48_80c	1 à 35, 71 à 127, 210 à 245, 288-289	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1976	1976_IGN_PAC_37_200c	1 à 8, 128 à 136, 274 à 279, 1521 et 1522	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1982	1982_IGN_PAC_64_400	12 à 15, 208 à 212	I.G.N	1 m	Explorateur-carto

<sup>10</sup> Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres

<sup>11</sup> Direction des Technologies et des Services de l'Information

<sup>12</sup> Groupement d'Intérêt Économique dont la mission est de centraliser pour mettre à disposition toutes les informations topographiques du Grand Nouméa

1982	1982_IGN_PAC_68_200	43 à 49, 67	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1985	1985_IGN_PAC_106_80c	1 à 136, 143 à 145, 150 à 156, 166 à 174	I.G.N	1 m	Explorateur-carto
1995	1995_GEOBANK_NOUMEA_25c	Orthophotographie fournie	GIE SERAIL	0,2 m	DITTT
2000	2000_SEFP_NOUMEA_25c	Toutes les photos	GIE SERAIL	1 m	Explorateur-carto
2000	2000_SEFP_NOUMEA_80c	Toutes les photos	GIE SERAIL	1 m	Explorateur-carto
2003	2003_SEFP_NOUMEA_80c	Orthophotographie fournie	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT
2007	2007_AAMATCH_NOUMEA_80c	Orthophotographie fournie	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT
2011-12	2011-2012_AAM_SERAIL_150c	Toutes les dalles fournies (géoréférencées)	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT
2012-13	2012-2013_AAM_SERAIL_150c	Orthophotographie fournie	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT
2013-14	2013-2014_AAM_SERAIL_150c	Orthophotographie fournie	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT
2014-15	2014-2015_AAM_SERAIL_150c	Orthophotographie fournie	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT
24-09-2016	x	Toutes les dalles fournies (géoréférencées)	GIE SERAIL	0,5 m	DITTT

Il est important de noter que certaines campagnes de photographies aériennes ne couvrent pas l'intégralité de la commune de Nouméa. C'est le cas par exemple pour la campagne de 1935 pour laquelle uniquement les secteurs Ouest et Sud de Nouméa ont été levés. Pour la campagne de 1943 le Sud n'a pas été levé ainsi que pour celle de 1950 dans laquelle seule une petite partie de l'Ouest de la ville est représentée. Les emprises des campagnes de photographies de 1935 et 1943 (utilisées par la suite, détails dans la sélection des données du chapitre 3) sont représentées sur la Figure 7 : Emprises des campagnes de photographies de 1935 et 1943 avec le trait de côte de Nouméa 2016.

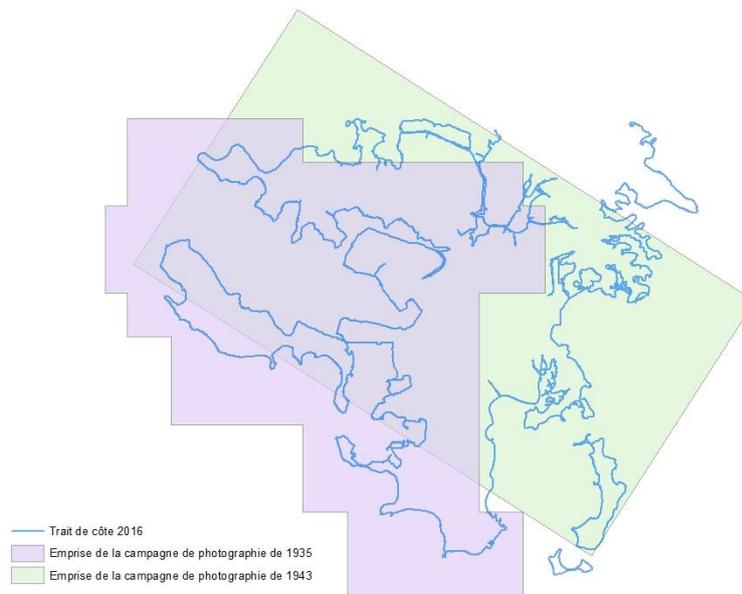


Figure 7 : Emprises des campagnes de photographies de 1935 et 1943 avec le trait de côte de Nouméa 2016

Les photographies aériennes antérieures à 1995 (et celles de 2000) ont été livrées sans géoréférencement, c'est pourquoi il a fallu procéder au calage de ces. Il s'agit de celles de 1943, 1954, 1971, 1976, 1982, 1985 et 2000. Pour les orthophotographies post 1995, il n'est pas nécessaire de les géoréférencer, puisqu'elles ont déjà été orthorectifiées<sup>13</sup> et géoréférencées par le gouvernement.

La limite de ce travail réside dans le fait que notre jeu complet de données est composé d'un côté d'orthophotographies et d'un autre côté de photographies géoréférencées manuellement. Ce qui entraîne des différences de qualité, de résolution et de calage (déformation non appliquée au pixel). Mais ces sources de données que nous possédons sont les seules existantes, et afin de parvenir à étudier le littoral de Nouméa sur les dernières décennies par photo-interprétation, cette démarche est la seule option réalisable. Procéder à l'orthorectification des clichés anciens n'est pas envisageable car toutes les informations de prises de vue lors des campagnes de photographies ne sont pas disponibles.

Pour les orthophotographies découpées en dalles, une mosaïque a été générée afin d'harmoniser les couleurs et faciliter le travail de digitalisation.

### **Prétraitements**

La première tâche a consisté à supprimer le cadre sur lequel figure les informations de prises de vue de chaque photographie (Figure 7). Ce dernier n'étant ni esthétique, ni fonctionnel, que ce soit pour le mosaïquage comme pour l'interprétation et la cartographie.

Les photographies étant nombreuses, le logiciel FME (@SAFE Software) a été utilisé pour le découpage. Cet ETL<sup>14</sup>, permet d'effectuer des chaînes de traitements et d'automatiser des tâches.

Pour commencer, à l'aide du logiciel ArcGIS desktop (© ESRI), il a fallu créer une zone d'emprise excluant la bordure (Figure 9). Cette zone d'emprise est centrée sur les coordonnées 0, 0 (étant donné que les photographies ne sont pas géoréférencées). De plus, la zone d'emprise est espacée des bordures du fait que les photographies ne sont pas parfaitement d'emprise équivalente du fait de la numérisation (le recouvrement entre ces dernières étant suffisant, cela ne pose pas de problème). Cette manipulation a été effectuée pour chaque série de photos.



Figure 8 : Photo type avant traitement (campagne DITT\_2000\_SEFP\_NOUMEA\_80c)

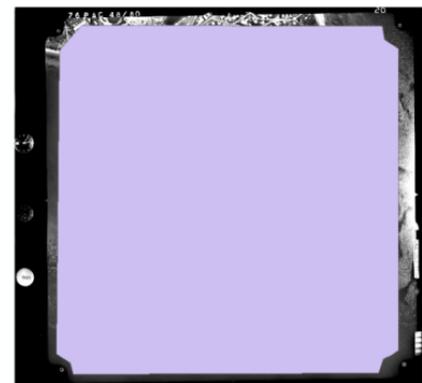


Figure 9 : Zone d'emprise utilisée pour découper l'image (1971)

<sup>13</sup> Orthorectification : Ensemble de procédés et de traitements mis en œuvre pour corriger les déformations géométriques liées aux conditions de prises de vue, à la rotondité de la Terre et au relief du terrain

<sup>14</sup> Extract Transform Load : technologie informatique permettant d'effectuer des synchronisations massives d'information d'une source de données à une autre

Une fois la zone d'emprise créée, il a suffi de la placer en donnée d'entrée, en compagnie de la série de photos désirée dans l'espace de travail FME. Il a ensuite fallu relier ces deux entités à un transformateur<sup>15</sup> (Clipper) en prenant soin de découper les images selon la zone d'emprise et non l'inverse (Figure 10). La dernière étape a consisté à créer des données en sortie. Une attention toute particulière a été apportée afin de ne pas perdre les informations du matricule de chaque photographie (permettant de les situer sur le plan de vol). Pour cela, il a été nécessaire d'attribuer (aux photographies) les mêmes noms en sortie que ceux en entrée.

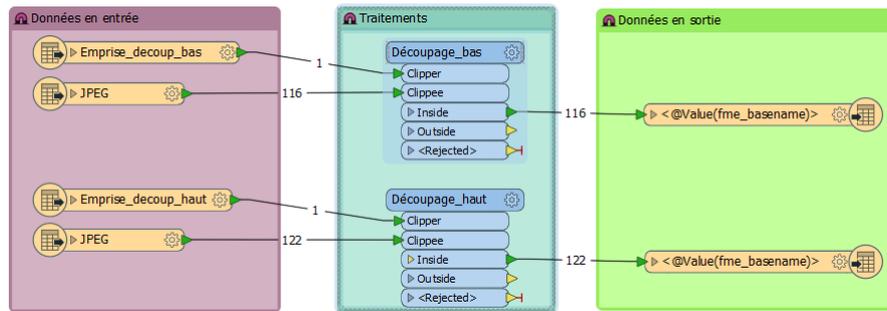


Figure 10 : Traitement de découpage des bordures (particularité pour l'année 2000, photos orientées dans deux sens, ce qui explique les deux découpages car les bordures sont plus épaisses d'un côté que de l'autre)

Le résultat de ces manipulations va permettre d'améliorer la lisibilité des photographies (Figure 11).



Figure 11 : Rendu d'une photo de la campagne DITTT\_2000\_SEFP\_NOUMEA\_80c avant (à gauche) et après découpage (à droite) à l'aide de FME

<sup>15</sup> Nom donné aux outils de transformation de FME

## Mosaïquage

La phase suivant consiste à géoréférencer les photographies aériennes. Plusieurs méthodes sont possibles. Notre choix a porté sur la réalisation d'orthomosaïque à l'aide du logiciel PhotoScan. En effet, le retrait de la bordure à l'étape précédente permet au logiciel de disposer de photographies continues, avec du recouvrement et sans interférence. Le logiciel PhotoScan (@Agisoft LLC) est un logiciel de photogrammétrie permettant d'automatiser les processus de traitements photogrammétriques. Il a permis de créer une mosaïque avec les images préalablement découpées (en effet, les bordures noires auraient perturbées le bon fonctionnement des actions à suivre). À titre d'information, il aurait également été possible de masquer les bordures sur les photographies à l'aide de PhotoScan, mais le travail étant plus fastidieux, FME a été préféré.

L'élaboration d'une mosaïque est réalisée en 4 étapes successives :

### 1 – L'alignement des photos

Cette étape consiste, une fois les photographies importées dans le dossier de travail de PhotoScan, à faire de l'aérotriangulation, c'est-à-dire déterminer pour chaque photo la position exacte de la caméra au moment de la prise de vue. L'algorithme de triangulation utilise d'une part le recouvrement<sup>16</sup> entre les photographies et, d'autre part, les détails de surface (que ce soit des reliefs, ou des caractéristiques colorimétriques). Chaque photographie est ainsi comparée à la suivante afin de les positionner les unes par rapport aux autres (Figure 12).

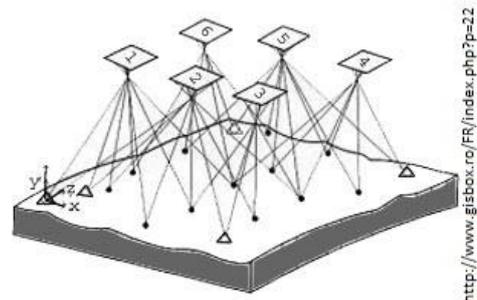


Figure 12 : Illustration d'un alignement de photos, type PhotoScan

### 2 – La construction d'un nuage de points

La construction d'un nuage de points dense consiste en une reconstruction de la profondeur<sup>17</sup> de chaque photographie, permettant au logiciel de calculer les coordonnées d'un très grand nombre de points. Le nuage de points obtenu est dense et restitue l'aspect de l'objet réel (Figure 13).

<sup>16</sup> Une même zone présente sur plusieurs photos

<sup>17</sup> À chaque pixel d'une image sont associées des informations sur sa couleur. La profondeur de l'image est la précision de ces informations, dépendant du nombre de bits sur lesquels on les code

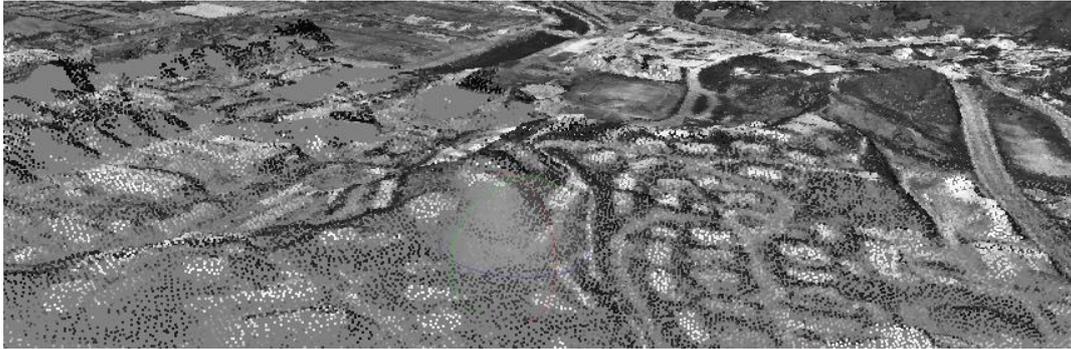


Figure 13 : Nuage de points dense (série photos 1976\_IGN\_PAC\_02\_80) issu du traitement sous PhotoScan

### 3 – La construction d'un maillage

Cette étape consiste à transformer les points du nuage en surface. Le logiciel va relier les points par des surfaces triangulaires. Un modèle maillé 3D est ainsi être créé (Figure 14).

L'accumulation de prises de vue autour d'un même objet, selon différentes orientations va permettre au logiciel, grâce au recouvrement, de générer un modèle 3D fidèle aux prises de vue.

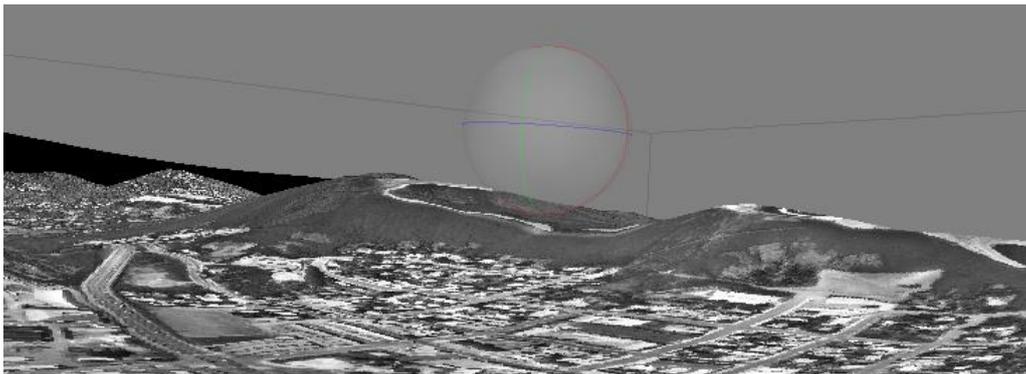


Figure 14 : Modèle maillé 3D généré par PhotoScan (série photos 1976\_IGN\_PAC\_02\_80)

### 4 – L'application d'une texture et la création de l'orthomosaïque

La construction de la texture de l'objet augmentera la définition du modèle maillé 3D en extrayant des photographies des points complémentaires permettant d'augmenter les détails du modèle. Après cette phase, une orthomosaïque peut être générée (Figure 15). Pour cela PhotoScan va procéder à une orthorectification automatique, à partir du modèle 3D pour rectifier l'image en fonction des reliefs.

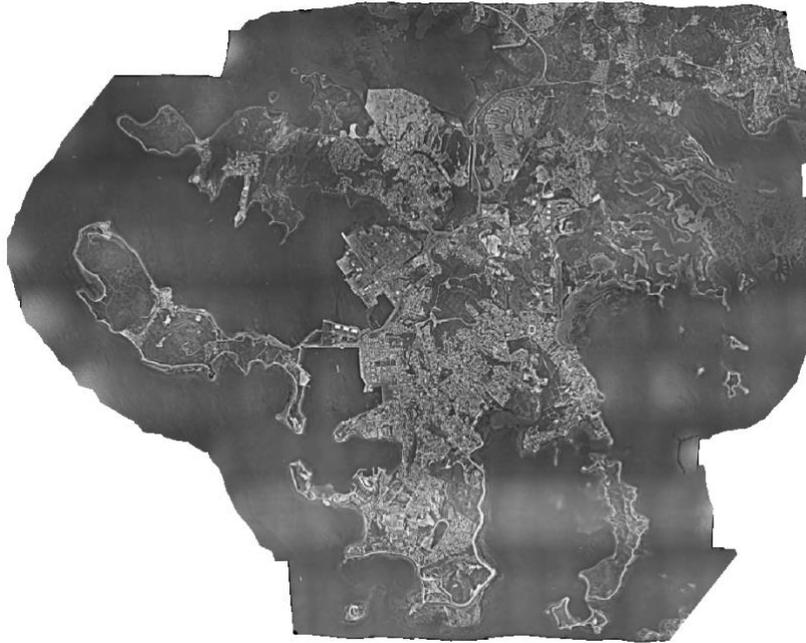


Figure 15 : Orthomosaïque issue de la série de photos « 1976\_IGN\_PAC\_02\_80 », réalisée avec PhotoScan

Une fois les orthomosaïques exportées (au format .tif), il est nécessaire de les géoréférencer. En amont de cette étape, certaines des orthomosaïques ont subi un traitement des couleurs afin d'améliorer la luminosité, le contraste et/ou la valeur gamma. Cette étape permettant de mieux faire ressortir les couleurs et les ombres a pour objectif de mieux distinguer les limites d'objets et aussi procéder au géoréférencement. Ces étapes ont été réalisées sous le logiciel ArcGis (© ESRI).

La création de mosaïques (destinées à être calées) permet un gain de temps considérable pour l'étape de géoréférencement par rapport à un calage manuel de toutes les photographies, une par une (plus de 1 000 clichés).

### **Géoréférencement**

Le géoréférencement a pour objectif d'attribuer à chaque point de l'image des coordonnées dans un repère géographique. Pour réaliser ce travail, des points de l'image à géoréférencer sont associés à des points homologues dans une image de référence (orthophotographie par exemple) dont on connaît précisément les coordonnées géographiques. L'identification d'un nombre significatif de points homologues entre l'image à caler et l'image de référence permet le géoréférencement de l'image.

La méthode et les caractéristiques utilisées pour le géoréférencement sont les suivantes :

- 1- Photographie de référence : Toutes les photographies ont été géoréférencées à partir de l'orthophotographie la plus récente d'août 2016 (GIESERAIL). Ce principe évite de potentiels décalages dus à l'orientation différente des prises de vue.

- 2- Système de coordonnées : en Nouvelle-Calédonie depuis 2006, les coordonnées géographiques sont exprimées dans le référentiel géodésique **RGNC 1991-93 et la projection Lambert New Caledonia** (EPSG : 3163).
- 3- Échelle de calage utilisée pour ce travail est le **1 : 1 000<sup>ème</sup>**. Cette échelle a été choisie après plusieurs essais, c'est principalement la résolution des photographies qui a guidé le choix de l'échelle. En effet, il aurait été possible de prendre une échelle plus précise pour les orthophotographies récentes, mais cette échelle n'aurait pas été utilisable sur les anciennes photographies du fait de la résolution insuffisante. Cette échelle de calage doit être la même pour toutes les photographies traitées.
- 4- Utiliser des points remarquables (Figure 16) dont il est certain qu'ils n'ont pas été modifiés entre les deux années. Certains points de repères sont pérennes et présent sur tous les jeux de photographies aériennes : croisement d'une route, rond-point, pont, angle d'un port, angle de bâtiment, toiture avec marques particulières, bloc rocheux, blocs de coraux en mer (formant une tâche sont, très utilisés pour les photos anciennes), etc. Il est nécessaire de faire attention à l'orientation des photographies, bien que théoriquement toutes verticales, il y a néanmoins des différences d'angles ce qui peut, dans certain cas, générer des erreurs de géoréférencement (il est notamment préférable d'éviter les toits de bâtiments).



Figure 16 : Exemples de points remarquables pour le géoréférencement (1976 à gauche/2016 à droite)

- 5- Méthode de transformation pour le géoréférencement : **2<sup>nd</sup> ordre**. Cette méthode permet d'effectuer des transformations géométriques (redressement d'images). Dans notre cas, les

photographies anciennes nécessitent ces transformations, car elles n'ont pas été orthorectifiées à l'aide d'un MNT. La transformation « **Ajuster** » a également été utilisée, permettant une précision locale (appliquée au niveau du littoral pour notre cas). Il est important de noter ici que le géoréférencement est axé sur le littoral. La précision sur les reliefs des zones intérieures peut être de moins bonne précision, afin de garder un maximum de précision au niveau du littoral (densification des points de calage sur le littoral au détriment des zones intérieures). Ces images ne sont donc pas utilisables pour d'autres domaines que le littoral. C'est pour cette raison que la méthode de transformation « ajuster » a également pu être utilisée.

- 6- La marge d'erreur tolérée (Erreur Quadratique Moyenne<sup>18</sup>) a été définie à **3 mètres** max (les EQM sont listées dans le Tableau 2) pour un calage optimal. Lors du géoréférencement, un décalage est produit entre la photographie de référence et celle à caler. Il s'agit du EQM (ou RMS) qui est un coefficient représentant l'écart moyen entre les coordonnées souhaitées d'un point et celles calculées par la correction.

Plus le coefficient est proche de zéro plus le calage est bon. Il est donc nécessaire de se fixer une limite de décalage à ne pas dépasser. Étant donné les diverses provenances et résolution de nos données, cette marge est, après tests, fixée à 3 mètres. Attention toutefois, une RMS peut être faible mais les points peu précis donnant un résultat peu fidèle à la référence. Cela se produit quand il existe peu d'éléments de repère sûrs. Dans ce cas, les points sont placés en fonction de leur emplacement par rapport à des objets identifiables, mais aux contours mal définis (intersection de route, milieu d'un rocher etc.). Il est également possible d'obtenir un résultat d'EQM en pixels (exemple pour 1976 : EQM = 1,71 m ou 0,0023 pixel). Pour une question de lisibilité et de compréhension, les résultats présentés ici le seront en unité du pixel, soit en mètres.

**Tableau 3 : Informations par mosaïque géoréférencée, en fond vert la transformation utilisée, les erreurs QM sont en mètres**

2000_DITTT_2000_SEFP_NOUMEA_80c			1985_IGN_PAC_106_80c		
Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée	Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée
2,6067	18	Ajuster	0,225647	12	Ajuster
9,00565	18	Polynomiale de 2nd ordre	2,43096	12	Polynomiale de 2nd ordre
1982_DITTT_1982_IGN_PAC_68_200 (non utilisé)			1982_DITTT_1982_IGN_PAC_64_400		
Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée	Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée
0,517353	14	Ajuster	0,805544	16	Ajuster
2,23797	14	Polynomiale de 2nd ordre	3,57636	16	Polynomiale de 2nd ordre
1976_IGN_PAC_48_80			1971_IGN_PAC_02_80		

<sup>18</sup> Mesure synthétique de l'erreur globale caractérisant la précision de cette dernière

Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée	Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée
1,7167	22	Ajuster	1,57239	12	Ajuster
5,55938	22	Polynomiale de 2nd ordre	5,28759	12	Polynomiale de 2nd ordre
<b>1971_DITTT_1971_IGN_PAC_02_200 (non utilisé)</b>			<b>1954_IGN_PAC_14_400 (non utilisé)</b>		
Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée	Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée
9,45904	8	Ajuster	12,318	7	Ajuster
4,5652	8	Polynomiale de 2nd ordre	3,74354	7	Polynomiale de 2nd ordre
<b>1954_Noumea_100</b>			<b>1943_DITTT_1943_US_2036_300</b>		
Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée	Erreur QM	Points de calage	Transformation utilisée
0,719542	18	Ajuster	4,26832	8	Ajuster
4,63106	18	Polynomiale de 2nd ordre	2,31757	8	Polynomiale de 2nd ordre

Le Tableau 2 ne présente pas les années 1935 et 1950 car elles étaient déjà géoréférencées au moment de leur transmission (comme toutes les orthophotographies). Il ne présente pas non plus la deuxième campagne de 1976, de nettement moins bonne qualité que la première (visible dès la création de la mosaïque) qui n'a donc pas été géoréférencée. Ensuite les campagnes non-utilisées sont celles dont la deuxième campagne sur la même année a été préférée car de meilleure qualité.

Pour certaines campagnes de prises de vue, le faible recouvrement entre les clichés, ainsi que le faible nombre de photographies sur une même zone (prise d'un emplacement différent), notamment en périphérie de Nouméa n'a pas permis au logiciel de fournir une mosaïque complète. Lorsque les mosaïques générées par PhotoScan ne couvraient que partiellement la zone d'étude, celles-ci ont été complétées avec des photographies géoréférencées manuellement ou par des mosaïques effectuées sur de plus petites emprises zones pour lesquels des traitements plus spécifiques ont pu être réalisés sans générer des temps de calculs prohibitifs.

### **Sélection des dates de campagne de photographies**

L'inventaire présenté en début de chapitre (Tableau 1) regroupe toutes les images collectées, cependant toutes les campagnes de photographies n'ont pas été utilisées. En effet, certaines disposent d'une très mauvaise résolution ou encore sont trop lumineuses pour permettre de distinguer des limites (même après traitement colorimétrique). De plus, pour certaines années (1954, 1971, 1976, 1982 et 2000), nous disposons de deux campagnes réalisées la même année. Dans ces cas, seule la série de meilleure qualité a été conservée (sauf 1982 où les deux ont été éliminées). Le choix des campagnes à conserver a été réalisé après le géoréférencement de façon à ne conserver que les images permettant un travail de photo interprétation satisfaisant.

Dans un premier temps, 10 dates ont été sélectionnées : 1935, 1943, 1954, 1971, 1976, 1985, 1995, 2007, 2012-2013 et 2016. Ces dernières ont été choisies pour leur qualité, leur intérêt particulier ou en fonction de l'écart de temps entre deux campagnes photographiques, afin d'homogénéiser les périodes d'études et de garder une certaine continuité dans l'analyse.

En ce qui concerne la typologie du trait de côte, les ouvrages et l'occupation du sol, une sélection plus précise et plus restreinte a été effectuée. À savoir une date T0 étant le composite de 1935 et 1943, une période T2 (2016) qui correspond à l'époque actuelle et enfin une date T1 en 1985. Cette date a été sélectionnée car elle correspond à la période du boom du nickel (1970/1975), qui semble être une période intéressante pour l'évolution de l'urbanisation (voir Figure 17). En effet l'explosion de la production de Nickel a eu lieu entre 1970 et 1975. Le développement économique lié à l'exploitation et la production minière a entraîné de profonds changements à Nouméa avec notamment l'arrivée de nombreux travailleurs et de devises qui ont permis une urbanisation importante. La Figure 18 récapitule les dates utilisées pour cette étude.

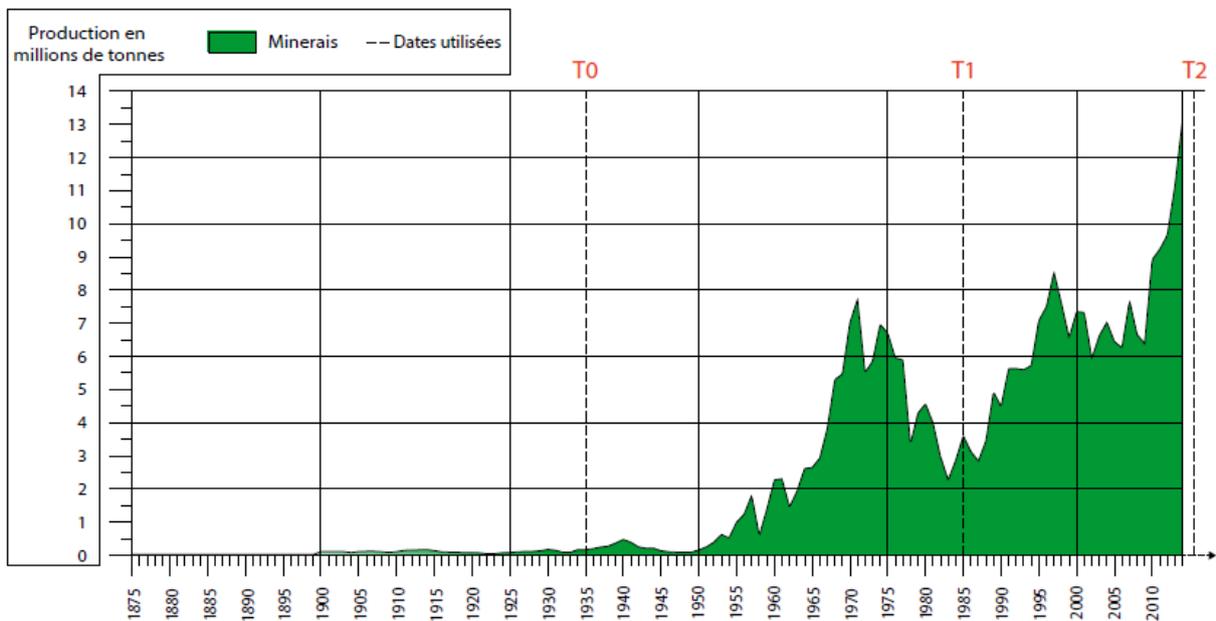


Figure 17 : Évolution de la production de Nickel

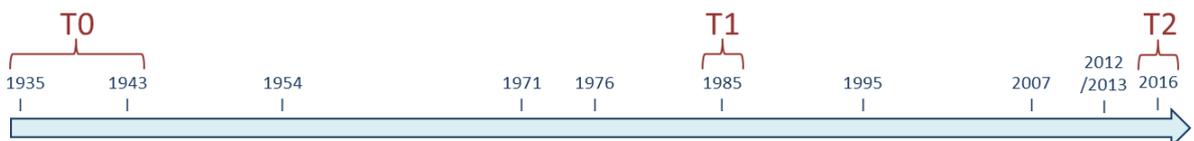


Figure 18 : Frise temporelle récapitulative des dates utilisées (en bleu : traits de côte numérisés, en rouge : dates pour les typologies)

## *b) Définition des typologies*

Les typologies présentées ici sont réalisées avec l'objectif d'étudier l'évolution de la nature du linéaire trait de côte au cours du temps, mais également sur l'évolution des surfaces comprises dans la bande littorale.

Une typologie est déjà existante sur la totalité du territoire calédonien (Garcin et Vendé-Leclerc, rapport OBLIC 2016), cependant elle n'est pas adaptée au milieu urbain. Par ailleurs, il est question ici de caractériser l'évolution temporelle de la côte de Nouméa dont l'anthropisation est croissante, voire exponentielle dans le temps. De plus, comme c'est le cas pour l'ensemble du territoire de la Nouvelle-Calédonie, le trait de côte de Nouméa et sa bande littorale sont très diversifiés.

Il est donc question ici de :

- ⇒ caractériser les différents types de trait de côte (de type linéaire) que l'on observe au cours du temps sur la zone d'étude,
- ⇒ caractériser les différents types d'ouvrages et d'aménagement côtiers que l'on observe au cours du temps sur la zone d'étude,
- ⇒ caractériser les différents types d'occupation du sol sur la frange littorale que l'on observe au cours du temps sur la zone d'étude.

### **Typologie linéaire côtier**

La première étape consiste à identifier et inventorier les différents types d'environnements qui seront utilisés dans la classification à venir. Une sortie sur le terrain sur la commune de Nouméa, couplée à ce qui existait déjà à l'échelle du territoire Calédonien (rapport OBLIC 2016) a permis de définir les différents environnements présents sur le littoral de la ville (recensés dans le Tableau 3). Il n'y a pas de différenciation des zones anthropisées, ces dernières étant recensées sous l'appellation « côte artificialisée ». De même, considérant qu'une côte artificialisée est une côte modifiée par l'homme, les remblais sont inclus dans cette appellation.

Pour la présente étude, le linéaire côtier va être précisé selon trois compartiments successifs selon un profil perpendiculaire au rivage (pour chaque année sélectionnée), à savoir l'avant-côte<sup>19</sup>, le trait de côte et l'arrière-côte<sup>20</sup> (Figure 19). Ces compartiments sont constitués de descripteurs (d'après Garcin et Vendé-Leclerc (2016)), qui font références aux environnements présents en avant-côte (Tableau 5), sur la côte (

Tableau 6) et en arrière-côte (Tableau 7). Il est important de noter qu'en ce qui concerne l'arrière-côte, la typologie est basée sur les critères géomorphologiques.

---

<sup>19</sup> Portion du rivage située en avant du trait de côte, constamment immergée

<sup>20</sup> Partie haute du littoral située au-dessus de l'estran dont elle est séparée par le trait de côte

Tableau 4 : Inventaire des environnements existant sur le littoral de Nouméa

Environnement	Description succincte	Illustration
Plage	Zones de dépôts dus à l'action des vagues	
Mangrove	Écosystème de marais maritime regroupant des végétaux dans les zones de balancement des marées	
Falaise	Escarpement rocheux	
Côte rocheuse	Côte constituée de blocs de roche, plus ou moins gros	
Récif frangeant	Formation d'un court platier composé de coraux morts, de sables bioclastiques et biodétritiques	
Estuaire	Embouchure fluviale sur une mer ouverte formant une indentation profonde dans le tracé littoral	
Flèche sableuse	Accumulation de sédiments sableux sous l'action de la dérive littorale	
Côtes artificialisées	Côte modifiée par l'action humaine. (Enrochement, Remblai, Muret, Digue, Ponton, Cale de mise à l'eau, Épi, Quai)	

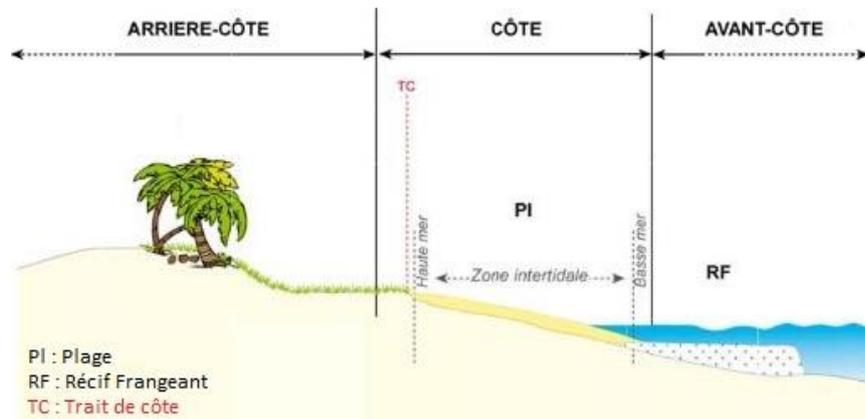


Figure 19 : Coupe schématique des trois compartiments pris en compte dans la typologie du littoral (d'après Garcin et Vendé-Leclerc, rapport OBLIC 2016)

Ces informations seront renseignées dans une couche d'information d'un SIG. Ainsi pour chaque segment de bord de mer digitalisé, seront saisies les informations concernant les 3 compartiments l'avant-côte, la côte, l'arrière côte et d'autres informations telles que la longueur du segment. Certains de ces descripteurs concernent plusieurs endroits, comme la côte et l'avant-côte (mangrove par exemple), ou peuvent se cumuler (type composite : Récif frangeant + mangrove).

Tableau 5 : Les descripteurs d'avant-côte

Avant-côte	Description succincte	Code
Récif frangeant	Présence d'un récif frangeant en avant-côte, largeur variable	RF
Mangrove	Présence d'une mangrove en avant de la côte	Mg
Mangrove & Récif frangeant	Type composite, présence d'une mangrove et d'un récif frangeant en avant-côte	MgRF
Flèche sableuse	Présence d'une flèche sableuse non connectée au littoral	FS

Tableau 6 : Les descripteurs du trait de côte

Côte	Description succincte	Code
Plage	Segment de côte constitué d'une plage (sables, graviers, etc.)	PI
Mangrove	Présence d'une mangrove	Mg
Côte rocheuse	Côte rocheuse formée par l'affleurement de roches mais ne formant pas une falaise	CR
Falaise	Segment de côte formé par une falaise littoral	F
Côte artificialisée	Segment de côte artificiel	CA
Estuaire	Zone correspondant au débouché d'une rivière sur la mer	Es
Flèche sableuse	Segment constitué par une flèche sableuse	FS
Estuaire & Flèche sableuse	Type composite formé par un estuaire et une flèche sableuse en avant	EsFS

Tableau 7 : Les descripteurs d'arrière-côte

Arrière-côte	Description succincte	Code
Zone basse	Présence d'une zone dont l'altitude est comprise entre 0 et 2 mètres en arrière du trait de côte	ZB
Zone élevée	Présence d'une zone dont l'altitude dépasse rapidement plusieurs mètres en arrière du trait de côte	ZE
Falaise	Présence d'une falaise en arrière du trait de côte	F

### Typologie des aménagements côtiers

La structuration d'une couche d'information surfacique SIG spécifique aux aménagements côtiers va permettre d'apporter plus de précision à la typologie du linéaire côtier (couche superposée et croisée avec la typologie du trait de côte et l'occupation du sol) et permettra des traitements spécifiques, ainsi qu'une plus grande facilité d'utilisation dans le futur.

Les différents aménagements côtiers sont classés en plusieurs niveaux. Le premier détermine l'orientation de l'aménagement par rapport au rivage, à savoir si ce dernier est longshore<sup>21</sup> ou cross-shore<sup>22</sup>. Le second indique le type de l'aménagement (Tableau 8). Ces deux niveaux seront accompagnés d'une description et d'un champ qui précise, au moment de la digitalisation, le statut de l'aménagement ; privé ou public. Cette typologie a été pensée afin d'être la plus simple d'utilisation possible tout en répondant aux potentiels besoins (risques de submersion, suivi du transport sédimentaires...). Lors de la numérisation, cette couche contiendra également des informations sur l'altitude des aménagements pour l'année 2016 (information fournie dans les données du GIE SERAIL).

Tableau 8 : Description de la typologie des aménagements côtiers

Orientation	Type	Fonction	Statut	Description
Longshore	Enrochement	Protection contre l'érosion	Privée ou Publique	Ensemble de gros blocs rocheux utilisés pour la protection
	Muret	Protection contre l'érosion	Privée ou Publique	Ouvrage de maçonnerie destiné à figer le trait de côte
	Quai	Aménagement portuaire	Privée ou Publique	Section de de rivage aménagée pour permettre l'accostage
Cross-shore	Wharf	Aménagement portuaire	Privée ou Publique	Appontement en dur/maçonné
	Appontement	Aménagement portuaire	Privée ou Publique	Plate-forme sur pilotis

<sup>21</sup> Parallèle au rivage

<sup>22</sup> Perpendiculaire au rivage

	Ponton flottant	Aménagement portuaire	Privée ou Publique	Plate-forme flottante
	Cale de mise à l'eau	Aménagement portuaire	Privée ou Publique	Pente douce permettant de mettre à l'eau ou de sortir les bateaux
	Infrastructure sur pilotis	Aménagement	Privée ou Publique	Constructions sur pilotis
	Épi	Protection contre l'érosion	Privée ou Publique	Dispositif de défense d'une côte exposée à une érosion induite de la dérive littorale
	Pont	Voirie	Privée ou Publique	Présence d'un pont
	Conduite	Réseau eau et assainissement	Privée ou Publique	Conduite d'eau et d'assainissement

### **Typologie de l'occupation du sol de la bande côtière**

En ce qui concerne l'occupation du sol, le choix a été fait de la représenter sur une bande de type surfacique en arrière du trait de côte. Cette bande littorale sera plus ou moins large selon les entités qui vont y être trouvées : au minimum elle sera de 150 mètres, puis pourra se prolonger suivant les enjeux, les zones d'intérêts et les changements observés au regard de l'évolution de l'occupation du sol dans le temps, notamment dans la zone du centre-ville par exemple. Pour cette cartographie une expertise de l'opérateur de saisie est donc nécessaire.

La typologie de cette occupation du sol va s'effectuer sur 3 sous-niveaux (selon le principe adopté par la base de données Corine Land Cover<sup>23</sup>), avec une précision générale au début qui va se décomposer en plusieurs autres sous-niveaux de précision plus détaillée (Tableau 9 et Tableau 10). Cette typologie va permettre d'exécuter des traitements de type requêtes et statistiques sur des niveaux de précisions plus ou moins fins, allant du plus global (côte naturelle ou artificialisée) au plus précis (plage de sables fins, prairie...).

**Tableau 9 : Typologie de l'occupation du sol (partie 1)**

Ensemble	Type	Sous-type	Remblai	Usage	Description	Équivalent CLC
<b>1. Non-artificialisé / Naturel</b>	1.1. Plage	1.1.1. Plage de sables fins			Plage composée majoritairement de sables fins	331
		1.1.2. Plage de sables grossiers			Plage composée majoritairement de sables grossiers	331
	1.2. Falaise	1.2.1. Falaise haute			Escarpement non couvert de végétation	332

<sup>23</sup> Base de données vectorielle européenne d'occupation biophysique des sols (disponible pour 1990, 2000, 2006 et 2012). Réalisée à partir d'interprétation visuelle d'images satellitaires. Issue du programme européen d'observation de la terre (Copernicus). Elle se décompose en 3 sous-niveaux, du plus vaste au plus détaillé.

		1.2.2. Falaise basse			Petit escarpement non couvert de végétation (quelques mètres)	332
1.3. Forêt		1.3.1. Forêt sèche			Forêt sèche	31
		1.3.2. Végétation arbustive et/ou herbacée			Espace naturel composée d'arbustes ou d'arbrisseaux	32
1.4. Zone humide côtière		1.4.1. Estuaire			Embouchure fluviale sur une mer ouverte	522
		1.4.2. Mangrove			Formation forestière littorale tropicale	421
		1.4.3. Zone humide			Terrains inondés ou gorgés d'eau (permanent ou non)	41
		1.4.4. Surface en eau			Surface d'eau : marais, mares, étangs...	5
1.5. Côte rocheuse		1.5.1. Côte rocheuse			Côte formée de blocs et cailloutis rocheux	332
1.6. Terre agricole		1.6.1. Zone agricole hétérogène			Cultures de types variés permanentes ou temporaires	24
		1.6.2 Prairie			Surface en herbe à usage agricole	231

Tableau 10 : Typologie de l'occupation du sol (partie 2)

Ensemble	Type	Sous-type	Remblai	Usage	Description	Sous-type équivalent CLC
2. Artificialisé	2.1. Bâti / Tissu urbain	2.1.1. Dense			Bâti recouvrant la quasi-totalité du sol	111
		2.1.2. Diffus			Bâti coexistant avec des surfaces végétalisées	112
	2.2. Espace vert artificialisé (non agricole)	2.2.1. Équipement sportif et loisir			Stade, piscine, terrain de sport etc.	142
		2.2.2. Espace vert urbain			Parc urbain	141
	2.3. Aménagement	2.3.1. Quai			Présence d'un quai	123

	côtier	2.3.2. Muret			Présence d'un muret	NE <sup>24</sup>
		2.3.3. Enrochement			Présence d'enrochement	NE
		2.3.4. Canal			Canal	NE
	2.4. Équipement	2.4.1. Décharge			Décharge	132
		2.4.2. Installation publique			École, installation publique etc.	121
	2.5. Réseaux de communication	2.5.1. Route			Réseau routier, y compris parking	122
		2.5.2. Port			Port	123
		2.5.3. Aéroport			Aéroport, aérodrome	124

L'information sur la présence ou non d'un remblai est ajoutée. Le champ est à compléter avec les valeurs : « Zone remblayée » ou « Zone sans remblai ».

Les usages de ces zones seront précisés : Militaire, Économique, Industriel, Loisir, Touristique, Agricole, Résidentiel collectif, Résidentiel individuel, Mixte (notamment pour le centre-ville, ou plusieurs usages peuvent être présent dans un même bâtiment), Transport, Environnemental ou Public. Ce dernier peut également être vide.

Un code correspondant à la nomenclature du type dans la base de données Corine Land Cover permet d'assurer en partie la compatibilité des données.

A partir de requêtes, en combinant les remblais et les usages par exemple, il est possible de connaître les remblais industriels, ou bien les remblais routiers.

### c) Structuration de la base SIG

Pour stocker l'ensemble des données il a été nécessaire de mettre en place une géodatabase (@ESRI) (Figure 20) ainsi que des jeux et classes d'entités (linéaire côtier, aménagements et occupation du sol). Le choix d'une géodatabase est justifié par la possibilité d'utiliser les domaines (point détaillé par la suite). La première chose est d'intégrer dans la table attributaire les champs nécessaires ainsi que leurs types en fonction des attributs qui devront

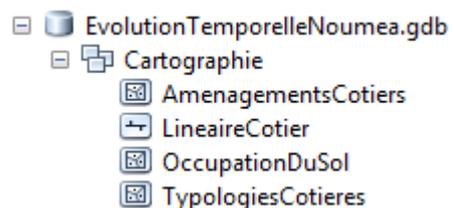


Figure 20 : Organisation de la géodatabase fichier (@ESRI)

<sup>24</sup> Non existant

être saisis. Ces choix se font à partir des typologies définies précédemment.

La structure de la table de la classe d'entités définissant le trait de côte selon la typologie du littoral présentée ci-dessous est décrite dans le Tableau 11. Un champ source a été ajouté afin d'énumérer le nom de la campagne et le propriétaire des données de bases utilisées. Le champ [Annee] permet quant à lui de préciser l'année d'acquisition. La longueur, l'identifiant (ID) et la géométrie de l'objet étant des champs automatiques, il reste à remplir à l'aide des typologies énoncées précédemment, les champs d'avant côte, de côte, d'arrière côte avec les codes et descriptions associées. C'est pour cette partie que des domaines sont mis en place.

**Tableau 11 : Structure de la table attributaire du linéaire côtier**

Nom du champ	Libellé	Type	Commentaire
OBJECTID *	Champ par défaut	Numéro automatique	Champ par défaut
SHAPE	Géométrie de l'objet	Géométrie linéaire	Champ par défaut
Avant_cote	Avant-côte	Texte 50	Typologie de l'avant côte du segment 📄 Liste (domaine) : «Typo_avant_cote»
Cote	Côte	Texte 50	Typologie du trait de côte du segment 📄 Liste (domaine) : «Typo_tc»
Arriere_cote	Arrière-côte	Texte 50	Typologie de l'arrière côte ou zone rétro-littorale du segment 📄 Liste (domaine) : «Typo_arriere_cote»
Code_avant_cote	Code de l'avant côte	Texte 10	Code de l'avant côte du segment
Code_cote	Code du trait de côte	Texte 10	Code du trait de côte du segment
Code_arriere_cote	Code de l'arrière côte	Texte 10	Code de l'arrière côte du segment
Description_avant_cote	Description de l'avant côte	Texte 250	Descripteur de l'avant côte du segment 📄 Liste (domaine) : «Description_avant_cote»
Description_cote	Description la côte	Texte 250	Descripteur du trait de côte du segment 📄 Liste (domaine) : «Description_tc»
Description_arriere_cote	Description de l'arrière côte	Texte 250	Descripteur de l'arrière côte ou zone rétro-littorale du segment 📄 Liste (domaine) : «Description_arriere_cote»
SHAPE_Length	Longueur du segment	Réel double	Longueur du segment
Annee	Année	Texte_10	Année de la campagne photos sur laquelle la numérisation a été faite
Source_donnees	Source des données	Texte 250	Données utilisées pour parvenir au résultat

Afin de faciliter, d'optimiser et de sécuriser la saisie, des listes de domaines ont été renseignés dans la géodatabase. Cette action va permettre lors de la saisie de sélectionner directement, dans une liste déroulante de valeurs autorisées pour un champ.

Ces domaines sont ensuite liés aux champs que l'on veut mettre en place, directement dans la classe d'entités en renseignant l'information « domaine » (Figure 21).

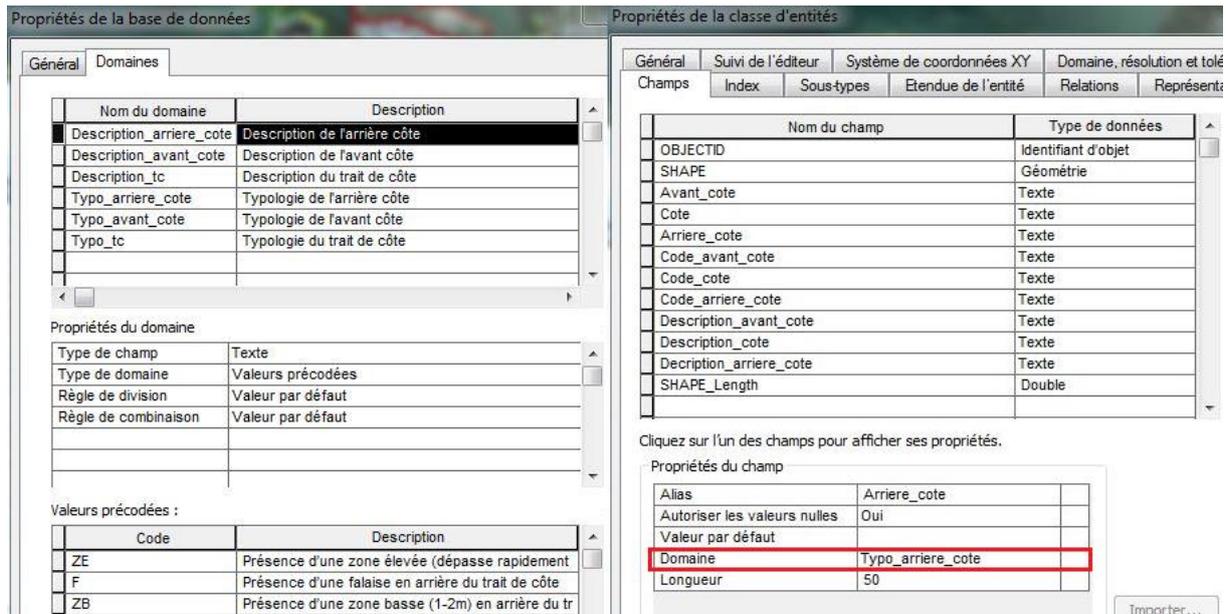


Figure 21 : Exemple des domaines mis en place pour le linéaire côtier

Le fonctionnement est identique en ce qui concerne les aménagements et ouvrages côtiers du territoire. L'altitude ainsi que l'aire sont en revanche ajoutées (Tableau 12). Le champ a pu être extrait des données du GIE SERAIL (2016).

De même pour l'occupation du sol, qui compte également des champs de longueur et de surface (Tableau 13).

Dans les deux cas, la manipulation est la même pour créer les différents domaines, puis les attribuer aux champs des tables attributaires correspondants.

Tableau 12 : Structure de la table attributaire des aménagements côtiers

Nom du champ	Libellé	Type	Commentaire
OBJECTID *	Champ par défaut	Numéro automatique	Champ par défaut
SHAPE	Géométrie de l'objet	Géométrie linéaire	Champ par défaut
Orientation	Orientation	Texte 50	Descripteur de l'orientation du segment Liste (domaine) : « Orientation »
Type	Type	Texte 50	Descripteur du type du segment Liste (domaine) : « Type_aménagement »
Fonction	Fonction	Texte 50	Descripteur de la fonction du segment Liste (domaine) : « Fonction_aménagement »
Statut	Statut	Texte 50	Code du statut du segment Liste (domaine) : « Statut_aménagement »
Description	Description	Texte 250	Code du trait de la description du segment Liste (domaine) : «

			Description_aménagement»
z	Z moyen	Réel double	Altitude moyenne de l'ouvrage
z_min	Z min	Réel double	Altitude minimale de l'ouvrage
z_max	Z max	Réel double	Altitude maximale de l'ouvrage
Shape_Length	Longueur	Réel double	Champ automatique
Shape_Area	Aire	Réel double	Champ automatique
Annee	Année	Texte 10	Année de la campagne photos sur laquelle la numérisation a été faite
Source_donnees	Source des données	Texte 250	Données utilisées pour parvenir au résultat

Tableau 13 : Structure de tableau attributaire de l'occupation du sol

Nom du champ	Libellé	Type	Commentaire
OBJECTID *	Champ par défaut	Numéro automatique	Champ par défaut
SHAPE	Géométrie de l'objet	Géométrie linéaire	Champ par défaut
Ensemble	Ensemble	Texte 50	Ensemble général (niveau 1) ☞ Liste (domaine) : «Ensemble»
Type	Type	Texte 50	Type (niveau 2) ☞ Liste (domaine) : «Type»
Sous_type	Sous-type	Texte 50	Sous-type (niveau 3) ☞ Liste (domaine) : «Sous_type»
Remblai	Remblai	Texte 50	Choix de zone remblayée ou non ☞ Liste (domaine) : «Remblai»
Usage	Usage	Texte 50	Usage de l'occupation du sol ☞ Liste (domaine) : «Usage»
Description	Description	Texte 250	Description de l'occupation du sol ☞ Liste (domaine) : «Description_ocs»
Sous_type_equivalent_CLC	Sous-type équivalent CLC	Texte 10	Code de l'occupation du sol correspondant au code équivalent Corine Land Cover
Annee	Année	Texte 10	Année de la campagne photos sur laquelle la numérisation a été faite
Source_donnees	Source des données	Texte 250	Données utilisées pour parvenir au résultat
SHAPE_Length	Longueur	Réel double	Champ automatique
SHAPE_Area	Aire	Réel double	Champ automatique

#### *d) Traitement des données*

##### **Méthode de saisie du trait de côte :**

La première des choses avant de commencer la digitalisation du trait de côte, est de définir la limite de référence qui sera utilisée. Cette limite a été choisie en fonction du contexte, des données disponibles et des objectifs. Dans notre étude le trait de côte a été défini comme suit :

- la Limite de Végétation Permanente (LVP) lorsque la côte est naturelle (Figure 22 (a)). Cette limite permet de traiter de façon homogène et cohérente des images de résolution et qualité très variables car cette limite est facilement identifiable aussi bien sur le terrain que sur des photos aériennes, des images satellitaires, etc.,
- le pied de la falaise lorsque cette dernière se jette directement dans la mer (Figure 22 (b)),
- la limite du trait de côte choisie pour les mangroves est la limite intérieure côté mer (Figure 22 (c)),
- pour la côte rocheuse, la limite choisie est celle où se retrouvent les blocs les plus imposants, les petits blocs n'étant pas toujours visibles sur les photos anciennes (Figure 22 (d)),
- la limite des ouvrages ou aménagements pour les côtes artificialisées (Figure 22 : muret (e), route (f), tissu urbain (g), enrochement (h), remblais (i) etc.

Les 10 traits de côte ont été numérisés par photo-interprétation (un traitement par méthode semi-automatique n'a pas été réalisé) et par le même opérateur de saisie pour garantir une homogénéité dans l'interprétation. Toujours dans l'objectif d'une meilleure homogénéité, l'échelle de digitalisation a été fixée à 1/500<sup>ième</sup>. De plus, quelques canaux étant présent à Nouméa, ces derniers ont été suivis pour la numérisation.

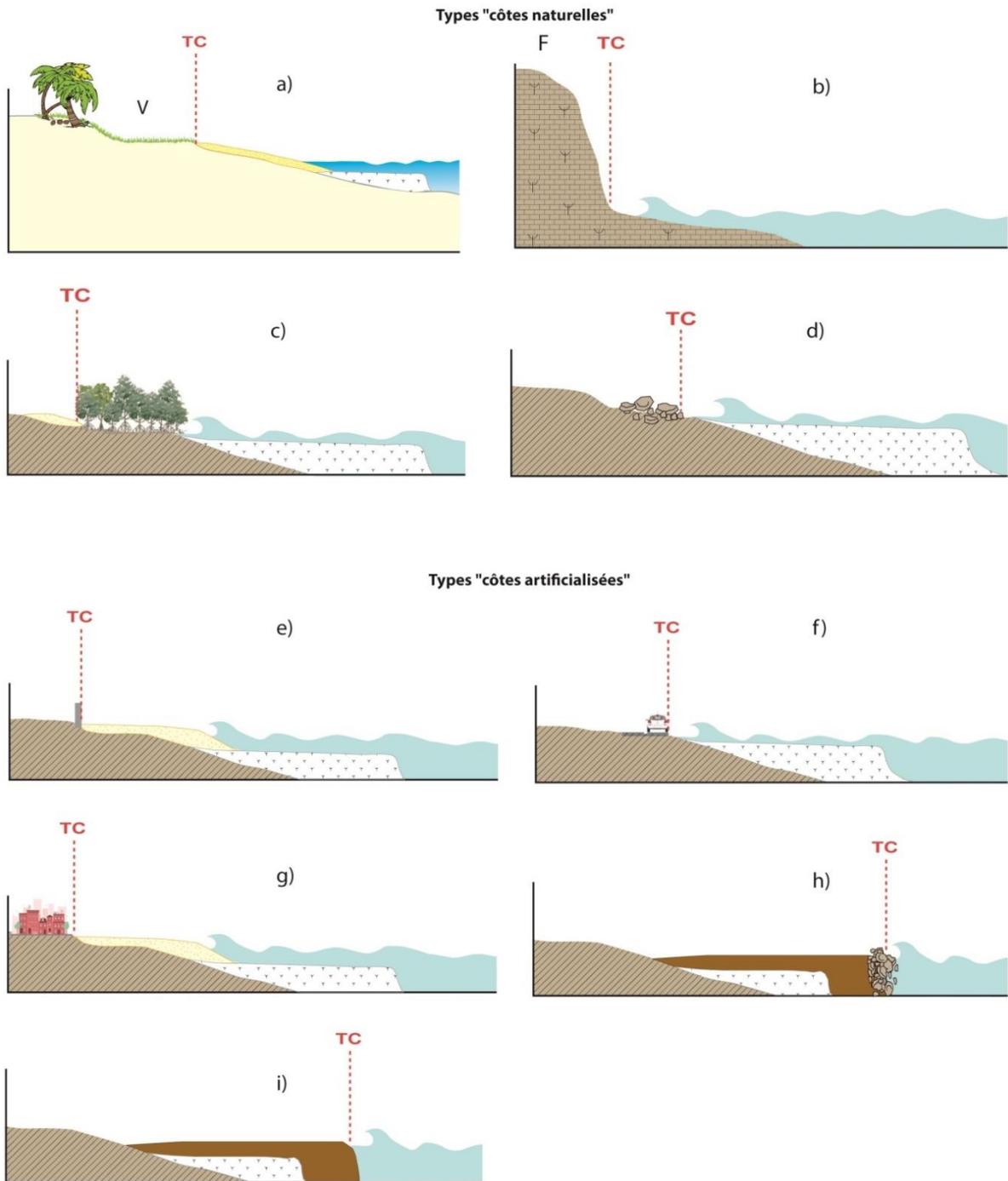


Figure 22 : Typologies et emplacements du trait de côte

Les linéaires côtiers (couche de type polygones) ont dans un premier temps été digitalisés sans interruption suivant la définition du trait de côte citée ci-avant pour les 10 dates (Figure 23).



Figure 23 : Exemple de représentation de traits de côte diachrone (secteur de la Pointe Magnin)

#### **Méthode de saisie de la typologie du trait de côte :**

Les traits de côte T0 (composite 1935 et 1943), T1 (1985) et T2 (2016) ont ensuite été fractionnés de façon homogène suivant la typologie définie (Figure 24 et Figure 25). À chaque segment est attribué les valeurs d'avant côte, de côte et d'arrière côte.

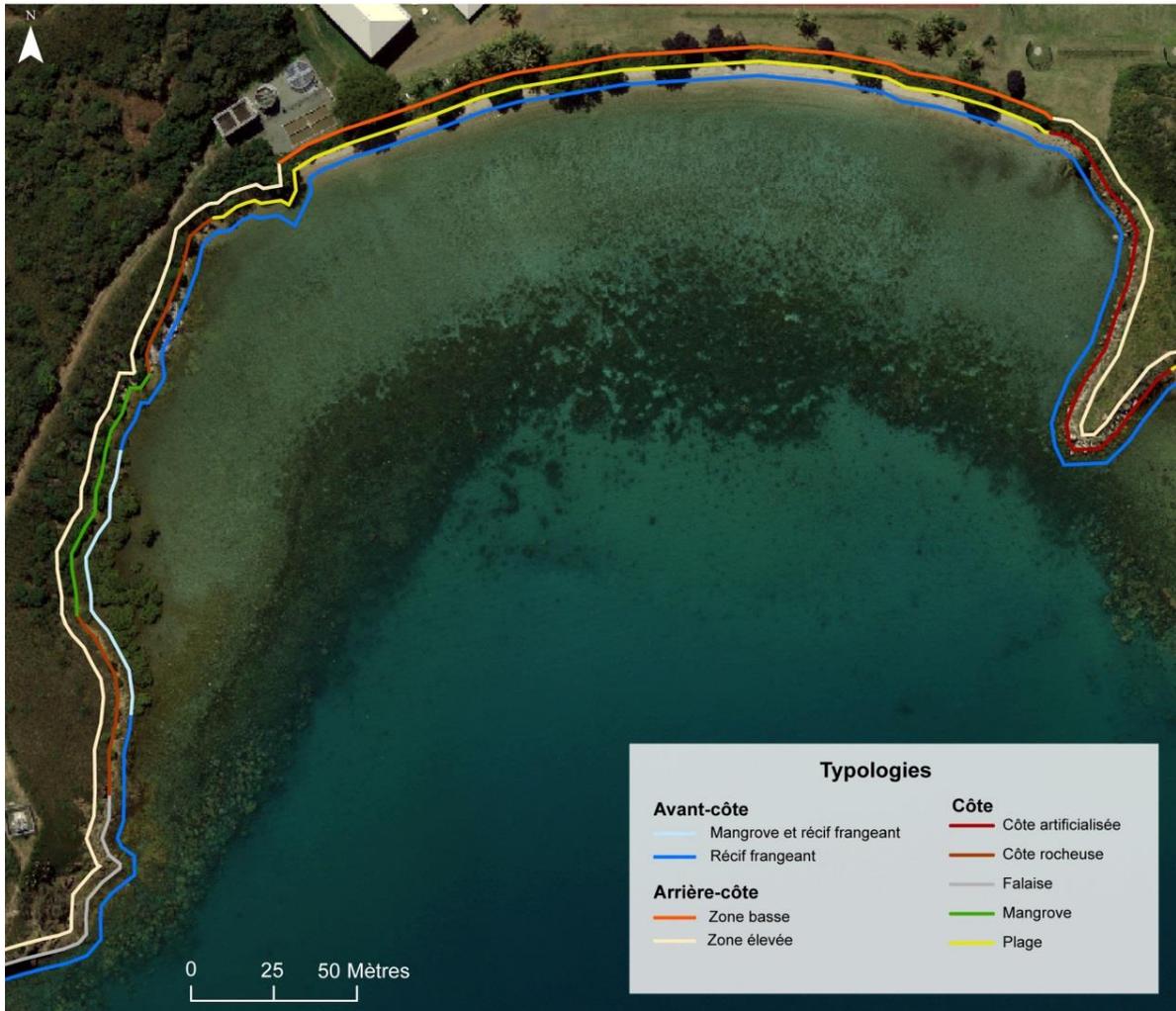


Figure 24 : Exemple de trait de côte segmenté selon la typologie définie (Nouvelle) – Orthophotographie 2016 GIE SERAIL

Attributs	
T2_TC_2016	
Récif frangeant	
OBJECTID	236
Avant_cote	Récif frangeant
Cote	Mangrove
Arriere_cote	Zone élevée
Code_avant_cote	RF
Code_cote	Mg
Code_arriere_cote	ZE
Description_avant_cote	Présence d'un récif frangeant en avant-plage, largeur variable
Description_cote	<Nul>
Decription_arriere_cote	Présence d'un récif frangeant en avant-plage, largeur variable
Annee	Présence d'une mangrove en avant du trait de côte
SHAPE_Length	Type composite, présence d'une mangrove et d'un récif frangeant en avant-côte Présence d'une flèche sableuse non connectée au littoral Présence d'une plage en avant d'un aménagement côtier (muret par exemple) Type composite, présence d'une plage et d'un récif frangeant en avant côte Présence d'une côte rocheuse en avant d'une falaise Type composite, présence d'une côte rocheuse et d'un récif frangeant en avant côte

Figure 25 : Remplissage des attributs d'un segment de côte à l'aide d'une liste déroulante provenant des domaines

### **Méthode de saisie des aménagements côtiers :**

Les aménagements et ouvrages côtiers ont été digitalisés en parallèle de la typologie du linéaire côtier pour 1935/43, 1985 et 2016 (Figure 26). Ils sont représentés sous forme de polygones (données de type surfacique), auxquels sont adjoints les différents attributs descriptifs.



Figure 26 : Numérisation des aménagements côtiers (promenade Pierre Vernier)

### **Méthode de saisie de l'occupation du sol :**

L'occupation du sol a été générée à partir des différents traits de côte (1935/43, 1985 et 2016), transformés en polygones afin de pouvoir découper l'intérieur pour cartographier les différents modes d'occupation du sol (et par la même occasion, respecter des règles de topologie<sup>25</sup> prédéfinies). La suite consiste à découper des polygones selon l'usage, puis d'affecter à chaque polygone les attributs correspondant (de la même façon que la méthode utilisée pour la cartographie du linéaire côtier) (Figure 27).

Une base SIG est ainsi créée pour l'occupation du sol côtière pour les trois dates.

<sup>25</sup> Ensemble de règles qui définissent les relations spatiales clés nécessaires à une organisation (pas de superposition de polygones, pas de discontinuités etc.)

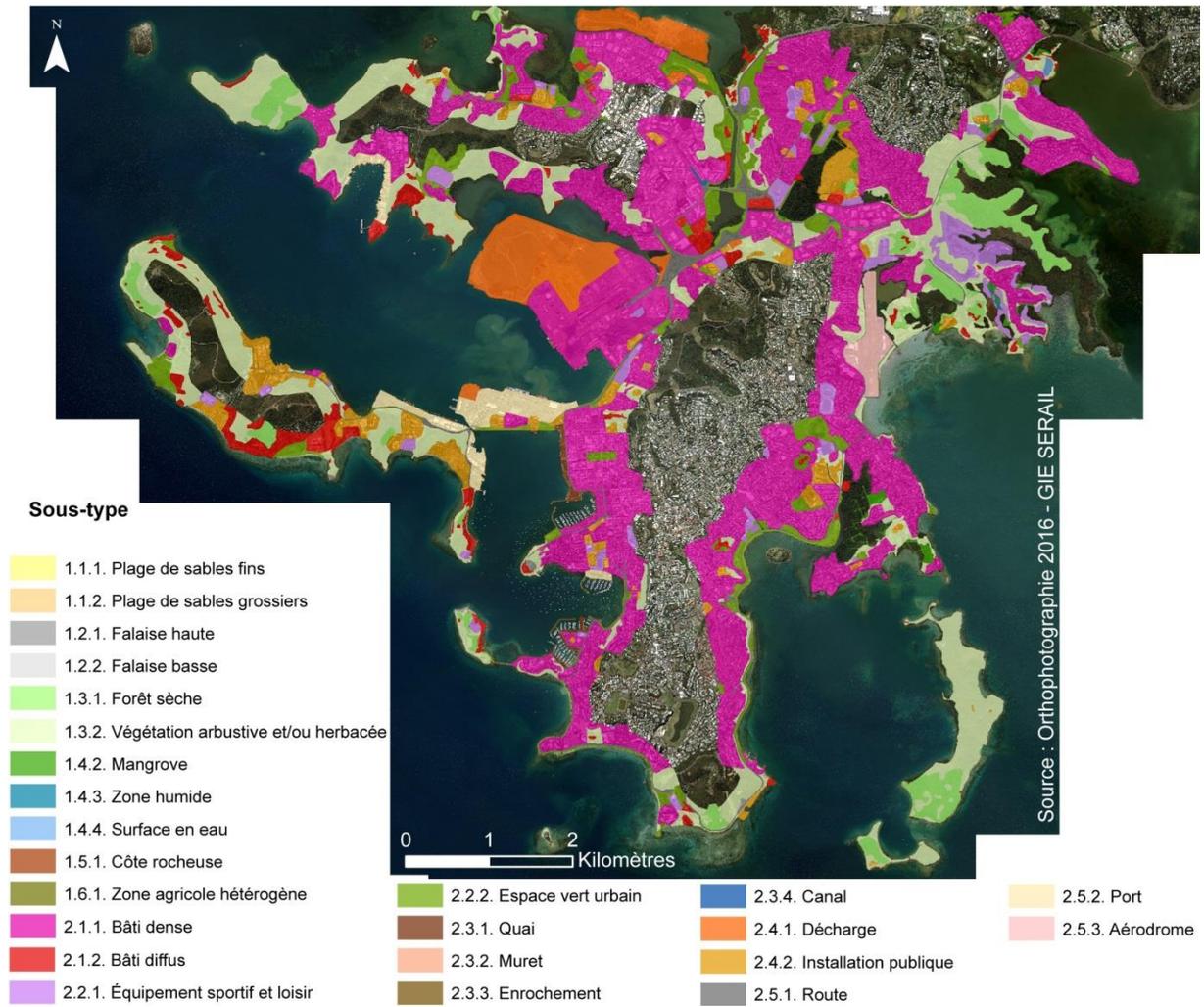


Figure 27 : Exemple de restitution de cartographie de l'occupation du sol

## IV. Exemple d'analyses de l'évolution du littoral

Dans ce chapitre vont être présentés quelques exemples d'analyses provenant des diverses couches vectorielles créées (linéaire côtier, typologie côtière, aménagement côtier et occupation du sol).

### a) Évolution de la surface urbaine de Nouméa

Une des premières choses visibles lorsque l'on regarde le linéaire côtier, est le territoire gagné sur la mer au cours de la période d'étude : de 1935/43 à 2016. Lors de la conversion de nos linéaires côtiers en polygones, cette tendance est confirmée. En effet, la surface de Nouméa passe de 39,5 km<sup>2</sup> en 1935/43 à 47,6 km<sup>2</sup> en 2016 (Figure 28). Bien que certains secteurs du littoral aient connu un phénomène d'érosion et de recul du trait de côte sur la période 1935/43-2016 (- 0,27 km<sup>2</sup>), les gains en surface, notamment ceux induits par les remblais, ont été beaucoup plus importants (+ 8,39 km<sup>2</sup>). Nouméa a donc augmenté de façon notable sa surface, donc son territoire de 20 % en l'espace de 62 ans.

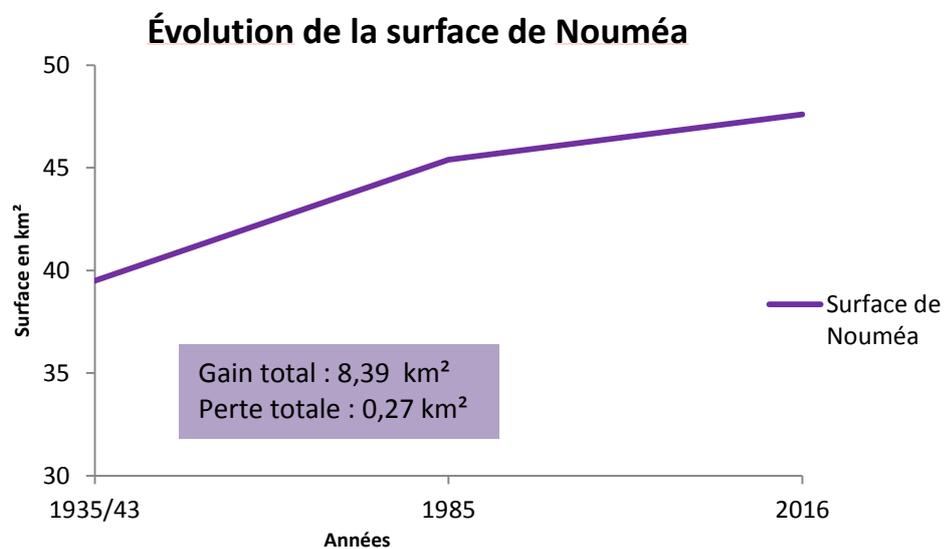


Figure 28 : Évolution de la surface de Nouméa entre 1954 et 2016

### b) Évolution diachronique du trait de côte

À partir de la couche d'information du trait de côte il est possible de générer l'évolution diachronique du trait de côte. Pour ce faire, il est nécessaire d'avoir les deux traits de côte entre lesquels on souhaite voir l'évolution dans la même classe d'entités de notre géodatabase. La suite consiste à relier les extrémités des deux traits de côte (Figure 29). Il est important de noter que ces manipulations sont réalisables sur les 10 traits de côte afin de calculer une vitesse d'évolution par période.

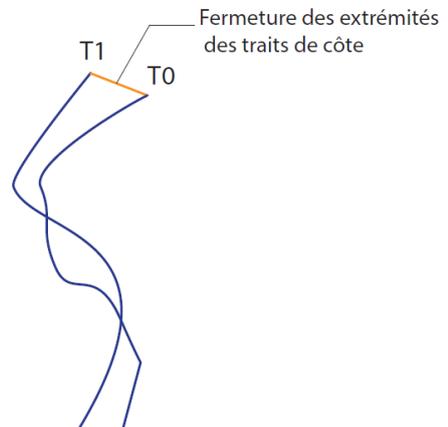


Figure 29 : Illustration de la fermeture des traits de côte

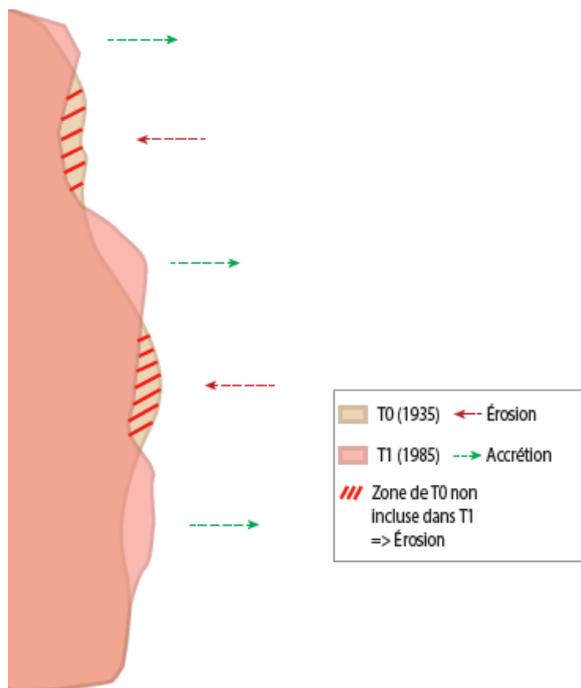


Figure 30 : Illustration des données en érosion et en accrétion

Cette étape va ensuite permettre de convertir les lignes en polygones. Chaque croisement entre les traits de côte va former un polygone. Ces polygones vont correspondre à l'évolution du trait de côte entre T0 et T1. Il faut ensuite trouver les zones en situation d'érosion, et celles en accrétion. Pour cela, l'outil de sélection par emplacement est utile. Si l'on sélectionne les entités du polygone de T1 qui sont contenues dans le polygone T0, alors les entités sélectionnées sont celles en érosion (Figure 30), car il y a eu perte de territoire depuis T0, et celles qui ne le sont pas sont les zones en accrétion. Ces informations sont renseignées dans la table attributaires, ce qui permettra, si nécessaire d'afficher les zones en accrétion et en érosion et ainsi calculer les surfaces affectées par un phénomène (Figure 31).



Il est ensuite possible de connaître la vitesse d'évolution et la mobilité de ces zones (distance gagnée ou perdue sur la mer).

Pour réaliser cela, une ligne de base en arrière des différents traits de côte a été générée le plus parallèlement possible (Figure 32 a). Cette méthode s'inspire de l'outil DSAS (Digital Shoreline Analysis System) développé par l'USGS<sup>26</sup>. Puis le long de cette ligne ont été ajoutés des points (Figure 32 b) équidistants de 30 mètres (distance choisie pour obtenir arbitrairement une évolution tous les 30 mètres). Ces points ont été créés grâce à l'outil construction de points dans la barre d'éditeur d'ArcMap ©. Les points servent de repères pour la création de transects, perpendiculaires à la ligne de base. La réalisation des transects est faite à partir de la barre d'outils construction d'entité qui permet de tracer un segment perpendiculaire à un autre (Figure 32c).

<sup>26</sup> Institut d'études géologiques des États-Unis

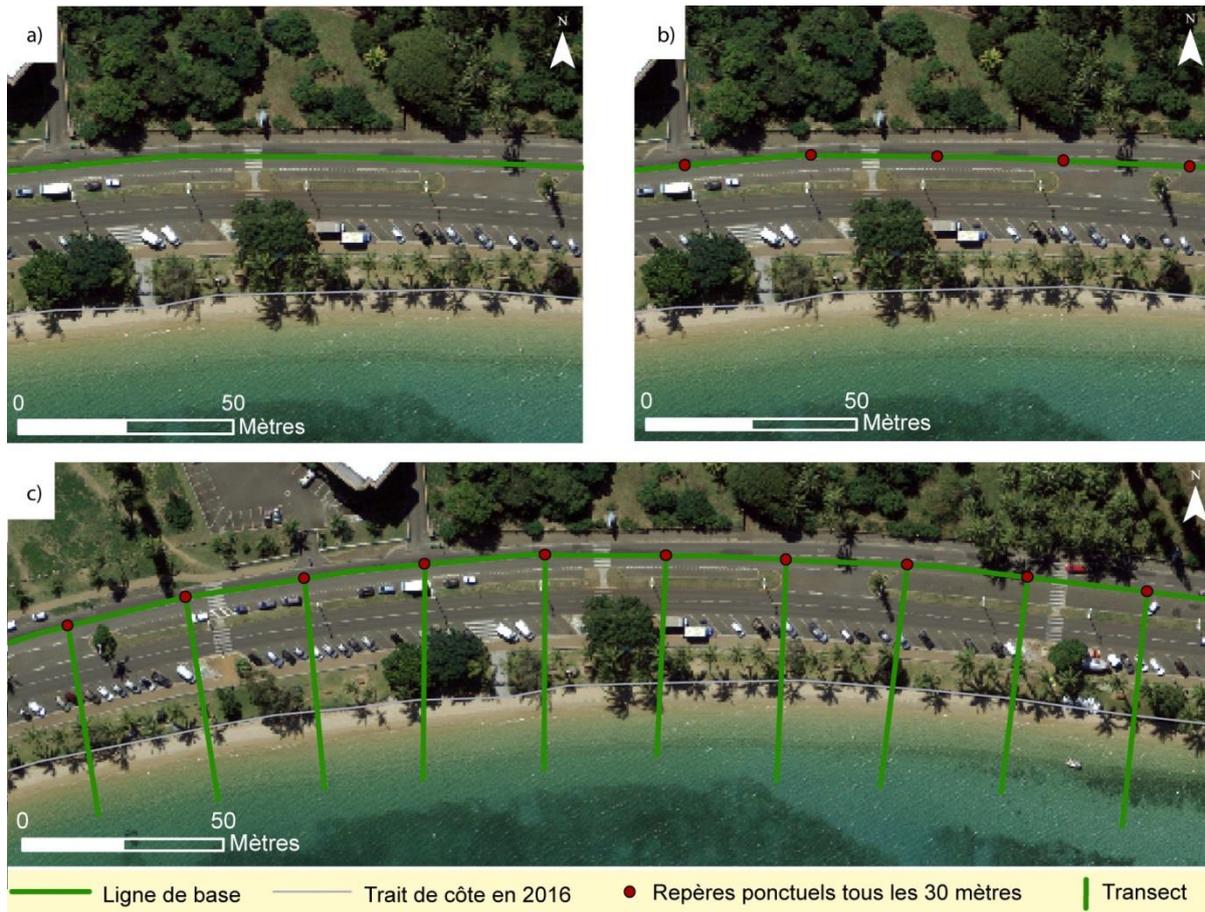


Figure 32 : Différentes étapes de la construction de transects (Orthophotographie 2016 – GIE SERAIL ; trait de côte 2016 en blanc)

Ces transects contiennent une information concernant la longueur des segments. De ce fait, en utilisant l'outil intersecter (outils de géotraitement) entre ces segments et les polygones d'évolution (gain/perte) générés précédemment (Figure 33 a), on obtient une ligne d'évolution avec l'information de longueur correspondante. Cette information ne comportant pas de notion de recul ou avancée, il est nécessaire de créer un nouveau champ dans la table attributaire, et de reprendre les longueurs, en ajoutant la mention « érosion » pour les segments en érosion (identifiable en effectuant une sélection selon l'emplacement dans les polygones avec une perte de territoire). Il est ainsi possible de générer les évolutions linéaires entre les dates souhaitées (Figure 33 b) en mètres. De plus, à partir de ces résultats il est également possible de calculer une vitesse d'évolution par an, en divisant les résultats par le nombre d'années séparant nos deux traits de côte initiaux (exemple pour la plus grande amplitude de date : 1935 -> 2016 = 81 ans).

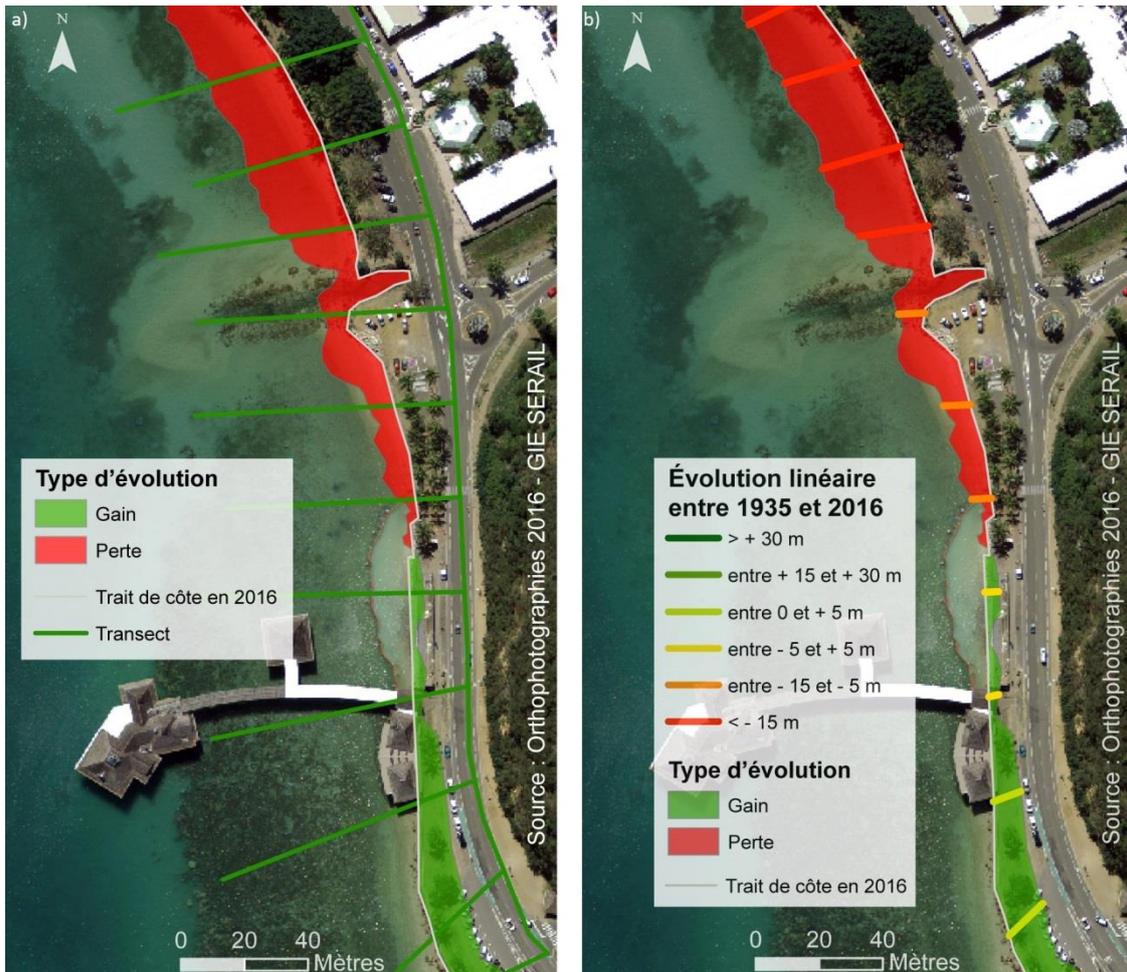


Figure 33 : Création de transects avec informations de longueur (Orthophoto 2016 – GIE SERAIL), extrémité Sud de la plage de l’Anse Vata

Il est important de noter, que suite au géoréférencement et à la digitalisation, une marge d’erreur est à prendre en compte. En effet, un biais est possible du fait de l’appréciation humaine des manipulations (EMQ + erreur de digitalisation<sup>27</sup>). De ce fait, lorsque les résultats seront présentés, les évolutions inférieures ou égales à 5 mètres (donc entre -5 et + 5 m), seront considérées comme stables (Figure 34).

Exemple dans le cas d’une accrétion de 3,5 mètres entre 2 dates :

Dans la table attributaire, la valeur 3,5 mètres apparaîtra, mais dans un nouveau champ de type d’évolution, il ne sera pas noté « accrétion », mais « stable ».



Figure 34 : Schéma explicatif de la marge d’erreur définie

<sup>27</sup> Erreur due au géoréférencement + erreur due à la photo-interprétation + saisie à l’écran

À partir des 10 traits de côte saisis sur Nouméa, et en suivant la méthode expliquée précédemment, il est possible de calculer une vitesse d'évolution des côtes. Cet exemple porte sur le site de l'Anse Vata.

À partir de la cartographie d'évolution calculée en cm/an du trait de côte (Figure 35) il est possible d'identifier des segments présentant une évolution la plus homogène possible.

Il est ainsi aisé d'isoler des segments et de calculer l'évolution de la plage de l'Anse Vata segment par segment (Figure 36) année par année. Sur la figure, l'évolution est calculée uniquement entre 1935, 1985 et 2016, mais disposant de tous les traits de côte, la méthode est transposable pour toutes les périodes et à n'importe quelle secteur côtier de Nouméa.

La Figure 36 permet de visualiser l'évolution par période et par segment, dans un premier temps en mètres cumulés sur l'ensemble de la période, mais également en cm/an. Il est possible, grâce à cela, de se rendre compte de l'évolution passée (1935 à 1985) et de l'évolution actuelle (1985 à 2016) qui ne sont pas identiques. Par exemple le secteur S2, qui profitait de la plus forte accrétion entre 1935 et 1985 se retrouve en situation d'érosion sur la période suivante.

Le graphique représente également la vitesse moyenne d'évolution sur la période complète (1935 à 2016). Il ressort de ces graphiques que deux secteurs de la plage de l'Anse Vata, sur l'ensemble de la période étudiée) sont en situation d'érosion, alors que les autres tendent à l'accrétion. Cependant, l'évolution récente de la plage montre une tendance générale à l'érosion, contrairement à la période 1935 → 1985. Cette plage apparaît comme un endroit à surveiller, si les résultats des dernières années tendaient à se confirmer dans le futur.

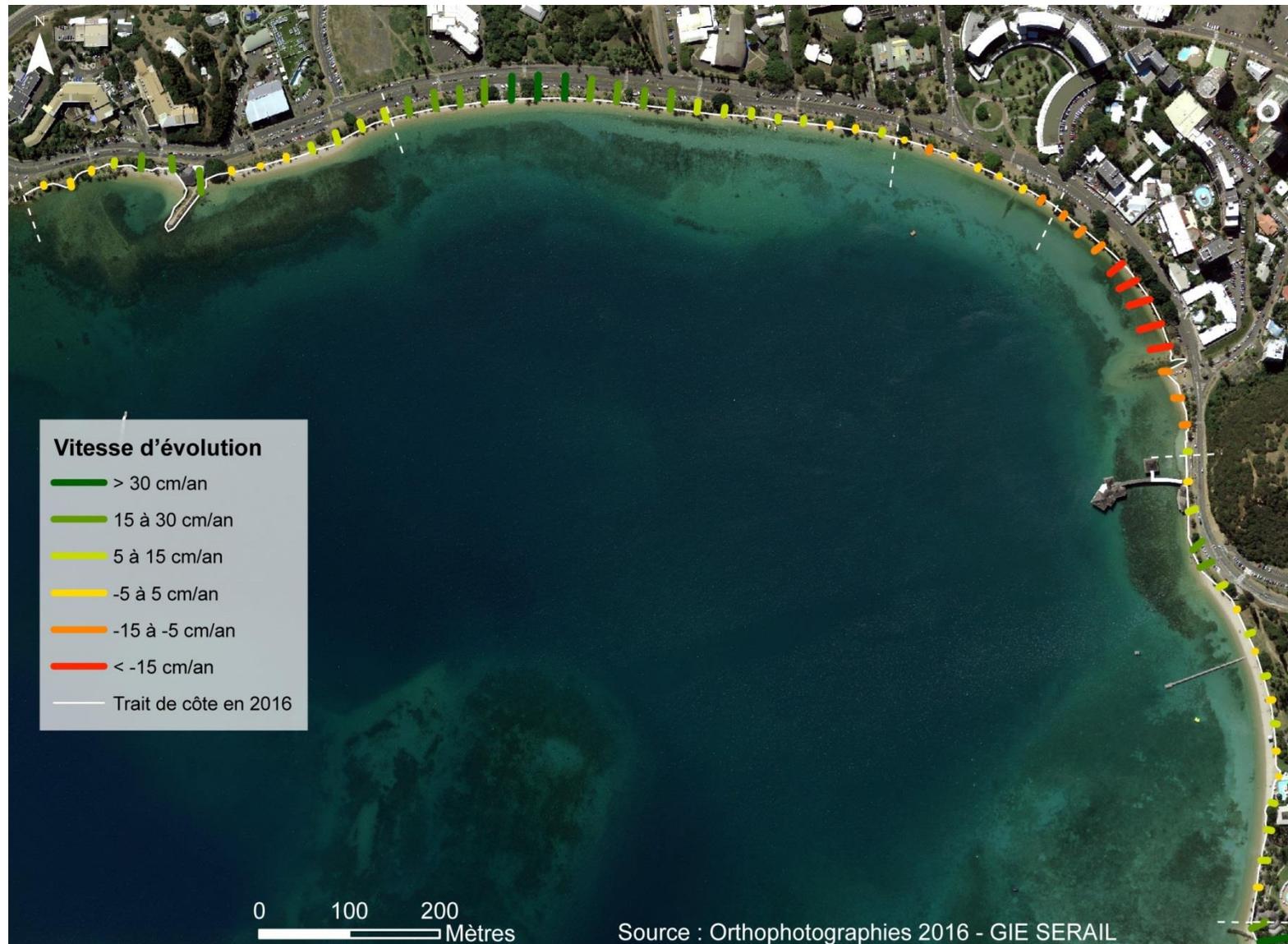


Figure 35 : Visuel de l'évolution du littoral de l'Anse Vata (en cm/an)

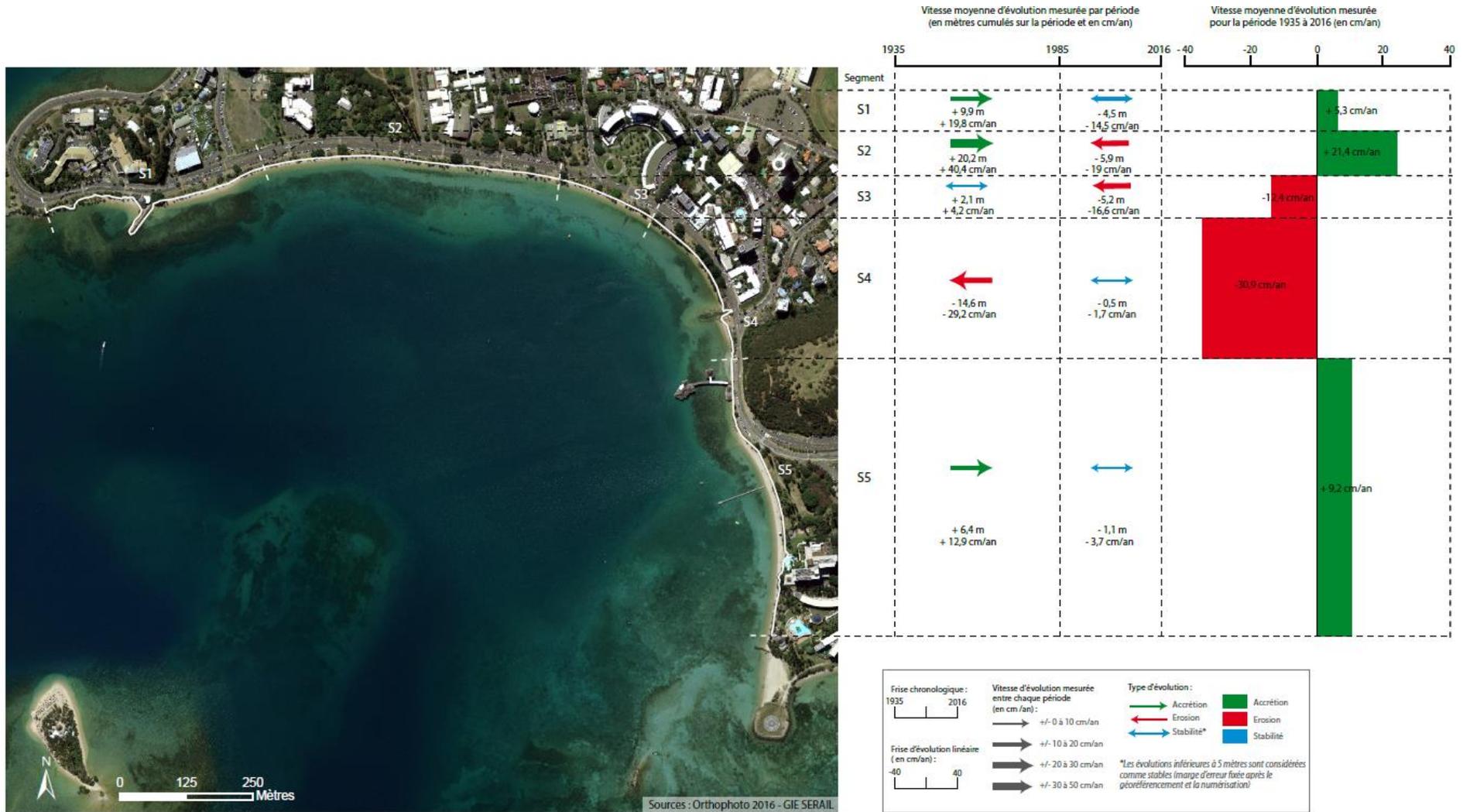


Figure 36 : Évolution du linéaire côtier de l'Anse Vata

### c) Évolution de la nature du trait de côte de Nouméa

En ce qui concerne la composition du linéaire côtier de Nouméa, en 1935/ 1943, 1985 et 2016, les valeurs sont présentées dans le Tableau 14. Afin d'en améliorer la lisibilité, et parce que la longueur totale du linéaire côtier a évolué avec le temps, les chiffres sont également donnés en pourcentage. Ces tableaux montrent la nette augmentation de côtes artificialisées au détriment des côtes naturelles (plage, côte rocheuse et mangrove). Cette forte augmentation s'explique notamment grâce au fort remblayage que connaît Nouméa au cours de notre période d'étude. En 2016, ce type de côte représente 65% du linéaire côtier de Nouméa (soit 105 km sur les 160 kilomètres que compte le linéaire côtier), contre environ 9% (12,5 km) en 1935/43 (Figure 37).

Tableau 14 : Composition de la côte de Nouméa en kilomètres et en pourcentage

Côte (linéaire en km)						
	Côte artificialisée	Côte rocheuse	Falaise	Mangrove	Plage	Total
<b>1935/43</b>	12,5	39,9	1,1	37,8	43,5	134,8
<b>1985</b>	75,1	25,3	1,1	27	25,3	153,8
<b>2016</b>	105,8	17,3	1	24,5	14	162,6

Côte (pourcentage du linéaire en km)						
	Côte artificialisée	Côte rocheuse	Falaise	Mangrove	Plage	Total
<b>1935/43</b>	9,27	29,60	0,82	28,04	32,27	100
<b>1985</b>	48,83	16,45	0,72	17,56	16,45	100
<b>2016</b>	65,07	10,64	0,62	15,07	8,61	100

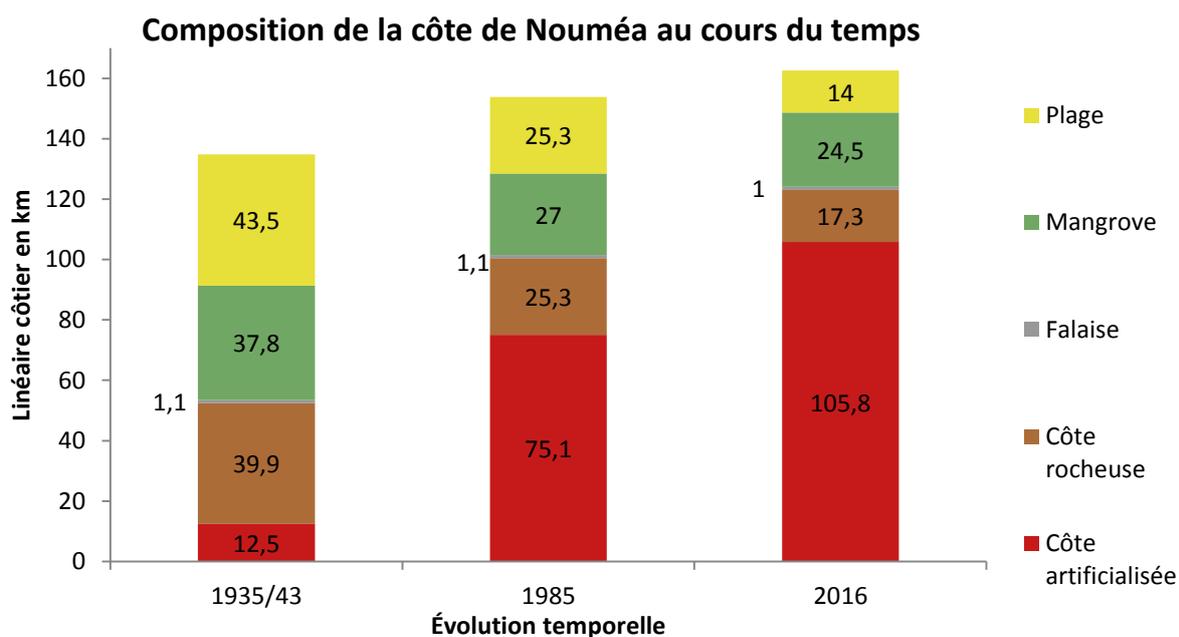


Figure 37 : Restitution possible avec la couche SIG mise en place (ex : pour la typologie des côtes)

Si l'on regarde là où l'évolution est la plus forte, c'est-à-dire entre 1935/1943 et 1985, le taux d'artificialisation (+ 500 %) coïncide avec la réponse de l'urbanisation au boom du Nickel. Cette période de développement économique associée à la forte production et exploitation minière a entraîné une phase d'urbanisation croissante. Une analyse sur la période de 1935/43 à 1954 quant à elle aurait permis d'évaluer l'impact de la présence de l'armée américaine sur l'évolution de l'urbanisation et l'artificialisation du littoral de la commune.

La typologie du linéaire côtier étant effectuée sur l'avant-côte, la côte et l'arrière-côte, il est également possible de présenter des résultats sur les deux autres compartiments, telle que l'évolution de la composition de l'avant-côte par exemple (Figure 38). Le type indifférencié représente les segments côtiers sans avant-côte, c'est-à-dire les zones où rien ne prolonge le littoral (Tableau 15). Ces zones sont en forte augmentation, notamment à cause de la numérisation des canaux (les avant-côtes des canaux ne comportent ni mangrove, ni récif frangeant)

Il est intéressant de noter que malgré une diminution sur la période complète, les mangroves ont gagnées en territoire lors de l'évolution récente (1985 à 2016).

Dans le même temps, la proportion de mangrove et récif frangeant combinée a diminué. Les récifs étant stables, la mangrove a pu diminuer dans ces zones.

En ce qui concerne les récifs, leur variation est à relativiser, étant donné que sur les photographies anciennes il n'est pas toujours évident de les distinguer. Il est possible qu'un biais de numérisation soit la cause de la variation de ces derniers (49,6 km en 1935/43 contre 54,8 km en 2016.)

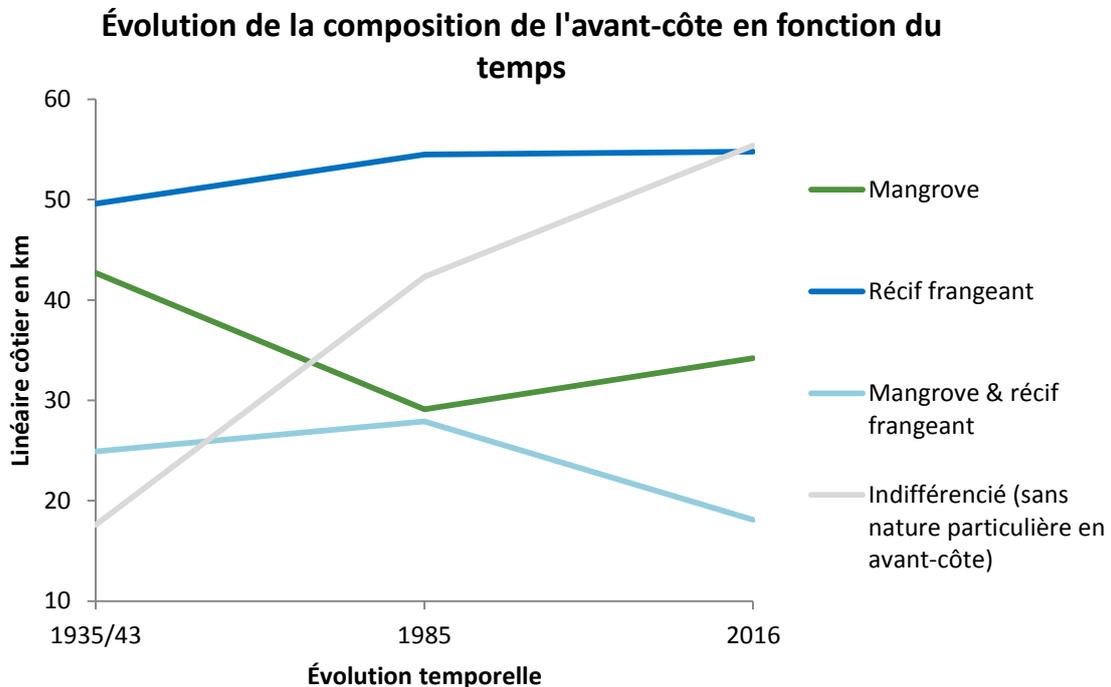


Figure 38 : Exemple de restitution possible pour l'avant-côte

Tableau 15 : Composition de l'avant-côte de Nouméa en kilomètres

	Mangrove	Récif frangeant	Mangrove & récif frangeant	Sans avant-côte*
1935/1943	42,7	49,6	24,9	17,6
1985	29,1	54,5	27,9	42,3
2016	34,2	54,8	18,11	55,4

Les typologies du linéaire côtier permettent de suivre l'évolution de chacun des environnements présents sur le littoral de Nouméa (et la quantifier), mais également leur part sur celui-ci.

À partir de ces données, il est également possible de déterminer les types d'évolutions, c'est-à-dire si une côte rocheuse a été transformée en côte artificialisée, si une zone de mangrove est à présent une côte artificialisée (enrochement...).

#### *d) Évolution des aménagements et ouvrages côtiers*

À elle seule, la couche d'aménagements côtiers traduit bien l'urbanisation côtière avec un nombre d'aménagements quasiment multiplié par 25 entre le composite 1935/1943 et 2016 (Tableau 16).

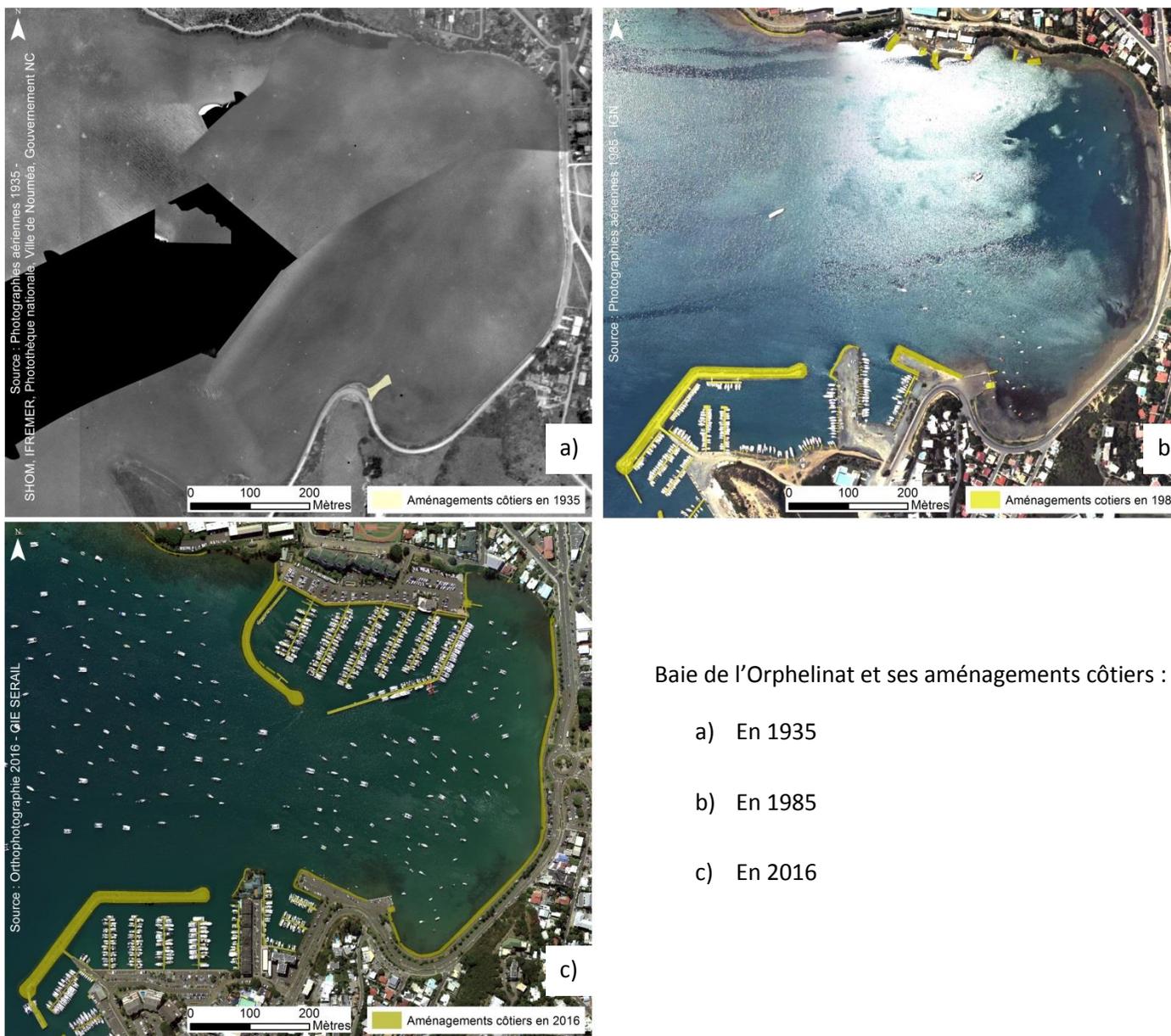
Tableau 16 : Aménagements côtiers par année sur Nouméa

Date	Nombre d'aménagements recensés
1935/43	24
1985	256
2016	590

La Figure 39, au niveau de la baie de l'Orphelinat de Nouméa permet de cartographier l'emprise importante que représentent ces aménagements en 2016. De par l'apparition des remblais, et la mise en place de quais, pontons et digues, le littoral de cette baie se trouve fortement artificialisé. En plus des aménagements portuaires, une recrudescence notable des bateaux amarrés à des corps-morts<sup>28</sup> (alternative aux ports surchargés) est visible en 2016.

En plus de donner des informations sur le type ou l'orientation (notion importante en termes de transport sédimentaire) des aménagements côtiers, cette couche vectorielle prend tout son sens en accord avec la couche de typologie du littoral. Cette combinaison de couche pourra permettre la mise en place d'une cartographie de la modification du fonctionnement naturel des côtes induit par les ouvrages, et ainsi observer les potentielles répercussions de chaque ouvrages sur les côtes de Nouméa.

<sup>28</sup> Dalle de béton, objet pesant ou groupe d'ancres de grandes dimensions réunies par des chaînes et servant à l'amarrage des navires



Baie de l'Orphelinat et ses aménagements côtiers :

- a) En 1935
- b) En 1985
- c) En 2016

Figure 39 : Évolution des aménagements côtiers dans la baie de l'Orphelinat

### e) Évolution de l'occupation du sol

De par sa structure, la couche d'occupation du sol permet d'effectuer des traitements, requêtes, statistiques etc. à différentes échelles de précision. Avec par exemple au sens le plus large, le pourcentage d'occupation du sol naturel ou artificiel (Tableau 17).

Tableau 17 : Comparaison OCS naturelle et artificielle

	Surface naturelle en km <sup>2</sup>	Surface artificialisée en km <sup>2</sup>	% Naturel	% Artificiel	Surface totale numérisée en km <sup>2</sup>
<b>1935/43</b>	20,4	3,5	85,3	14,7	24,0
<b>1985</b>	14,3	16,7	46,1	53,9	31,0
<b>2016</b>	8,1	25,6	24,0	76,0	33,7

À titre d'information :

Les surfaces numérisées ne sont pas identiques, à savoir : 24 km<sup>2</sup> en T0, 31 km<sup>2</sup> pour T1 et 33,7 km<sup>2</sup> pour T2. Ces différences s'expliquent par le terrain gagné sur la mer grâce aux remblais entre ces dates.

L'occupation du sol présente les résultats déjà mis en évidence par la typologie du linéaire côtier (et les aménagements), à savoir une forte artificialisation de la bande côtière. Cette dernière est passée d'une composition majoritairement naturelle en 1935/1943 à une composition (quasiment) égale en 1985. En revanche en 2016, la bande côtière de Nouméa est à plus de 75 % artificielle (7 fois plus importante qu'il y a 80 ans).

En descendant d'un niveau dans la classification de l'occupation du sol, il est possible de mettre en évidence que le gain en zone artificielle s'est fait essentiellement au dépend des forêts ; regroupant les zones de végétations arbustives et/ou herbacée et les zones de forêt sèches lorsque l'on se situe au niveau le plus précis de notre classification (Figure 40).

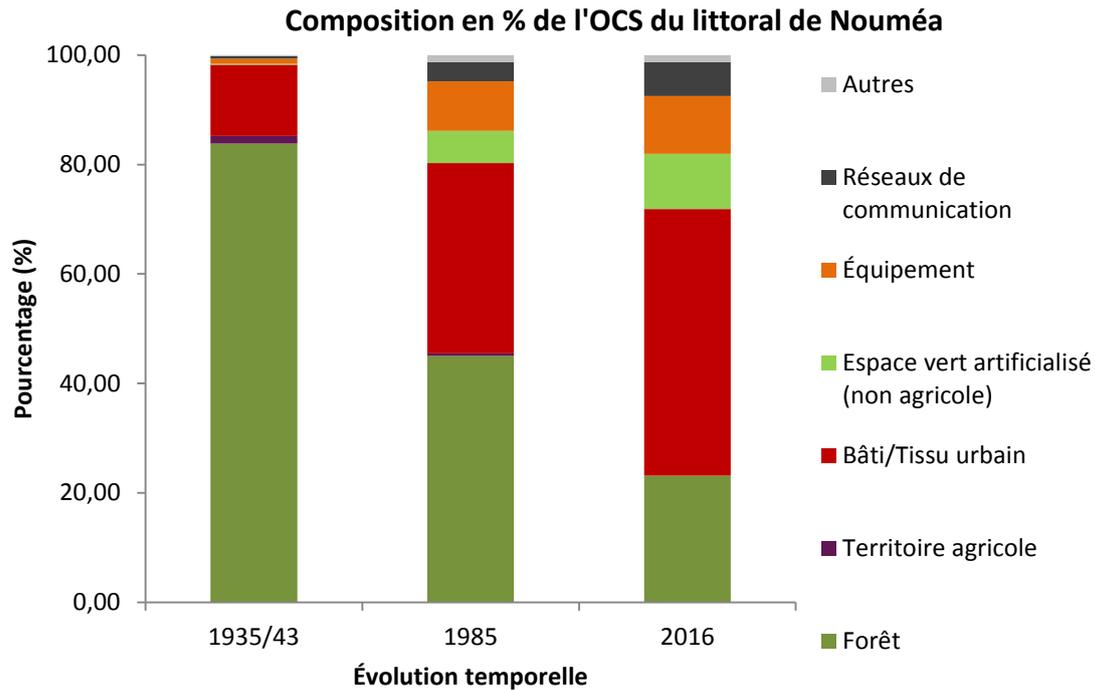


Figure 40 : Composition de l'occupation du sol côtière Nouméa

Alors que les zones de forêts disparaissent peu à peu, elles laissent majoritairement place à du tissu urbain, des réseaux de communications et également des espaces verts.

Il est en revanche intéressant de noter que les terres agricoles, déjà peu présentes en 1935 (0,33 km<sup>2</sup>) ont diminuées jusqu'en 1985 (0,14 km<sup>2</sup>), puis ont totalement disparues aujourd'hui (le Tableau 18 récapitule ces évolutions).

Tableau 18: Composition de la bande côtière en fonction du type d'environnement (deuxième niveau)

	Surface en 1935/43 (km <sup>2</sup> )	Surface en 1985 (km <sup>2</sup> )	Surface en 2016 (km <sup>2</sup> )
Forêt	20,06	13,97	7,8
Territoire agricole	0,33	0,14	0
Bâti/Tissu urbain	3,12	10,8	16,4
Espace vert artificialisé (non agricole)	0,04	1,83	3,4
Équipement	0,23	2,8	3,56
Réseaux de communication	0,1	1,1	2,07
Autres*	0,05	0,39	0,44
Total côte numérisée	23,93	31,03	33,67

\*Regroupe plages, falaises, zones humides côtières, côtes rocheuses et aménagements côtiers situés en arrière du trait de côte

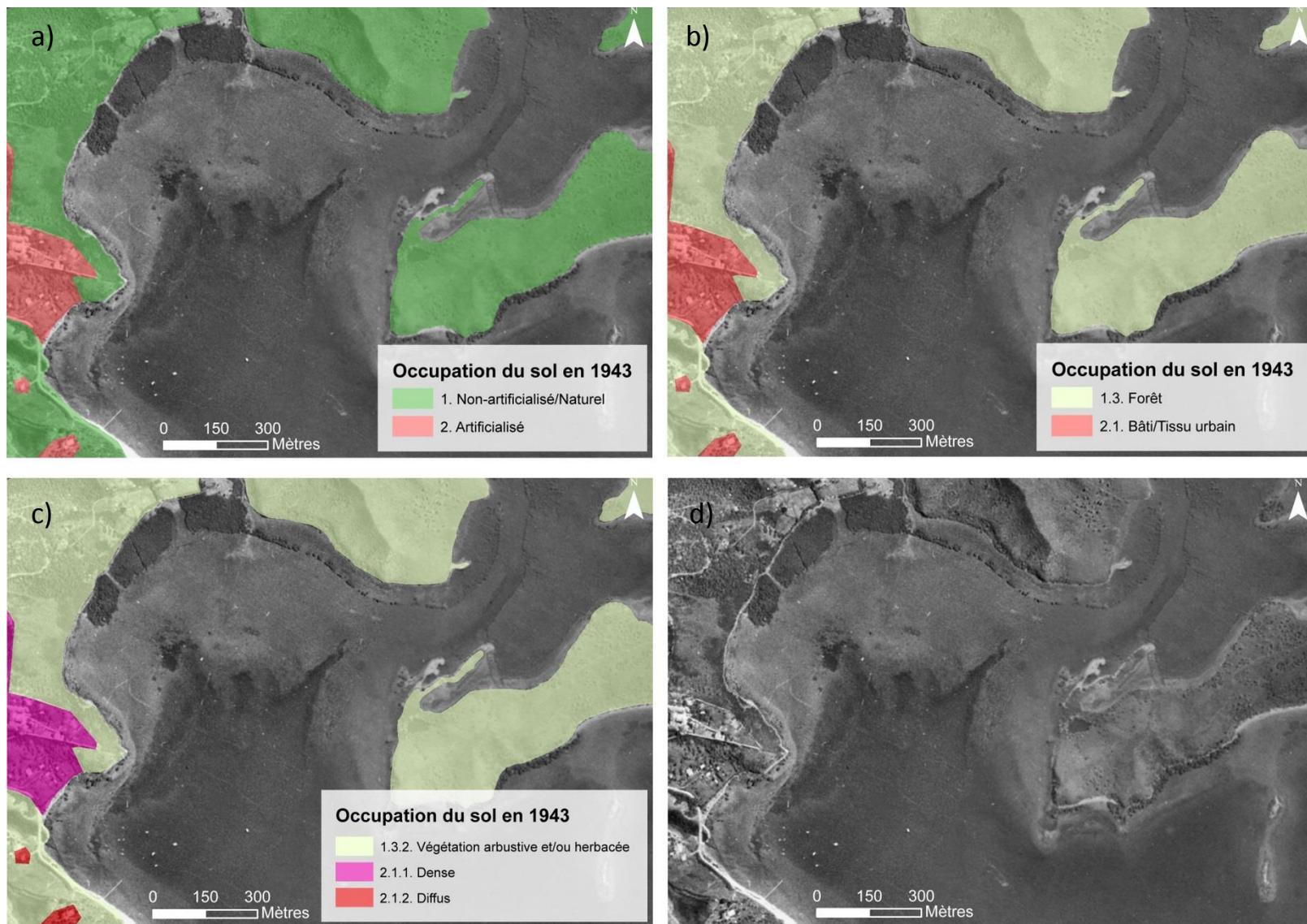
Comme rappelé précédemment, l'organisation de la couche d'occupation du sol permet d'accéder à un grand nombre de représentations et classifications cartographiques. La Figure 41

(pour 1943) et la Figure 42 (pour 2016) donnent l'aperçu sur une zone (entre Ouémo et la baie de Sainte-Marie) de cartographies possibles à partir de cette couche d'informations. Ces restitutions partent du niveau le plus large vers le niveau le plus fin dans la hiérarchie de la nomenclature (Ensemble -> Type -> Sous-type), auxquelles on ajoute également la cartographie des remblais. Bien qu'il soit éventuellement possible de réaliser une cartographie des usages, cette dernière n'apparaît pas ici et n'a pas été traité dans le cadre du stage.

Le parallèle entre les deux campagnes de photographies aériennes permet de mettre en évidence l'évolution du littoral, dans un premier temps en termes de gain de territoire sur la mer, mais également en termes d'artificialisation, avec une forte apparition des remblais. Ces derniers, exclusivement présent sur le centre-ville en 1943, suivent à présent toute la côte de la commune. La quasi-totalité de la côte naturelle ayant laissée place à du bâti résidentiel ou des emplacements verts urbains.

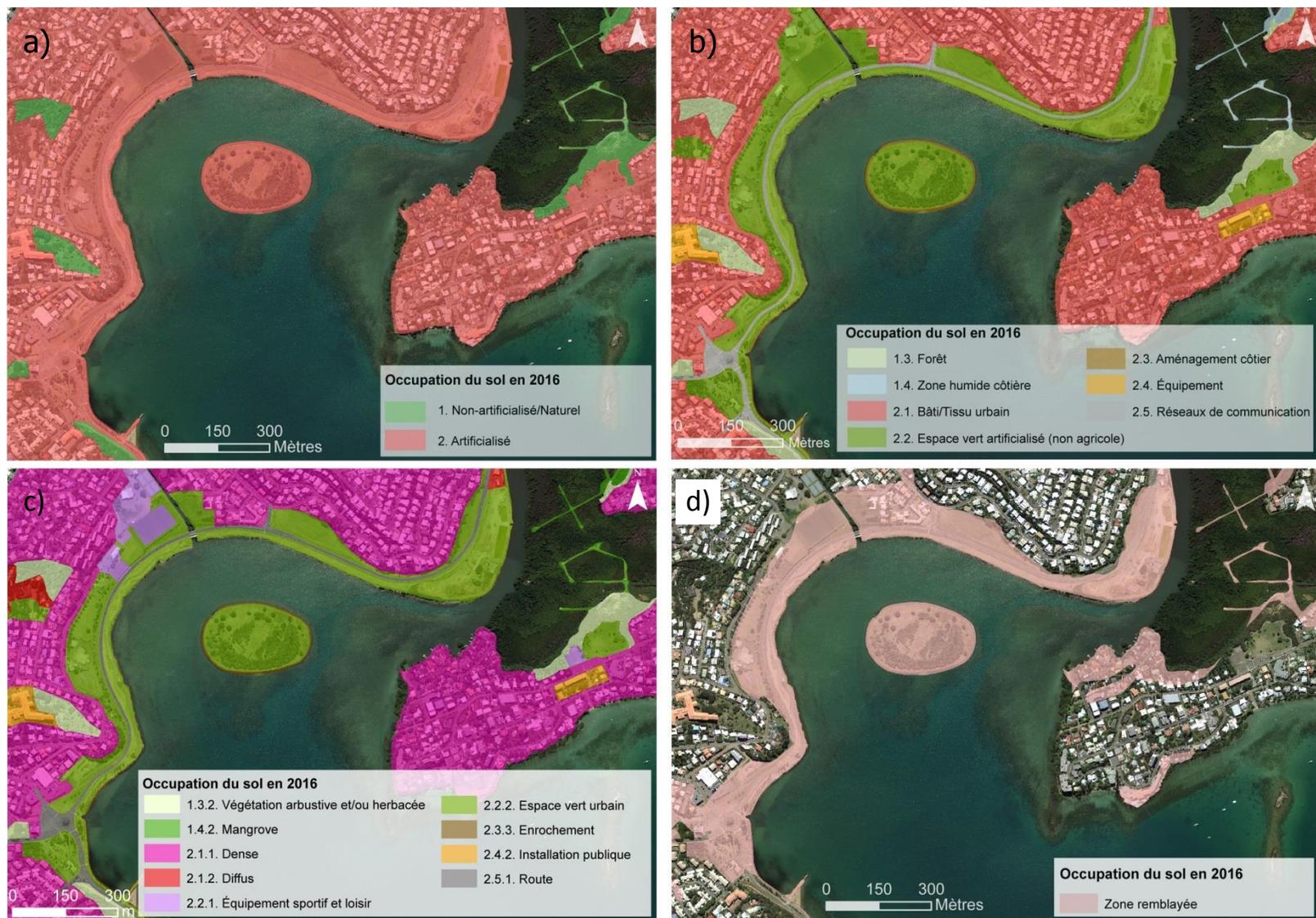
Il est également important de noter l'apparition d'un îlot artificiel dans la baie de Sainte-Marie. Ce dernier est destiné à modifier la courantologie afin de limiter l'effet d'envasement et pour ainsi éviter la stagnation des eaux. Il est un marqueur de plus de cette artificialisation grandissante sur le littoral de Nouméa.

Grace à cette couche d'occupation du sol, il est possible de s'attarder plus précisément sur la présence et l'évolution des remblais à Nouméa. En effet, la bande côtière compte aujourd'hui 11 fois plus de remblais (Figure 43) qu'à la date initiale de l'étude (composite 1935/1943/1954).



Source : Photographies aériennes de 1943 - U.S. NAVY / Gouvernement NC

Figure 41 : Restitutions possibles avec les différents niveaux de la couche d'occupation du sol en 1943 ; a) Ensemble (niveau 0) ; b) Type (niveau 1) ; c) Sous-type (niveau 2) ; d) Remblais



Source : Orthophotographie 2016 - GIE SERAIL

Figure 42 : Restitutions possibles avec les différents niveaux de la couche d'occupation du sol en 2016 ; a) Ensemble (niveau 0) ; b) Type (niveau 1) ; c) Sous-type (niveau 2) ; d) Remblais

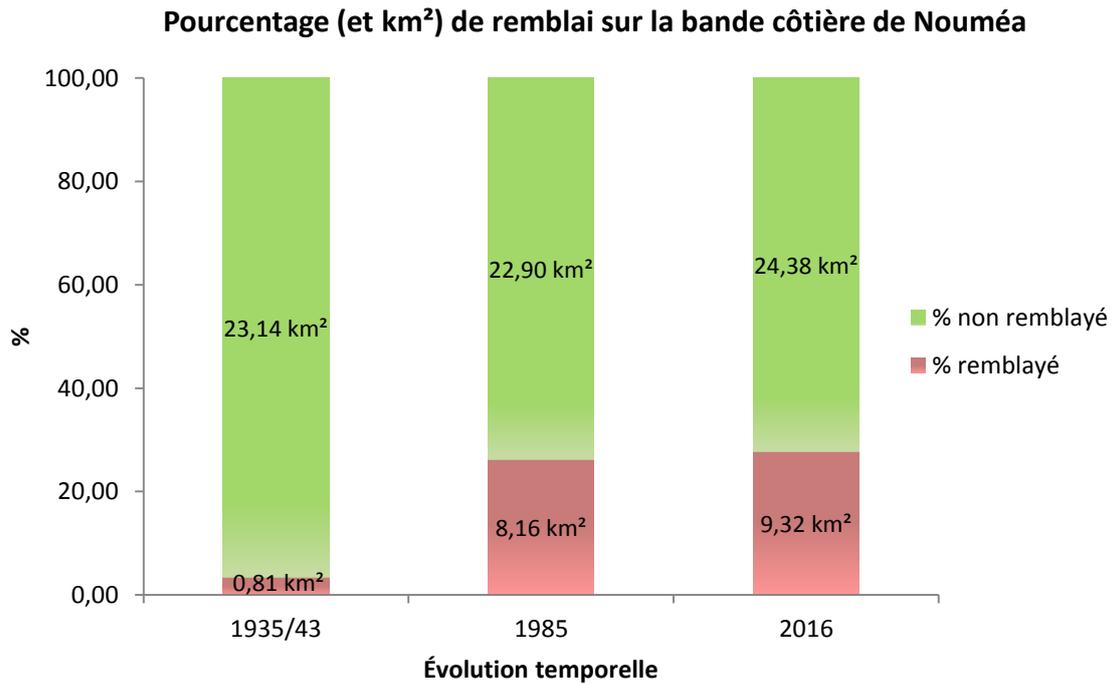


Figure 43 : Évolution du remblai sur la bande côtière de Nouméa

En 1935, le littoral de Nouméa présentait déjà quelques zones remblayées. En effet, l'arasement de la butte Conneau a permis l'assainissement des zones de marais, notamment le centre-ville. Cependant c'est dans les années qui suivirent (1985), que la proportion des remblais à Nouméa a vraiment explosé. Cette proportion continue d'ailleurs toujours de gonfler jusque dans les années 2000, même si le rythme a grandement ralenti. En 2016, 27 % de la bande côtière de Nouméa se trouve sur une zone remblayée.

Un des pourvoyeurs majeurs de cette augmentation, aussi bien de la surface de Nouméa, que de la surface des remblais, se trouve être le site industriel de la SLN (Figure 44). En effet la zone de stockage constituée des scories<sup>29</sup> de l'usine s'étale sur une superficie qui n'a, des années durant, jamais cessée de gagner du territoire sur la mer (+ 2,4 km<sup>2</sup> entre 1935 et 2016). Cette figure représente les remblais aux dates T1 et T2 (aucun remblai n'étant présent en T0 sur la zone), et également l'emplacement évolutif du trait de côte, c'est-à-dire la limite des remblais en linéaire pour chaque année.

L'expansion est à présent ralentie, mais la SLN a grandement participé à l'augmentation du territoire de Nouméa, se servant de ses propres scories pour ses remblais mais également pour le port autonome et Nouville.

À noter que des remblais constitués de matériaux non miniers (issus des chantiers, zone d'extraction de matériaux) sont également présents sur la commune (Sainte-Marie notamment).

<sup>29</sup> Résidus de fonderie



Figure 44 : Évolution des remblais au niveau de la SLN

## V. Conclusion

La présente étude a permis de réaliser des analyses diachroniques sur une période de 80 ans sur le littoral de la zone urbaine de Nouméa ; que ce soit en termes de trait de côte, de typologie côtière, d'aménagement côtier et ouvrages côtiers, ou bien de l'occupation du sol de la bande littorale.

Les analyses et résultats présentés permettent de mettre en évidence l'artificialisation importante de Nouméa sur la période d'étude. Que ce soit pour le linéaire côtier, les aménagements ou bien l'occupation du sol littorale, la même tendance d'évolution est observée ; à savoir une forte artificialisation du littoral. En effet, le linéaire côtier est aujourd'hui constitué de plus de 65 % de côtes artificialisées contre 9 % en 1935/1943. A noter que l'évolution majeure s'est opérée entre 1935/1943 et 1985. Le nombre d'aménagements côtiers a augmenté de manière significative sur la même période (multiplié par 25). Quant à l'occupation du sol de la bande littorale, elle a connu une forte urbanisation, notamment avec l'apparition des zones de remblais qui ont permis à Nouméa d'étendre son territoire sur la mer. Ces évolutions coïncident avec le « Boom du Nickel », période de croissance économique, par conséquent très attractive pour la population. Ce qui a entraîné une urbanisation croissante de la ville. Ces évolutions se sont faites au profit majoritairement des espaces boisés en termes d'occupation du sol, ou de mangroves, plages et côtes rocheuses pour le linéaire côtier. Cependant, il est aussi intéressant de noter que la mangrove, qui a diminué sur l'ensemble de la période de l'étude (de 1935 à 2016), a en revanche augmenté sur les dernières années (1985 à 2016).

Il est important de rappeler que les analyses et résultats présentés ici ne sont qu'une démonstration de ce qu'il est possible de faire avec ces données. Chacune des couches d'informations présentées ici peuvent, de par leur structure et les informations qu'elles contiennent, être exploitées de manière individuelle. Cependant, la superposition de ces informations, permet d'agrandir le panel d'utilisations et de dégager des analyses complémentaires. Le recoupement de ces données de références, permettra notamment la production de cartes d'aléas potentiel (submersion ou érosion). De même, le croisement avec des données relatives aux enjeux pourra être exploité dans le cadre d'une étude sur les risques côtiers sur la commune de Nouméa.

Ces cartes auraient pour objectifs d'anticiper et prévenir les changements environnementaux, notamment l'élévation du niveau marin. Des modélisations permettraient de définir et cartographier des zones sensibles, utiles à la mise en place de politiques d'adaptation au changement climatique. Il sera également possible d'identifier les effets induits par les ouvrages et aménagements côtiers sur le fonctionnement sédimentaire naturel des côtes nouméennes. La mise en place d'un suivi à partir des données de 2016 (état de référence) permettra de caractériser les évolutions à venir de ce territoire. Une mise à jour des données à une fréquence qui reste à définir est donc à programmer.

La mise à disposition des données dans l'explorateur cartographique OBLIC et la transmission de ces dernières à la mairie, font également partie des actions à suivre.

## Bibliographie / Webographie

**Amiot I., Amiot S., Buisson D., Brouté J.C., Chautard S., Delorme H., Déniel J.L., Leclercq J.L., Lemaistre Y., Merlau-Ponty C., Rota P., Télecès S., Wedoye B. (1997)** – Ville en dessein – Plans, cartes & espaces à Nouméa.

**Corfini R. et Rat Patron A. (2013)** – Assemblage de photographies aériennes historiques pour l'IFREMER. DIGITECH International.

**De La Torre Y. et Louzé J., collab. Dewez T. (2008)** - Méthodologie pour l'évaluation et la cartographie des aléas côtiers à La Réunion. Phase 2. BRGM/RP-56589-FR, 36p + annexes.

**Denis C. (2013)** - Exploitation des images THR en vue d'une cartographie précise des ilots de la zone « Entrecasteaux » - Rapport final. 22 p.

**Faye I. (2010)** - Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2010. Français.

**Garcin M. (2013)** - Projet ARAI 3 : Aménagement et ouvrages côtiers polynésiens – incidence sur l'aléa submersion et impacts environnementaux. Rapport BRGM/RP-61656-FR, 65 p., 45 fig., 4 tab..

**Garcin M., Vendé-Leclerc M. (2013)** - Évolution récente et future des systèmes côtiers en Nouvelle-Calédonie. – Rapport de fin de mission. Convention DIMENC-BRGM, 8 p., 5 fig..

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

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

**Hoffer O. (2013)** - Quand le littoral se ferme. Quelle gouvernance de l'accès et des usages de l'interface littorale dans les agglomérations d'Auckland, Nouméa et Port-Vila ?. Thèse de doctorat, 418p.

**Roques C., Bengoubou-Valerius M., Le Cozanet G. (2010)** - Évolution et dynamique du trait de côte de l'archipel guadeloupéen. Étude de 1956 à 2004. BRGM/RP-58750-FR. 93 pages, 28 illustrations, 5 annexes.

**Vigné P., Védrenne S., Frère A. (2008)** - Nomenclature pour la nouvelle base de données de l'occupation du sol du littoral 2000- 2006. CETE Normandie Centre – Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.

**Yates M.L., Le Cozannet G., Garcin M., Salai E., Walker P. (2013)** - Multidecadal Atoll Shoreline Change on Manihi and Manuae, French Polynesia. Journal of Coastal Research Vol. 29, No. 4.

Création orthomosaïque : <http://www.agrotic.org/drones/?p=202>

Site Arcorama pour le géoréférencement d'images : <http://www.arcorama.fr/2012/08/arcgis-101-georeferencement-dimages.html>

Site du BRGM : <http://www.brgm.fr/>

Aide ArcGis (géoréférencement, règles de topologies, etc.) : <http://desktop.arcgis.com/fr>

Site de la DIMENC : <https://dimenc.gouv.nc/>

Explorateur cartographique : <https://explorateur-carto.georep.nc/>

Mode d'emploi PhotoScan : [https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/3124/files/2016/02/Photoscan\\_ModeEmploi\\_2015.pdf](https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/3124/files/2016/02/Photoscan_ModeEmploi_2015.pdf)

Explications sur l'aérotriangulation : <http://www.gisbox.ro/FR/index.php?p=22>

Mode d'occupation du sol sur le littoral (IFREMER) : <http://sextant.ifremer.fr/record/f63f945a-8295-40b0-90e3-83c1cff208d4/>

Nomenclature CORINE Land Cover (CLC) : [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/t/nomenclature-standard.html?tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=24270&cHash=2c5863bd046f51082f76794ba2355880](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/t/nomenclature-standard.html?tx_ttnews[tt_news]=24270&cHash=2c5863bd046f51082f76794ba2355880)

## Annexes

### Planning prévisionnel stage

15 sept. 2017

#### Tasks

2

Nom	Date de début	Date de fin
Phase 1 : Etat des lieux récupération de la donnée	02/05/17	29/05/17
Lectures bibliographiques, inventaire des images disponibles	02/05/17	11/05/17
Récupération des données (photos aériennes)	10/05/17	29/05/17
Phase 2 : Préparation des données	15/05/17	02/06/17
Découpage des bordures des photos anciennes (FME)	15/05/17	29/05/17
Création de mosaïque avec Photoscan à partir des précédentes images	16/05/17	02/06/17
Géoréférencement des mosaïques	17/05/17	02/06/17
Rapiécage photos manquantes (non alignées par photoscan) aux mosaïques	23/05/17	02/06/17
Phase 3 : Numérisation	05/06/17	21/08/17
Définition d'une typologie de trait de côte / littoral + structuration des données	05/06/17	23/06/17
Numérisation du trait de côte de chaque année avec identification de la topologie (arrière côte + côte)	26/06/17	03/08/17
Définition de l'OCS (numérisation surfacique)	04/08/17	21/08/17
Phase 3 : Traitements et analyses (différences d'évolutions entre les années etc)	22/08/17	01/09/17
Phase 4 : Mise en forme des résultats, bilan	28/08/17	15/09/17
En plus : Sorties terrain	07/06/17	15/06/17
Sortie terrain 1	07/06/17	07/06/17
Sortie terrain 2	15/06/17	15/06/17
Phase 4 : Rédaction du rapport	22/05/17	15/09/17