

« VULITMAY »

Définition de la vulnérabilité des enjeux des littoraux de Mayotte et proposition de modes de gestion

Rapport final

BRGM/RP- 57004-FR

Janvier 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2008 08LITY07

Y. De La Torre et T. Léopold

Vérificateur :

Nom : Y. BALOUIN

Date : 26/03/2009

Signature :



Approbateur :

Nom : JL NEDELLEC

Date : 02/04/09

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : enjeux, érosion, gestion, submersion, vulnérabilité.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
DE LA TORRE Y., LEOPOLD T. (2009) – « VULITMAY », vulnérabilité des enjeux des littoraux de Mayotte et proposition de modes de gestion. BRGM/RP-57004-FR, 58 p + annexes.

Synthèse

Les risques côtiers résultent de la conjonction entre les aléas naturels (érosion, submersions marines) et l'implantation d'enjeux humains liés aux activités et aux aménagements sur le littoral.

Basée sur l'analyse des enjeux existants et futurs et sur la caractérisation des aléas côtiers sur 20 sites représentatifs, cette étude « VULITMAY », cofinancée par la Direction de l'Équipement (DE) de Mayotte et la dotation de Service Public du BRGM, propose une méthode d'estimation de la vulnérabilité des enjeux littoraux de Mayotte et des modes de gestion adaptés.

La première étape consiste à définir le type et le niveau d'enjeu du site concerné. Pour cela, les enjeux sont regroupés dans 4 catégories principales (routes, zones urbaines, zones aménagées hors zones urbaines, zones d'urbanisation future¹) et hiérarchisés en fonction de leur sensibilité. Une grille de synthèse permet ainsi de situer l'ensemble des enjeux possibles.

La seconde étape s'attache à déterminer le niveau d'exposition du site aux aléas côtiers. La cartographie des enjeux et une campagne de terrain ont permis de sélectionner les 20 sites représentatifs sur lesquels les aléas côtiers ont été estimés.

L'aléa érosion côtière a été calculé à +100 ans à partir de l'analyse de l'évolution du trait de côte sur les photographies aériennes rectifiées de 1949 à 2003. L'aléa submersion marine a été évalué en prenant en compte les caractéristiques de surcote (marée, surcote atmosphérique) de l'évènement de référence (tempête tropicale Feliksa) et en y intégrant les effets du déferlement de la houle (*set-up* et *runup*).

Les valeurs obtenues sur les sites représentatifs permettent de définir des seuils (distance à la mer et altitude par rapport au 0 NGM) pour proposer une grille de calcul simplifiée du niveau d'exposition aux aléas (érosion et submersions combinés) qui prend en compte les protections naturelles et artificielles possibles.

La troisième étape porte enfin sur le croisement du niveau d'enjeux et d'exposition aux aléas afin de définir l'indice de vulnérabilité (faible, moyen ou fort) du site concerné. Sur la base de ces 3 niveaux de vulnérabilités 3 modes génériques de gestion sont proposés :

- Vulnérabilité forte : ouvrages de protection (mur, enrochement, etc.) ;
- Vulnérabilité moyenne : méthode alternative de protection (drains, génie végétal, terrassement) ;

¹ Les enjeux environnementaux ne sont pas traités.

- Vulnérabilité faible : recul stratégique ou non gestion (abandon) des enjeux.

En fonction du mode de gestion et du type de littoral concerné (falaise, plage, mangrove), plusieurs solutions techniques adaptées au contexte de Mayotte sont présentées.

Cette méthode d'évaluation de la vulnérabilité des enjeux du littoral de Mayotte peut donc être appliquée pour la gestion des enjeux existants mais doit également servir à la mise en place d'une gestion préventive en limitant l'installation d'infrastructures sur les zones potentiellement dangereuses.

Sommaire

Introduction	9
1. Méthodologie générale	11
2. Analyse des enjeux	13
2.1. INFRASTRUCTURES ROUTIERES	13
2.1.1. Typologie du réseau routier	14
2.2. ZONES URBAINES.....	15
2.2.1. Concentration de population et nature des équipements.....	15
2.2.2. Classification des zones urbaines.....	16
2.3. ZONES AMENAGEES HORS ZONES URBAINES – LES PLAGES	17
2.4. ZONES D’URBANISATION FUTURE – ZONES NA ET ER.....	17
2.5. SYNTHESE DE LA CLASSIFICATION PAR TYPE D’ENJEUX	19
2.6. CARTOGRAPHIE DES ENJEUX.....	19
2.6.1. Cartographie des enjeux ponctuels et zonaux	19
2.6.2. Cartographie des enjeux globaux	20
2.7. SELECTION DES SITES REPRESENTATIFS	21
2.7.1. Présélection sous SIG.....	21
2.7.2. Expertise de Terrain	22
2.7.3. Résultats de la sélection	22
3. Caractérisation des aléas cotiers.....	27
3.1. PHILOSOPHIE GLOBALE	27
3.2. EROSION COTIERE.....	27
3.2.1. Analyse des photographies aériennes.....	27
3.2.2. Définition d’une ligne de recul de référence	28
3.2.3. Estimation et cartographie du trait de côte + 100 ans.....	29
3.2.4. Zonage de l’aléa érosion.....	30
3.2.5. Limites de la méthodologie	31
3.2.6. Résultats – érosion.....	34
3.3. SUBMERSIONS MARINES	35

3.3.1.	Détermination d'un évènement de référence : FELIKSA	36
3.3.2.	Surcote atmosphérique et marée astronomique	37
3.3.3.	Détermination des phénomènes de déformation du plan d'eau à la côte.....	38
3.3.4.	Détermination de la pente	40
3.3.5.	Détermination du niveau marin extrême.....	40
3.3.6.	Cartographie des zones d'aléa submersion marine	41
3.3.7.	Limites de la méthodologie	42
3.3.8.	Résultats – submersion.....	43
3.4.	GENERALISATION A UN NIVEAU GLOBAL D'EXPOSITION AUX ALEAS	44
4.	Estimation de la vulnérabilité et modes de gestion adaptés.....	47
4.1.	TYPES ET INDICES DE VULNERABILITE.....	47
4.2.	MODES GENERIQUES DE GESTION	47
4.2.1.	Ouvrages de protection.....	48
4.2.2.	Méthodes alternatives de protection	50
4.2.3.	Recul stratégique et non gestion	52
5.	Conclusion.....	55
6.	Bibliographie	57

Illustrations

Illustration 1– Démarche globale de l'étude	11
Illustration 2 – Niveaux d'enjeux du réseau routier (RN et CCD).....	14
Illustration 3 – Niveaux d'enjeux des zones d'urbanisation future	18
Illustration 4 – Synthèse de la classification par type d'enjeux	19
Illustration 5 – Résultats de croisement de niveau d'enjeux	20
Illustration 6 – Principe de sélections des sites représentatifs.....	21
Illustration 7 – Résultat de la sélection des 20 sites représentatifs.....	25
Illustration 8 – Campagnes photographiques utilisées, IGN	28
Illustration 9 – Classification du zonage aléa érosion et leur représentation cartographique.....	30
Illustration 10 – Exemple d'image de mauvaise qualité à Bandabroua, 1989.....	32
Illustration 11 – Exemple d'image de mauvaise qualité à Trévani ,1989	32
Illustration 12 – Problème de surexposition de la photographie, extrait de la BD IGN 1997, Sada	33

Illustration 13 – Zones principales en érosion.....	34
Illustration 14 - Trajectoire de Feliksa du 2 au 17 février 1985 (Météo-France).....	37
Illustration 15 – Les deux composantes du runup : le set-up et le swash	38
Illustration 16 – Classification du zonage aléa submersion.....	41
Illustration 17 - Principales zones de submersion	44
Illustration 18 – Classification des paramètres	45
Illustration 19 – Niveau d'exposition par classe.....	45
Illustration 20 – Grille d'estimation de l'indice de vulnérabilité.....	47
Illustration 21 – Modes de gestion en fonction de la vulnérabilité	48
Illustration 22 – Exemples de plantes adaptées au littoral de Mayotte et à la stabilisation des terrains de bord de mer	51

Liste des annexes

Annexe 1 Carte du trafic routier à Mayotte, septembre 2007	59
Annexe 2 Classes des risques des ouvrages (NF P 06-013).....	62
Annexe 3 Acronymes des zones d'urbanisation futures.....	65
Annexe 4 Carte des enjeux littoraux : les infrastructures routières	69
Annexe 5 Carte des enjeux littoraux : les zones urbaines.....	71
Annexe 6 Carte des enjeux littoraux : les zones d'urbanisation futures	73
Annexe 7 Carte des enjeux littoraux : les enjeux globaux.....	75
Annexe 8 Modèle de formulaire de terrain.....	77
Annexe 9 Marges d'erreur sur les photographies aériennes	81
Annexe 10 Evaluation du recul	83
Annexe 11 Modélisation FELIKSA – valeurs de la hauteur et de la période	87
Annexe 12 Evaluation du Runup	91
Annexe 13 Localisation des planches cartographiques – Caractérisation des aléas érosion et submersion marines.....	96
Annexe 14 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 1	97
Annexe 15 Cartes des aléas érosion théorique et adaptée (falaise : pas de cartes de submersion) – Planche 2	98
Annexe 16 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 3	99
Annexe 17 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 4	100

Annexe 18 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 5.....	101
Annexe 19 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 6.....	102
Annexe 20 Cartes des aléas érosion théorique et adaptée (falaise : pas de cartes de submersion) – Planche 7.....	103
Annexe 21 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 8.....	104
Annexe 22 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 9.....	105
Annexe 23 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 10.....	106
Annexe 24 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 11.....	107
Annexe 25 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 12.....	108
Annexe 26 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 13.....	109
Annexe 27 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 14.....	110
Annexe 28 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 15.....	111
Annexe 29 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 16.....	112
Annexe 30 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 17.....	113
Annexe 31 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 18.....	114
Annexe 32 Cartes des aléas érosion théorique et adaptée (falaise : pas de cartes de submersion) – Planche 19.....	115
Annexe 33 Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 20.....	116

Introduction

Les risques côtiers résultent de la conjonction entre les aléas naturels (érosion, submersions marines) et l'implantation d'enjeux humains liés aux activités et aux aménagements sur le littoral.

Cette étude « VULITMAY », cofinancée par la Direction de l'Équipement (DE) de Mayotte et la dotation de Service Public du BRGM, s'attache à la définition de la vulnérabilité des enjeux² situés sur les littoraux de Mayotte face aux aléas³ érosion et submersion marines, et à la proposition de modes de gestion.

L'objectif de ce projet est donc de fournir une méthode permettant d'estimer la vulnérabilité des enjeux et de proposer des modes génériques de gestion les plus appropriés en réponse aux différents niveaux de vulnérabilité identifiés. Cette démarche est basée sur 20 sites représentatifs d'enjeux potentiellement exposés aux aléas côtiers.

Le rapport présentera, en premier lieu, la démarche générale mise en œuvre pour cette étude. Seront par la suite développées les trois phases principales de cette démarche, soit :

- l'analyse des enjeux ;
- la caractérisation des aléas érosion côtière et submersion marines ;
- la proposition d'une méthode d'estimation de la vulnérabilité et de modes de gestion adaptés.

² Les enjeux représentent la « valeur humaine, économique ou environnementale des éléments exposés à l'aléa » (MATE, 1997) ; les biens marchands et non marchands potentiellement menacés.

³ L'aléa est considéré comme un « événement d'origine naturelle ou humaine potentiellement dangereux dont on essaie d'estimer l'intensité et la probabilité d'occurrence par l'étude des périodes de retour ou des prédispositions du site » (MATE, 1997).

1. Méthodologie générale

Le projet s'articule autour de trois phases principales (Illustration 1) :

- La **phase 1** a pour but de réaliser une analyse des enjeux, et d'établir une classification et hiérarchisation de ces derniers, à partir de leur importance en terme humain et économique. Sur cette base et en prenant en compte à la fois la typologie du littoral, une sélection de 20 sites représentatifs est proposée pour la phase 2.
- La **phase 2** vise à caractériser les aléas érosion et submersion marines (approche quantitative) sur les sites précédemment sélectionnés.
- La **phase 3** s'attache à définir sur la base des informations apportées par les sites représentatifs un indice de vulnérabilité des enjeux sur le littoral de Mayotte et présente des recommandations de gestion générique à partir de la vulnérabilité des enjeux et du type de littoral concerné.

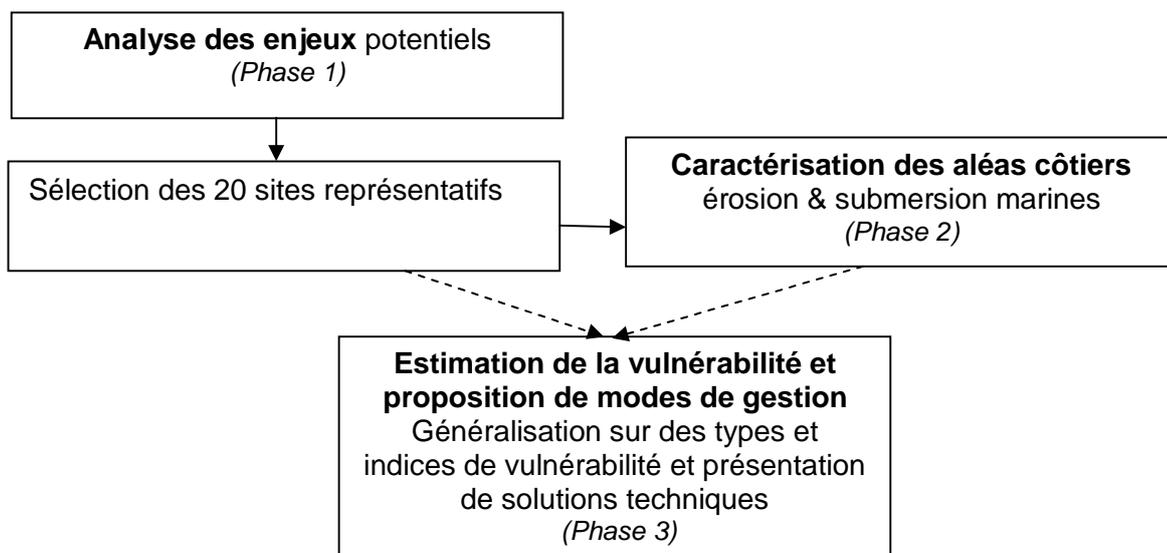


Illustration 1 – Démarche globale de l'étude

2. Analyse des enjeux

L'analyse se base principalement sur les données fournies par la DE sur les différents équipements et infrastructures et de l'INSEE sur la population. Les enjeux environnementaux ont été écartés de l'étude par choix de la DE ; sont concernés uniquement les enjeux humains et économiques. L'évaluation des enjeux porte sur les enjeux existants et futurs exposés aux aléas. Elle consiste à identifier les populations en danger, à recenser les ERP⁴ (hôpitaux, écoles, etc.), les équipements sensibles (centre de secours, police, centrale électrique, stockage d'hydrocarbure, etc.) et les voies de communication (réseau routier).

Pour cette étude, les enjeux ont globalement été considérés à l'intérieur d'une bande de 300 mètres à partir du trait de côte. Cette bande littorale semble en effet englober les aires de propagation des aléas érosion et submersion marines. Elle a été définie à partir des estimations :

- de la surcote cyclonique telle que cartographiée dans *Atlas des aléas naturels à Mayotte* (Audru *et al.*, 2004) ;
- de l'érosion côtière sur 10 sites sensibles dans *Morphodynamique des littoraux de Mayotte – Phase 2* » (De la Torre *et al.*, 2006).

Les enjeux traités dans cette étude sont regroupés autour des catégories suivantes :

- les infrastructures routières,
- les zones urbaines (zones U),
- les zones aménagées hors zones urbaines (les plages),
- les zones d'urbanisation future.

Chaque catégorie ci-dessus a fait l'objet d'une cartographie particulière avant d'être proposée sous la forme d'une carte de synthèse des enjeux globaux.

2.1. INFRASTRUCTURES ROUTIERES

Seules ont été retenues les voiries de type routes nationales (RN) et chemins de la collectivité départementale (CCD). Cette sélection se base sur une « logique » économique (coûts de construction, d'entretiens, et fréquence du trafic par les poids lourds et véhicules légers) et de réseau structurant pour l'accès des secours et services d'ordre publique (en cas d'intervention, d'évacuation, etc.). Les voiries internes, voies rurales, ainsi que les sentiers et GR ont donc été exclus de l'analyse.

⁴ Etablissement Recevant du Public

La typologie a été établie à partir de la carte du trafic, élaborée en septembre 2007 par la Direction de l'Équipement (DE) de Mayotte, Mission Exploitation et Sécurité routière et Transport (cf. Annexe 1).

Il a été défini à 7 000 véhicules par jour, la limite entre fort et faible trafic. Ce chiffre correspond approximativement au comptage véhicules à la fin du réseau le plus fréquenté quotidiennement (intersection entre RN2 et RN3, au niveau de Tsararano).

Deux types de réseaux ont été dégagés : ceux qui sont « structurants », sensibles en cas de coupures (forte perturbation de circulation, forte congestion, situation de blocage, détour important), et ceux « non structurants » qui présentent en cas de coupure, une alternative rapide (faible détour, etc.).

2.1.1. Typologie du réseau routier

- *Routes structurantes à fort trafic* (>7 000 véhicules/jours) (exemples : RN1 entre port de Longoni et Mamoudzou ; RN2 entre Mamoudzou et Dembeni ; RN4 entre Dzaoudzi et Pamandzi)

- *Routes structurantes à faible trafic* (<7 000 véhicules/jours) (exemples : RN3 entre Dembeni et Bambo-Est ; CCD5 entre Sada et Chirongui ; RN1 et CCD1 entre Mtsahara et Mstangamouji)

- *Routes non structurantes à fort trafic* (>7 000 véhicules/jours) (pas d'exemples)

- *Routes non structurantes à faible trafic* (<7 000 véhicules/jours) (exemples : CCD6 presque île de Boueni ; CCD4 entre Mzouazia et Kani-Keli).

Les catégories ont été hiérarchisées en niveau de 1 à 3, le niveau 1 étant prioritaire en matière de gestion et de prévention des risques (Illustration 2). La carte est présentée en Annexe 4.

	Routes structurantes	Routes non structurantes
Trafic > 7 000 véh./j.	1	2
Trafic < 7 000 véh./j.	2	3

Illustration 2 – Niveaux d'enjeux du réseau routier (RN et CCD)

2.2. ZONES URBAINES

Les zones urbaines (Zones U) sont indiquées dans les Plans Locaux d'Urbanisme⁵ (PLU) et les cartes communales. L'intercommunalité n'étant pas très développée, le schéma de cohérence territoriale (SCOT) n'est pas imposé, le plan d'aménagement et de développement durable (PADD⁶), devient le document d'urbanisme de référence auquel tous les autres documents d'urbanisme doivent être compatibles.

Pour la prise en compte des enjeux en zones urbaines, les aspects « humains » ont d'abord été privilégiés, puis les aspects « bâtiments ».

Ainsi, la classification des enjeux en zones U s'appuie d'une part sur la nature des équipements (habitats, établissement publics, réseaux, ...), complétée d'autre part par des informations sur le nombre de la population par village.

2.2.1. Concentration de population et nature des équipements

Concernant les équipements et établissements existants, un recensement a été établi, permettant de classer les enjeux selon leur importance en matière de risque acceptable. A cet effet, les catégories définies par la norme NF P 06-013 relatives aux règles de constructions parasismique ont été reprises (cf. Annexe 2).

Cette classification prévoit une prise en compte de la concentration de la population (nombre de personnes par habitations, ERP, site industriels,...). Cette information n'étant pas disponible, plusieurs indicateurs ont été testés pour intégrer cette notion de concentration : densité de population, coefficient d'habitant moyen par logement (4,3 personnes par logement à Mayotte, d'après les données 2005 de l'INSEE) capacité d'accueil des ERP en considérant la place d'une personne à 1,5 à 2 m². Toutefois, en l'absence de données adéquates pour estimer ces indicateurs, c'est la valeur de la population totale par village qui est utilisée (données INSEE de 2002 transmises par la DE). Cet indicateur comporte néanmoins une limite puisqu'il prend en compte l'ensemble de la population du village et pas uniquement celle réellement concernée par la zone d'étude (bande des 300 mètres).

Sur cette base, la population par village peut être subdivisée en trois catégories :

⁵ PLU : Instrument de planification, institué par la loi Solidarité et Renouvellement Urbaine (2000) et adopté par les communes, qui fixe les règles de l'utilisation des sols d'une commune, en s'appuyant notamment sur le Code de l'Urbanisme et de l'Environnement, et sur un plan de zonage. Contenu des spécificités de Mayotte et de son statut (collectivité territoriale depuis 2001), une période transitoire est prévue – jusqu'au 1^{er} janvier 2011 – pour permettre la mise en place des nouveaux documents d'urbanisme et l'abandon progressif du code local d'urbanisme.

⁶ Document qui « fixe les objectifs des politiques publiques d'urbanisme en matière d'habitat, de développement économique, de loisirs, de déplacements des personnes et des marchandises, de stationnement des véhicules et de régulation du trafic automobiles » (article L.122-1 du Code de l'Urbanisme). Il doit être approuvé par décret en Conseil d'Etat et applicable à l'ensemble du territoire de l'île. Ce document est, en métropole, un outil intégrant du SCOT.

- Faible (< 3 000 hab.) ;
- Moyen (3 000 < x < 6 000) ;
- Fort (> 6 000 hab.).

2.2.2. Classification des zones urbaines

Les zones urbaines sont hiérarchisées selon trois niveaux ; le niveau 1 étant prioritaire en matière de gestion et prévention des risques. Les trois niveaux d'enjeux suivants ont donc été définis (cf. carte en Annexe 5 hors-texte) :

Enjeux de Niveau 1

- ***Secteurs d'habitation à population forte*** (de 6 000 et 10 500 hab.) ;
- ***Secteurs et équipements structurants*** (prévention et aide à la post-crise) (relatifs à la santé, au secours-sécurité civile, à l'énergie, aux zones aéroportuaires) ;
- ***Secteurs et équipements relatifs à la distribution eau-électricité*** (réservoirs, transformateurs) ***et communication*** (relais, réseau téléphonique, etc.). Cependant, les informations concernant les réseaux de communication (téléphonie fixe et mobile, relais TV, etc.) sont absentes ;
- ***Secteurs et équipements*** relatifs au patrimoine historique et religieux d'intérêt majeur (ex : Tombeau du Sultan Adrian Souli et la grande mosquée de Mstapéré).

Enjeux de Niveau 2

- ***Secteurs d'habitation à population moyenne*** (de 3 000 et 6 000 hab.) ;
- ***Secteurs de l'éducation*** (écoles maternelles, primaires, collèges, lycées, etc.) pouvant être évacués en cas d'alerte ;
- ***Secteurs d'activité commerciale et industrielle*** pouvant être évacués en cas d'alerte ;
- ***Secteurs et équipements relatifs à la distribution eau-électricité*** (réseau d'adduction en eau et électricité (HTA & BT) ;
- ***Secteurs et équipements relatifs au sanitaire*** (décharges, stations de traitement, etc.) ;
- ***Secteurs et équipements sportifs*** (stade uniquement).

Enjeux de Niveau 3

- ***Secteurs d'habitation à population faible*** (inférieure à 3 000 hab.)
- ***Secteurs patrimoniaux historiques et religieux*** (lieux de culte, cimetières, etc.)
- ***Secteurs administratifs*** (Etat, collectivité, commune, etc.) ***et socio-culturels*** (MJC, etc.)
- ***Secteurs et équipements sportifs*** (terrains polyvalents, terrains de tennis, de football, etc.)

2.3. ZONES AMENAGEES HORS ZONES URBAINES – LES PLAGES

En dehors des zones urbaines, sur le littoral, les enjeux sont pour l'essentiel concentrés sur les plages. Afin de conserver une cohérence globale, il advient d'appliquer la même classification aux enjeux présents sur les plages que sur ceux des zones urbaines (cf. ci-dessus).

Les enjeux sur les plages sont de 3 types principaux :

- **Secteur aménagé à vocation touristique et sportive** (population inférieure à 3 000 hab.) : hôtels, restaurants, bases nautiques, etc. (exemples : N'Gouja, Sakouli, Trévani, Hamaha) ;
- **Secteur d'habitation à population faible** (inférieure à 3 000 hab.) : habitats individuels, etc. (exemple : Mstanga Tanaraki) ;
- **Secteur d'aménagement léger** : parkings, farés, barbecues, etc. (exemples : Musical plage, Tsanga Fanou, etc.).

Ainsi, suivant cette classification l'ensemble de ces enjeux correspondent à un niveau 3.

Les plages non aménagées ne sont pas traitées dans le cadre de cette étude, puisqu'elles ne constituent pas des enjeux en termes d'équipements (pour rappel les enjeux environnementaux ne sont pas pris en compte).

2.4. ZONES D'URBANISATION FUTURE – ZONES NA ET ER

L'inventaire des zones d'urbanisation future se base sur les zonages NA (zones d'urbanisation future, cf. Annexe 3) et ER (Espaces Réservés) issus des PLU. De manière générale, la nature des ER est déterminée (e.g. école primaire, déviation de la RN2, logements DASS, etc.), alors que pour celle des NA, l'information reste globale et imprécise (e.g. zone 1NA ou NAa est une zone d'urbanisation future à court terme, principalement destinée à l'habitation de type résidentielle et aux activités de proximité).

Lorsque l'information sur la nature est absente, les secteurs (zones NA) ont été hiérarchisés en fonction des enjeux "humains". Les zones d'urbanisation future à court terme sensibles et structurants, et résidentiels présentent les enjeux les plus importants (niveau 1) par opposition aux zones d'urbanisation future à long-terme et peu structurantes (e.g. 1 Nat est une zone d'urbanisation future, peu ou pas équipée, destinée essentiellement à des opérations touristiques légères ou de faible importance) (niveau 3). Il a donc été défini comme suit (carte en Annexe 7) :

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1NA	1NAx	NA
Naa	NAe	1Nat
Nab	Nac	1NAh
Napm	NACA...NAce	

Illustration 3 – Niveaux d'enjeux des zones d'urbanisation future

Pour le cas des ER, la nature des zones étant indiquée, la même typologie que celle utilisée pour la classification des zones urbaines a été utilisée (cf. 2.2 *Typologie des Zones U*).

2.5. SYNTHÈSE DE LA CLASSIFICATION PAR TYPE D'ENJEU

Le tableau suivant synthétise les classifications présentées ci-dessus selon de la nature des enjeux :

Enjeux	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Routes	<i>Routes structurantes à fort trafic</i>	<i>Routes structurantes à faible trafic et routes non structurantes à fort trafic</i>	<i>Routes non structurantes à faible trafic</i>
Zones U	<i>Secteurs sensibles et structurants, secteurs fortement peuplé</i>	<i>Secteurs moyennement peuplé ; secteurs sanitaire, etc.</i>	<i>Secteurs faiblement peuplé, secteurs sportifs-culturels, etc.</i>
Aménagements hors zones urbanisées (plages)	-	-	<i>Secteurs touristiques ou habités à faible population</i>
Zones d'urbanisation future	<i>Secteurs d'urbanisation future à court terme sensibles, structurants, résidentiels, etc.</i>	<i>Secteurs d'urbanisation future à court terme, destinés au sanitaire, activités industrielles, etc.</i>	<i>Secteurs d'urbanisation future à long terme, destinés au tourisme, etc.</i>

Illustration 4 – Synthèse de la classification par type d'enjeux

2.6. CARTOGRAPHIE DES ENJEUX

2.6.1. Cartographie des enjeux ponctuels et zonaux

Chacune des catégories (infrastructures routières, zones aménagées hors zones urbaines, et zones d'urbanisation future) a fait l'objet d'une cartographie au 1 : 100 000, à l'exception des zones urbaines (1 : 50 000, dans un souci de lisibilité), afin de dégager les zones d'enjeux potentiels dans la bande des 300 m, ainsi que leurs niveaux d'enjeux respectifs. L'ensemble des cartes a été réalisé sous MapInfo 8.5 (dans un souci de compatibilité inter-administratif à Mayotte), sous le nouveau système

légal⁷ de projection de référence des données géographiques de Mayotte, le RGM04⁸, lequel est associé à un système de projection plane UTM⁹ Sud fuseau 38.

2.6.2. Cartographie des enjeux globaux

Le croisement de ces différentes données (routes, zones U, zones aménagées hors zones urbaines et zones d'urbanisation future) permet de définir un niveau d'enjeu global sur la bande des 300 m. Pour chaque zone, c'est l'enjeu de niveau maximal qui définit le niveau global du secteur (Illustration 5).

<i>Enjeux 1</i>	<i>Enjeux 2</i>	<i>Enjeux ...</i>	<i>Résultats</i>
Niveau 1	Niveau 1	...	Niveau 1
	Niveau 2	...	
	Niveau 3	...	
Niveau 2	Niveau 2	...	Niveau 2
	Niveau 3	...	
Niveau 3	Niveau 3	...	Niveau 3

Illustration 5 – Résultats de croisement de niveau d'enjeu

La carte de synthèse (Carte en Annexe 8), représentée au 1 : 100 000 en RGM04, a permis de dégager les zones à forts enjeux potentiellement menacés par l'aléa érosion et submersion marines. Les trois niveaux confondus, environ 160 sites au total ont émanés de cette première analyse.

⁷ La loi d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire (Loi n°99-533 du 25 juin 1999) oblige l'Etat, les collectivités locales, les entreprises chargées de l'exécution d'une mission de service public à se rattacher au système national de référence de coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques. Anciennement « COMBANI 50 » (ou « Triangulation IGN 1950 »), ce système de référence, le RGM04 pour Mayotte, défini par le décret d'application du 3 mars 2006, est opérationnel depuis le 1^{er} avril 2008 à Mayotte.

⁸ RGM04 : Réseau Géodésique de Mayotte calculé l'année 2004.

⁹ UTM : Universal transverse Mercator

2.7. SELECTION DES SITES REPRESENTATIFS

2.7.1. Présélection sous SIG

Afin de présélectionner les sites « potentiellement » exposés aux aléas érosion et submersion marines, la totalité des sites a été croisée, de manière qualitative, avec la typologie des littoraux (côtes rocheuses ; côtes sableuses ; côtes vaseuses ; et côtes artificialisées) et la topographie côtière (élévation inférieure ou égale à 5m au-dessus du niveau de la mer NGM¹⁰).

Le choix des 20 sites représentatifs (nombre prévu au cahier des charges) s'est basé sur le principe de garder les sites les plus *vulnérables*, soit pour chaque catégorie d'enjeux, un site à enjeux de niveau 1 et de typologie de littoral différente (Illustration 6). En l'absence de site de niveau 1, la liste a ensuite été complétée par d'autres sites de niveaux inférieurs, répartis selon la typologie des littoraux. A ce stade, un type de littoral n'est pas supposé plus vulnérable qu'un autre. Les aléas seront caractérisés de manière à vérifier la présence ou absence d'enjeux sur ces 20 sites.

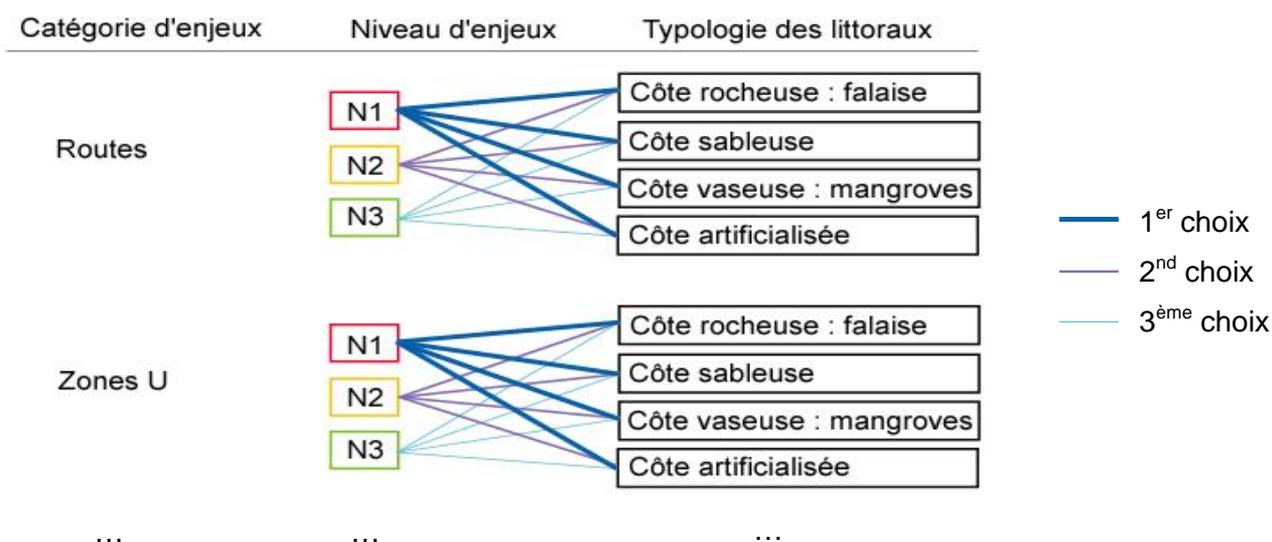


Illustration 6 – Principe de sélections des sites représentatifs

¹⁰ NGM : Nivellement Général de Mayotte

2.7.2. Expertise de Terrain

La démarche sur le terrain (6 jours, du 02/06 au 08/06) a consisté à collecter des informations essentiellement qualitatives auprès des 20 sites:

- **Vérifier la vocation des sites représentatifs** : présence ou absence des enjeux préalablement inventoriés, et présence de nouveaux enjeux potentiels et affiner le zonage des sites ;
- **Relever des indicateurs locaux d'érosion et de submersion marines**, la prédisposition des sites à l'érosion et submersion, les facteurs limitant, etc. (pente : caractère dissipatif-intermédiaire-réfléctif des plages, profil concave-convexe ; présence de brèches, de dépressions en arrière de plages, de sous-cavages, d'affouillements, d'arbres penchés ou tombés, d'ouvrages de protection, d'instabilité des aménagements et infrastructures, d'épandages de crues, du niveau des plus hautes lasses de mer, etc.),
- **Interroger la population locale** au travers d'entretiens informels semi-directifs¹¹ sur leur perception du risque, la position du « trait de côte », phénomènes érosifs passés, etc. Cette approche bien que qualitative constitue une source d'information non négligeable, contribuant à compléter la connaissance dans un contexte où les données disponibles ou existantes relatives aux événements passés sont limitées. Eventuellement, cette démarche vise à affiner les zonages des aléas.

Un formulaire de terrain (modèle en Annexe 9) a été rempli de manière systématique pour chaque site.

2.7.3. Résultats de la sélection

Sur la base de la présélection, des reconnaissances de terrain et des recommandations de la DE la liste suivante (Illustration 7d) a été retenue et validée par la DE.

80% des sites retenus (enjeux potentiellement exposés) concernent les infrastructures routières et les zones urbaines (soit 8 sites pour chacune de ces catégories respectivement). 50% des sites de la première catégorie (« route ») sont de niveau 1, et seulement un enjeu potentiel est de niveau 3.

12 des 20 sites sont de niveau 1, soit 60% de la totalité des sites, dont 75% appartiennent à la catégorie « routes » et « zones U » (soit 4 et 5 sites, respectivement). Les enjeux potentiels de niveau 2 représentent 30% du total des

¹¹ La population a été interrogée au gré des rencontres sur des questions ouvertes (pas de réponse par oui ou non) mais ciblée sur les problèmes d'érosion et de submersions.

sites, répartis de façon homogènes dans les catégories « routes » et « zones U » (soit 3 dans chaque).

Un seul site a été retenu pour caractériser les zones aménagées hors zones urbaines (plages) (enjeu potentiel de niveau 1) et trois pour ceux des zones futures à urbaniser. Cette dernière catégorie présente deux enjeux potentiels de niveau 1, dont un site en milieu sableux et l'autre vaseux.

De manière générale, 60% des sites sont situés en milieu sableux et vaseux (mangroves) (soit 7 et 5 sites respectivement). Le reste se répartit de manière équilibrée entre milieu rocheux (falaises) et artificialisé (soit 4 sites respectivement).

	Catégorie d'enjeu	Niveau d'enjeu	Type de littoral	Site	Caractéristiques des enjeux
1.	ROUTE	N1	Côte rocheuse (falaises)	Tronçon de la RN1 , à l'Ouest de Kangani	Trafic important et forte sensibilité à la coupure
2.		N1	Côte artificialisée	Tronçon de la RN4 , Boulevard des Crabes, Dzaoudzi	Voie principale sur Petite-Terre (fort trafic), liaison entre l'aéroport et port d'embarcation ;
3.		N1	Côte artificialisée	Tronçon de la RN2 , entre Mamoudzou Sud (Cavani) et Mstapéré	Trafic le plus important (17934 véh./j.) et forte sensibilité à la coupure ;
4.		N1	Côte vaseuse (mangroves)	Tronçon de la RN2 , au Sud de Tzoundzou2	Trafic important et forte sensibilité à la coupure ;
5.		N2	Côte rocheuse (falaises)	Tronçon de la RN3 , à Bambo-Est au Nord du village	Trafic moyen et forte sensibilité à la coupure ;
6.		N2	Côte rocheuse (falaises)	Tronçon de la RN1 , à l'Ouest du port de Longoni	Trafic moyen et forte sensibilité à la coupure ;
7.		N2	Côte vaseuse (mangroves)	Tronçon de la RN2 , à Mangajou (Est de Sada)	Trafic moyen et forte sensibilité à la coupure ;
8.		N3	Côte sableuse	Tronçon de la CCD4 , au niveau de Mbouanasta	Trafic et sensibilité à coupure faibles ;
9.	ZONES URBAINES	N1	Côte rocheuse (falaises)	Dzaoudzi (le Rocher)	Etabl structurant (hopital), réseau d'adduction d'eau & électr (BT & HTA), transformateur, établissement scolaire, densité faible ;
10.		N1	Côte intégralement artificialisée	Majikavo-Koropa	réseau d'adduction d'eau & électr (HTA), réservoir, densité forte, étab. scolaire
11.		N1	Côte intégralement artificialisée	Sada	Etablissement structurant (dispensaire), réseau d'adduction d'eau & électricité (BT), densité moyenne, établissement scolaire ;
12.		N1	Côte sableuse	Labattoir , dépôt d'hydrocarbure des Badamiers	Espace structurant ; dépôt d'hydrocarbure
13.		N1	Côtes vaseuses (Mangroves)	Bandabroua	Etablissement structurant (dispensaire), établissement scolaire, densité forte, réseau d'adduction d'eau & électricité (BT), équipement sportif (stade)
14.		N2	Côte sableuse	Nyambadao	Réseau d'adduction d'eau & électr (BT), densité moyenne, établissement scolaire ;
15.		N2	Côte sableuse	Bambo-Ouest	Densité moyenne, établissement scolaire
16.		N2	Côtes vaseuses (Mangroves)	Kani-Bé	réseau d'adduction d'eau & électricité (HTA), densité moyenne, établissement scolaire, MJC, culte religieux (cimetière)
17.	ZONES HORS ZONES U	N3	Côte sableuse	Trévani	Espace sensible (hôtel-restaurant),

	(PLAGES)				
18 .	ZONES FUTURES	N1	Côte sableuse	Hamouro au Nord du village	Zone 1NA ;
19 .		N1	Côtes vaseuses (Mangroves)	Dapani	Zone 1NA, zones d'urbanisation future à court terme à usage principal d'habitation ; mangrove importante
20 .		N3	Côte sableuse	Sohoa	Zone Nat

Illustration 7 – Résultat de la sélection des 20 sites représentatifs

3. Caractérisation des aléas cotiers

Afin de définir la vulnérabilité des sites représentatifs, il convient au préalable d'estimer les aléas qui s'y manifestent. Sont pris en compte dans le cadre de cette étude les aléas côtiers de type « érosion côtière » et « submersions marines ».

3.1. PHILOSOPHIE GLOBALE

La délimitation du zonage de l'aléa érosion et submersion marines s'attachera autant que possible à une approche quantitative. Ce type d'approche possédant forcément des limites (notamment en fonction des données disponibles), elle est complétée de manière systématique par une expertise basée en particulier sur les informations observées sur le terrain.

Le zonage des aléas prend en considération la configuration naturelle des terrains, et les éventuels ouvrages de protection naturels (butes, bermes végétalisées, mangroves, etc.) et artificiels existants (de type enrochement, digues, murets, etc.). Les autres aménagements (bâtis, infrastructures, etc.), leur qualité, au même titre que leur fonction ne sont pas pris en compte, en ce qui concerne la réduction des aléas que leur présence peut impliquer.

3.2. EROSION COTIERE

L'érosion littorale tire ses particularités de la combinaison de l'activité de processus morphogéniques à la fois marins et terrestres. Celle-ci se manifeste, en outre, par le recul du trait de côte, par un déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental (Garry *et al*, 1997).

L'approche méthodologique se base sur celle développée par Gary *et al*. (1997) pour l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPR-L). Elle consiste :

- dans un premier temps, à réaliser une étude diachronique de l'évolution du trait de côte par photo-interprétation ;
- dans un second temps, au calcul du trait de côte +100 ans ;
- enfin, au zonage cartographique de l'aléa érosion proprement dit.

3.2.1. Analyse des photographies aériennes

L'analyse diachronique de l'évolution du trait de côte se base sur une comparaison des photographies aériennes issues des campagnes IGN des cinquante dernières années (de 1949, 1969, 1989 ; 1997 et 2003 - Illustration 8). Cette période couvre, sur le plan anthropique, l'important développement économique de Mayotte, ainsi que, sur le plan

naturel, plusieurs épisodes majeurs (cyclones de 1969, 1976, 1984 et 1985) (De La Torre *et al*, 2003).

Années	Nature	Echelle de prise de vue	Résolution image numérique	Type de correction ¹²
1949	N&B	1 : 40 000	1 pixel = 2 m	Géocorrection ¹³
1969	N&B	1 : 20 000	1 pixel = 0.5 m	Géocorrection
1989	N&B	1 : 20 000	1 pixel = 0.5 m	Géocorrection
1997	N&B	1 : 25 000	1 pixel = 0.5 m	Orthorectification ¹⁴
2003	Couleur	1 : 25 000	1 pixel = 0.5 m	Orthorectification

Illustration 8 – Campagnes photographiques utilisées, IGN

3.2.2. Définition d'une ligne de recul de référence

La définition d'une ligne de référence du trait de côte est un problème essentiel et récurrent. La ligne de rivage instantanée est très souvent utilisée lorsque l'on travaille dans un contexte microtidal comme celui de La Réunion. Sur les côtes mésotidales ou macrotidales, l'importance du marnage ne permet pas d'utiliser ce référentiel (Stephan et Suanez, 2004).

Compte-tenu de la diversité des littoraux de Mayotte et de l'amplitude mésotidale (marnage compris entre +0,60 m et +4,20 m à partir du zéro hydrographique¹⁵), il n'a pas été possible de retenir une définition unique du trait de côte pour l'ensemble des sites concernés.

Celui-ci a donc été défini au cas par cas, en fonction de l'évolution du type de littoral (recul d'une falaise, migration de la mangrove, érosion de plage, évolution des

¹² Les photographies contiennent des déformations géométriques dues à la prise de vue (déformation de l'optique de l'appareil photo) et du relief. Deux méthodes principales de correction sont utilisées : la géocorrection et l'orthorectification.

¹³ Géocorrection réalisée par la DAF (Direction de l'Agriculture et de la Forêt) de Mayotte ; méthode de correction la moins contraignante, qui revient à résoudre uniquement les problèmes de distorsions de l'image dues à l'objectif au moyen de points de calage pris sur un document de référence.

¹⁴ Orthorectification réalisée par l'IGN (BD ORTHO) ; méthode la plus rigoureuse qui redresse la photographie géométriquement, en prenant en compte, en plus des problèmes de distorsions due à l'objectif, les phénomènes de parallaxes (déformation dues au relief).

¹⁵ Il s'agit du niveau de référence des cartes marines ou **zéro hydrographique**

aménagements, etc.) et de la qualité du support (Cf. 5.1.4 *Limites de la méthodologie*). L'important, en termes de comparaison, étant de conserver la même définition pour chacune des dates. Ainsi, de manière générale, les limites « traits de côte » utilisées ont été :

- ✓ pour les falaises : la partie sommitale
- ✓ pour les côtes basses : le haut de plage (limite de la végétation) ou l'arrière de la mangrove
- ✓ pour les côtes artificialisées : la limite basse des aménagements

Les traits de côte des différents sites représentatifs ont été digitalisés pour chacune des dates au moyen du logiciel MapInfo 8.5 (dans un souci de compatibilité avec le SIG inter-administratif de Mayotte). La résolution des images variant selon les campagnes, la digitalisation a été faite à l'échelle du 1 : 4000 pour 1949 et du 1 : 2000 pour 1969, 1989, 1997 et 2003.

La superposition des traits de côte de 1949 à 2003 permet de quantifier le recul moyen annuel du trait de côte par secteur, à partir de 87 profils tracés sur l'ensemble des sites d'étude, répartis en fonction des entités morphologiques et hydrodynamiques homogènes et de l'expertise de terrains.

3.2.3. Estimation et cartographie du trait de côte + 100 ans

L'aléa érosion est évalué, par convention, pour ce qui est des phénomènes littoraux, à partir d'une échéance fixée à 100 ans pour le recul du trait de côte (Garry *et al*, 1997). La zone d'aléa se définit donc ici du trait de côte le plus récent – soit 2003 – à sa position estimée à +100 ans.

Déduite de l'observation passée du trait de côte, sa position est extrapolée à +100 ans sur la base de conditions dynamiques considérées comme invariantes dans le temps. La délimitation de la zone d'aléa supporte une part d'incertitude liée au caractère aléatoire des tempêtes et de leurs effets. Elle intègre implicitement le taux d'élévation actuel du niveau de la mer, mais pas son éventuelle accélération.

La largeur de la zone d'aléa d'érosion (L_r) est égale, pour un tronçon de côte homogène, au recul correspondant au taux d'évolution moyen annuel observé sur une période pluri-décennale (T_x) multiplié par 100 ans :

$$L_r = 100 \cdot T_x \text{ (exprimée en mètres)}$$

Ce calcul (résultats pour les 20 sites détaillés en Annexe 11) permet d'estimer et de cartographier le recul « théorique » pour chaque site. Cette limite théorique doit par la suite être adaptée en fonction des configurations et prédispositions locales. Dans certains cas, ce résultat a été révisé à la hausse ou à la baisse afin de tenir compte de la configuration locale et de l'implantation d'aménagements (ouvrages longitudinaux qui fixent le trait de côte : digues, enrochements, etc.). Le « trait de côte +100 ans adapté » se base essentiellement sur l'expertise issue des observations de terrain.

3.2.4. Zonage de l'aléa érosion

La zone d'aléa érosion est cartographiée selon trois catégories d'importance :

Niveau d'aléa	Représentation cartographique	Type de zones
Fort	Rouge	Aléa à échéance centennale
Moyen	Orange	Marge de sécurité en cas de dépassement des hypothèses de référence
Faible	Aucune	Aléa nul

Illustration 9 – Classification du zonage aléa érosion et leur représentation cartographique

La zone de recul du trait de côte L_r correspond de manière générale à l'aléa « fort » (couleur rouge). Cependant, en arrière des ouvrages figeant le trait de côte, l'aléa est défini comme « moyen » (couleur orange) à faible (pas de couleur) lorsque la vulnérabilité de l'ouvrage de défense et le recul latéral sont réduits.

Une marge de sécurité, située en arrière de la zone de recul L_r , est définie comme moyen. A noter que dans le cas de non recul du trait de côte observé par photogrammétrie, un niveau de zone l'aléa moyen qualifiera tout de même les côtes basses ainsi que les côtes à falaise en raison de leur nature¹⁶.

La largeur de la bande d'aléa moyen est à adapter localement selon la particularité des sites.

Il est important d'ajouter que seul le recul du trait de côte est représenté : les zones de progradation ne sont pas prises en compte dans cette étude et feront l'objet d'un ajustement du trait de côte. Le trait de côte extrapolé à +100 ans correspondant à une progradation sera donc positionnés sur celui de référence (année 2003) afin de mettre en valeur uniquement les phénomènes d'érosion sur la carte d'aléa.

¹⁶ Rappels : les côtes à falaise sont des formes littorales d'ablation, qui n'évoluent que par recul. Les côtes basses sont des formes littorales d'accumulation, mais sont caractérisées par leur forte mobilité (transit sédimentaire).

Le fond de plan utilisé pour réaliser cette cartographie est la BD ORTHO IGN 2003 au 1 : 25 000, agrandie selon l'enjeu potentiellement exposé (en général, inférieure au 1 : 4000) (Cartes en Annexes 15 à 34).

Les enjeux apparaissent sur la carte de zonages de l'aléa dans le seul but de rappeler la représentativité du site dont la finalité est l'enjeu.

Une carte intermédiaire est proposée afin de faciliter la compréhension de la méthodologie nécessaire à la caractérisation de l'aléa érosion. Celle-ci représente l'ensemble des traits de côte ainsi que la projection linéaire +100 ans, soit le recul « théorique » (trait pointillé jaune), sans prise en compte des aménagements et ouvrages de protection, et autres ajustements effectués lors de la réalisation de la carte des aléas (cartes en Annexes 15 à 34).

3.2.5. Limites de la méthodologie

Bien que cette méthode classique de photo-interprétation soit largement répandue et utilisée pour l'étude diachronique du trait de côte, elle comporte un certain nombre de limites liées :

- ✓ aux conditions de prise de vue (conditions d'incidence du soleil peu favorables pouvant engendrer une tâche spéculaire¹⁷ sur certaines parties de la photographie),
- ✓ à un certain nombre de traitements radiométriques appliqués aux clichés originaux en vue de la correction géométrique (effets de numérisation des clichés originaux ; géocorrection ou orthorectification ; influence de rehaussement et du mosaïquage ; effets de compression et de digitalisation), qui peuvent avoir une grande influence sur le signal final, ainsi que sur le positionnement géographique d'un objet (De La Torre *et al*, 2006 ; Lévêque, 2004).

¹⁷ Réflexion du soleil sur la mer



Illustration 10 – Exemple d'image de mauvaise qualité à Bandabroua, 1989

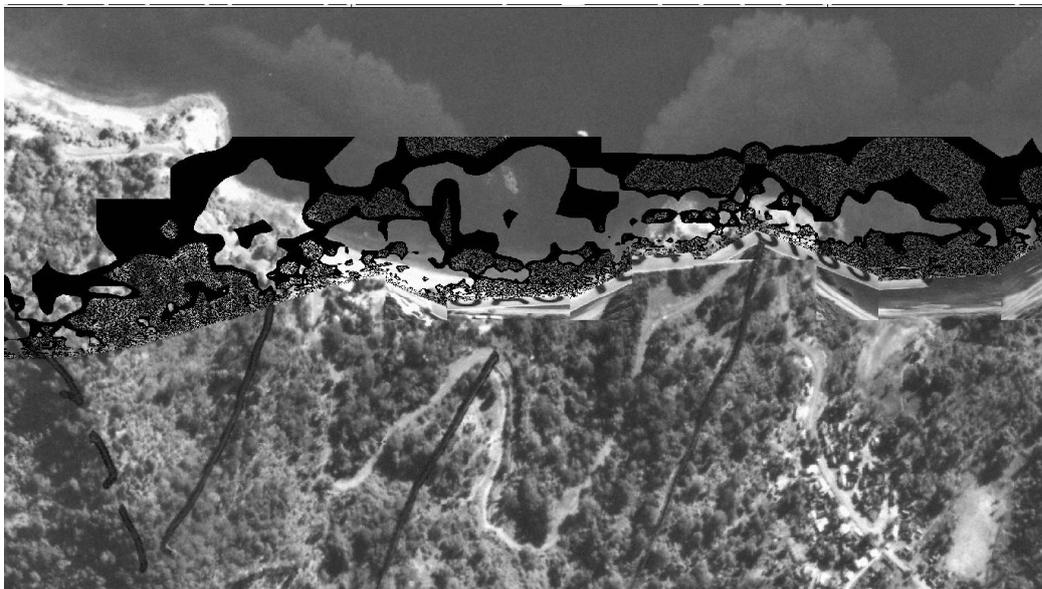


Illustration 11 – Exemple d'image de mauvaise qualité à Trévani ,1989



Illustration 12 – Problème de surexposition de la photographie, extrait de la BD IGN 1997, Sada

Une certaine part d'incertitude est induite dans la reconnaissance du trait de côte, en raison de la subjectivité dans l'interprétation, notamment des zones « bouchées » par les ombres portées (e.g. végétation, falaise, etc.) et/ou déformées par la parallaxe. Les erreurs de positionnement du trait de côte ont été estimées à partir de l'orthophotographie de référence, BD ORTHO IGN 2003. Au-delà de 10m d'erreur, l'image a été exclue. L'ordre de grandeur de la marge d'erreur est spécifié pour chaque site en Annexe 10.

Suite aux limites énumérées ci-dessus, il résulte, pour un certain nombre de sites, une analyse basée sur une couverture temporelle relativement courte (1989 à 2003, soit 15 ans d'observation : e.g. Trévani, Majikavo Koropa, Tsoundzou 2, Bandabroua, etc.). Il paraît difficile d'en traduire ainsi la dynamique naturelle au moyen-long terme (pas d'information sur la résilience). De plus, dans certains cas, les mesures de recul du trait de côte présentent une érosion moyenne inférieure à la marge d'erreur estimée (e.g. à Kani-Bé : Profil 67 : recul observé entre 1949 et 2003, 3.1m et marge d'erreur estimé pour ce site, 5m). Il apparaît donc délicat, pour ces situations, d'affirmer une réelle tendance à l'érosion.

Par ailleurs, certains secteurs ne font pas apparaître une érosion pourtant apparente sur le terrain (e.g. encoches basales, blocs en pied de falaise au site du Rocher à Dzaoudzi, et de Longoni).

Ainsi si l'analyse de l'évolution du trait de côte à partir des photographies aériennes présente une plus-value indéniable pour la caractérisation de l'aléa érosion côtière, elle doit impérativement être complétée et adaptée par une expertise basée sur la connaissance du terrain.

3.2.6. Résultats – érosion

Les cartes en Annexes 15 à 34 exposent les résultats pour chaque site. La localisation des planches cartographiques est présentée en Annexe 14.

Le tableau ci-dessous résume les zones principales en recul :

Sites	Type de littoral *	Profils correspondants	Linéaire côtier concerné (en mètre)	Vitesse d'érosion annuelle (moyenne)	Erosion potentielle à + 100 ans (Largeur maximale en mètre)**
Longoni	CR	5 à 7	105 m	0,12 m an ⁻¹	14 m
Kangani	CR	11	235 m	0,05 m an ⁻¹	7 m
Trévani	CS	15 à 20	265 m	0,2 m an ⁻¹	35 m
Majikavo2	CA	24 à 25	115 m	0,31 m an ⁻¹	53 m
Labattoir	CS	26	20 m	0,08 m an ⁻¹	8 m
Dzaoudzi, Le Rocher	CR	29 à 30	262 m	0,07 m an ⁻¹	10 m
Hamouro	CS	51 à 52	97 m	0,15 m an ⁻¹	21 m
Nyambadao	CS	55 à 56	80 m	0,20 m an ⁻¹	11 m
Bambo-Est	CS	58 à 59	97 m	0,11 m an ⁻¹	12 m
Dapani	CV	61 à 64	693 m	0,31 m an ⁻¹	71 m
Kani-Bé	CV	66 à 67	286 m	0,13 m an ⁻¹	17 m
Mbouanasta	CS	69 à 70	114 m	0,10 m an ⁻¹	10 m
Bambo-Ouest	CS	72 à 73	92 m	0,26 m an ⁻¹	44 m
Sada	CA	75 à 77	560 m	0,27 m an ⁻¹	32 m
Mangajou	CV	78	53 m	0,09 m an ⁻¹	9 m
Sohoa	CS	81 à 83	670 m	0,07 m an ⁻¹	9 m
Bandabroua	CV	84 à 87	390 m	0,31 m an ⁻¹	39 m

Illustration 13 – Zones principales en érosion

* CR : Côte rocheuse (falaises) ; CS : Côte sableuse ; CV : Côte vaseuse (mangroves) ; CA : Côte artificialisée.

** Les valeurs de l'érosion potentielle à 100 ans ne sont pas la simple multiplication des valeurs annuelle par 100 mais ont en outre subi un ajustement sur le terrain en fonction des caractéristiques locales des sites.

De manière générale, on observe que les littoraux les plus sujets à l'érosion sont les côtes basses et plus particulièrement, les côtes vaseuses de type mangroves (à partir du tableau de synthèse ci-dessus : recul annuel moyen de 0,21 m an⁻¹, contre 0,15 m an⁻¹ pour les côtes sableuse), par opposition aux côtes rocheuses (falaises) qui présentent un taux de recul annuel moyen de 0,08 m an⁻¹. Les côtes artificialisées (Majikavo2 et Sada) présentent un taux de recul important mais uniquement sur les secteurs non protégés par des ouvrages de protection (0,27 m an⁻¹).

Cependant, à partir de ces résultats, il n'existe pas de relation linéaire entre l'exposition aux houles, le type de littoral et le taux d'érosion annuel moyen. Ceci reflète à la fois, la spécificité du littoral mahorais, par la morphologie très découpé de la côte (baie, caps, etc.), par le bilan sédimentaire (tendance à l'envasement du lagon), ainsi que par la présence ou non du récif au droit des sites (récif-barrière, récif frangeant, passes, ouverture sur le lagon ou l'océan).

3.3. SUBMERSIONS MARINES

« *Les **submersions marines** sont des inondations épisodiques de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (forte dépression et vent de mer) et marégraphiques sévères ...* » (Garry et al., 1997).

Elles envahissent généralement les terrains situés au-dessous du niveau des plus hautes mers, mais parfois, au-dessus, à la suite de ruptures, en principe localisées (brèches), de franchissement ou de débordement d'ouvrage de protection naturels ou artificiels.

Elles sont généralement de courte durée (plusieurs heures à exceptionnellement plusieurs jours) en raison de leur origine (franchissement lié à la marée ou à une tempête, cyclone).

Selon le Guide Méthodologique des PPR-Littoraux (Garry et al., 1997) :

« *En ce qui concerne les phénomènes littoraux, il est évalué, par convention, à partir d'une **probabilité d'occurrence au moins centennale** pour la submersion marine [...] ».*

L'application de cette définition conduit à étudier la zone submergée par la mer pour le niveau d'eau atteint pour une occurrence historique centennale. Celle-ci s'appuie sur la confrontation avec :

- ✓ d'une part, les données et indices faisant référence aux évènements passés (épandages de tempêtes, brèches, traces de submersions, entretiens, etc.) essentiellement relevés lors de la phase d'expertise de terrain, et

- ✓ d'autre part, la topographie des sites, et les niveaux extrêmes de la mer, intégrant notamment les effets du déferlement de la houle (surcote liée à la houle ou *set-up* et niveau atteint par le jet de rive ou *run-up*).

Il est à noter que les effets du déferlement de la houle ne sont pas pris en compte dans de nombreuses études portant sur l'estimation des niveaux marins extrêmes. En effet, dans le *Guide Méthodologique* en vue de l'élaboration de PPR-Littoraux, la démarche s'attache uniquement aux niveaux marins extrêmes fournis par le SHOM qui reposent uniquement sur la surcote lié au passage d'une dépression¹⁸. Les effets de la houle sont aujourd'hui mieux connus et de plus en plus intégrés dans l'estimation de la surcote afin d'appréhender le phénomène de manière plus réaliste.

Pour cette étude, l'estimation des **niveaux marins extrêmes** repose donc sur :

- ✓ les phénomènes météorologiques (vents + basses pressions, soit la **surcote atmosphérique**), et astronomique (la **marée théorique** ou prédite) ;
- ✓ les phénomènes de déformation du plan d'eau à la côte (*cf.* 4.3.3) liés au **set-up** et **run-up** ;
- ✓ l'**accélération de l'élévation du niveau marin**.

3.3.1. Détermination d'un évènement de référence : FELIKSA

A Mayotte, selon l'*Atlas des aléas naturels* (Audru *et al.*, 2004), la tempête tropicale FELIKSA correspond à l'évènement de référence soit à la zone d'aléa fort de la « surcote cyclonique ». Il est à noter que le choix de cet évènement se base sur la modélisation de la surcote atmosphérique seule et n'intègre pas d'estimation des autres paramètres comme la houle. Cependant, en l'absence d'une étude estimant l'évènement de référence tous paramètres de la submersion inclus (pression, vent, houle, marée, surcote totale), cet évènement est conservé comme référence.

La dépression tropicale FELIKSA a traversée le Canal du Mozambique entre le 2 et 17 février 1985. A Mayotte, la dépression s'est caractérisée par des vents moyens de 95 km.hr⁻¹ avec des rafales atteignant 126 km.hr⁻¹ et de fortes précipitations (233 mm en 14h). L'œil est passé à 40 km à l'Est-Sud-Est de Mayotte à l'état de tempête tropicale entre le 15 et 16 février 1985 (Illustration 14).

¹⁸ L'estimation de la surcote lié au passage d'une dépression atmosphérique est fourni indirectement par le niveau de la marée observée, soit la différence entre la marée prédite (marée astronomique ou théorique) et la marée réelle mesurée.

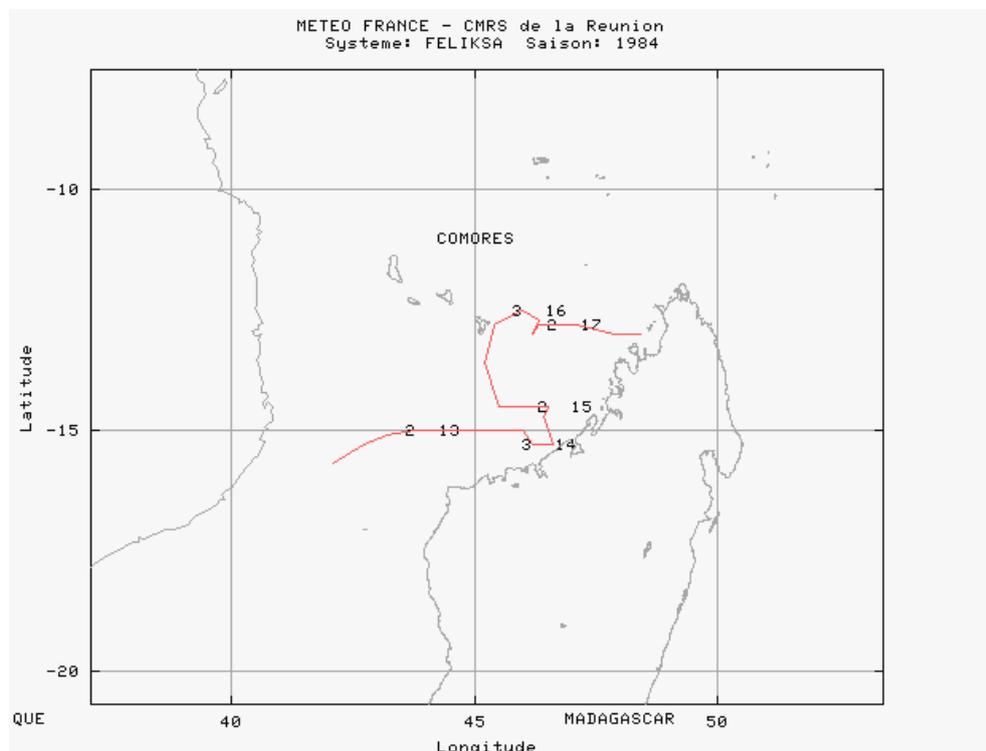


Illustration 14 - Trajectoire de Feliksa du 2 au 17 février 1985 (Météo-France)

3.3.2. Surcote atmosphérique et marée astronomique

• La surcote atmosphérique

Les données de surcote atmosphérique utilisé dans cette étude proviennent de la modélisation par Météo-France (2004). Le modèle forcé par la pression atmosphérique¹⁹ et le vent²⁰. Pour Feliksa, les simulations ont abouti à une valeur de surcote maximale de **+1,14 m** dans le lagon, avec des valeurs inférieures sur le littoral.

Ce modèle offre 464 points de simulation pour le littoral de Mayotte. Ces valeurs ont été utilisées au droit de chaque site dans la détermination de la cote de référence.

¹⁹ La chute de la pression atmosphérique, liée au passage d'une dépression du front polaire ou d'un cyclone tropicale, entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau, c'est le phénomène du *baromètre inverse*. Il s'agit d'une relation linéaire : la baisse de 1 hPa équivaut à une élévation d'1 cm du plan d'eau.

²⁰ Outre l'effet barométrique inverse, il peut s'ajouter une accumulation, sur la côte, d'eau poussée par des vents violents (*wind set-up*).

• Marée astronomique ou « théorique »

Le choix de la marée de référence correspond à la marée de pleines mers de vives eaux exceptionnelles (PMVE), soit un coefficient de 120 ou **+4,20 CM**²¹, à défaut d'analyse fréquentielle des données marégraphiques²².

Afin de passer en nivellement terrestre NGM, la conversion consiste à soustraire la valeur de 1,78 m à la cote marine.

3.3.3. Détermination des phénomènes de déformation du plan d'eau à la côte

Le *runup* (*RT*) représente le niveau marin maximum affectant la plage. Ce déplacement vertical se mesure par rapport au niveau moyen de la mer (*still water* - Illustration 15). Il résulte de la somme des deux composantes,

- l'une stable, le *set-up* (soit l'élévation du plan d'eau liée au déferlement des vagues) et,
- l'autre fluctuante, le *swash* (soit l'action du jet de rive).

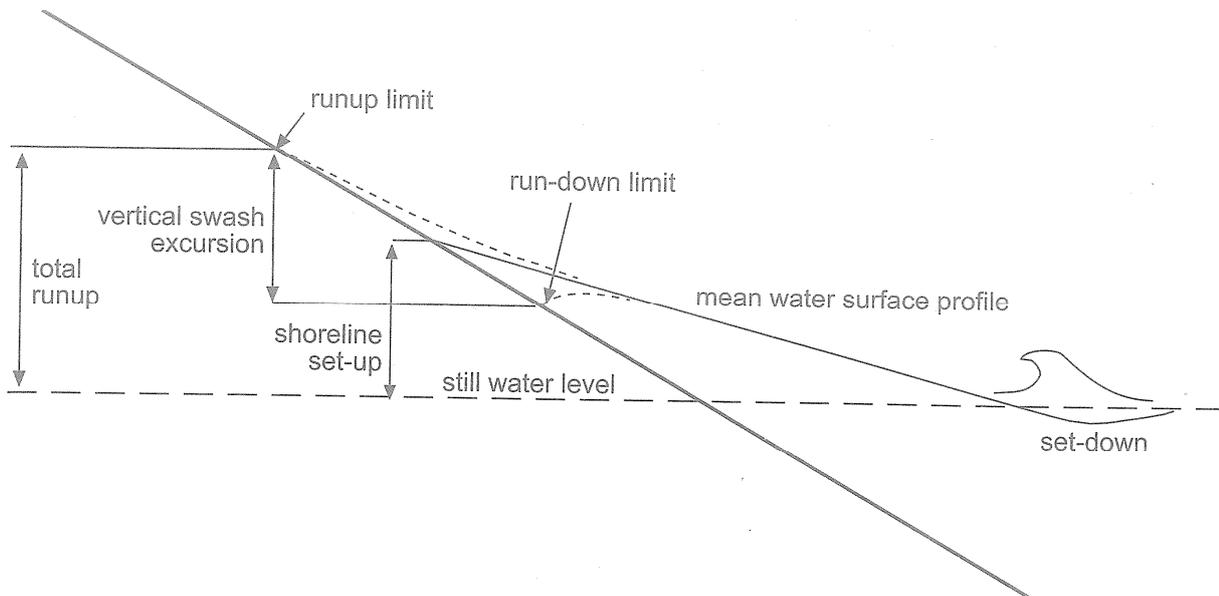


Illustration 15 – Les deux composantes du *runup* : le *set-up* et le *swash* (Masselink et Hughes, 2003)

²¹ CM : Cote Marine. Elle fait référence à une altitude exprimée à partir du zéro hydrographique.

²² Celle-ci représente une analyse statistique de prédiction marégraphique, afin de déduire le niveau de pleine mer d'occurrence centennale (ajustement à une loi extrême de type Gumbel, Fréchet, etc.).

Les formules de *runup* existantes intègrent directement les phénomènes de *set-up* et de *swash* en se basant principalement sur la pente du site et les caractéristiques de la houle. De nombreuses formules empiriques existent, aussi il convient de choisir les formules de *runup* adaptées au contexte morphologique des sites (pente plus ou moins forte). A Mayotte, les pentes littorales des côtes basses sont souvent faible (plages dissipatives) à très faibles (plages très dissipatives).

Pour cette étude le *runup* a donc été calculé :

- soit à partir de l'équation de P. Ruggiero et al (2001)., qui s'applique particulièrement bien aux plages à caractère très dissipatif ($\tan\beta$ compris entre 0,005 et 0,025) :

$$R_{2\%}^E = 0,27 \sqrt{5H_0 L_0} \quad (\text{Equation 1})$$

Où : S : pente de la plage ($\tan\beta$)

H_0 : hauteur de la houle au large

L_0 : longueur d'onde, soit $\frac{gT^2}{2\pi}$ (où : g = l'accélération de l'apesanteur : 9.81 m/s²
T : période de la houle)

- soit de l'équation de Holman (1986) et Nielsen et Hanslow (1991), qui s'applique bien aux plages dissipatives ($\tan\beta$ compris entre 0.026 et 0.14) :

$$R_{2\%} = 0,9 \cdot \xi_0 \cdot H_0 \quad (\text{Equation 2})$$

Où : $R_{2\%}$: valeur de *runup* supérieur à 2 % de la totalité des évènements enregistrés

H_0 : hauteur de la houle au large ;

ξ_0 : nombre d'Iribarren, (ou « *surf similarity parameter* ») (Batjes, 1974) est un paramètre sans dimension, destiné à prédire le type de déferlante, et peut être donc interprété comme indicateur de la pente. Celui-ci se calcule de la manière suivante :

$$\xi = \frac{\beta}{(H/L_0)^{1/2}} \quad (\text{Equation 3})$$

Où : β : pente de la plage

H : hauteur de la houle incidente

L_0 : longueur d'onde

Les valeurs de périodes (T) et de hauteurs incidentes de la houle au large (H_0) sont issues du modèle de propagation de la houle dans le lagon de Mayotte mis en place par le BRGM (Lecacheux et De la Torre, 2007) et forcé pour Feliksa (Lecacheux et De la Torre, 2008 – cartes en Annexes 12).

La simulation présente des valeurs de 1 à 5,5 m de hauteur et 1 à 6 s de période selon les secteurs du lagon. Les valeurs au droit de chaque site ont été retenues pour le calcul.

Sur les secteurs comprenant un ouvrage de protection (de type enrochement) (Sada, Majikavo-Koropa, Cavani-Mstapéré,), l'approche méthodologique a consisté à prendre en compte la pente naturelle du fait de la complexité des paramètres structuraux (perméabilité extrême, pente forte, rugosité importante, etc.) ainsi que la difficulté à estimer le potentiel franchissement et les projections d'eaux de mers (embruns) et de matériaux (sables, déchets, etc.) dans les formules dédiées. Un ajustement qualitatif est donc appliqué afin de ne pas surestimer les résultats.

Enfin, en l'état des connaissances actuelles, il n'a pas été recensé de formule de *runup* applicable dans un milieu caractérisé par des mangroves. Celles-ci ont pourtant un rôle non négligeable dans la protection et dissipation de l'énergie des vagues incidentes (Mazda *et al.*, 2002 ; Phuoc et Massel, 2006). Un ajustement qualitatif a donc également été appliqué au calcul afin de ne pas le surestimer (sites de Tzoundzou 2, Mangajou, Bandabroua, etc.).

3.3.4. Détermination de la pente

La pente ($\tan\beta$) a été déterminée à partir de courbes de niveaux de l'IGN à fréquence d'intervalle de 5 mètres et occasionnellement complétées par des données altimétriques ponctuelles (relevés provenant de divers bureaux d'étude pour les sites de Cavani-Mstapéré, Majikavo-Koropa, Sada, et Bambo-Ouest). 63 profils ont ainsi été élaborés, répartis selon des secteurs altimétriques homogènes, à partir desquelles la pente a été calculée.

Le choix des formules de *runup* s'est fait en fonction de ces résultats de pente, confirmés par l'expertise de terrain (vérification qualitative).

En raison d'une pente trop forte et de leur hauteur, les sites de falaise subverticale du Rocher (Dzaoudzi), de Longoni, et de Mangajou n'ont pas fait l'objet d'un calcul de *runup* (contexte hors du domaine d'application des formules). La démarche s'est donc limitée à prendre en compte les niveaux marins extrêmes sans implication de la houle en terme de submersion.

3.3.5. Détermination du niveau marin extrême

La détermination du niveau marin extrême s'attache à prendre en compte, en plus de la surcote atmosphérique, de la marée astronomique, et du *runup* déterminés précédemment, le phénomène de l'élévation à long terme du niveau marin.

En l'absence d'étude prospective par rapport à l'élévation du niveau marin dans l'Océan Indien, et en l'état actuel des connaissances sur le sujet, la valeur médiane de l'accélération de l'élévation du niveau des océans, soit 0,48 m, selon les estimations publiées par l'IPCC²³ (2007), est retenue.

On ajoutera que ce travail de caractérisation de l'aléa, se base sur une submersion « passive » dans le sens où elle occulte les effets rétroactifs liés à l'érosion, et/ou à l'accélération de l'élévation du niveau marin sur le fonctionnement hydrosédimentaire à la côte. Et cela, en raison de la complexité des paramètres à prendre en considération, des phénomènes non-linéaires et non-progressifs.

3.3.6. Cartographie des zones d'aléa submersion marine

La zone d'aléa représente les surfaces affectées par la submersion marine hiérarchisés en fonction de sa probabilité d'occurrence. On notera trois catégories d'importance :

Niveau d'aléa	Représentation cartographique	Type de zones
Fort	Bleu foncé (hachuré)	Probabilité d'occurrence centennale
Moyen	Bleu clair (hachuré)	Marge de sécurité
Faible	Aucune	Aléa nul

Illustration 16 – Classification du zonage aléa submersion

- **Délimitation, évaluation et cartographie de la zone d'aléa submersion marine**

D'un point de vue cartographique, la zone de submersion est qualifiée « d'aléa fort » (couleur bleu foncé). Les limites supérieures de submersion théoriques (issues des calculs) ont été adaptées en fonction des configurations et prédispositions locales (expertise de terrain). Dans certains cas, les résultats ont été révisés à la hausse ou à la baisse, afin de prendre au mieux en considération la micro-topographie (brèches, dépressions en arrière de plage, etc.) et la présence de protection naturelles (bermes végétalisées, mangroves, etc.) et artificielles (murets, enrochements, etc.).

²³ Intergovernmental Panel on Climate Change

L'expertise de terrain (notamment au travers des divers entretiens auprès de la population locale) a largement contribué à l'évaluation qualitative de ces ajustements en l'absence de résultats au regard d'évènements passés ou déclarés.

Une zone d'aléa « moyen » (couleur bleu clair) est en outre qualifiée, comme marge de sécurité, entre la limite supérieure du niveau marin extrême « théorique » et celle « adaptée ».

La limite du trait de cote de référence (2003) sert de limite « basse » à la zone d'aléa submersion. Le fond de plan utilisé pour réaliser cette cartographie est la BD ORTHO IGN 2003 au 1 : 25 000, agrandie selon l'enjeu potentiellement exposé (en général, inférieure au 1 : 4 000) dans le système géodésique RGM 04. Les cartes de zonage sont présentées respectivement pour chaque site en Annexes 15 à 34.

Une carte intermédiaire (résultat du calcul du niveau extrême théorique et adapté) est également proposée pour chacun des sites potentiellement exposé à la submersion marine (Cartes en Annexes 15 à 34).

3.3.7. Limites de la méthodologie

La première limite liée à cette démarche tient dans l'application des formules empiriques de *runup*. En effet, le domaine de validation de chaque formule est très restreint et les contextes de type mangrove ou artificialisé restent difficiles à estimer.

Les résultats doivent par conséquent être considérés comme des ordres de grandeur et faire obligatoirement l'objet d'une analyse qualitative basée sur la connaissance du site (expertise de terrain) afin d'en ajuster la limite cartographique.

Le manque de précision des données topographiques constitue en outre une limite évidente, tant dans l'estimation de la pente (et donc du *runup*) que dans la délimitation et représentation cartographique de la zone d'aléa submersion (cote de niveaux marins extrêmes). En effet, la plupart des estimations se contentent des données topographiques fournis par les courbes de niveau établis tous les 5 m. Le calcul de pente, sur cette base (à partir des courbes de niveaux 0 et 5 m NGM), implique une simplification particulièrement « grossière » de l'angle d'incidence du profil sur lequel le *runup* est estimé, faisant abstraction, et cela de manière évidente, de la micro-topographie. La précision du zonage est fonction de celle des données topographiques supports.

Il est à noter également que l'interpolation des courbes de niveau présente parfois quelques défauts en termes de cohérence topographique.

L'impact de la houle contre un talus ou un ouvrage de défense induit enfin des projections d'eaux de mer (embruns) et de matériaux (sables, graviers, déchets, etc.) pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres en arrière de l'ouvrage et à des hauteurs importantes. La capacité des sites à évacuer le débit des franchissements de houles reste, tout comme les entrainements et les projections, des notions particulièrement difficile à évaluer. En l'absence de méthode d'estimation éprouvée,

ces phénomènes pourtant non négligeables, n'ont pas été retenus pour la caractérisation de l'aléa submersion.

3.3.8. Résultats – submersion

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des résultats en termes de submersions :

Sites	Profils correspondants	Linéaire côtier concerné (en mètre)	Distance du trait de côte de référence (2003) à la limite supérieure du niveau marin extrême	Niveau marin extrême d'occurrence centennale (hauteur maximale en mètre - NGM)
Labattoir	1 à 2	261 m	21 m	3,9 m
Hamouro	3 à 5	346 m	45 m	3,9 m
Bambo-Est	6 à 8	157 m	12 m	3,5 m
Dapani	9 à 11	740 m	220 m	3,5 m
Kani-Bé	12 à 14	570 m	45 m	3,4 m
Mbouanasta	15 à 17	164 m	4 m	4,4 m
Sohoa	18 à 21	612 m	31 m	4,7 m
Bandabroua	22 à 25	440 m	32 m	3,1 m
Sada	28 à 29	510 m	35 m	5,1 m
Trévani	30 à 33	277 m	18 m	3,7 m
Tsoundzou 2	37 à 39	673 m	12 m	3,6 m
Bambo-Ouest	40 à 42	480 m	47 m	3,7 m
Nyambadao	51 à 52	236 m	22 m	3,8 m
Majikavo2	53	32 m	30 m	4,5 m
Bd crabes	45 et 47	240 m	5 m	4,4 m
Cavani-Mstapéré	61 à 63	970 m	90 m	3,7 m

Kangani	56 à 58	220 m	12 m	4,3 m
---------	---------	-------	------	-------

Illustration 17 - Principales zones de submersion

Les valeurs extrêmes se situent entre 3,1 m (minimale : site de Bandabroua) et 5,1 m (maximal : site de Sada). La plupart des sites présentent des valeurs de côte extrêmes inférieures à 4 m, la superficie potentiellement inondée variant suivant les sites en fonction de la pente (si le terrain est plat, une grande zone peut être inondée même si la cote altitudinale de submersion est « basse »).

Des sites comme Majikavo ou le « Boulevard des Crabes » présentent des cotes de niveau extrême telles que de nombreux aménagements (habitations, routes) sont inondables. Le zonage final « adapté » prend en compte la protection que confère la première rangée d'habitation ainsi que les murets vis-à-vis du secteur situé en arrière. Sur les zones de mangrove telle que Bandraboua ou Kani-Bé le zonage a également été adapté afin de prendre en compte leur rôle de protection naturelle.

3.4. GENERALISATION A UN NIVEAU GLOBAL D'EXPOSITION AUX ALEAS

Pour rappel, l'objectif de l'étude n'est pas tant de connaître l'exposition de chaque site proprement dit mais de pouvoir tirer de leur représentativité des valeurs « seuils » permettant une généralisation afin de définir la vulnérabilité des enjeux.

Sur la base des valeurs estimées d'érosion (entre 7 et 71 m de recul) et de submersions (niveaux extrêmes entre +3 et +5 m d'altitude), il est donc possible de proposer une définition d'un niveau d'exposition aux aléas prenant en compte trois facteurs simples et intégrateurs à la fois pour l'érosion et les submersions marines. Il s'agit de :

- ✓ la distance du site/enjeu par rapport au trait de côte ;
- ✓ l'altitude du site/enjeu par rapport au 0 NGM ;
- ✓ la protection physique du site/enjeu.

En attribuant un niveau d'importance chacun des ces facteurs et en en faisant la somme par facteurs, un niveau global d'exposition aux aléas peut être évalué (Illustration 18).

	4	3	2	1
DISTANCE	<10 m	10-30 m	30-70 m	>70 m
ALTITUDE	<3 m	3-5 m	5-10m	>10 m
PROTECTION	Pas de protection (ouvert sur l'océan, passes, pas de protection physique)	Protection faible: Ouvert sur lagon (protection du récif barrière) avec végétation littorale éparse	Protection moyenne : Ouvert sur lagon, végétation dense, talus, ou protection légère (muret)	Protection forte : Ouvrage de protection « lourd » (enrochement, tétrapodes, digues)
TOTAL	12			3

Illustration 18 – Classification des paramètres

A partir des résultats de ce tableau 3 niveaux globaux d'exposition peuvent être retenus (Illustration 19) :

Niveau global d'exposition	classe
Faiblement exposé	< 6
Moyennement exposé	$6 < x < 9$
Fortement exposé	> 9

Illustration 19 – Niveau d'exposition par classe

Les seuils du niveau global d'exposition sont estimés en fonction de la conjonction entre le rapport distance/altitude qui détermine l'exposition et la pondération vis-à-vis des protections naturelles et/ou anthropiques.

4. Estimation de la vulnérabilité et modes de gestion adaptés

4.1. TYPES ET INDICES DE VULNERABILITE

La méthode d'estimation de la vulnérabilité proposée dans cette étude se base sur le croisement entre les niveaux d'enjeux et les niveaux d'exposition aux aléas définis précédemment, pour un site donné.

En termes de généralisation, le niveau d'enjeu d'un site donné est estimé à partir de la grille de synthèse de classification des enjeux proposée en Illustration 4. Pour connaître ce que regroupe chaque catégorie, il faut se reporter aux paragraphes explicatifs par types d'enjeux (routes, zones urbaines, etc.).

L'estimation du niveau d'exposition à l'aléa s'obtient par le calcul sommaire proposé en Illustration 18 et la grille de résultat en Illustration 19.

Il existe autant de types de vulnérabilités que de croisements possibles entre types et niveaux d'enjeux et niveaux d'exposition aux aléas, soit 36 combinaisons possibles. Par ex : route de niveau 1 fortement exposée ; zone urbaine de niveau 2 protégée, etc.

Un indice de vulnérabilité peut-être défini sur trois niveaux (fort, moyen, faible) selon la grille suivante :

Indice de vulnérabilité	Forte exposition aux aléas	Exposition moyenne aux aléas	Faible exposition aux aléas
Enjeu de Niveau 1	Fort	Fort	Moyen
Enjeu de Niveau 2	Fort	Moyen	Faible
Enjeu de Niveau 3	Moyen	Faible	Faible

Illustration 20 – Grille d'estimation de l'indice de vulnérabilité

4.2. MODES GENERIQUES DE GESTION

L'objectif de cette étude n'est pas de donner des solutions de gestion pour un site en particulier mais de proposer des modes génériques de gestion en fonction de la vulnérabilité estimée selon la méthode précédemment exposée.

Deux logiques différentes permettent de gérer cette vulnérabilité :

- le maintien des enjeux, ce qui implique qu'une protection aux aléas soit mise en place ;
- l'adaptation au phénomène naturel, ce qui implique le déplacement ou l'abandon des enjeux.

Si sur le plan environnemental, c'est l'adaptation qui est à favoriser, les contraintes en matière d'aménagement et de développement de l'île peuvent justifier le maintien de certains enjeux mais le type de protection peut être adapté selon les cas.

Sur la base de ces grands principes et en fonction des 3 indices de vulnérabilité, 3 modes de gestion principaux peuvent donc être proposés (Illustration 21) :

	Mode de gestion
Vulnérabilité forte	Ouvrages de protection
Vulnérabilité moyenne	Méthodes alternatives de protection (terrassement, génie végétal, drains,...)
Vulnérabilité faible	Recul stratégique ou non gestion

Illustration 21 – Modes de gestion en fonction de la vulnérabilité

Il est important de préciser que dans une logique de développement durable, le recul stratégique pourrait s'appliquer quelque soit le niveau de vulnérabilité (principe d'adaptation évoqué ci-dessus) et que le recours aux ouvrages de protection doit se limiter aux cas les plus sensibles.

En revanche, afin de couvrir l'étendue des cas, il apparaît nécessaire de conserver une gradation en matière d'intervention dans les solutions de gestion possibles.

Les solutions techniques relatives à la réduction de la vulnérabilité doivent toutefois être adaptées au type de littoral en question (falaise, plage, mangrove).

4.2.1. Ouvrages de protection

Les ouvrages de protection (*hard defences*) qui ont pour but de stabiliser la côte doivent se limiter aux sites présentant une forte vulnérabilité.

Falaises

Pour les falaises, les méthodes de protection s'attachent à limiter les effets conjoints des infiltrations d'eau et de creusement en pied de la mer responsables des déclenchements de mouvements de terrain.

Les différentes solutions techniques sont les suivantes :

- épinglage : pose d'épingle ou de pieux dans le versant afin solidariser les différentes strates ;
- reprofilage : la pente du versant est adoucie le plus souvent en déblayant la partie verticale au sommet et remblayant avec le même matériau le pied de falaise. La pente finale est à adapter en fonction des qualités de maintien des matériaux ;
- drainage : pose de drains permettant aux couches du versant de ne pas se charger en eau et d'éviter ainsi les déclenchements par liquéfaction et glissements ;
- végétalisation : revégétaliser le versant permet aux racines des plantes de retenir et drainer naturellement les terrains ;
- protection en pied : mur de protection ou enrochement réduisant l'impact de la houle et le sous-cavage de la falaise.

A Mayotte, peu d'équipements justifient les sommes importantes nécessaires pour stabiliser une falaise. Il est à noter également que ces solutions tendent à ralentir le recul de la falaise mais que sa stabilité proprement dite n'est jamais acquise. Enfin, il est à noter que ces protections ont un impact non négligeable sur l'aspect paysager du site et présentent un risque important de disparition de la plage en pied des ouvrages.

Côtes basses

Les ouvrages de protections à privilégier en arrière des côtes basses (plages et mangroves) à Mayotte sont essentiellement des ouvrages de types longitudinaux²⁴ (murs et enrochements). En effet, les ouvrages transversaux²⁵ (épis, jetées, digues) dont le rôle est de bloquer le transit sédimentaire n'ont pas de raison d'être car le contexte de succession de baies à Mayotte limite déjà naturellement ce type de transit. Seule la protection d'un bassin portuaire justifie l'implantation de ce type d'ouvrages. Enfin, les ouvrages *offshore* (brise-lames immergés ou émergés de tous types) représentent peu d'intérêt car ce rôle est déjà joué naturellement par le récif-barrière et le récif frangeant.

La nature (enrochement liés ou non, tétrapodes, BCR, murs, etc.) et le dimensionnement des ouvrages longitudinaux sont à adapter en fonction des caractéristiques locales.

²⁴ Parallèles à la côte.

²⁵ Perpendiculaires à la côte.

Il est à noter que ces ouvrages sont efficaces contre l'érosion et les submersions mais présentent des impacts importants sur le cordon sédimentaire (plage, arrière-mangrove) en bloquant les transferts sédimentaires transversaux et en augmentant l'agitation (réflexion de la houle) en pied d'ouvrage.

4.2.2. Méthodes alternatives de protection

Dans la plupart des cas, lorsque la vulnérabilité est modérée, la réduction de l'aléa peut être opérée par des méthodes alternatives présentant moins d'impacts secondaires sur le milieu (*soft defences*).

Falaises

Pour limiter le recul des falaises les méthodes dites « douces » se limitent au reprofilage, au drainage et à la revégétalisation du versant.

L'angle de la pente dépend de la structure de la falaise, de la roche et de la teneur en eau. A Mayotte, pour des matériaux meubles à forte teneur en eau, on estime à 40% (22°) la pente nécessaire à la stabilité de la falaise (la pente peut être moins douce si la teneur en eau est plus faible).

Le reprofilage n'est jamais à considérer comme solution unique et doit s'accompagner de drainage afin de limiter les déstabilisations en profondeur, notamment pour les falaises très sensibles aux infiltrations.

Le boisement du versant doit se faire en plusieurs étapes en plantant d'abord les plantes herbacées, puis les arbustes et enfin les arbres. Le choix des espèces est également primordial car il faut que la plantation s'oppose au ravinement, ne favorise pas les infiltrations et que les espèces soient adaptées au milieu tropical et littoral. A Mayotte plusieurs espèces locales peuvent jouer ce rôle (Illustration 22).

Type	Nom	Caractéristiques
Herbacées	La patate à Durand (<i>Ipomea pes-caprae</i>)	Liane indigène, dont la croissance est rapide et qui a pour avantage de posséder un bon enracinement. Elle est très efficace pour la stabilisation des sables en haut de plage et pourrait être semée ou bouturée sur des remblais.
	Le gros chiendent (<i>Stenotaphrum dimidiatum</i>)	Herbacée rampante indigène. Plante de couverture elle peut être semée ou bouturée pour stabiliser les talus sablonneux
	<i>Lepturus repens</i> (nom vernaculaire ignoré)	Graminée. Elle occupe la bande côtière notamment les sables et les sites rocaillieux battus par les embruns.

Arbustes	Le pignon d'Inde (<i>Jatropha curcas</i>)	Arbuste à la croissance rapide. Cette espèce peut être utilisée en phase travaux, sur un long chantier, pour la stabilisation temporaire des terres
	Le gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>)	Arbuste introduit. Il peut être utile en association avec la patate à Durand.
	Le M'coutra (<i>Strychnos spinosa</i>)	Epineux indigène poussant spontanément sur les terres très dégradées.
Arbres	Le badamier (<i>Terminalia catappa</i>)	Arbre très commun qui a surtout l'avantage de stabiliser les sables
	L'Hibiscus de bord de mer (<i>Hibiscus tiliaceus</i>)	Arbre indigène dont les racines participent à la stabilisation des sables
	Le godzo (<i>Xylocarpus Moluccensis</i>)	Petit arbre indigène qui pousse naturellement sur les sites rocaillieux du littoral.

Illustration 22 – Exemples de plantes adaptées au littoral de Mayotte et à la stabilisation des terrains de bord de mer

La protection en pied passe par le bon équilibre sédimentaire de la plage (cf. paragraphe suivant).

Plages

Si les méthodes alternatives aux enrochements sont nombreuses (rechargement artificiel, pose de drains, de géotextiles, etc.), les techniques de génie végétal semblent les plus adaptées au contexte des plages de Mayotte.

La végétation joue en effet un rôle clé dans l'équilibre du cordon sédimentaire. Elle permet le stockage du sable au niveau de la berme de haut de plage (bourrelet de sable à ne pas confondre avec une dune embryonnaire façonnée uniquement par le vent). La mer vient prélever du sable dans ce stock lors des houles destructives de tempêtes afin de conserver son équilibre. Le stock se renouvelle avec les houles constructives de beau temps.

Des procédés de végétalisation (cf. § précédent et Illustration 22) permettent donc de favoriser l'engraissement du stock sédimentaire de la plage et de réduire par conséquent les aléas érosion et submersion (la plage devient plus haute et plus large).

Il convient donc de ne pas araser la berme de haut de plage par des terrassements et aménagements et de conserver et favoriser la végétation littorale. Les plantes rampantes comme les ipomées (*Ipomea pes caprae* – Patate à Durand ou *Popo mtsanga* en shimaoré) jouent à ce propos un rôle notable dans la fixation du sable, de par leur important réseau racinaire.

Mangroves

Les mangroves constituent un rempart efficace contre l'érosion et les submersions en « cassant » l'énergie de la houle. Aussi, la vulnérabilité moyenne des sites sur ce type de littoral tient essentiellement à la dégradation de la mangrove par défrichement ou ensablement.

Dans le cas d'un ensablement (par une augmentation des apports terrigènes liée aux pratiques agricoles agressives pour les sols dans le bassin-versant) et de la formation d'un cordon sédimentaire sableux, les solutions alternatives sont les mêmes que pour une plage (cf. § précédent).

Dans le cas d'un défrichement, la mangrove peut-être replantée. Le choix des espèces doit se faire en fonction de l'étage concerné (*Avicennia marina* et *Rizophora mucronata* pour la zone centrale ; *Sonneratia alba* pour le front de mangrove), sachant que les plantations en zone centrale sont celles qui connaissent le meilleur taux de réussite.

La période de plantation la plus favorable est la période des pluies et les propagules (graines germées) peuvent se récolter sur le site même au niveau de la laisse de mer (déchets naturels marquant la limite de la marée haute sur le sable) ou sur l'arbre.

4.2.3. Recul stratégique et non gestion

Lorsque la vulnérabilité est faible, l'adaptation aux aléas est à privilégier. Le principe est de laisser « libre » l'aire de propagation des aléas à terre :

- soit en procédant à un recul stratégique des enjeux ;
- soit en abandonnant les enjeux présents (non gestion).

Dans le contexte actuel de changement climatique, la stabilité du trait de côte n'étant jamais totalement garantie, cette mesure reste la plus sage, notamment pour les enjeux situés en arrière de falaises dont le recul est souvent inéluctable.

Falaises

Pour les enjeux futurs, il convient de mettre en place une gestion préventive qui consiste à ne pas construire à proximité du versant de falaise et doit prendre en compte la vitesse de recul telle que calculée pour l'estimation de l'aléa érosion (cf. § 3).

La maîtrise du foncier passe par le classement de la zone potentiellement dangereuse en « non constructible » dans les Plans Locaux d'Urbanisme et/ou l'achat du terrain en question par l'Etat ou la Collectivité.

Ces sites peuvent ensuite être mis en valeur comme espaces verts à forte valeur touristique (point de vue, promenade), une signalisation et/ou des aménagements légers devant garantir la sécurité des usagers en haut et pied de falaise.

Côtes basses

Concernant les côtes basses (plages et mangroves), la vulnérabilité vient souvent du fait que les enjeux ont été implantés directement sur le haut de plage ou l'arrière-mangrove.

Là encore, le plus efficace reste d'agir en amont en empêchant l'implantation des aménagements dans la zone concernée par l'aléa par une gestion préventive.

5. Conclusion

Basée sur l'analyse des enjeux existants et futurs et sur la caractérisation des aléas côtiers sur 20 sites représentatifs, cette étude propose une méthode d'estimation de la vulnérabilité des enjeux sur le littoral de Mayotte et des modes de gestion adaptés.

La première étape consiste à définir le type et le niveau d'enjeu du site concerné. Pour cela, les enjeux sont regroupés dans 4 catégories principales (routes, zones urbaines, zones aménagées hors zones urbaines, zones d'urbanisation future²⁶) et hiérarchisés en fonction de leur sensibilité. Une grille de synthèse permet ainsi de situer l'ensemble des enjeux possibles.

La seconde étape s'attache à déterminer le niveau d'exposition du site aux aléas côtiers. La cartographie des enjeux et une campagne de terrain ont permis de sélectionner les 20 sites représentatifs sur lesquels les aléas côtiers ont été estimés.

L'aléa érosion côtière a été calculé à +100 ans à partir de l'analyse de l'évolution du trait de côte sur les photographies aériennes rectifiées de 1949 à 2003. L'aléa submersion marine a été évalué en prenant en compte les caractéristiques de surcote (marée, surcote atmosphérique) d'un événement d'occurrence centennal (tempête tropicale Feliksa) et en y intégrant les effets du déferlement de la houle (*set-up* et *runup*).

Les valeurs obtenues sur les sites représentatifs permettent de définir des seuils (distance à la mer et altitude par rapport au 0 NGM) pour proposer une grille de calcul simplifiée du niveau d'exposition aux aléas (érosion et submersions combinés) qui prend en compte les protections naturelles et artificielles possibles.

La troisième étape porte enfin sur le croisement du niveau d'enjeu et d'exposition aux aléas afin de définir l'indice de vulnérabilité (faible, moyen ou fort) du site concerné. Sur la base de ces 3 niveaux de vulnérabilités 3 modes génériques de gestion sont proposés :

- Vulnérabilité forte : ouvrages de protection (mur, enrochement, etc.) ;
- Vulnérabilité moyenne : méthode alternative de protection (drains, génie végétal, terrassement) ;
- Vulnérabilité faible : recul stratégique ou non gestion (abandon) des enjeux.

En fonction du mode de gestion et du type de littoral concerné (falaise, plage, mangrove), plusieurs solutions techniques adaptées au contexte de Mayotte sont présentées.

²⁶ Les enjeux environnementaux ne sont pas traités.

Cette méthode d'évaluation de la vulnérabilité des enjeux du littoral de Mayotte peut donc être appliquée pour la gestion des enjeux existants mais doit également servir à la mise en place d'une gestion préventive en limitant l'installation d'infrastructures sur les zones potentiellement dangereuses.

6. Bibliographie

Audru J.C, Auber B, Desprats J-F, Eucher G., Jossot O., Mathon C., Nédellec J.L., Sedan O., et Zornette N., 2004, Atlas des aléas naturels à Mayotte, Rapport BRGM/RP-53037-FR : *Communes de Mamoudzou, Koungou, Dzaoudzi et Pamandzi*, 135 p.

De La Torre Y. et Aubie S., 2003, *Etude de la morpho-dynamique des littoraux de Mayotte. Phase 1 : synthèse, typologie et tendances d'évolution*. Rapport BRGM/RP-52320-FR, 43 p., 18 fig. et 5 annexes.

De La Torre Y., Dolique F. et Jeanson M., 2006, *Morphodynamique des littoraux de Mayotte. Phase 2 : mise en place d'un réseau de quantification de l'érosion côtière*. BRGM/RP-54832-FR, 71p.

Garry G., Graszek E., Toulemont M, Levoy F., 1997, *Plans de Prévention des Risques (PPR) Littoraux. Guide méthodologique*, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) et Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, La Documentation Française, Paris, 54p.

INSEE, 2002, *La population légale à Mayotte au 30 juillet 2002*, [online] www.insee.fr/fr/insee_regions/reunion/zoom/mayotte/recensements/poplegale.htm, 11/03/08

IPCC. 2007. - *Climate Change 2007 : Climate Change 2007 – The Physical Science Basis* - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>

Holman R.A. 1986. - *Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach*. *Coastal Engineering*, 9, pp. 527-544.

Lecacheux S. et De la Torre Y., 2008, Modélisation de la hauteur de houle et de la surcote induite par la houle de la forte dépression tropicale « Feliksa », note technique pour la Direction de l'Équipement de Mayotte.

Lecacheux S., Balouin Y. et De La Torre Y., 2007, Modélisation des vagues d'origine cyclonique à Mayotte, BRGM/RP-55981-FR, 110 p., 62 fig.

Lévêque L., 2004, *Contribution à l'inventaire et la cartographie des herbiers de zostères en Bretagne*, Ifremer, RST/DEL/AO n° 04-11.

Masselink G. et Hughes M., 2003, *Introduction to Coastal processes & geomorphology*, Arnold, London, 354 p.

Mazda Y., Magi M., Nanao H., Kogo M., Miyagi T., Kanazawa N., Kobashi D., 2002, *Coastal erosion due to long-term human impact on mangrove forests*, *Wetlands Ecology and Management*, **10**: 1–9.

Meur-Ferec C., Deboudt P., Heurtefeux H., Flanquart F., Morel V., Roussel S., Lequint R., 2006, *Vers une stratégie de gestion à long terme de l'érosion côtière : l'apport de l'évaluation de la vulnérabilité*, Interactions Nature – Société, analyse et modèles, UMR-6554 LETG.

Nielsen P., and Hanslow, D. J. 1991. - *Wave run-up distributions on natural beaches*. Journal of Coastal Research 4(7), pp.1139- 1152.

Phuoc V. L. H. et Massel S. R., 2006, Wave propagation in non-uniform mangrove forests in water arbitrary depth, Geophysical Research, Vol. 8, 00562.

Ruggiero P., Komar P.D., Mc Douglas W.G., Marra J.J., Beach R.A., 2001, Wave runup, extreme water levels and erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17 (2), 407-419.

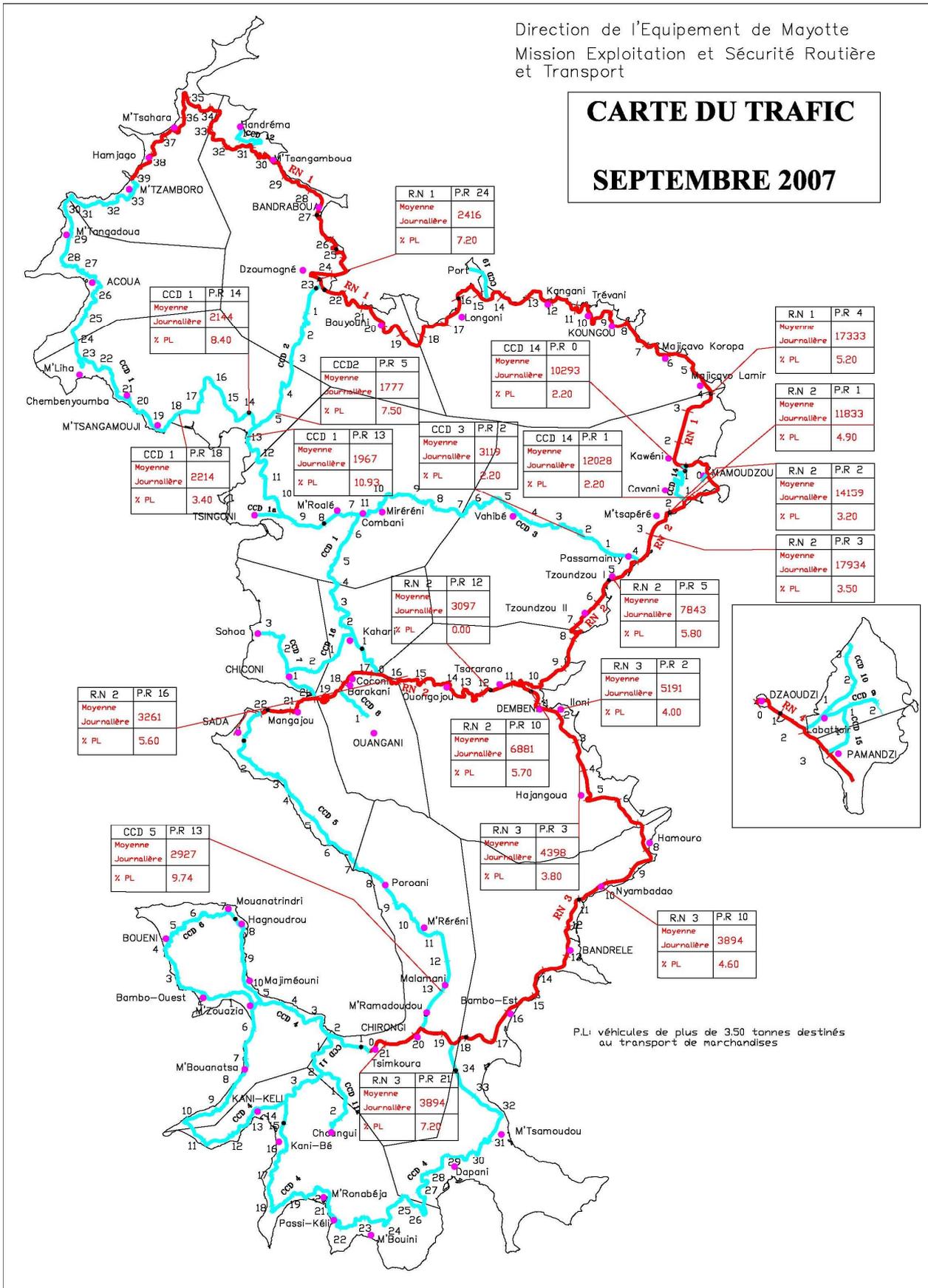
Stephan P. et Suanez S., 2004, *Mobilité du trait de côte en baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor) ou le résultat d'une plage en accrétion*, GEOMER, VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Compiègne, 7-9, [online] www.cetmef.equipement.gouv.fr/colloques/geniecotier/fichiers/theme2/30_Stephan.pdf, 18/05/08.

Annexe 1

Carte du trafic routier à Mayotte, septembre 2007

Direction de l'Équipement de Mayotte
Mission Exploitation et Sécurité Routière
et Transport

CARTE DU TRAFIC SEPTEMBRE 2007



Annexe 2

Classes des risques des ouvrages (NF P 06-013)

Classe		Critères
A	Ouvrages dont la défaillance ne représente qu'un risque minime pour les personnes ou activité économique	- Bâtiments à occupation humaine temporaire sans fonction d'hébergement
B	Ouvrages et installations offrant un risque dit « courant » pour les personnes	<ul style="list-style-type: none"> - Habitat individuel ; - ERP de catégorie 4 et 5 (< 300 personnes) ; - Bâtiments d'habitation collective (< ou = 20 logements) ; - Bureaux non classés ERP (< 300 personnes) ; - Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (< 300 personnes) ; - Bâtiment abritant les parcs de stationnement ouverts au public.
C	Ouvrages représentant un risque élevé pour les personnes en raison de leur fréquentation ou de leur importance socio-économique	<ul style="list-style-type: none"> - ERP de catégorie 1, 2 et 3 ; - Bâtiments d'habitation collective (> 20 logements) ; - Bureaux non classés ERP (> 300 personnes) - Bâtiment destiné à l'exercice d'une activité industrielle (> 300 personnes) - Etablissements sanitaires et sociaux sauf ceux qui dispensent des soins de courtes durées (classe D) - Bâtiments des centres de production collective d'énergie.
D	Ouvrages et installations dont la sécurité est primordiale pour les besoins de la Sécurité Civile, ou de l'ordre public, de la Défense et de la survie de la région	<ul style="list-style-type: none"> - Bâtiment dont la protection est primordiale pour les besoins de la sécurité civile, de la défense nationale et pour le maintien de l'ordre public - Bâtiment d'intérêt patrimonial majeur

Annexe 3

Acromymes des zones d'urbanisation futures

NA = zone d'urbanisation future à long terme, destinée essentiellement à l'habitat. Cette zone pourra être urbanisée dans la mesure d'une saturation des zones 1NA.

1NA = NAa = zone d'urbanisation future à court terme, principalement destinée à l'habitation de type résidentielle et aux activités de proximité. Elle est destinée à faire la transition entre les zones urbaines existantes et zones naturelles. Construction ne dépassant pas un étage.

NAb = idem que pour 1NA ou NAa, mais cette zone recevra des constructions à deux étages.

NAc = zone d'urbanisation future à dominante d'activité économique (commerce, artisanat, bureaux, industries,...)

1NAh = zone d'urbanisation future, peu ou pas équipée, destinée essentiellement à la protection et mise en valeur du patrimoine historique

1 Nat = zone d'urbanisation future, peu ou pas équipée, destinée essentiellement à des opérations touristiques légères ou de faible importance

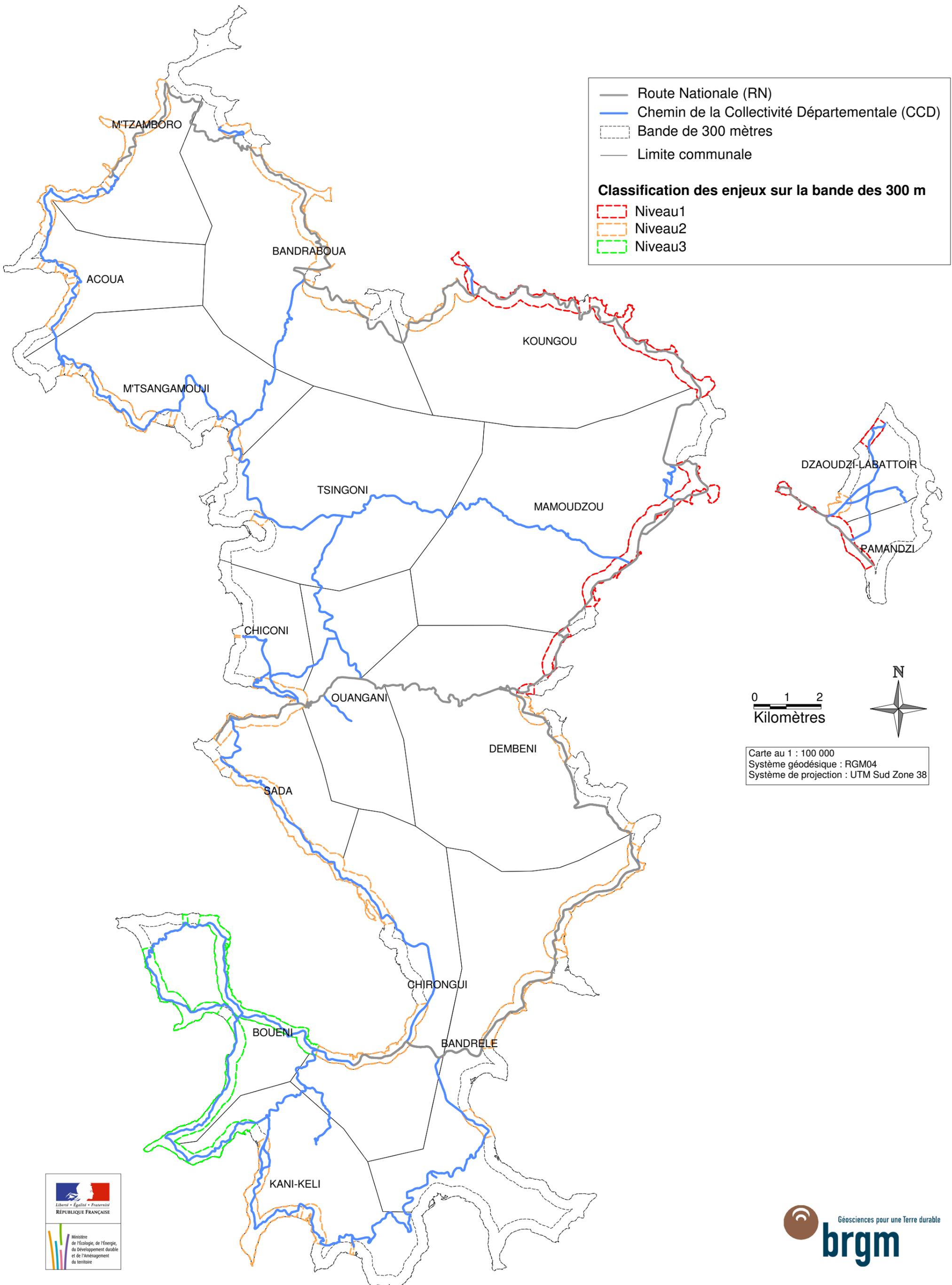
NAx / NAe = zone d'urbanisation future réservée pour l'implantation d'activités industrielles, artisanales, commerciales ou de dépôt. L'urbanisation est conditionnée par la réalisation des équipements publics (réservoirs d'eau, stations de traitement, protection contre des risques) et par celle des travaux de viabilisation (voirie, assainissement pluvial, eau, électricité).

NApm = zone d'urbanisation future à long terme, située sur des sites stratégiques dont l'aménagement nécessite impérativement un plan d'ensemble.

Annexe 4

Carte des enjeux littoraux : les infrastructures routières

Enjeux des littoraux de Mayotte - Les infrastructures routières



Annexe 5

Carte des enjeux littoraux : les zones urbaines

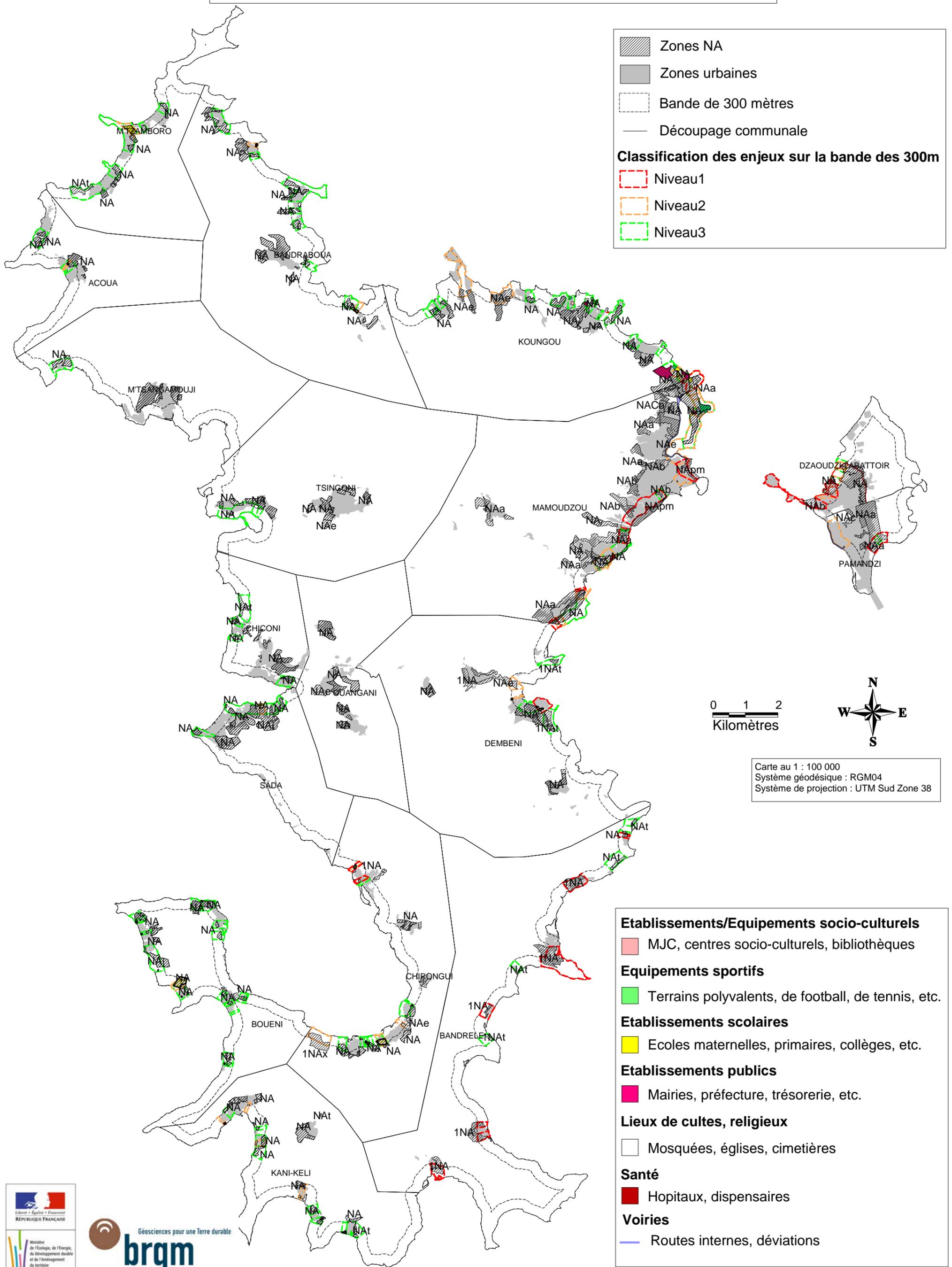
(hors-texte)

Annexe 6

Carte des enjeux littoraux : les zones d'urbanisation futures

Enjeux des littoraux de Mayotte

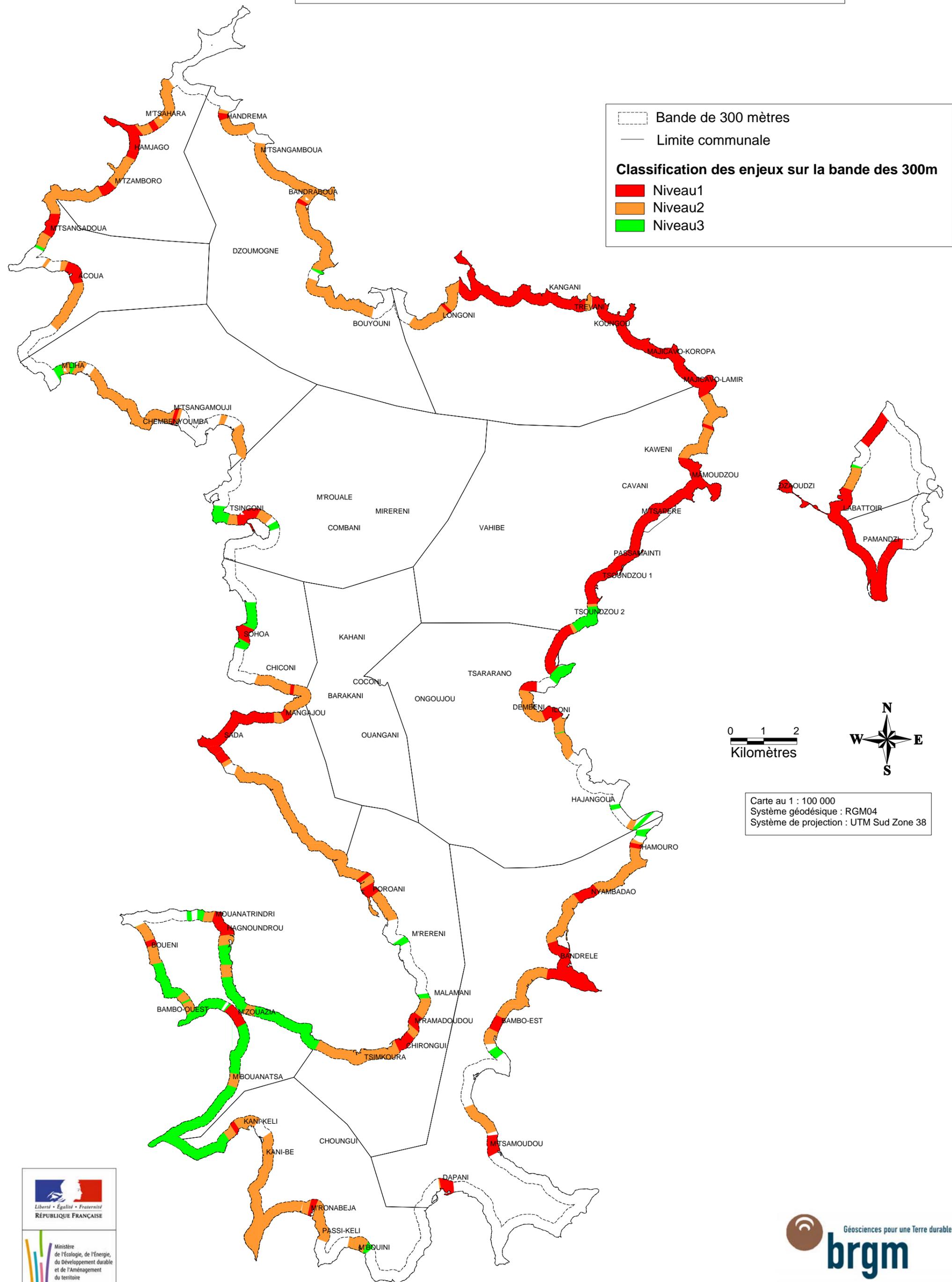
Les zones d'urbanisation future (zones NA et ER)



Annexe 7

Carte des enjeux littoraux : les enjeux globaux

Enjeux globaux des littoraux de Mayotte



Annexe 8

Modèle de formulaire de terrain

Fiche_terrain : VULITMAY

s.météorologique — marine (e.g. état de la mer, marée, vent):

tativité du site :

in.générale (e.g. morphologie générale, aménagement, largeur de l'estran, pente) :

1

Côte sableuse (plage)

Présence	Oui	Non	Remarques
falaises			
rochers			
écroulements sur les rochers			
tranchées			
tranchées			

Côte vaseuse (mangrove)

Présence	Oui	Non	Remarques
présence (naturelle)			
présence (artificielle)			
présence (naturelle)			
présence (artificielle)			

Côte rocheuse (falaise)

Présence	Oui	Non	Remarques
Sous-cavage ou sapement (creuser le bas du front)			
Erodibilité de la roche (nature : meuble/dure, fracturation)			
Solifluxion possible (glissement de terrain)			
Impact anthropique potentiel (sur pied ou haut)			

Côte artificialisée

Présence	Oui	Non	Remarques
Rôle : protection			
Etat de l'aménagement			
Affoulement sur aménagements			
Impact(s) anthropique(s)			

Submersions

Présence	Oui	Non	Remarques
Laisse d'inondation ou épandage de tempête			
Protection naturelle (végétation, butte, berme, etc.)			
Protection anthropique (aménagement)			

Enjeux

Nature	Remarques
Distance à la mer (1 ^{ère} ligne)	< 10m 10m < x < 20m > 20m
Hauteur à la mer (cas de submersion : plage < 2m ; mangrove < 1,50m)	
Activités/fréquentation	

Annexe 9

Marges d'erreur sur les photographies aériennes

Sites	Photographies aériennes non retenues	Marge d'erreur estimée
Kangani	1969 : décalage important, > 10m 1989 : surexposition	5 m
Trévani	1949 & 1969 : décalage trop important	5 m
Majikavo-Koropa	1949 : décalage trop important 1969 : clichés tronqués	5 m
Labattoir	1949 : décalage trop important 1989 : clichés tronqués	5m
Le Rocher	-	5m
Bd. des Crabes	-	4m
Cavani-Mtsapéré	1997 : campagne manquante	6m
Tzoundzou2	1949 : décalage trop important 1969 : qualité médiocre	5m
Hamouro	1949 : clichés tronqués 1969 : décalage trop important	3m
Nyambadao	1949 : décalage trop important (>10m) 1989 : déformation aigüe	4m
Bambo-Est	1989 : qualité médiocre	6m
Dapani	1949 : qualité médiocre 1997 : campagne manquante	6m
Kani-Bé	1949 : décalage trop important (>8m)	5m
Mbouanasta	1969 : qualité médiocre et décalage important (>10m) 1997 : clichés surexposés	5m
Bambo-Ouest	-	4m
Sada	1949 : clichés partiellement tronqués mais utilisé 1969 : décalage important (>10m) 1997 : clichés surexposés	5m
Mangajou	1949 : décalage important (>10m)	5m
Sohoa	1949 : décalage important (>10m)	4m
Bandabroua	1949 & 1969 : qualité médiocre	4m
Longoni	1949 : qualité médiocre	5m

Annexe 10

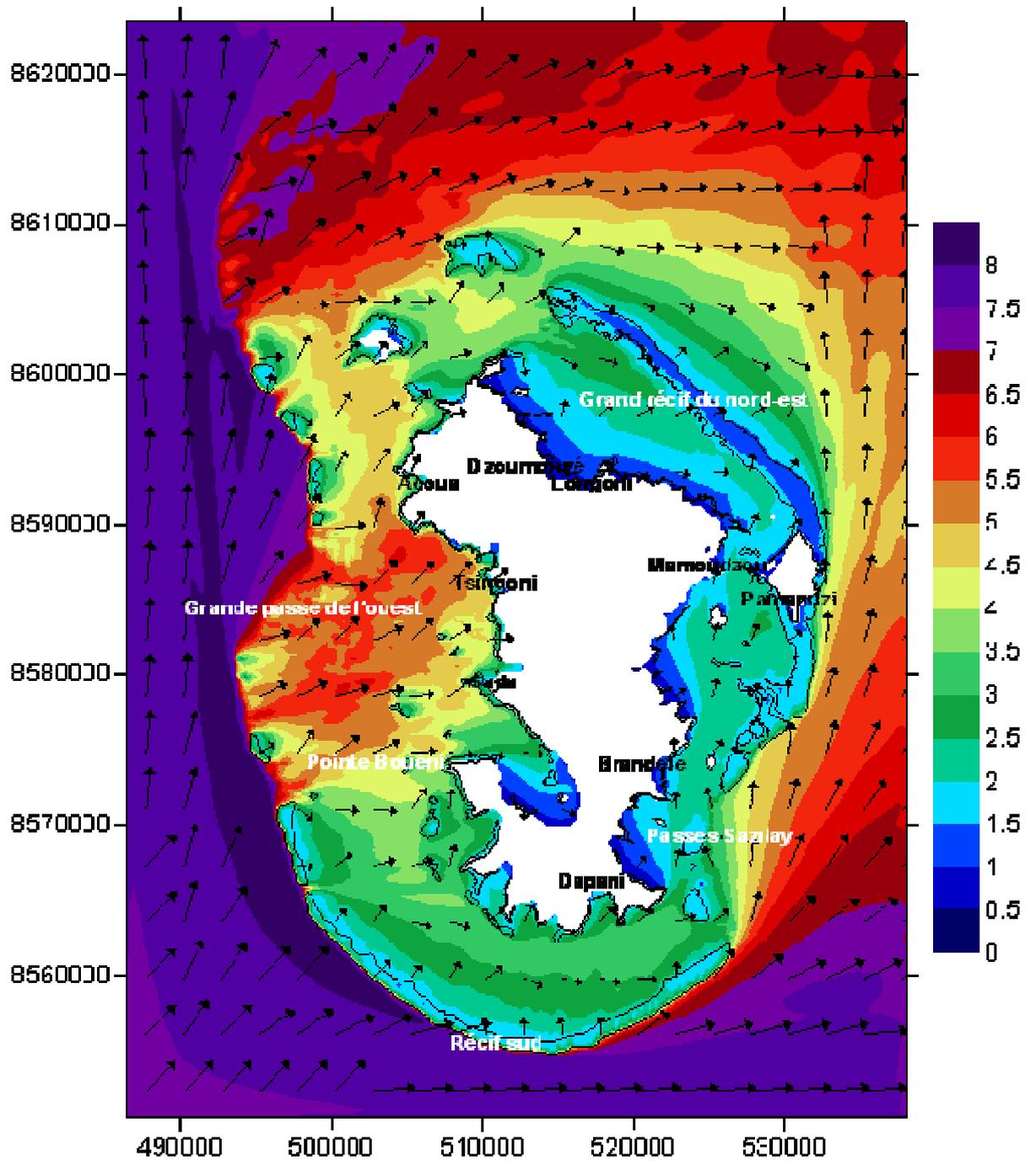
Evaluation du recul

Sites	Profils	1949	1969	1989	1997	2003	Total cumulé (TDC_réf / TDC_2003)	Marge Erreur	Recul moyen annuel (m)	Projection linéaire centennale (m)
Longoni	P1		0	1	-0,9	-1,4	-1,3	5m	-0,037	-3,71
	P2		0	0	-1,1	-1	-2,1		-0,060	-6,00
	P3		0	-0,5	-1,6	-1,2	-3,3		-0,094	-9,43
	P4		0	-0,9	0,2	-0,4	-1,1		-0,031	-3,14
	P5		0	-0,2	-2,3	-0,8	-3,3		-0,094	-9,43
	P6		0	-1	-2,7	-1,2	-4,9		-0,140	-14,00
	P7		0	-1,4	-2,4	-0,4	-4,2		-0,120	-12,00
	P8		0	-1,4	0,2	-0,5	-1,7		-0,049	-4,86
Kangani	P9	0			-0,45	0,15	-0,6	5m	-0,011	-1,09
	P10	0			8,3	0,9	9,2		0,167	16,73
	P11	0			-0,5	-1,1	-1,6		-0,029	-2,91
	P12	0			-3,55	0	-3,55		-0,065	-6,45
	P13	0			-0,7	-0,1	-0,8		-0,015	-1,45
	P14	0			-3,4	0	-3,4		-0,062	-6,18
Trévani	P15				-0,7	-1	-1,7	5m	-0,113	-11,33
	P16			0	-0,8	-2,8	-3,6		-0,240	-24,00
	P17			0	0,5	-2,5	-2		-0,133	-13,33
	P18			0	-1,1	-1	-2,1		-0,140	-14,00
	P19			0	-0,7	-2,2	-2,9		-0,193	-19,33
	P20			0	-3	-2,3	-5,3		-0,353	-35,33
Majikavo-Koropa	P21			0		-1,8	-1,8	5m	-0,120	-12,00
	P22			0	50,8	2	52,8		3,520	352,00
	P23			0	7,6	0	7,6		0,507	50,67
	P24			0	0,9	-2,3	-1,4		-0,093	-9,33
	P25			0	-5,3	-2,7	-8		-0,533	-53,33
Labattoir	P26		0		-3,3	0,6	-2,7	5m	-0,077	-7,71
	P27		0		0,3	6,6	6,9		0,197	19,71
	P28		0		4,3	-0,9	3,4		0,097	9,71
Dzaoudzi, Le Rocher	P29	0	1,3	-5,6	3,7	-4,7	-5,3	5m	-0,096	-9,64
	P30	0	0,3	-0,6	-2,7	0,7	-2,3		-0,042	-4,18
	P31	0	4,3	36,1	1,4	0,3	42,1		0,765	76,55
	P32	0	5,2	-2,2	4,4	0,4	7,8		0,142	14,18
	P33	0	-0,2	-0,7	0,4	-1,3	-1,8		-0,033	-3,27
	P34	0	1,9	-0,9	-2,8	0,4	-1,4		-0,025	-2,55
	P35	0	-1,9	-1,3	24,2	0,2	21,2		0,385	38,55
Boulevard des Crabes	P36	0	-4,4	1,3	2,4	0,6	-0,1	4m	-0,002	-0,18
	P37	0	1,5	2,3	-3,7	-0,2	-0,1		-0,002	-0,18
	P38	0	-0,8	1,7	14,6	1	16,5		0,300	30,00
	P39	0	-4,8	2,9	2,4	1,6	2,1		0,038	3,82
	P40	0	-0,3	1,8	-2,8	-0,6	-1,9		-0,035	-3,45
	P41	0	3,4	1,6	-1,8	0,3	3,5		0,064	6,36
	P42	0	-1,8	1,7	-1,4	1,8	0,3		0,005	0,55
	P43	0	-1	1,2	-1,5	0,7	-0,6		-0,011	-1,09
	P44	0	-3,6	-1,6	-0,4	0,2	-5,4		-0,098	-9,82
	P45	0	-1,7	-0,2		-1,6	-3,5		-0,064	-6,36
Cavani-Mtsapéré	P46	0				200	200	6m		0,00
	P47	0				110	110			0,00

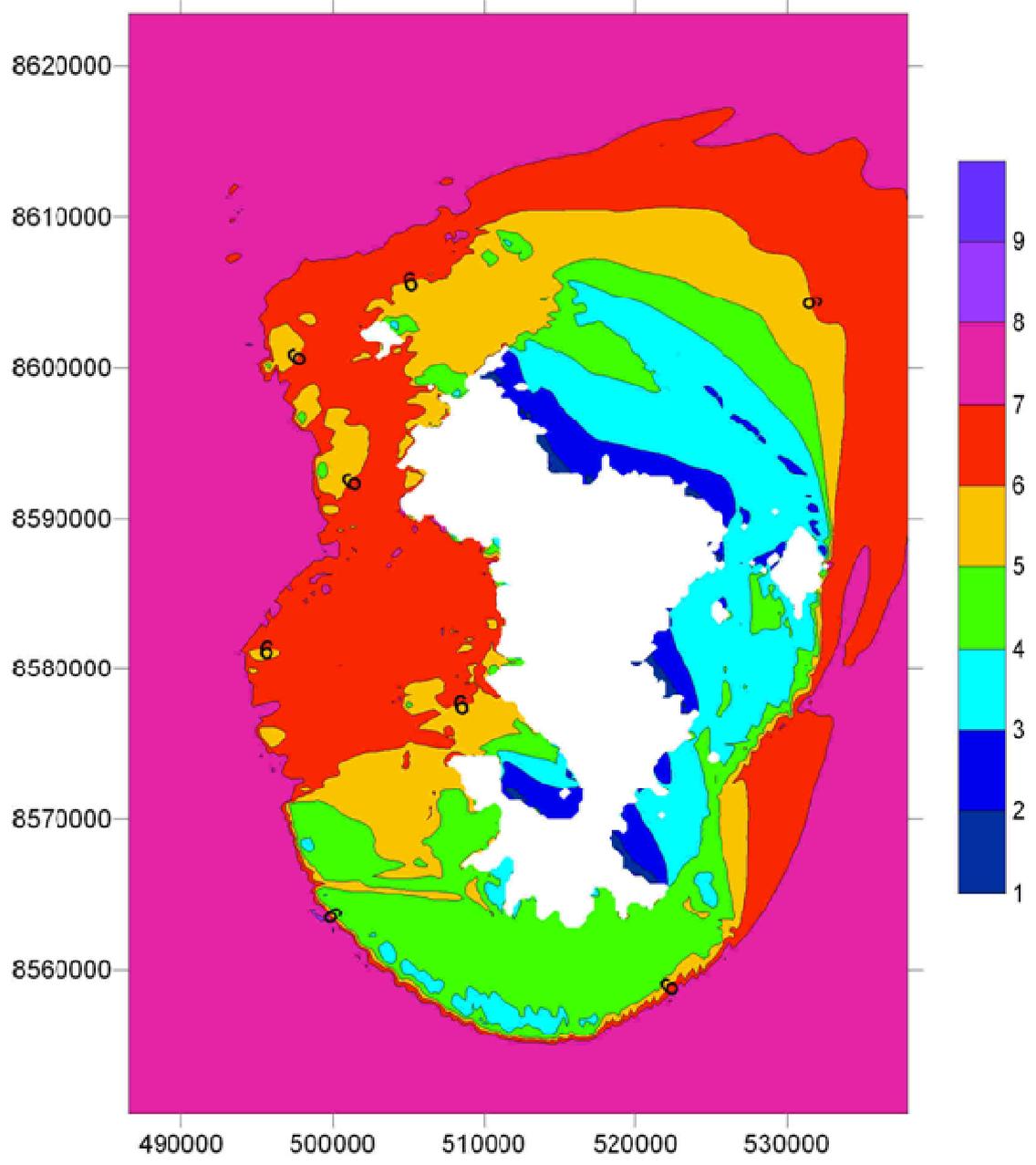
Sites	Profils	1949	1969	1989	1997	2003	Total cumulé (TDC_réf / TDC_2003)	Marge Erreur	Recul moyen annuel (m)	Projection linéaire centennale (m)
Tzoundzou2	P48			0	5,6	-2,6	3	5m	0,200	20,00
	P49			0	-0,8	0,3	-0,5		-0,033	-3,33
	P50			0	-1	1,5	0,5		0,033	3,33
Hamouro	P51			0	1	-4,1	-3,1	3m	-0,207	-20,67
	P52			0	0,8	-2,3	-1,5		-0,100	-10,00
	P53			0	3,8	3,5	7,3		0,487	48,67
Nyambadao	P54		0		-2	-0,2	-2,2	4m	-0,063	-6,29
	P55		0		-4	0,2	-3,8		-0,109	-10,86
	P56		0		-1,2	-2,1	-3,3		-0,094	-9,43
	P57		0		1,6	-3	-1,4		-0,040	-4,00
Bambo-Est	P58	0	-3,8		-0,7	-0,7	-5,2	6m	-0,095	-9,45
	P59	0	-1,4		-5	-0,1	-6,5		-0,118	-11,82
	P60	0	-2		-0,9	0,1	-2,8		-0,051	-5,09
Dapani	P61		0	-13,8		9,2	-4,6	6m	-0,131	-13,14
	P62		0	-0,8		-8,2	-9		-0,257	-25,71
	P63		0	-4,8		-0,5	-5,3		-0,151	-15,14
	P64		0	-3,7		-21	-24,7		-0,706	-70,57
Kani-Bé	P65		0	3,5	-2	-0,3	1,2	5m	0,034	3,43
	P66		0	-6,5	-0,6	1,3	-5,8		-0,166	-16,57
	P67		0	0,2	-2,1	-1,2	-3,1		-0,089	-8,86
Mbouanasta	P68	0		-0,6		-2,6	-3,2	5m	-0,058	-5,82
	P69	0		-1,9		-3,7	-5,6		-0,102	-10,18
	P70	0		-2,4		-3,1	-5,5		-0,100	-10,00
Bambo-Ouest	P71	0	1	0,6	-0,2	0,8	2,2	4m	0,040	4,00
	P72	0	-0,6	-1,2	-24,7	2,1	-24,4		-0,444	-44,36
	P73	0	-0,2	-4,3	5,1	-4,3	-3,7		-0,067	-6,73
	P74	0	0,8	-4,2	5,7	1	3,3		0,060	6,00
Sada	P75	0		-17,4		9,6	-7,8	5m	-0,142	-14,18
	P76	0		-13		-4,5	-17,5		-0,318	-31,82
	P77	0		-9,8		-2,3	-12,1		-0,220	-22,00
Mangajou	P78		0	0,1	-1,1	-2,1	-3,1	5m	-0,089	-8,86
	P79		0	3,8	-2,9	-1,5	-0,6		-0,017	-1,71
	P80		0	5,5	-2	-0,2	3,3		0,094	9,43
Sohoa	P81		0	-1,9	1,5	-2,2	-2,6	4m	-0,074	-7,43
	P82		0	-3,8	4,4	-1,6	-1		-0,029	-2,86
	P83		0	1,4	-1,8	-2,7	-3,1		-0,089	-8,86
Bandraboua	P84			0	2	-7,4	-5,4	4m	-0,360	-36,00
	P85			0	1,9	-7,4	-5,5		-0,367	-36,67
	P86			0	-0,2	-1,4	-1,6		-0,107	-10,67
	P87			0	-5,6	-0,2	-5,8		-0,387	-38,67

Annexe 11

Modélisation FELIKSA – valeurs de la hauteur et de la période



Hauteur H (en mètre)
 (Lecacheux et De La Torre, 2008)



Période T (en secondes)
 (Lecacheux et De La Torre, 2008)

Annexe 12

Evaluation du Runup

site	Profil	H (m)	T (s)	L (m)	Pente (tan)	Iribarren N.	Runup (m)		Marée PMVE (m)		Surcote Atm. (m)	RUNUP TOTAL (RGM) (m)	Élévation niveau marin (en m)	Runup
							Holman et al	Ruggiero et al	CM	NGM				Total
Labattoir	P1	1,5	3	14,05	0,076	0,2332	0,315	0,342	4,2	2,42	0,68	3,41	0,48	3,9
	P2	1,5	3	14,05	0,063	0,1913	0,258	0,310	4,2	2,42	0,68	3,36		3,8
Hamouro	P3	2	3	14,05	0,067	0,1767	0,318	0,370	4,2	2,42	0,35	3,09		3,6
	P4	2	3	14,05	0,085	0,2256	0,406	0,418	4,2	2,42	0,35	3,18		3,7
	P5	2	3	14,05	0,135	0,3582	0,645	0,526	4,2	2,42	0,35	3,41		3,9
Bambo-Est	P6	1	2	6,25	0,143	0,3570	0,321	0,255	4,2	2,42	0,27	3,01		3,5
	P7	1	2	6,25	0,132	0,3288	0,296	0,245	4,2	2,42	0,27	2,99		3,5
	P8	1	2	6,25	0,102	0,2550	0,230	0,216	4,2	2,42	0,27	2,92		3,4
Dapani	P9	2	4	24,98	0,013	0,0459	0,083	0,217	4,2	2,42	0,36	3,00		3,5
	P10	2	4	24,98	0,011	0,0374	0,067	0,196	4,2	2,42	0,36	2,98		3,5
	P11	2	4	24,98	0,018	0,0643	0,116	0,257	4,2	2,42	0,36	3,04		3,5
Kani-Bé	P12	1,5	3	14,05	0,035	0,1081	0,146	0,233	4,2	2,42	0,28	2,85		3,3
	P13	1,5	3	14,05	0,021	0,0646	0,087	0,180	4,2	2,42	0,28	2,88		3,4
	P14	1,5	3	14,05	0,030	0,0927	0,125	0,216	4,2	2,42	0,28	2,83		3,3
Mbouanasta	P15	2,5	4	24,98	0,116	0,3676	0,827	0,728	4,2	2,42	0,3	3,55		4,0
	P16	2,5	4	24,98	0,141	0,4452	1,002	0,801	4,2	2,42	0,3	3,72		4,2
	P17	2,5	4	24,98	0,167	0,5268	1,185	0,871	4,2	2,42	0,3	3,91		4,4
Sohoa	P18	4	6	56,21	0,088	0,3317	1,194	1,204	4,2	2,42	0,31	3,92		4,4
	P19	4	6	56,21	0,018	0,0669	0,241	0,541	4,2	2,42	0,31	3,27		3,8
	P20	4	6	56,21	0,066	0,2482	0,894	1,042	4,2	2,42	0,31	3,62		4,1
	P21	4	6	56,21	0,114	0,4260	1,534	1,365	4,2	2,42	0,31	4,26		4,7
Bandabroua	P22	1	2	6,25	0,057	0,1420	0,128	0,161	4,2	2,42	0,08	2,63		3,1
	P23	1	2	6,25	0,047	0,1179	0,106	0,147	4,2	2,42	0,08	2,61		3,1
	P24	1	2	6,25	0,054	0,1351	0,122	0,157	4,2	2,42	0,08	2,62		3,1
	P25	1	2	6,25	0,040	0,1004	0,090	0,135	4,2	2,42	0,08	2,59		3,1
Sada	P26	4,5	6	56,21	0,111	0,3927	1,590	1,431	4,2	2,42	0,29	4,30		4,8
	P27	4,5	6	56,21	0,064	0,2251	0,912	1,084	4,2	2,42	0,29	3,62		4,1
	P28	4,5	6	56,21	0,076	0,2677	1,084	1,182	4,2	2,42	0,29	3,79		4,3
	P29	4,5	6	56,21	0,135	0,4776	1,934	1,579	4,2	2,42	0,29	4,64		5,1
Trévani	P30	1,5	3	14,05	0,135	0,4136	0,558	0,456	4,2	2,42	0,24	3,22		3,7
	P31	1,5	3	14,05	0,054	0,1646	0,222	0,287	4,2	2,42	0,24	2,88		3,4
	P32	1,5	3	14,05	0,098	0,3001	0,405	0,388	4,2	2,42	0,24	3,07		3,5
	P33	1,5	3	14,05	0,074	0,2267	0,306	0,337	4,2	2,42	0,24	2,97		3,4
Mangajou	P34	4	6	56,21	0,064	0,2403	0,865	1,025	4,2	2,42	0,46	3,75		4,2
	P35	4	6	56,21	0,057	0,2154	0,776	0,971	4,2	2,42	0,46	3,66		4,1
	P36	4	6	56,21	0,043	0,1602	0,577	0,837	4,2	2,42	0,46	3,46		3,9
Tsoundzou2	P37	2	3	14,05	0,020	0,0541	0,097	0,204	4,2	2,42	0,42	3,04		3,5
	P38	2	3	14,05	0,045	0,1183	0,213	0,302	4,2	2,42	0,42	3,05		3,5
	P39	2	3	14,05	0,059	0,1559	0,281	0,347	4,2	2,42	0,42	3,12		3,6
Bambo-Ouest	P40	3	5	39,03	0,050	0,1786	0,482	0,650	4,2	2,42	0,31	3,21		3,7
	P41	3	5	39,03	0,029	0,1031	0,278	0,494	4,2	2,42	0,31	3,01		3,5
	P42	3	5	39,03	0,011	0,0395	0,107	0,306	4,2	2,42	0,31	2,84		3,3
Bd_Crabes	P43	3	3	14,05	0,058	0,1257	0,339	0,422	4,2	2,42	0,7	3,46		3,9
	P44	3	3	14,05	0,071	0,1546	0,417	0,469	4,2	2,42	0,7	3,54		4,0
	P45	3	3	14,05	0,145	0,3138	0,847	0,668	4,2	2,42	0,7	3,97		4,4
	P46	3	3	14,05	0,091	0,1961	0,530	0,528	4,2	2,42	0,7	3,65		4,1
	P47	3	3	14,05	0,064	0,1391	0,376	0,444	4,2	2,42	0,7	3,50		4,0
	P48	3	3	14,05	0,024	0,0530	0,143	0,274	4,2	2,42	0,7	3,26		3,7
	P49	3	3	14,05	0,039	0,0850	0,230	0,347	4,2	2,42	0,7	3,35		3,8
	P50	3	3	14,05	0,024	0,0512	0,138	0,270	4,2	2,42	0,7	3,26		3,7

Nyambadao	P51	2	3	14,05	0,116	0,3082	0,555	0,488	4,2	2,42	0,35	3,32	3,8
	P52	2	3	14,05	0,086	0,2285	0,411	0,420	4,2	2,42	0,35	3,18	3,7
Majikavo2	P53	1,5	3	14,05	0,333	1,0202	1,377	0,716	4,2	2,42	0,21	4,01	4,5
	P54	1,5	3	14,05	0,028	0,0857	0,116	0,207	4,2	2,42	0,21	2,75	3,2
	P55	1,5	3	14,05	0,033	0,1013	0,137	0,226	4,2	2,42	0,21	2,77	3,2
Kangani	P56	1,5	3	14,05	0,139	0,4251	0,574	0,462	4,2	2,42	0,21	3,20	3,7
	P57	1,5	3	14,05	0,278	0,8502	1,148	0,653	4,2	2,42	0,21	3,78	4,3
	P58	1,5	3	14,05	0,217	0,6654	0,898	0,578	4,2	2,42	0,21	3,53	4,0
Longoni	P59	1,5	3	14,05	0,152	0,4637	0,626	0,483	4,2	2,42	0,16	3,21	3,7
	P60	1,5	3	14,05	0,227	0,6956	0,939	0,591	4,2	2,42	0,16	3,52	4,0
Cavani-Mstapéré	P61	2	3	14,05	0,045	0,1182	0,213	0,302	4,2	2,42	0,6	3,23	3,7
	P62	2	3	14,05	0,032	0,0858	0,154	0,257	4,2	2,42	0,6	3,17	3,7
	P63	2	3	14,05	0,043	0,1129	0,203	0,295	4,2	2,42	0,6	3,22	3,7

Annexe 13

Localisation des planches cartographiques – Caractérisation des aléas érosion et submersion marines

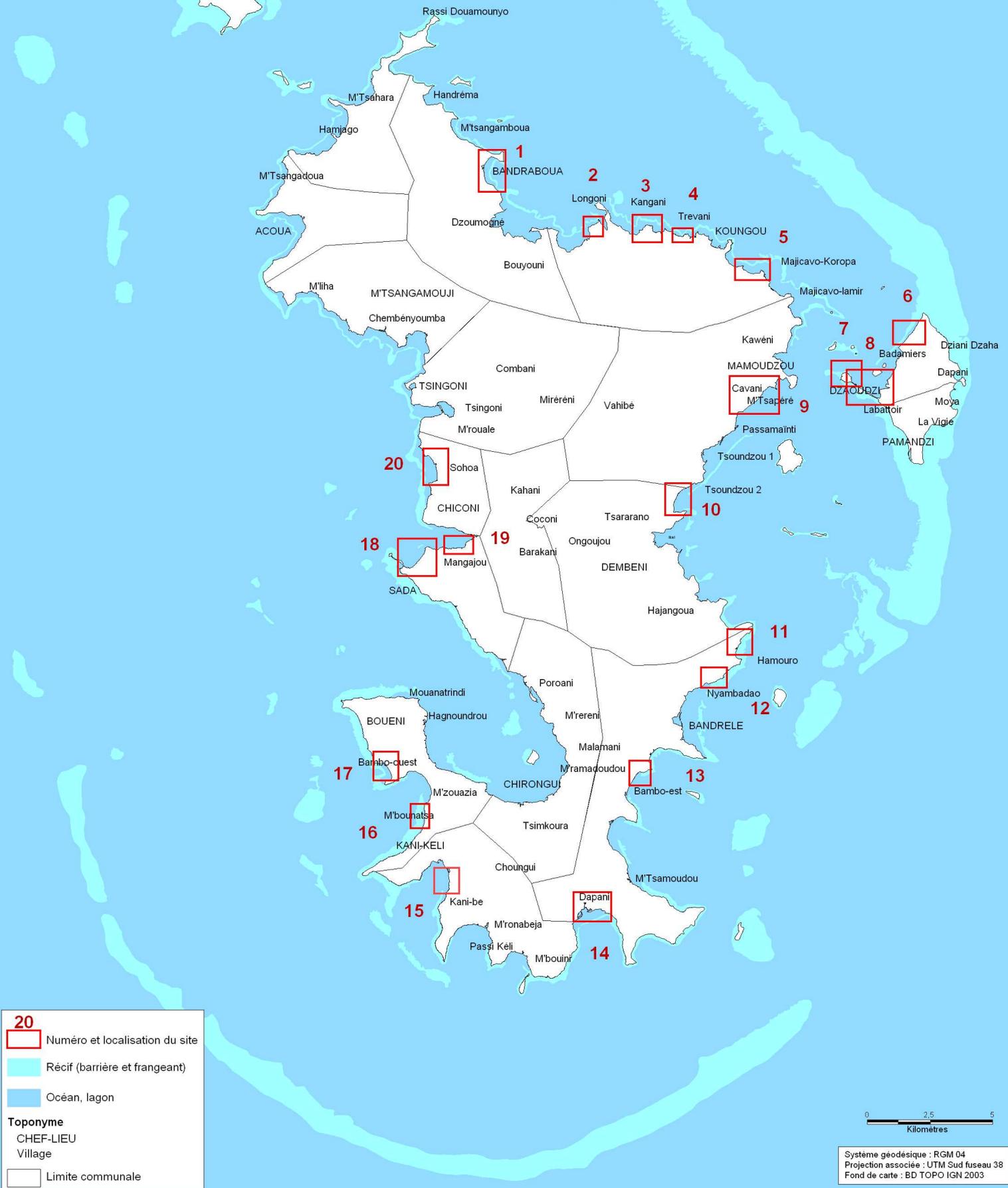
Localisation des planches cartographiques

Echelles :

L'échelle des cartes varie selon les sites, et sera précisée sur chaque planche.

Orientation :

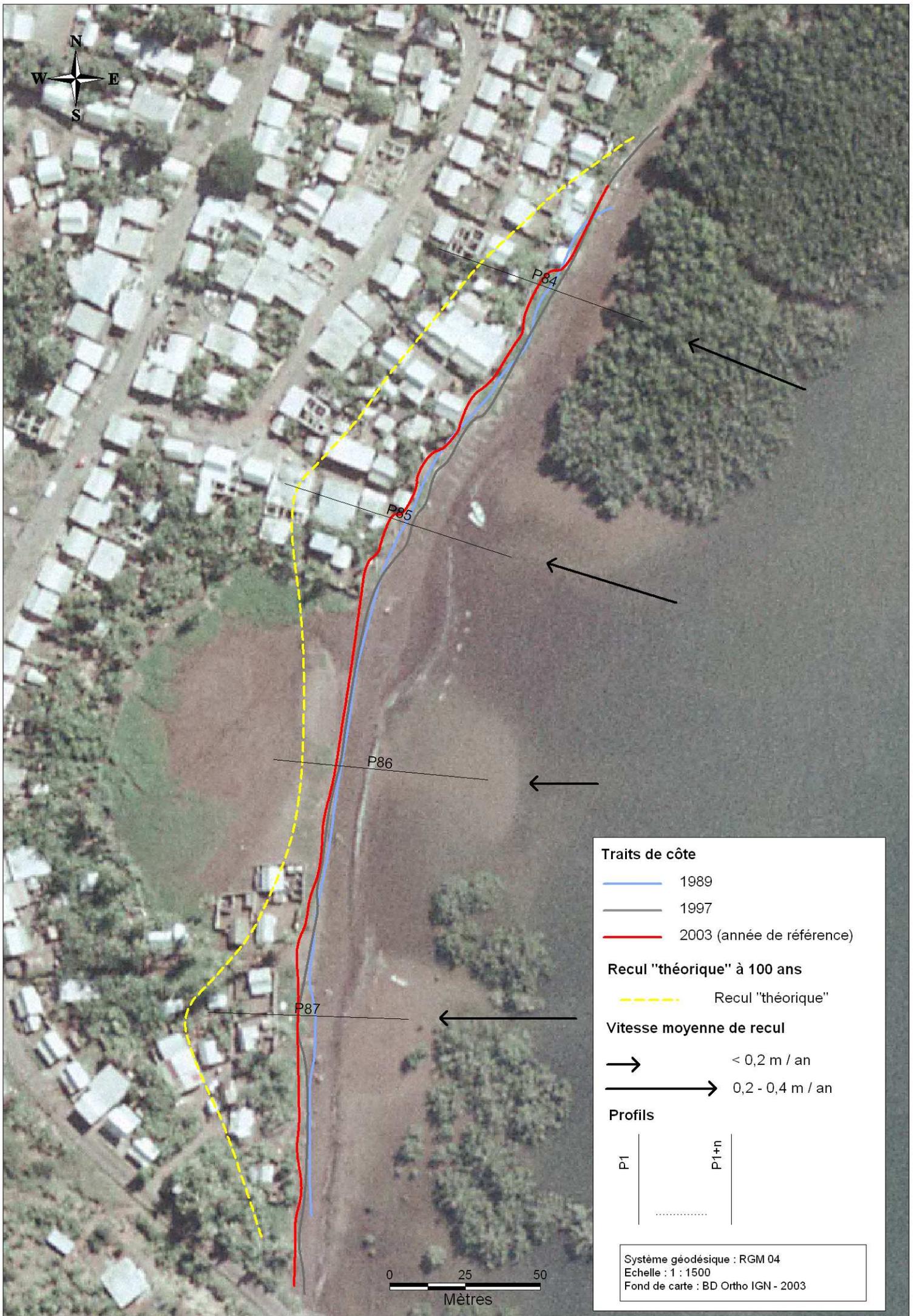
Pour des raisons de mise en page, les planches sont orientées de manières différentes. L'orientation est indiquée par un " Nord " sur chaque planche.



Annexe 14

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 1

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- - - Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

- $< 0,2 \text{ m / an}$
- $0,2 - 0,4 \text{ m / an}$

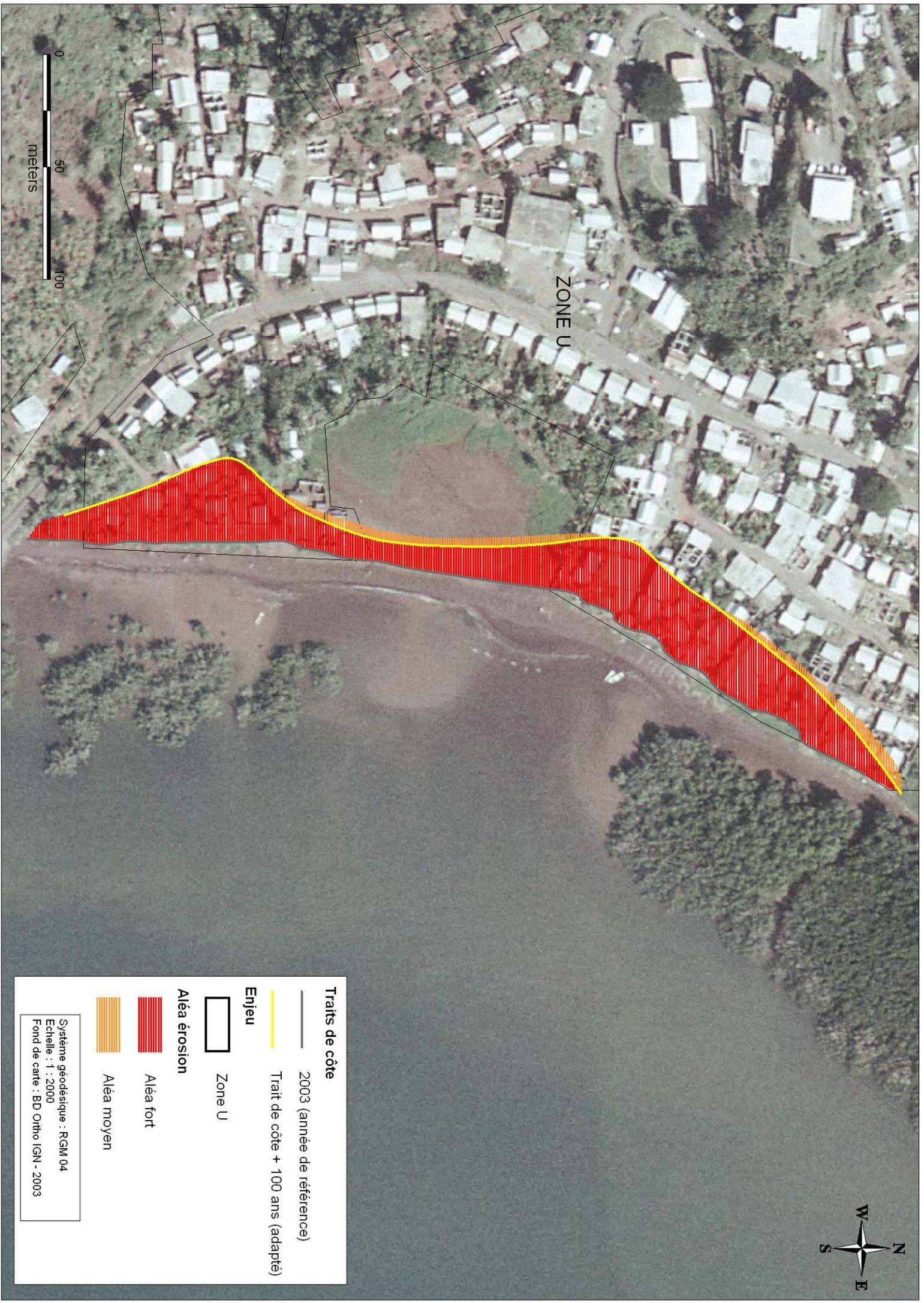
Profils

P1

P1+n

.....

Système géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 1500
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

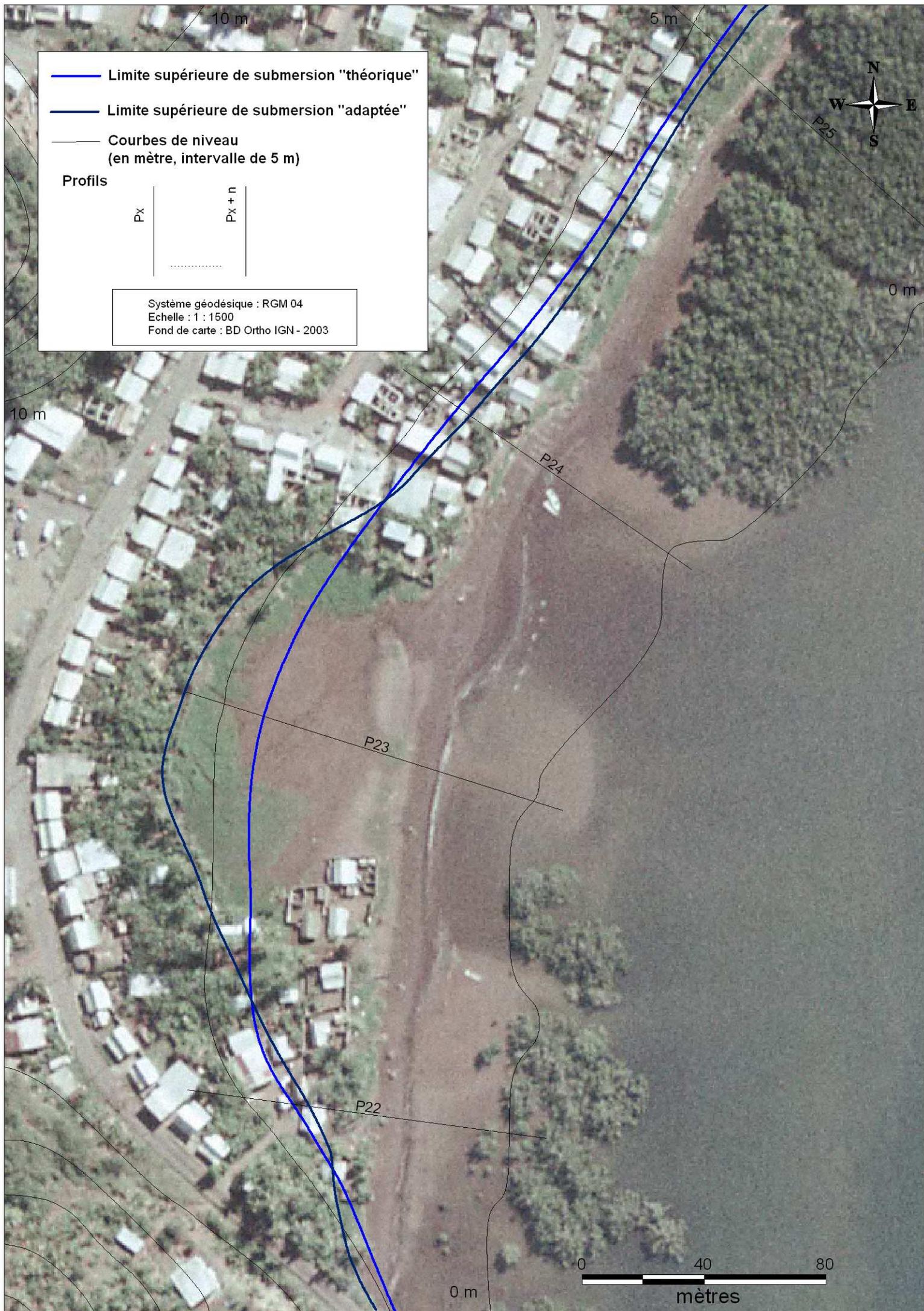
Enjeu

- Zone U

Aléa érosion

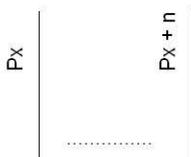
- Aléa fort
- Aléa moyen

Systeme geodesique : RGM 04
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



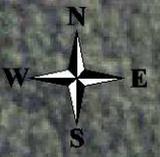
- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

0 40 80
mètres



— Limite supérieure de submersion (adaptée)

□ Enjeu : Zone U

Zone d'aléa submersion marine

 Fort

 Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

ZONE U

ZONE U



Annexe 15

Cartes des aléas érosion théorique et adaptée (falaise : pas de cartes de submersion) – Planche 2

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- recul "théorique"

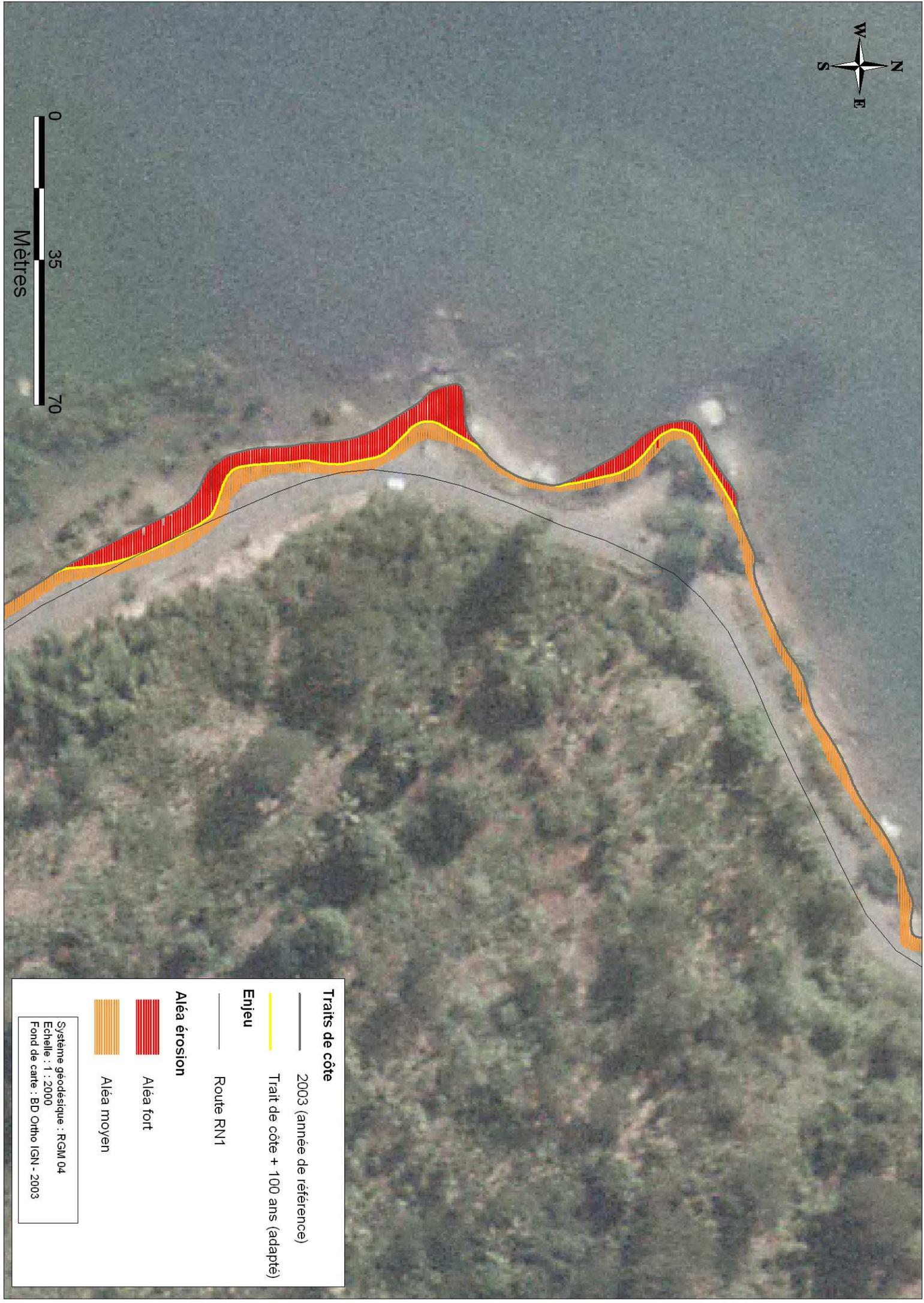
Vitesse de recul

- < 0,05 m / an
- 0,05 - 0,1 m / an
- > 0,1 m / an

Profils

- P11
- P18

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1400
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

2003 (année de référence)

Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

Route RN1

Aléa érosion

Aléa fort

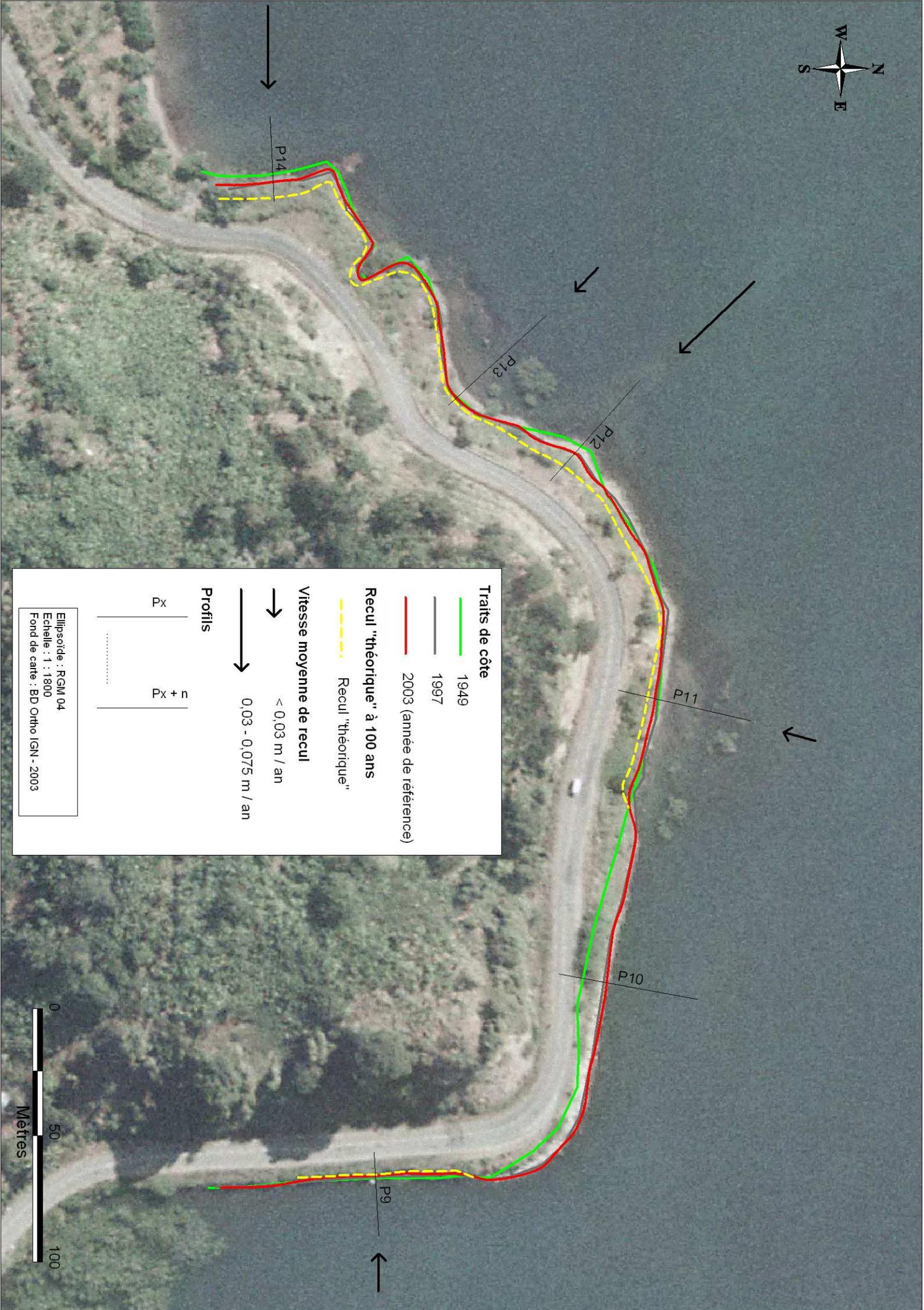
Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 16

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 3

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1949
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

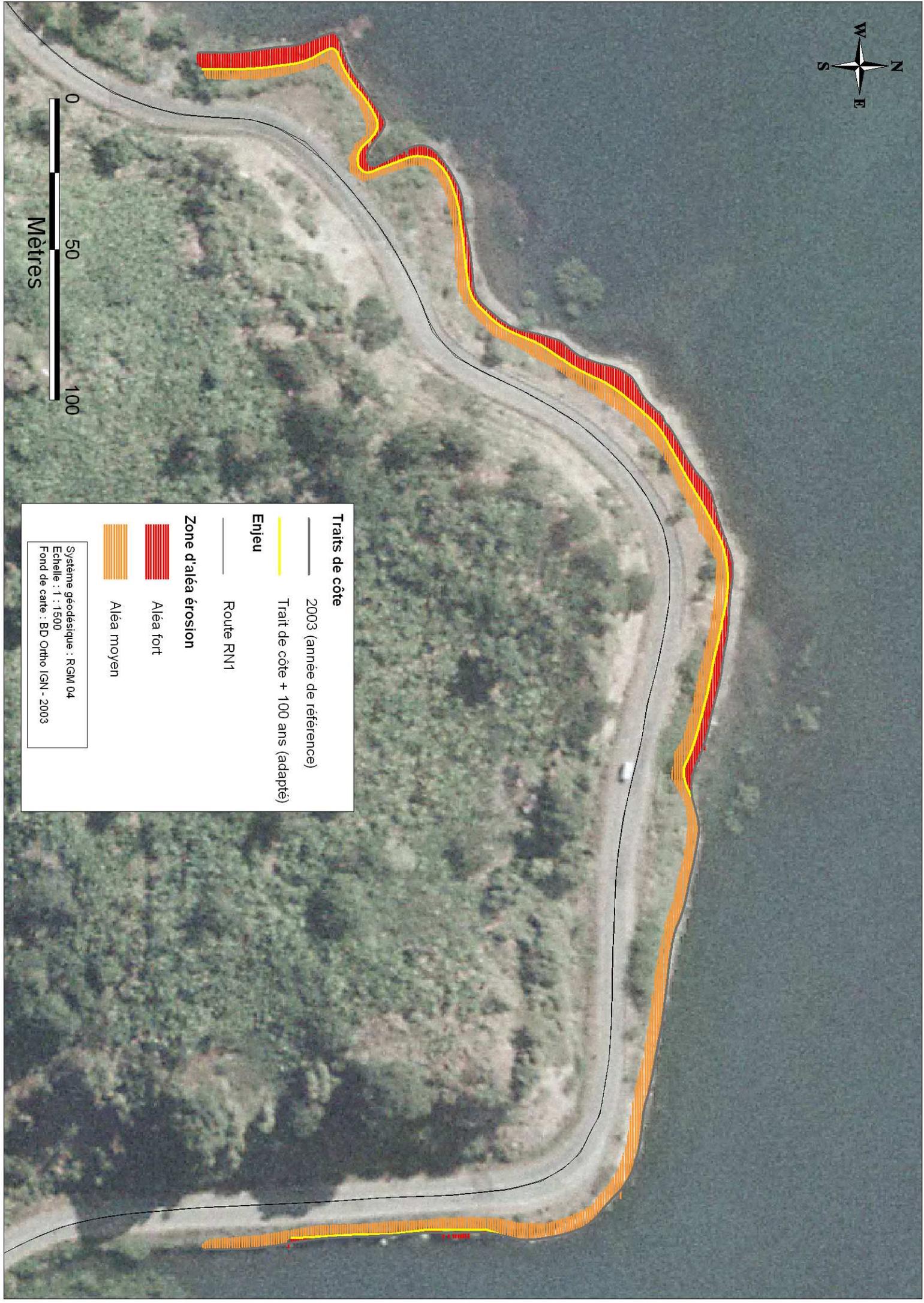
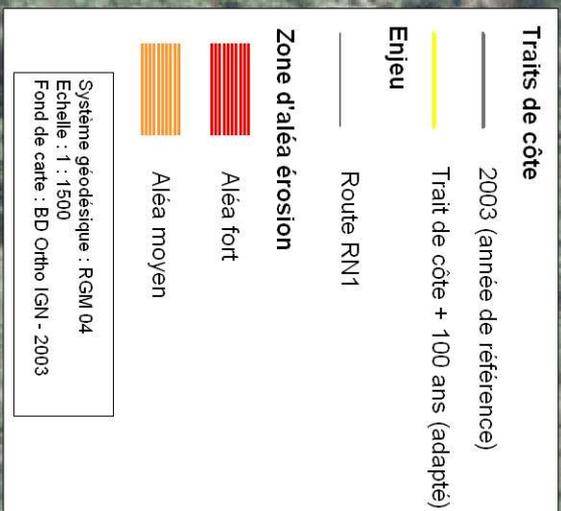
- < 0,03 m / an
- 0,03 - 0,075 m / an

Profils

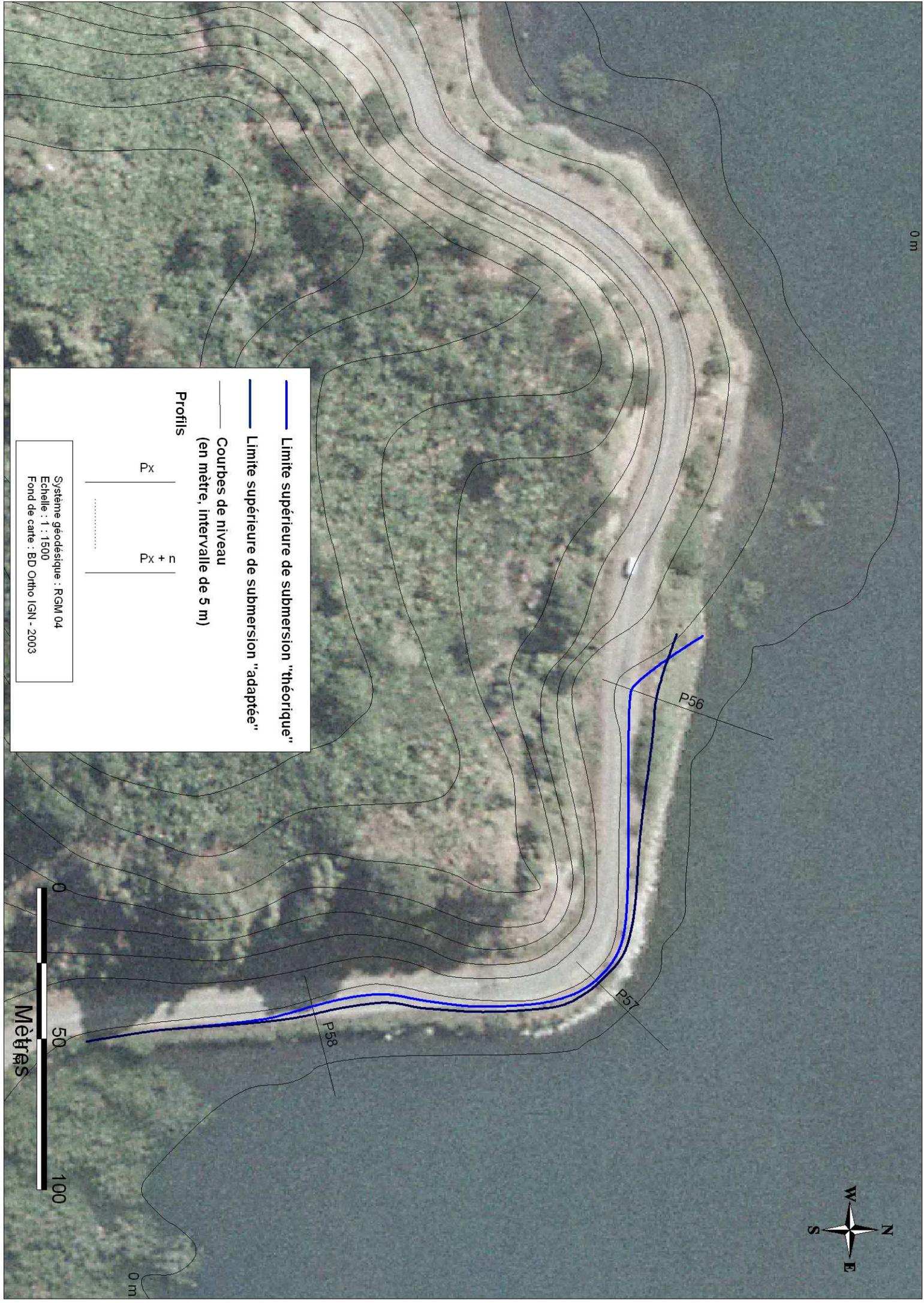
P_x	P_{x+n}
.....

Ellipsoïde : RGM 04
Echelle : 1 : 1800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



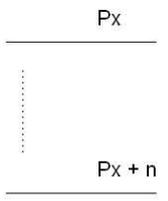


0 m



- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Systeme géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 1500
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



0 m



0 m

— Limite supérieure de submersion (adaptée)

— Enjeu : Route RN1

Zone d'aléa submersion marine



Fort



Moyen

Systeme géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Annexe 17

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 4

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



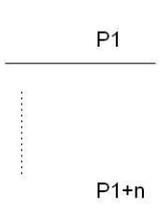
Traits de côte

- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)
- Recul "théorique" à 100 ans
- Recul "théorique"

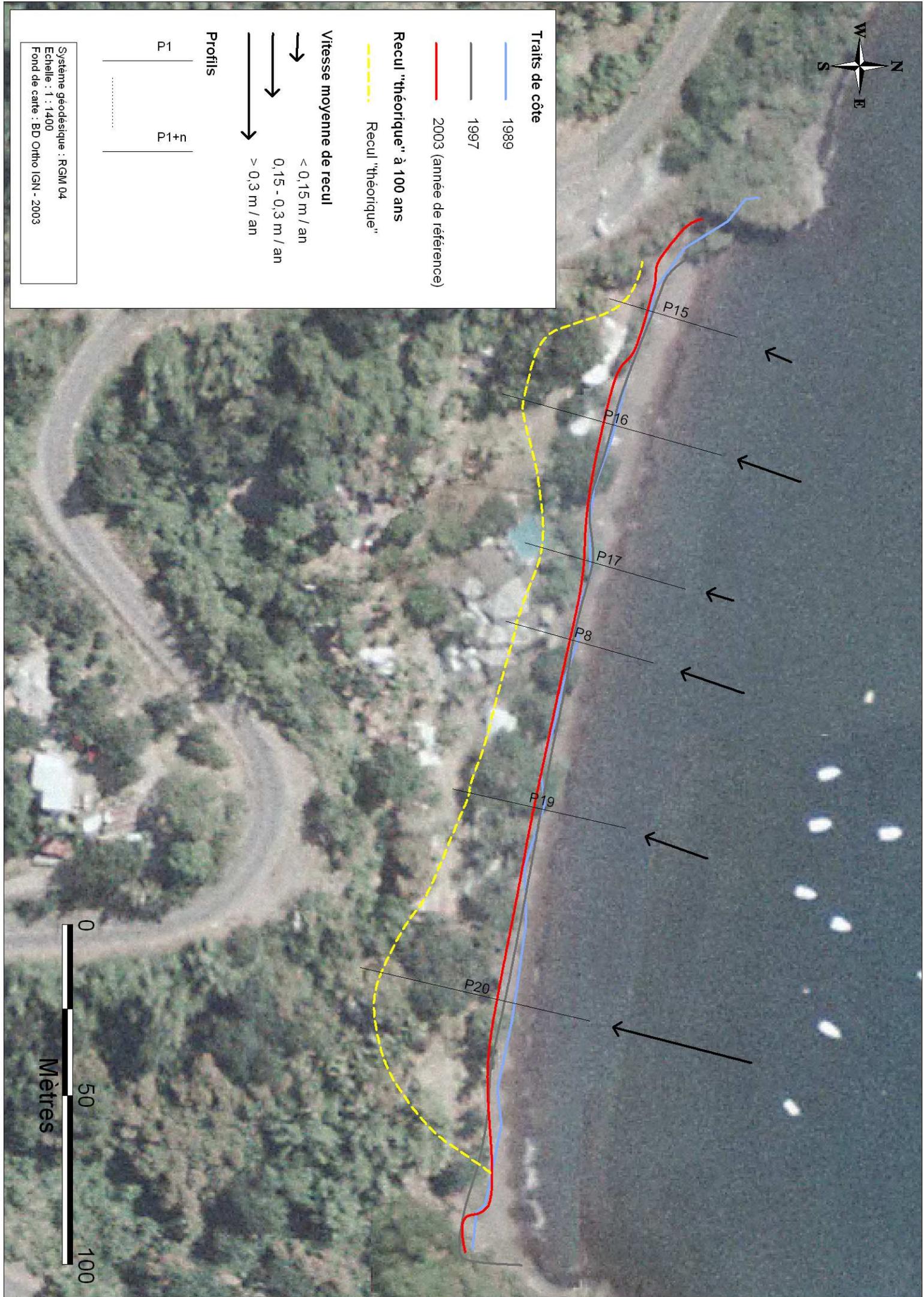
Vitesse moyenne de recul

- < 0,15 m / an
- 0,15 - 0,3 m / an
- > 0,3 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1400
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003





Traits de côte

— 2003 (année de référence)

— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

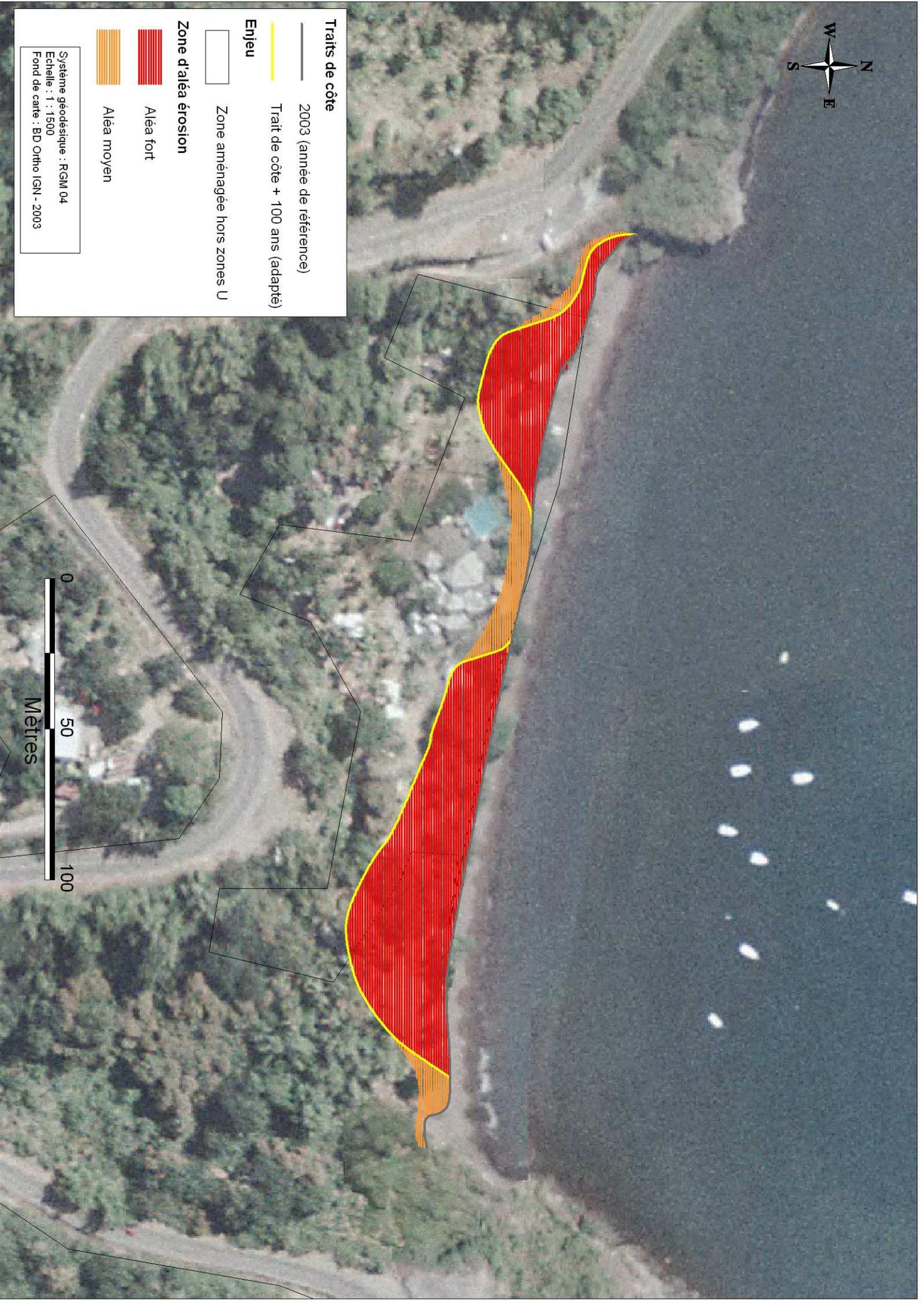
□ Zone aménagée hors zones U

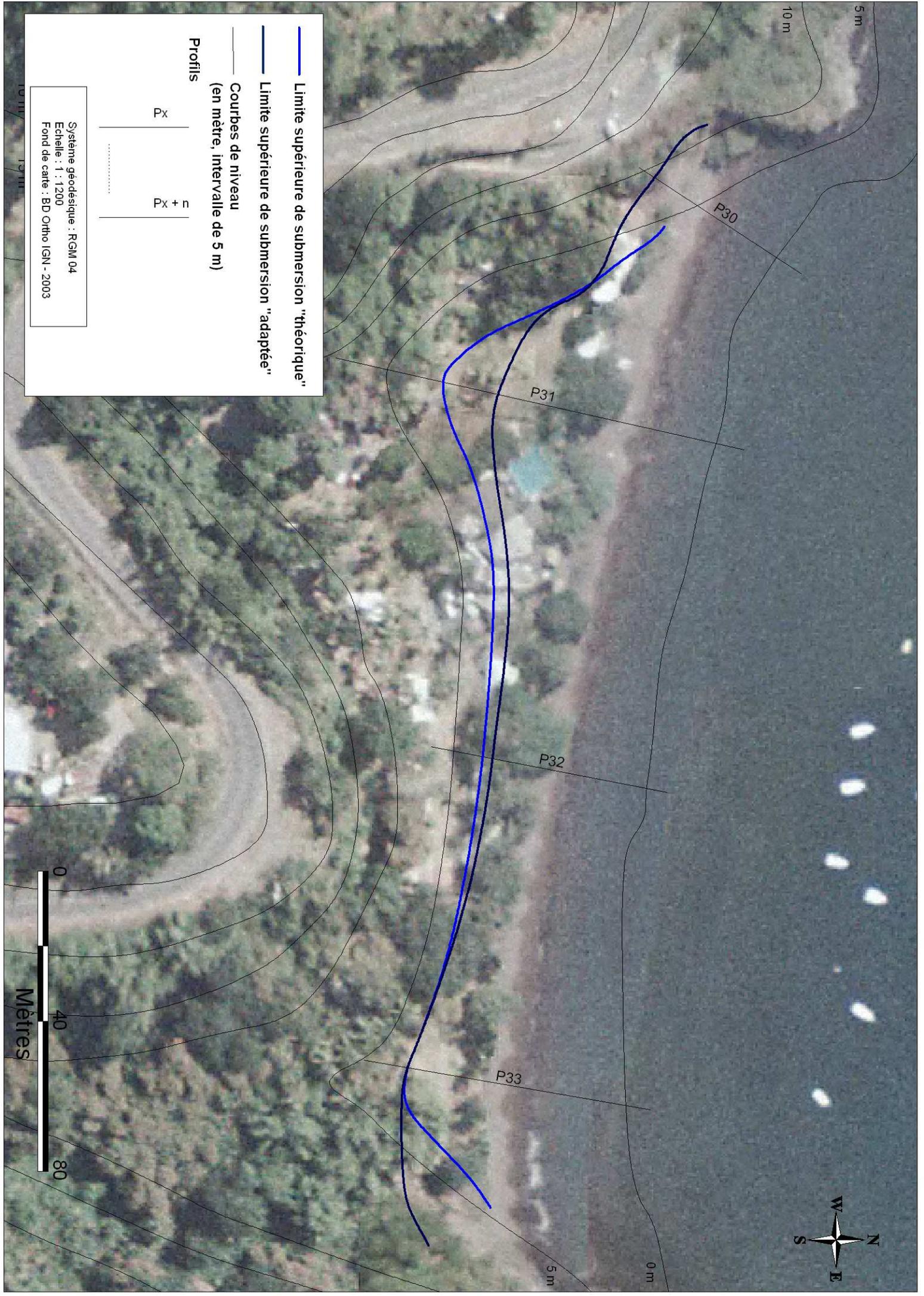
Zone d'aléa érosion

▨ Aléa fort

▨ Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003





— Limite supérieure de submersion "théorique"

— Limite supérieure de submersion "adaptée"

— Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils

Px

Px + n

Systeme géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

10 m
5 m

P30

P31

P32

P33

5 m
0 m





Zone aménagée hors Zone U

— Limite supérieure de submersion (adaptée)

□ Enjeu : Zone aménagée hors zone U

Zone d'aléa submersion marine

Fort

Moyen

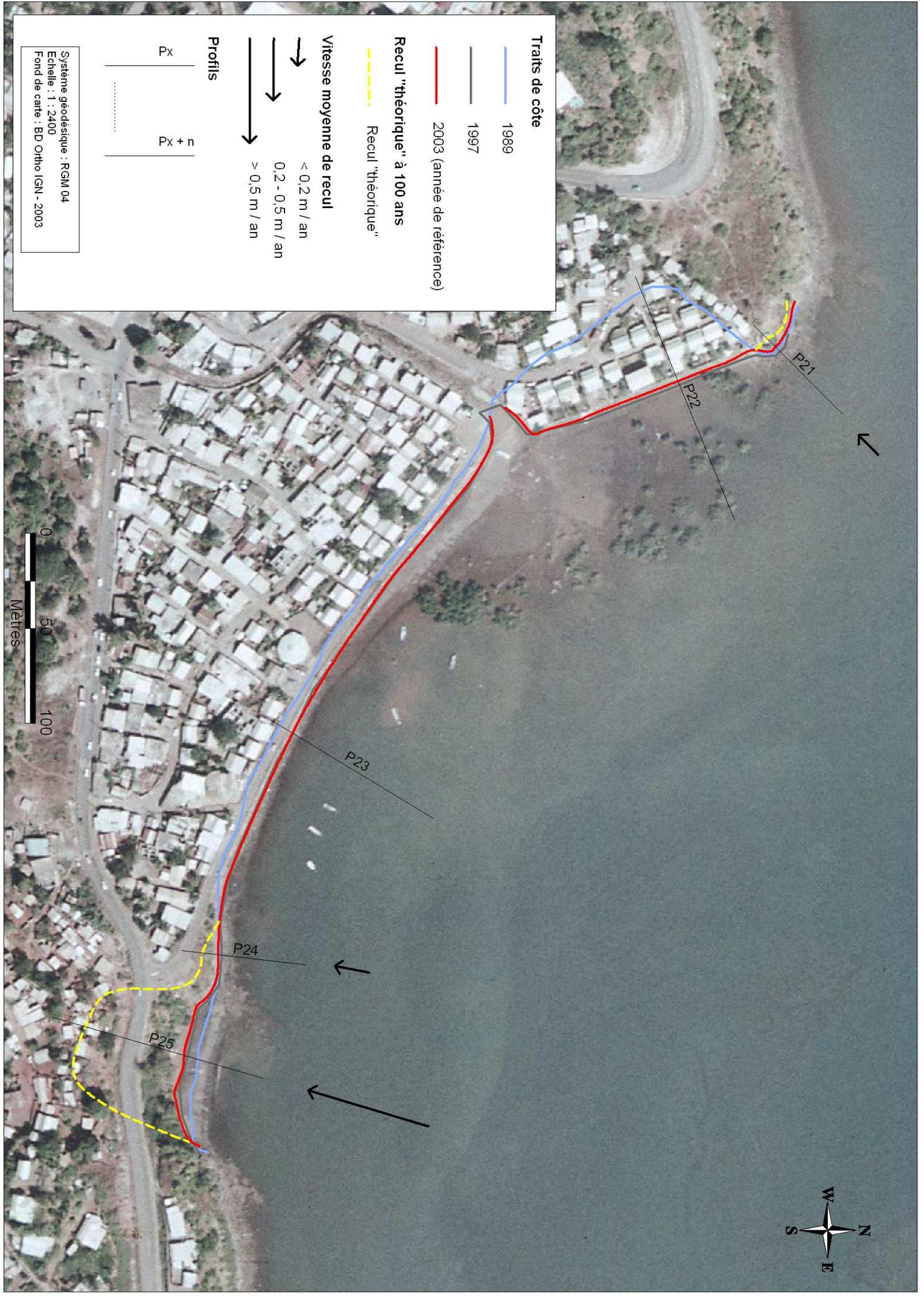
Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1200
Fond de carte : BD Ortho (IGN - 2003)



Annexe 18

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 5

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

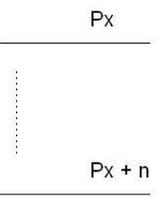
Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

- < 0,2 m / an
- 0,2 - 0,5 m / an
- > 0,5 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 2400
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

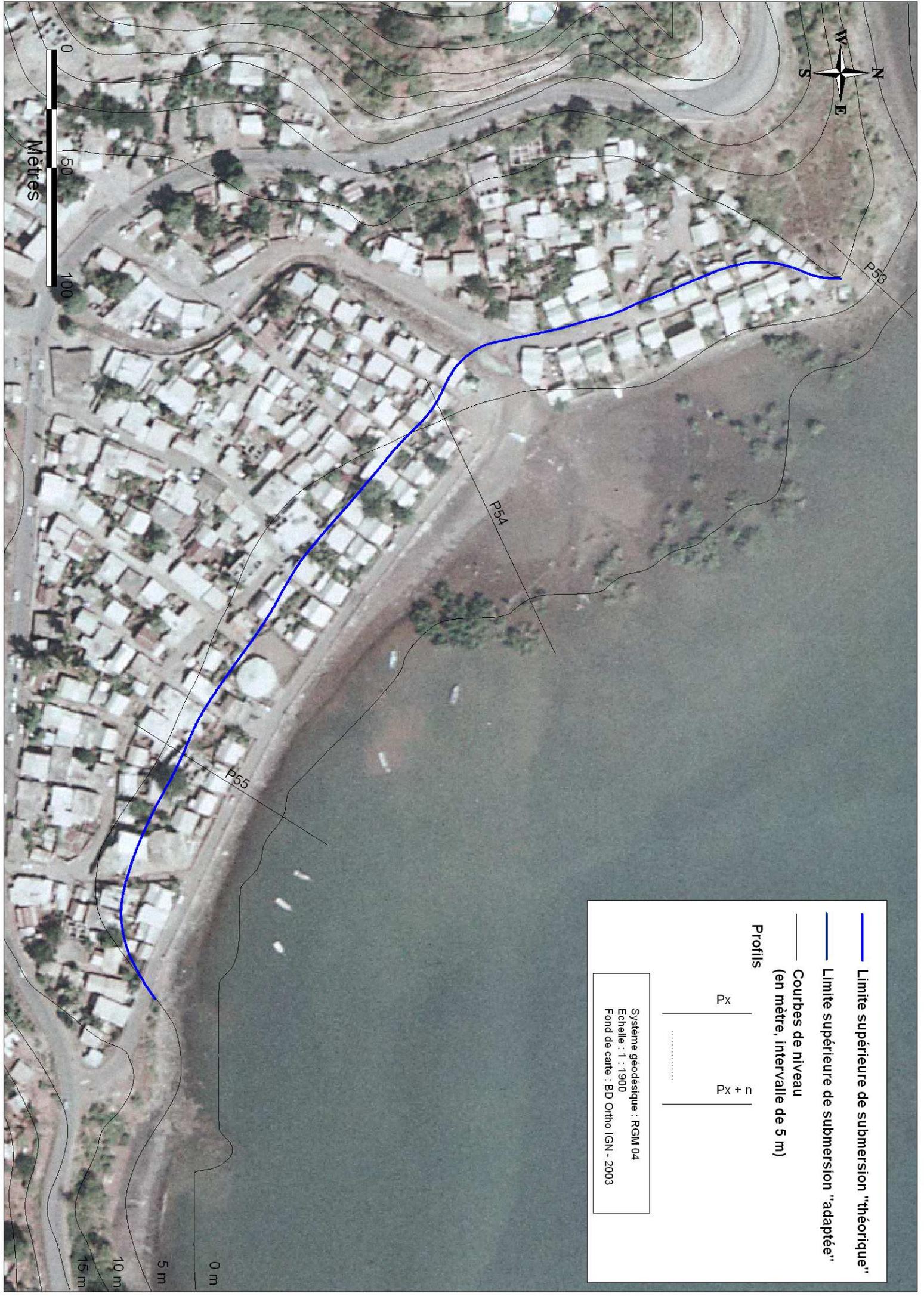
- Zone U

Zone d'aléa érosion

- Aléa fort
- Aléa moyen

Systeme geodesique : RGM 04
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



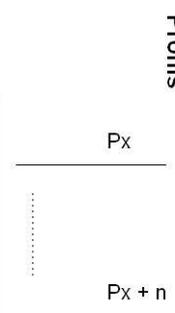


P53

P54

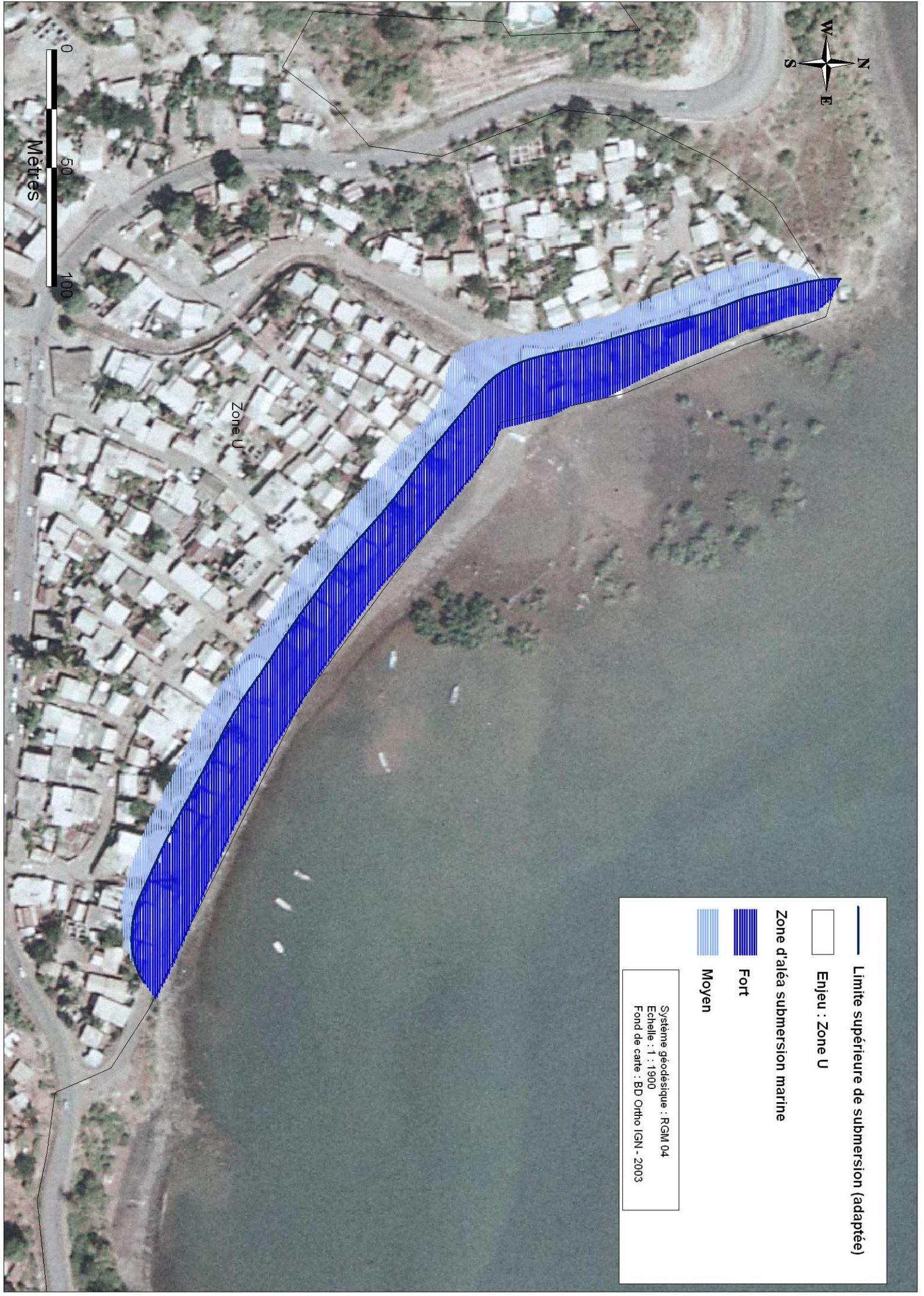
P55

- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)



Système géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 1900
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

0 m
5 m
10 m
15 m



— Limite supérieure de submersion (adaptée)

□ Enjeu : Zone U

Zone d'aléa submersion marine

▨ Fort

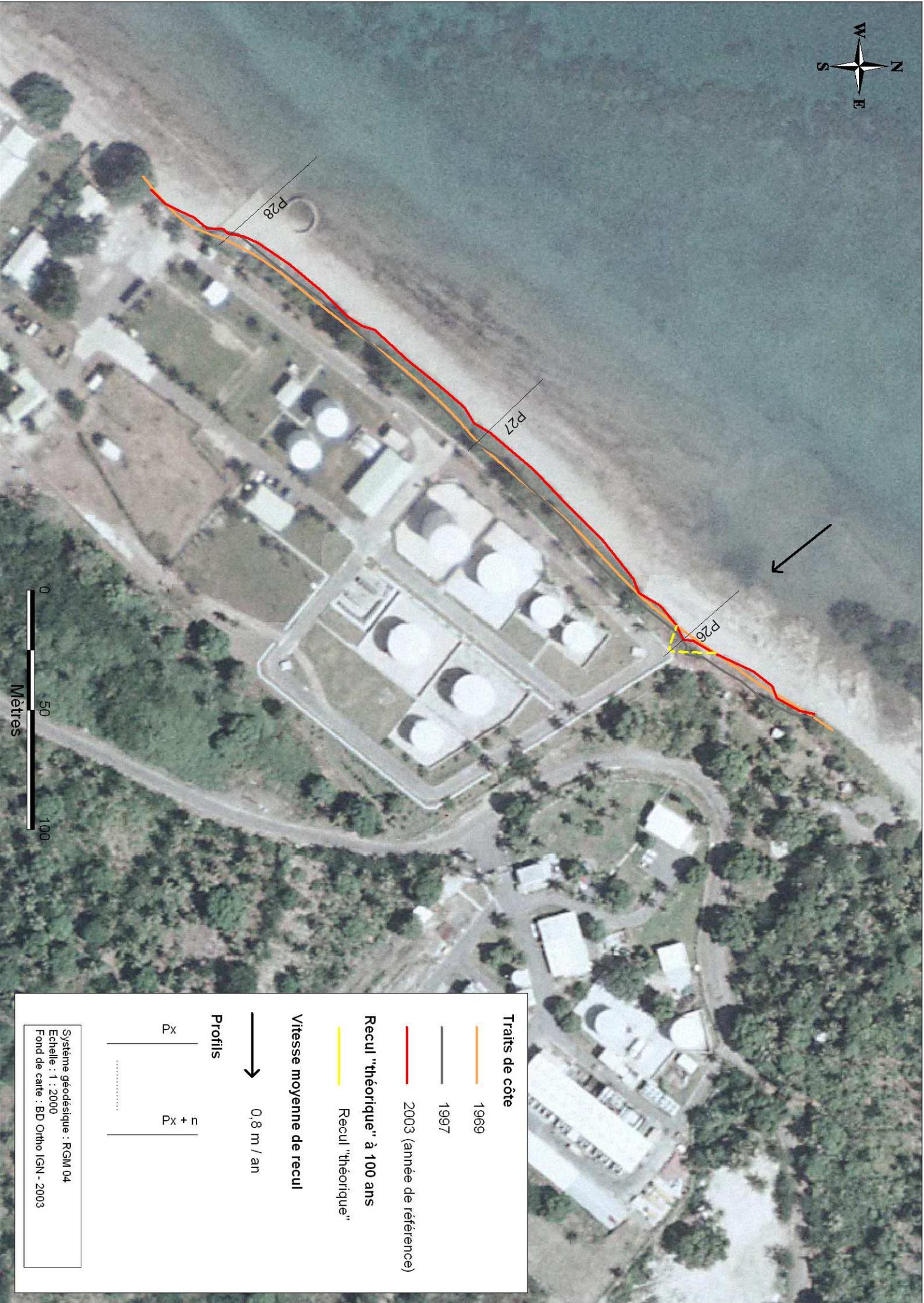
▨ Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1900
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 19

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 6

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



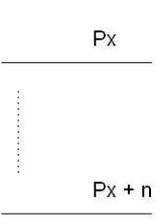
Traits de côte

- 1969
- 1997
- 2003 (année de référence)
- Recul "théorique" à 100 ans
- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

→ 0,8 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone U



Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

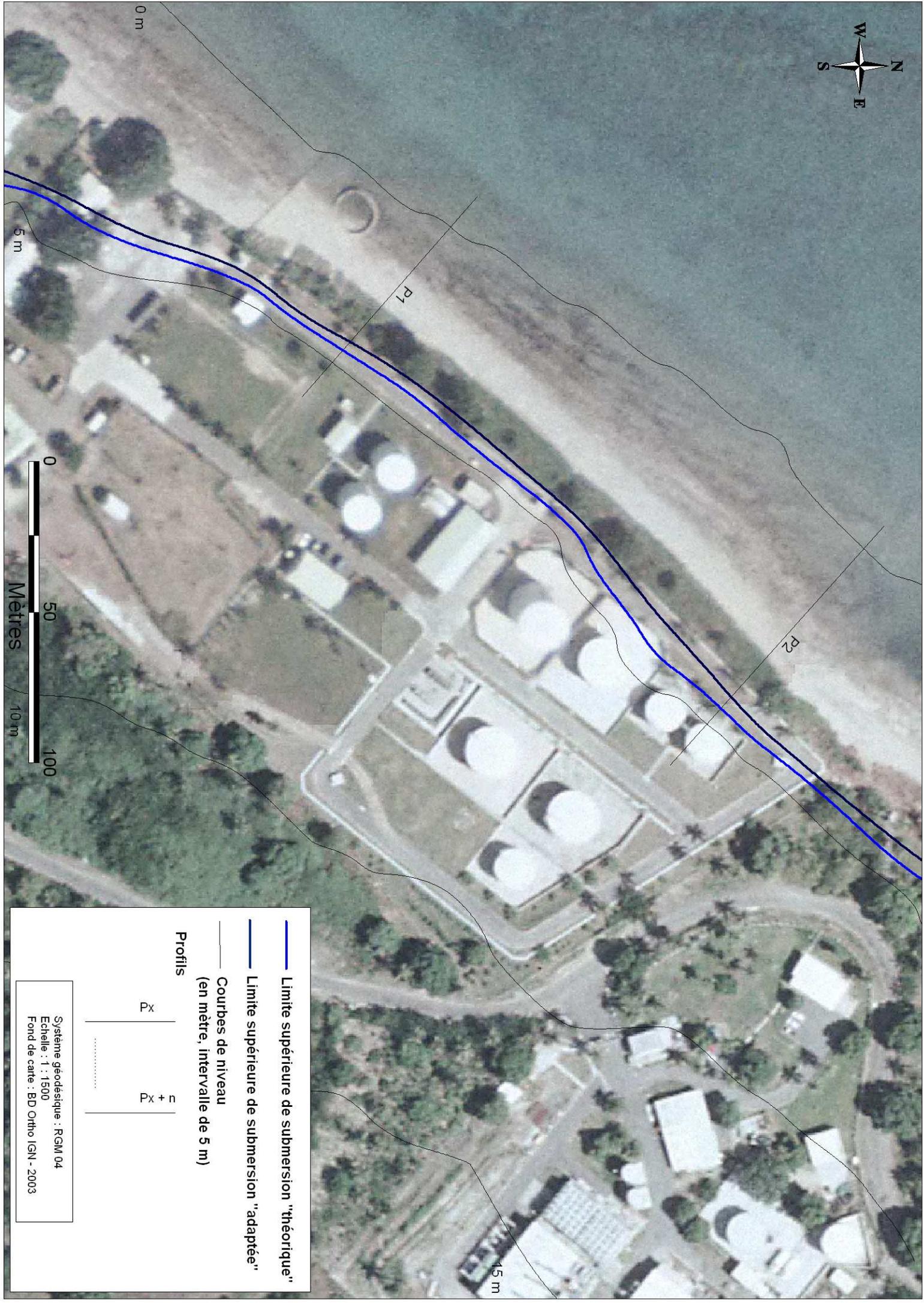
Enjeu

- Zone U

Aléa érosion

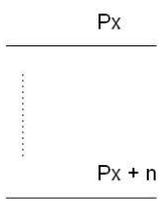
- ▨ Aléa fort
- ▨ Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

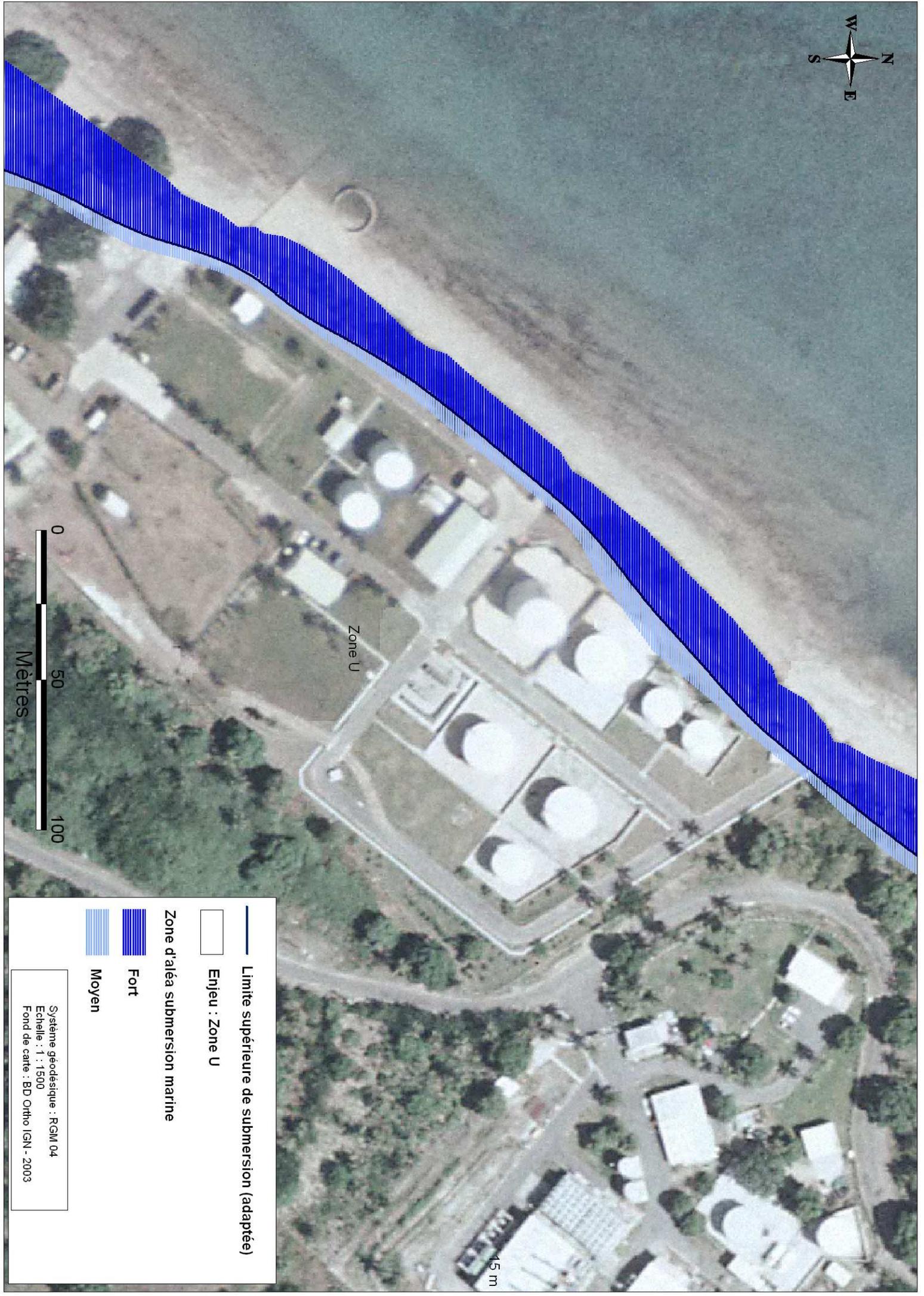


- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Systeme geodesique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone U

15 m



	Limite supérieure de submersion (adaptée)
	Enjeu : Zone U
Zone d'aléa submersion marine	
	Fort
	Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 20

Cartes des aléas érosion théorique et adaptée (falaise : pas de cartes de submersion) – Planche 7

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1949
- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

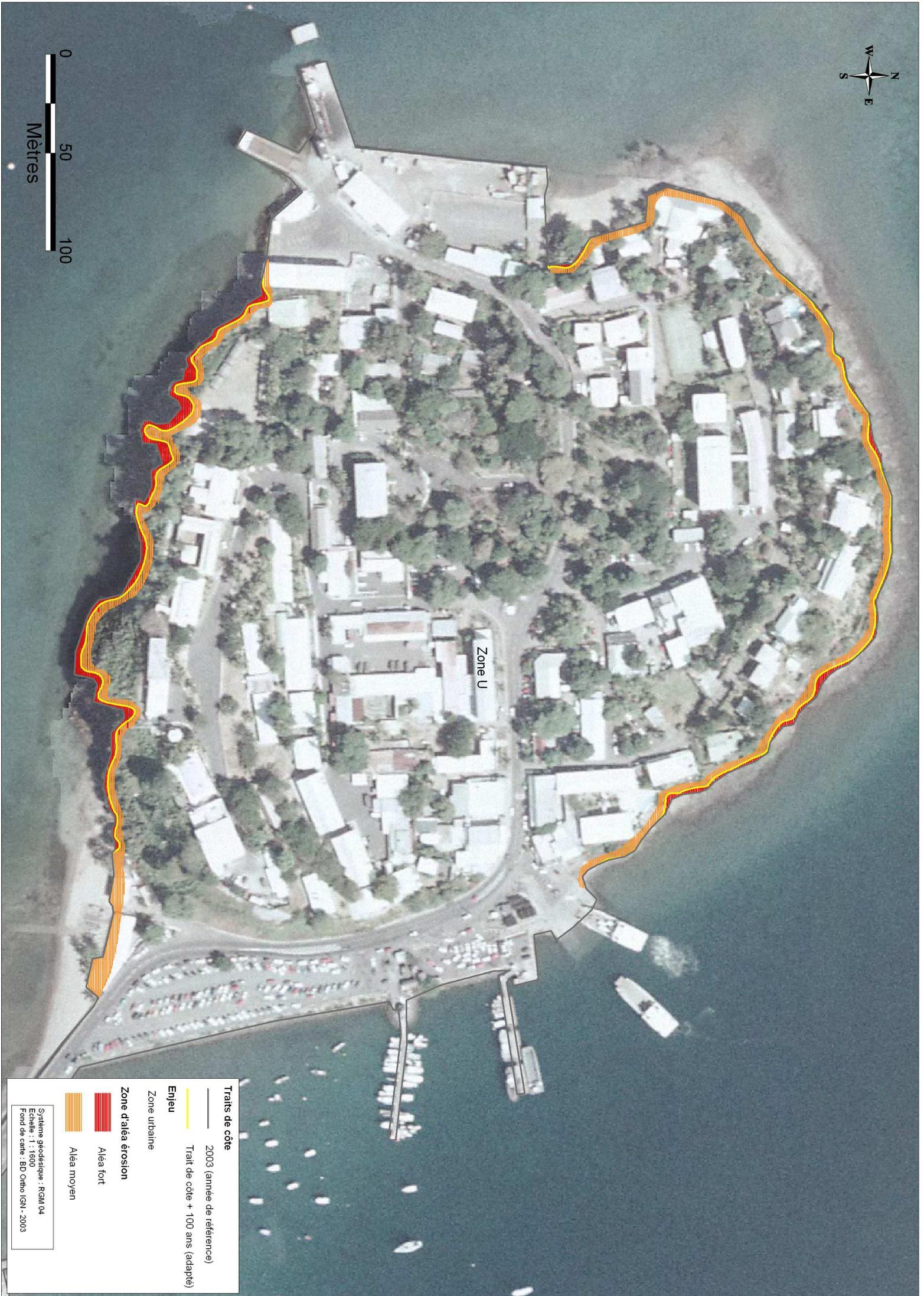
Vitesse moyenne de recul

- < 0,05 m / an
- 0,05 - 0,1 m / an

Profils

- Px
- Px + n

Système géodésique
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone U

Traits de côte
— 2003 (année de référence)
— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu
Zone urbaine

Zone d'aléa érosion
Aléa fort
Aléa moyen

Systeme géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1600
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 21

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 8

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1949
- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

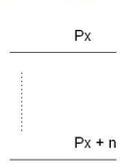
Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

- < 0,05 m / an
- 0,05 - 0,1 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

- Route RN4

Zone d'aléa érosion

- Aléa fort
- Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003





— Limite supérieure de submersion "théorique"

— Limite supérieure de submersion "adaptée"

— Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils

Px

Px + n

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Cartho (IGN - 2003)





— Limite supérieure de submersion (adaptée)

— Enjeu : Route RN4

Zone d'aléa submersion marine

Fort

Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho (IGN - 2003)

0 100 200
Mètres

Annexe 22

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 9

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.

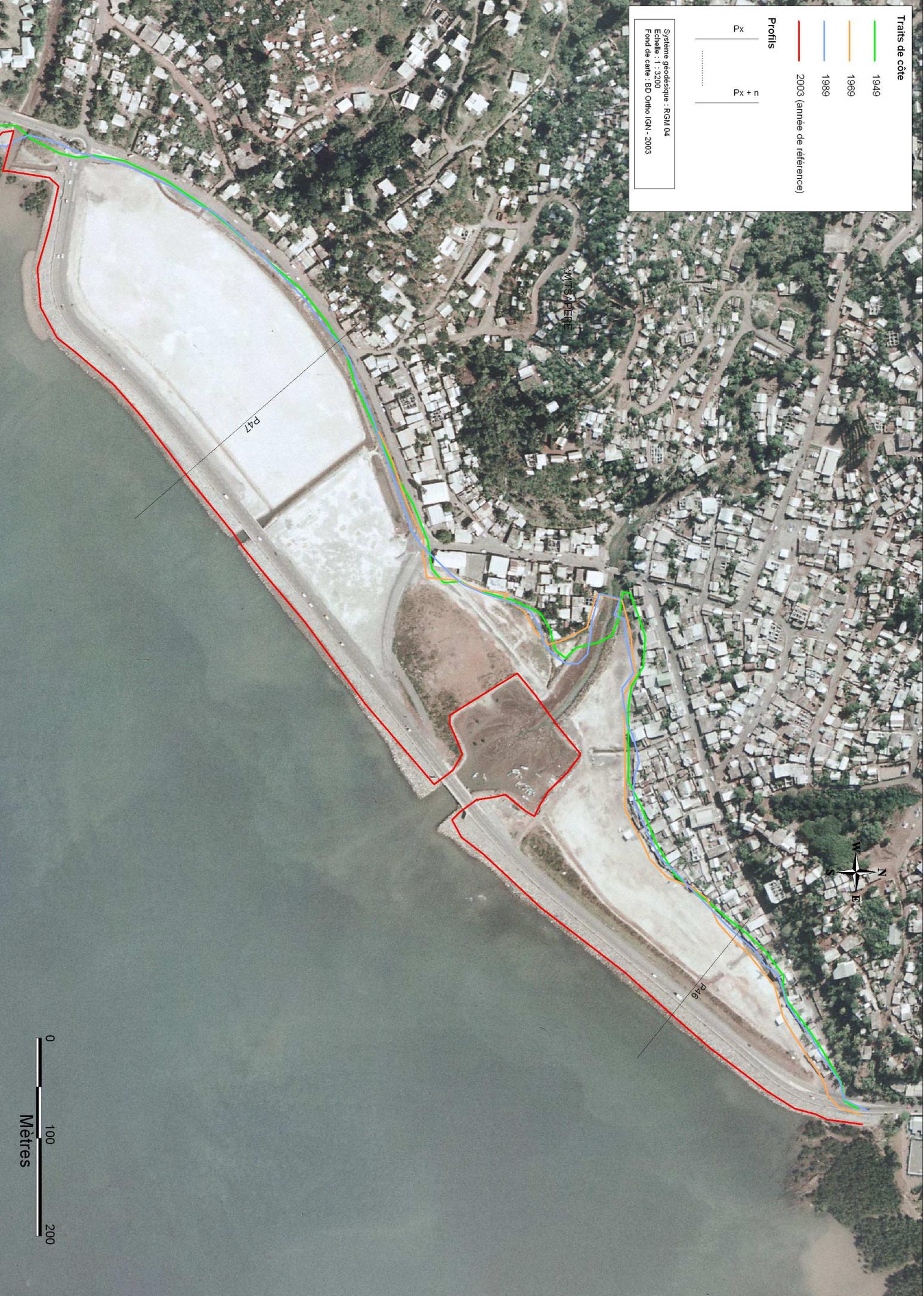
Traits de côte

- 1949
- 1969
- 1989
- 2003 (année de référence)

Profils

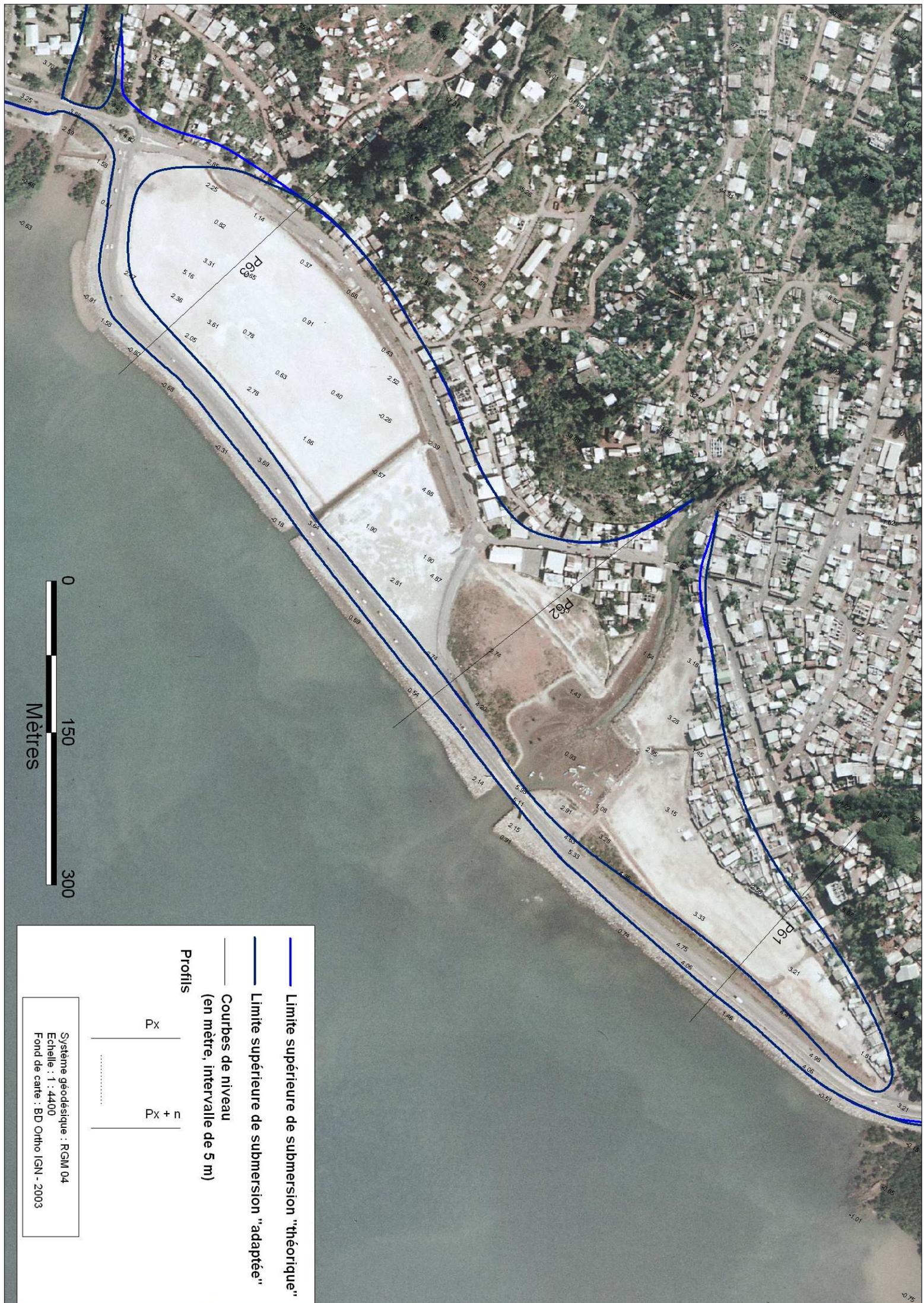
- Px
- Px + n

Système géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 3200
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



0 100 200
Mètres

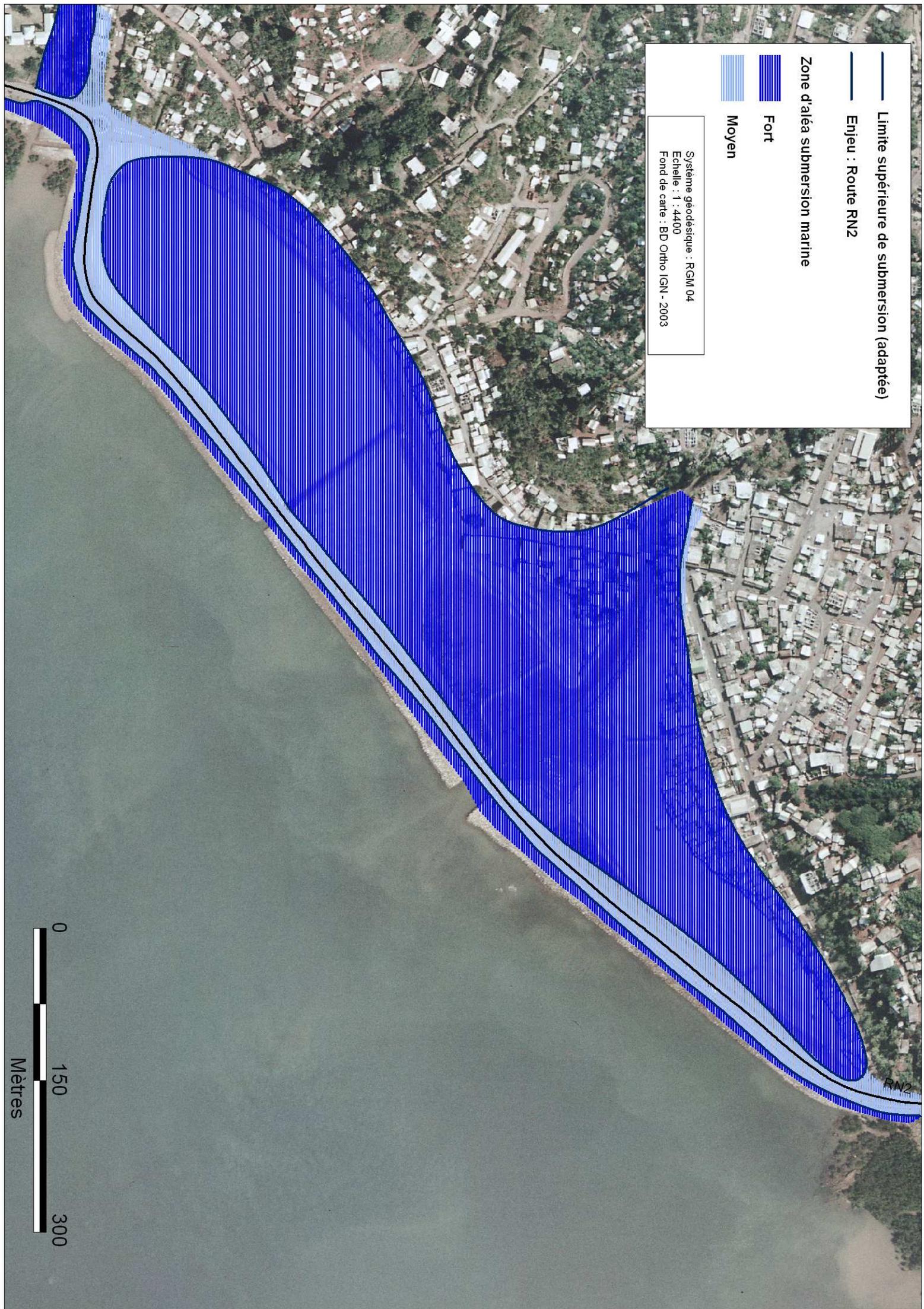
Le trait de côte ayant progradé en raison du remblai de la déviation de Mtsapéré, la carte de zonage adaptée de l'aléa érosion n'a pas été réalisée.



——— Limite supérieure de submersion "théorique"
 ——— Limite supérieure de submersion "adaptée"
 ——— Courbes de niveau
 (en mètre, intervalle de 5 m)

Profils
 Px |
 Px + n |

Système géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 4400
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



— Limite supérieure de submersion (adaptée)

— Enjeu : Route RN2

Zone d'aléa submersion marine

Fort

Moyen

Système géodésique : RGM 04

Echelle : 1 : 4400

Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

RN2

0 150 300

Mètres

Annexe 23

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 10

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



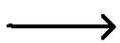
Traits de côte

-  1989
-  1997
-  2003 (année de référence)

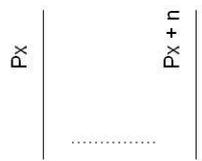
Recul "théorique" à 100 ans

-  Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

-  0,035 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

P48

P49

P50



Traits de côte

— 2003 (année de référence)

Zone d'aléa érosion

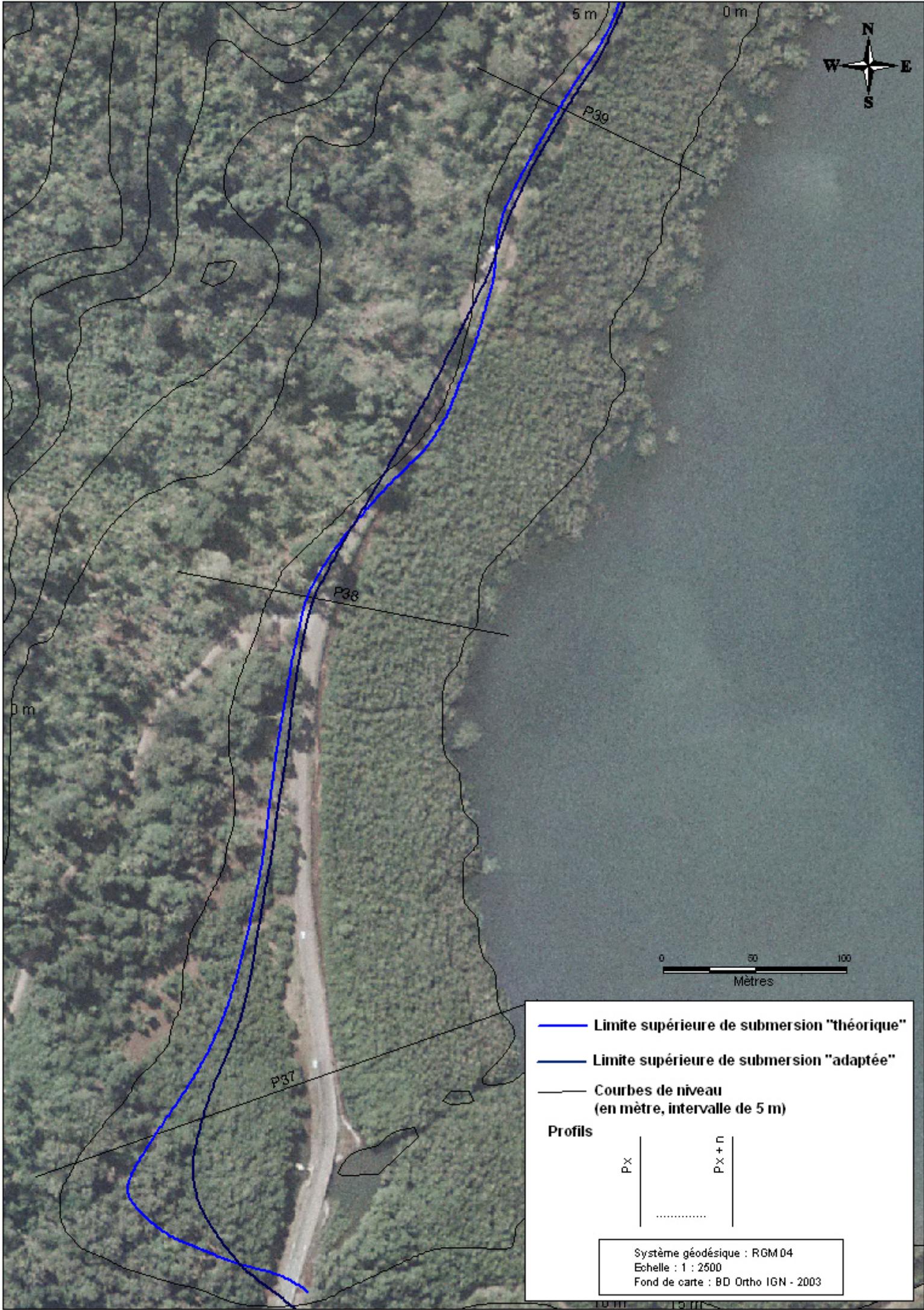
— Route RN 2

Zone d'aléa érosion

Aléa moyen

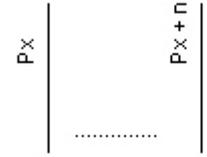
Systeme géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2300
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003





- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

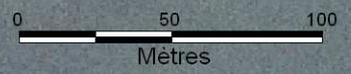
Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



0 m



— Limite supérieure de submersion (adaptée)
— Enjeu : Route RN4

Zone d'aléa submersion marine

 Fort

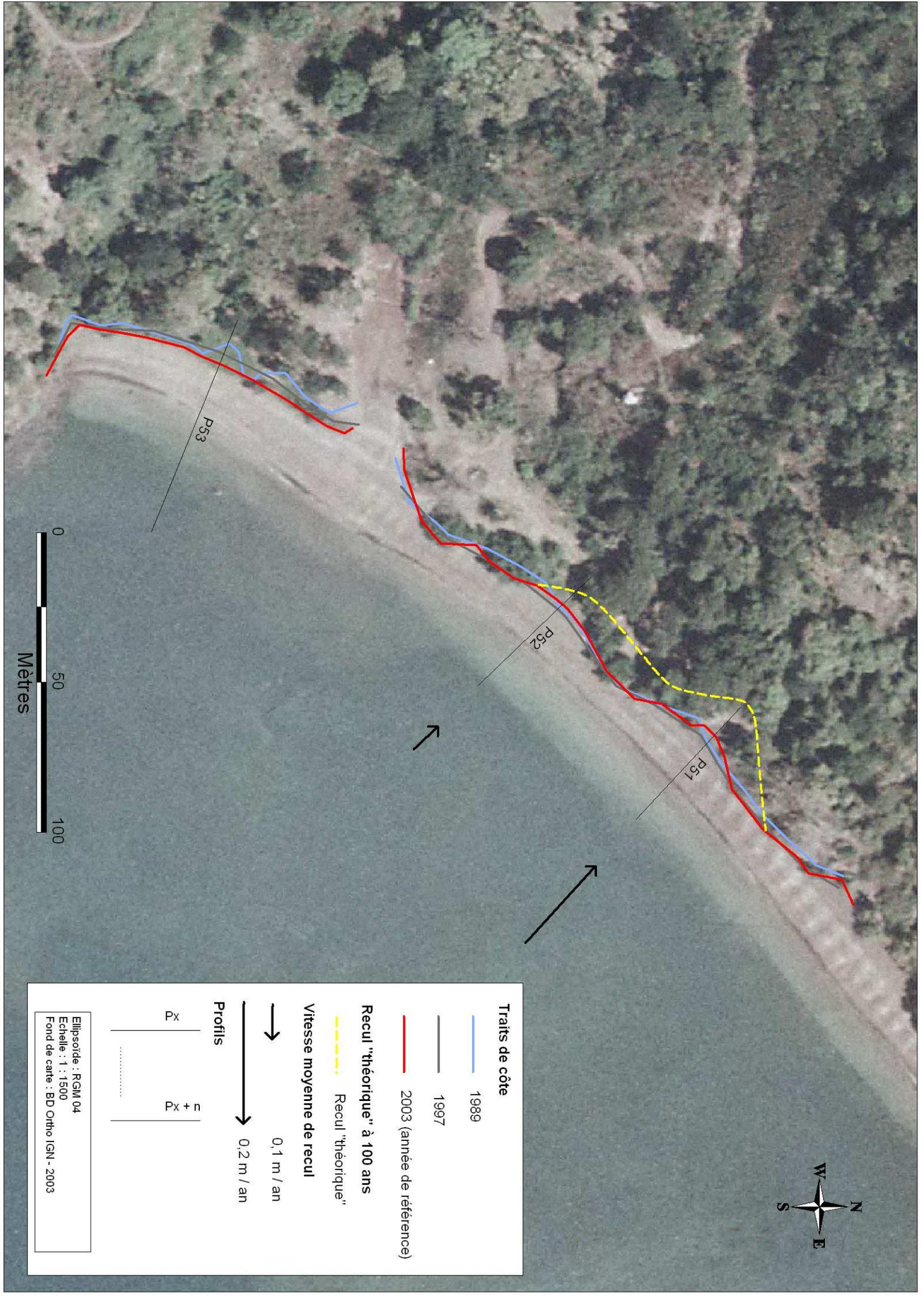
 Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 24

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 11

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

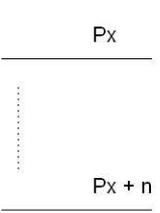
- - - Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

→ 0,1 m / an

→ 0,2 m / an

Profils



Ellipsoïde : RGM 04
 Echelle : 1 : 1500
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone NAT

Zone NAT

Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

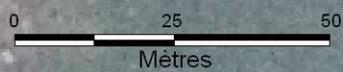
Enjeu

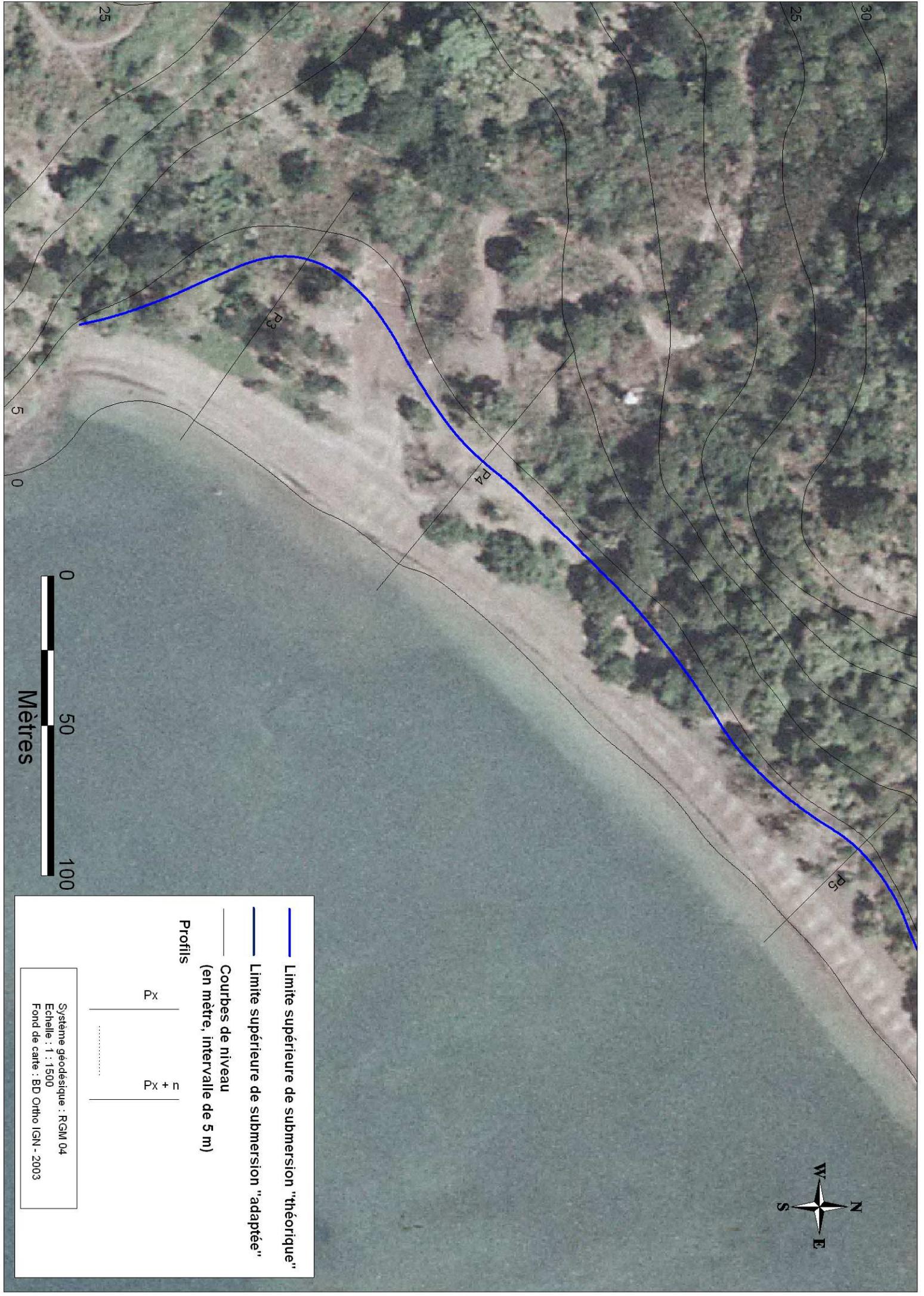
- Zone future à urbaniser (NAt)

Zone d'aléa érosion

- Aléa fort
- Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



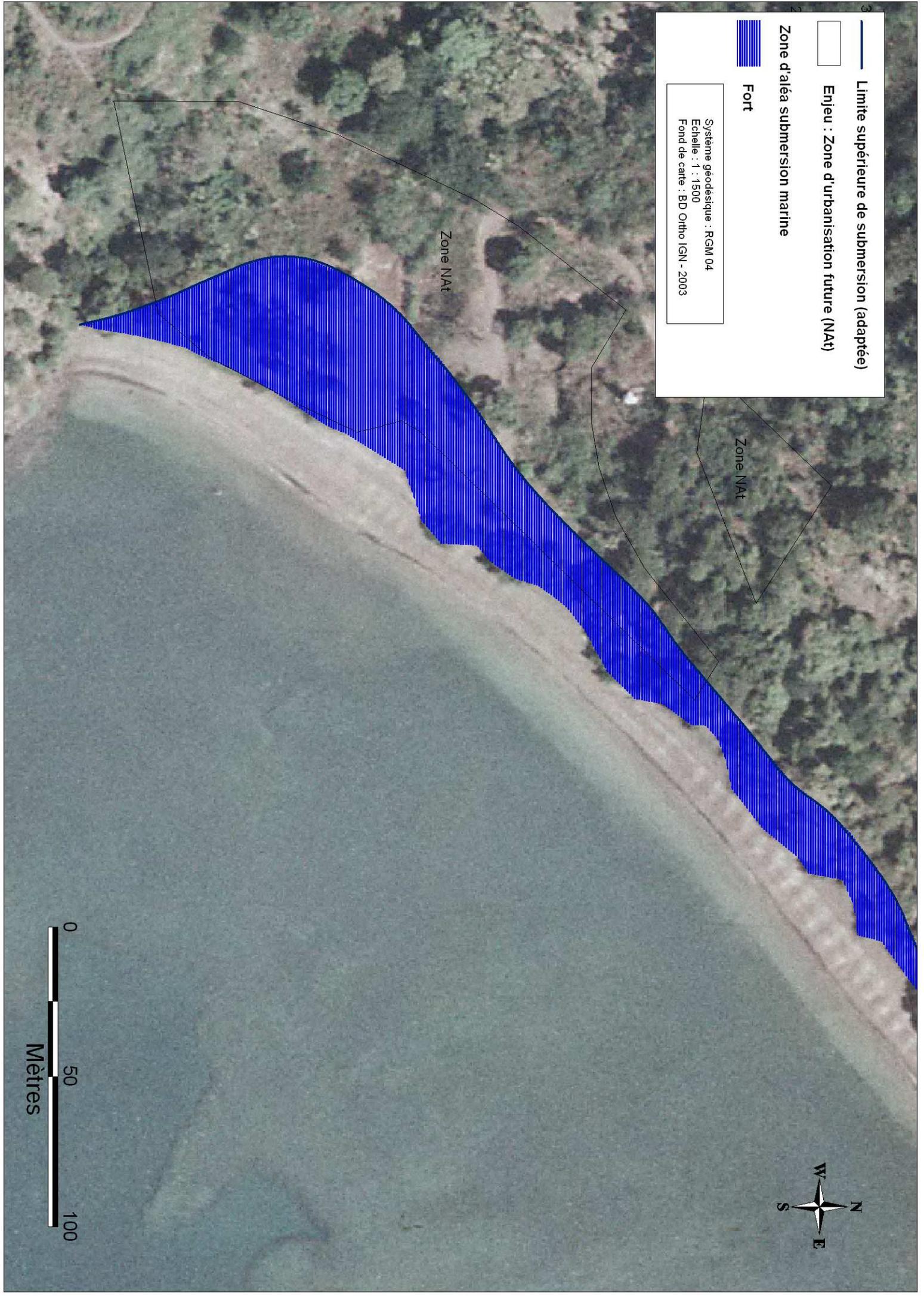


- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils

Px	Px + n

Système géodésique : RGM 04
 Echelle : 1 : 1500
 Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



— Limite supérieure de submersion (adaptée)

□ Enjeu : Zone d'urbanisation future (Nat)

Zone d'aléa submersion marine

Fort

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Zone Nat

Zone Nat



Annexe 25

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 12

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

— 1969

— 1997

— 2003 (année de référence)

— Recul "théorique" à 100 ans

- - - Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

→ < 0,1 m / an

→ 0,1 - 0,2 m / an

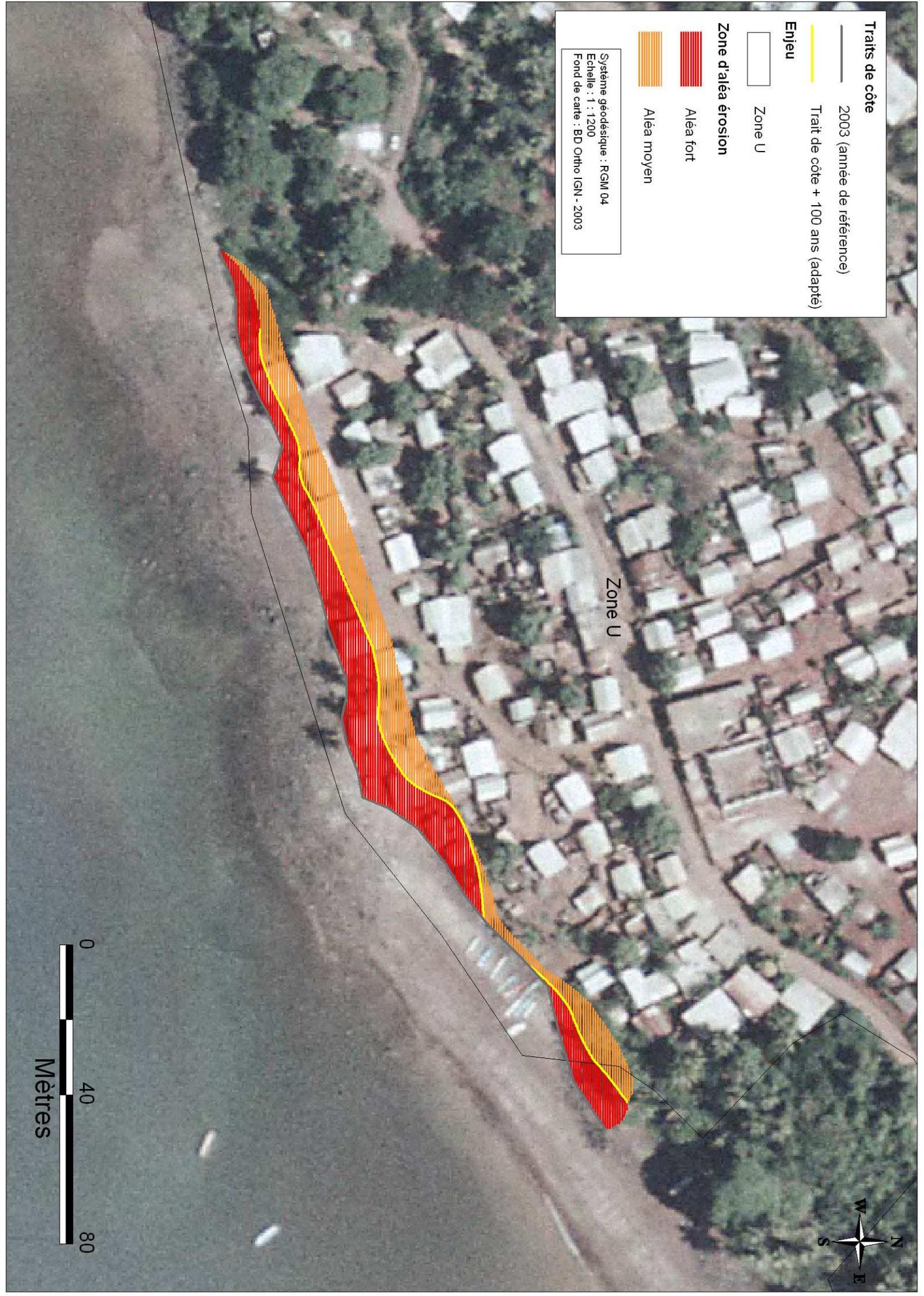
Profils

Px

Px + n



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1400
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

— 2003 (année de référence)

— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

□ Zone U

Zone d'aléa érosion

▨ Aléa fort

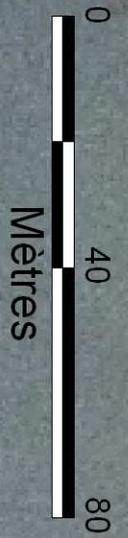
▨ Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04

Echelle : 1 : 1200

Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Zone U





— Limite supérieure de submersion "théorique"

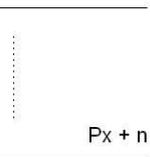
— Limite supérieure de submersion "adaptée"

— Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils

Px

Px + n



Systeme géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone U



Mètres

— Limite supérieure de submersion (adaptée)

□ Enjeu : Zone U

Zone d'aléa submersion marine



Fort

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 26

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 13

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1949
- 1969
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

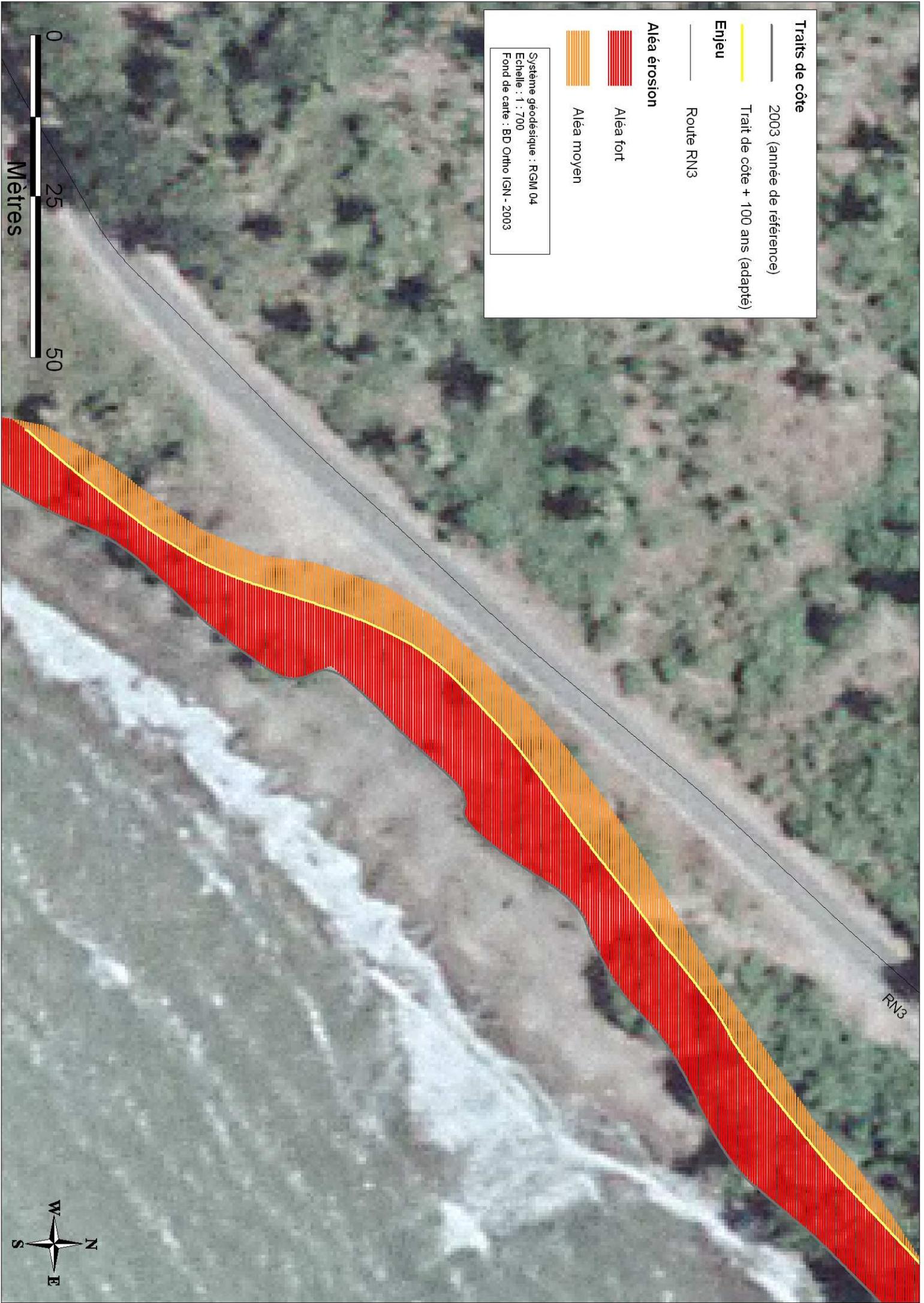
Vitesse moyenne de recul

- $< 0,1 \text{ m / an}$
- $> 0,1 \text{ m / an}$

Profils

- Px
- Px + n

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

— 2003 (année de référence)

— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

— Route RN3

Aléa érosion

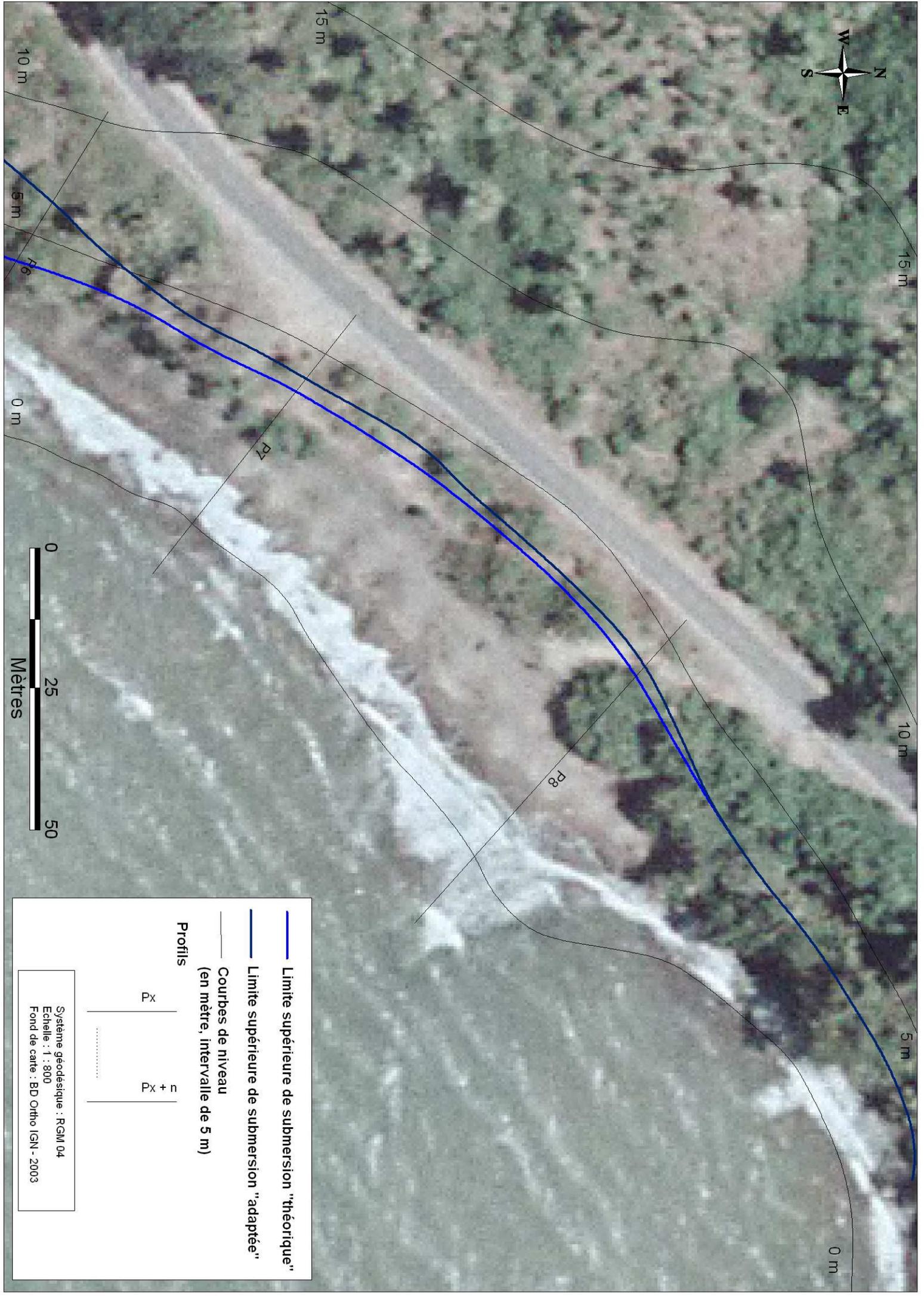
Aléa fort

Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 700
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

0 25 50
Mètres





-  Limite supérieure de submersion "théorique"
-  Limite supérieure de submersion "adaptée"
-  Courbes de niveau (en mètre, intervalle de 5 m)

Profils

 Px		 Px + n
--	---	--

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



RN3



— Limite supérieure de submersion (adaptée)

— Enjeu : Route RN3

Zone d'aléa submersion marine



Fort

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 27

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 14

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



P64



P63



P62



P61

1997

Traits de côte

- 1969
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

- < 0,2 m / an
- 0,2 - 0,4 m / an
- > 0,4 m / an

Profils

- Px
- Px + n

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Zone 1NA



Mètres

Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

- Zone future à urbaniser (1NA)

Zone d'aléa érosion

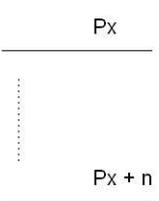
- ▨ Aléa fort
- ▨ Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2600
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

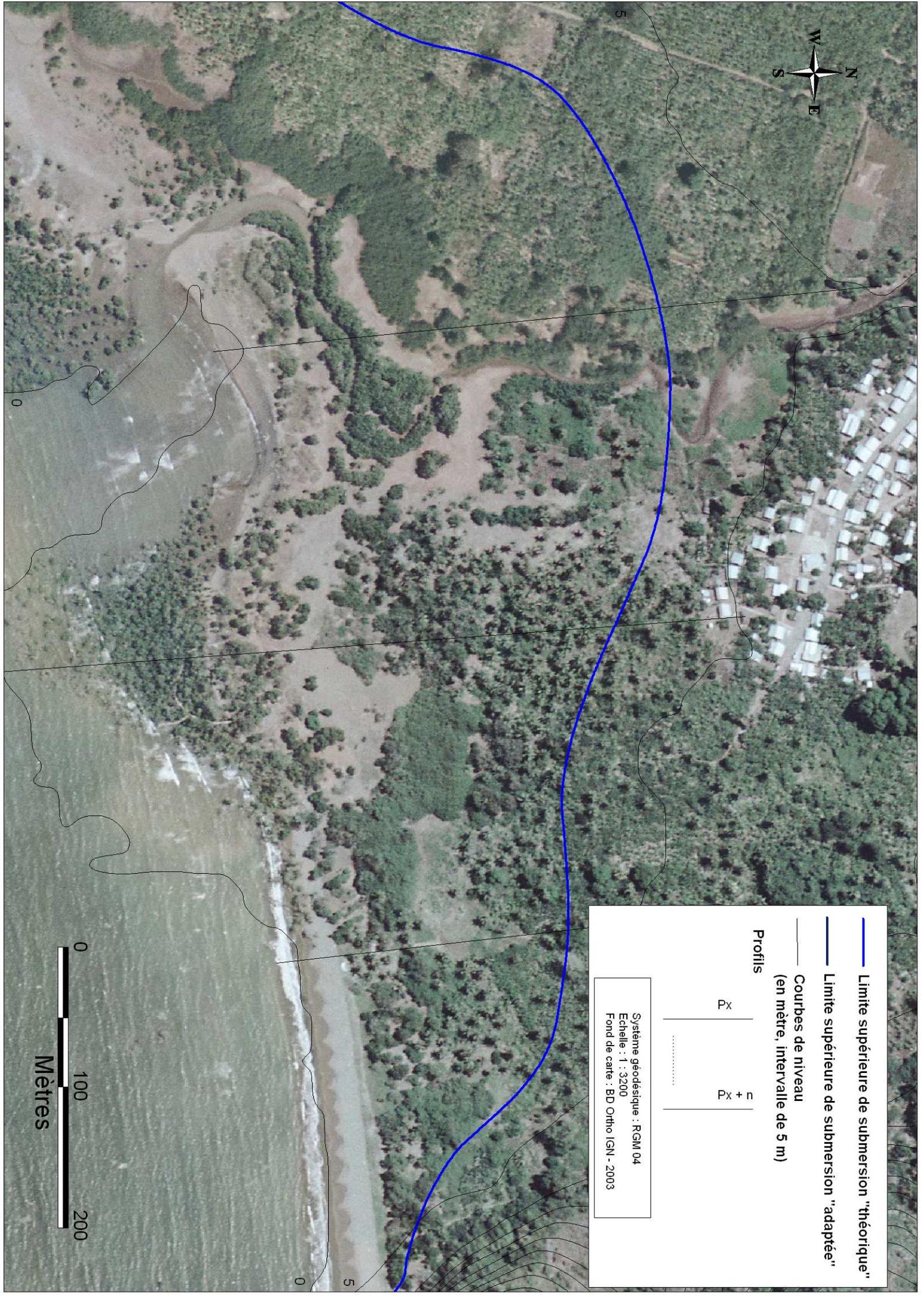


- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau (en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003





Zone 1NA

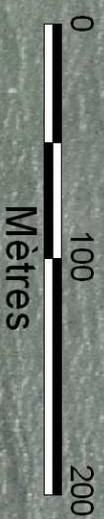
- Limite supérieure de submersion (adaptée)
- Enjeu : Zone d'urbanisation future (1NA)

Zone d'aléa submersion marine

Fort

Moyen

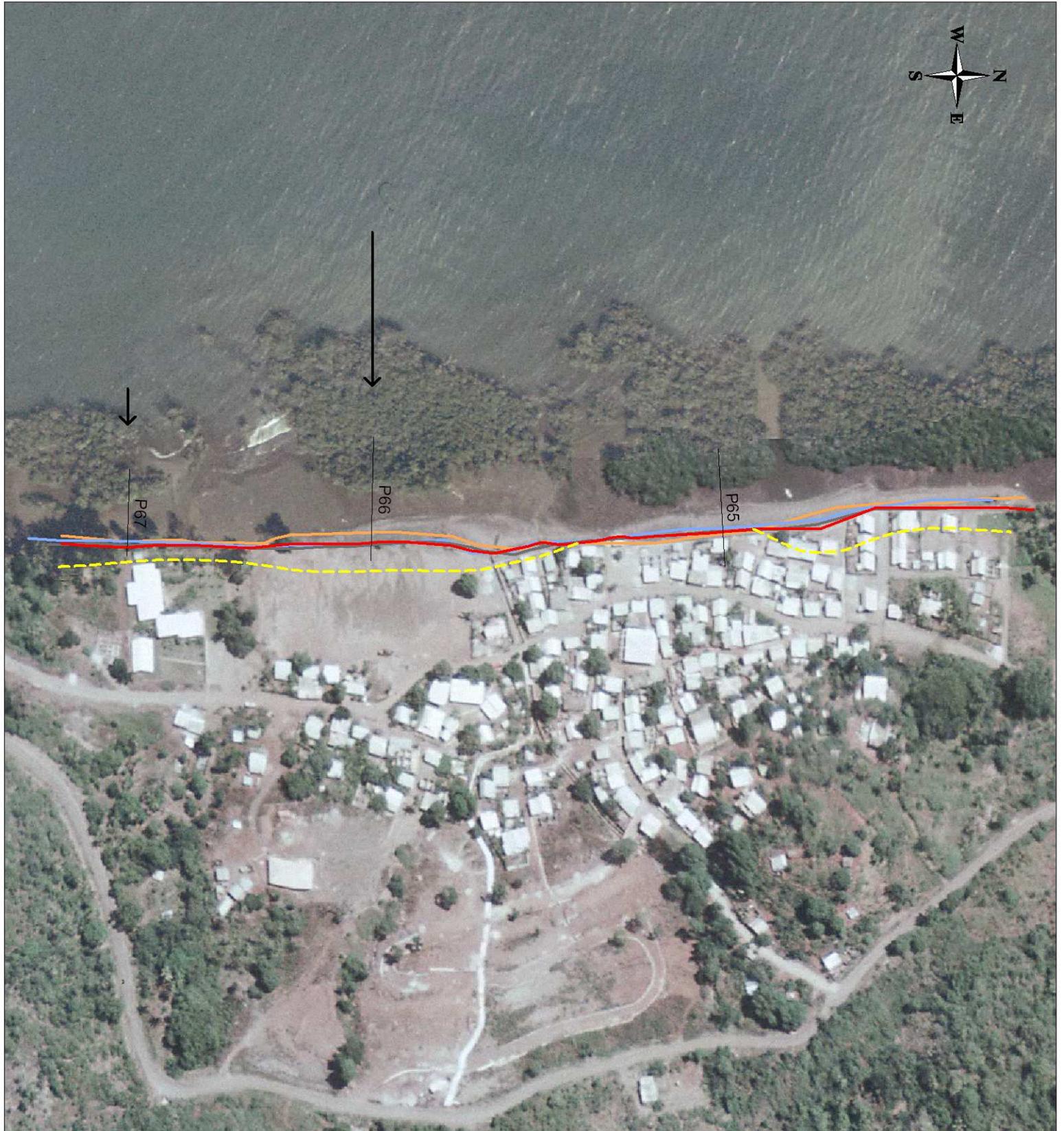
Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Annexe 28

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 15

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

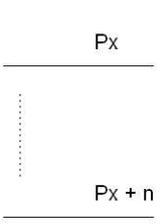
Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

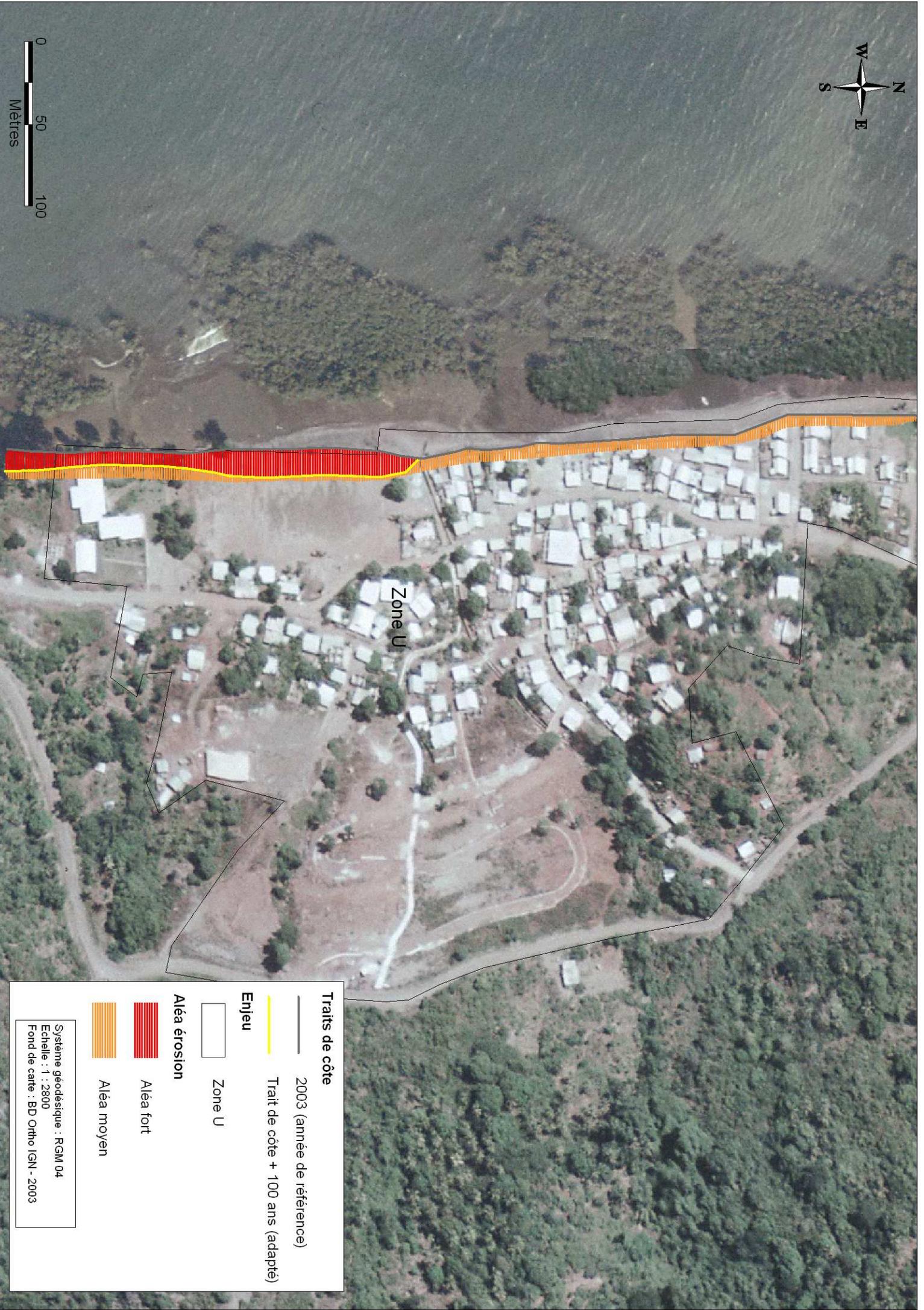
Vitesse de recul

- < 0,1 m / an
- 0,1 - 0,2 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone U

Traits de côte

— 2003 (année de référence)

— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

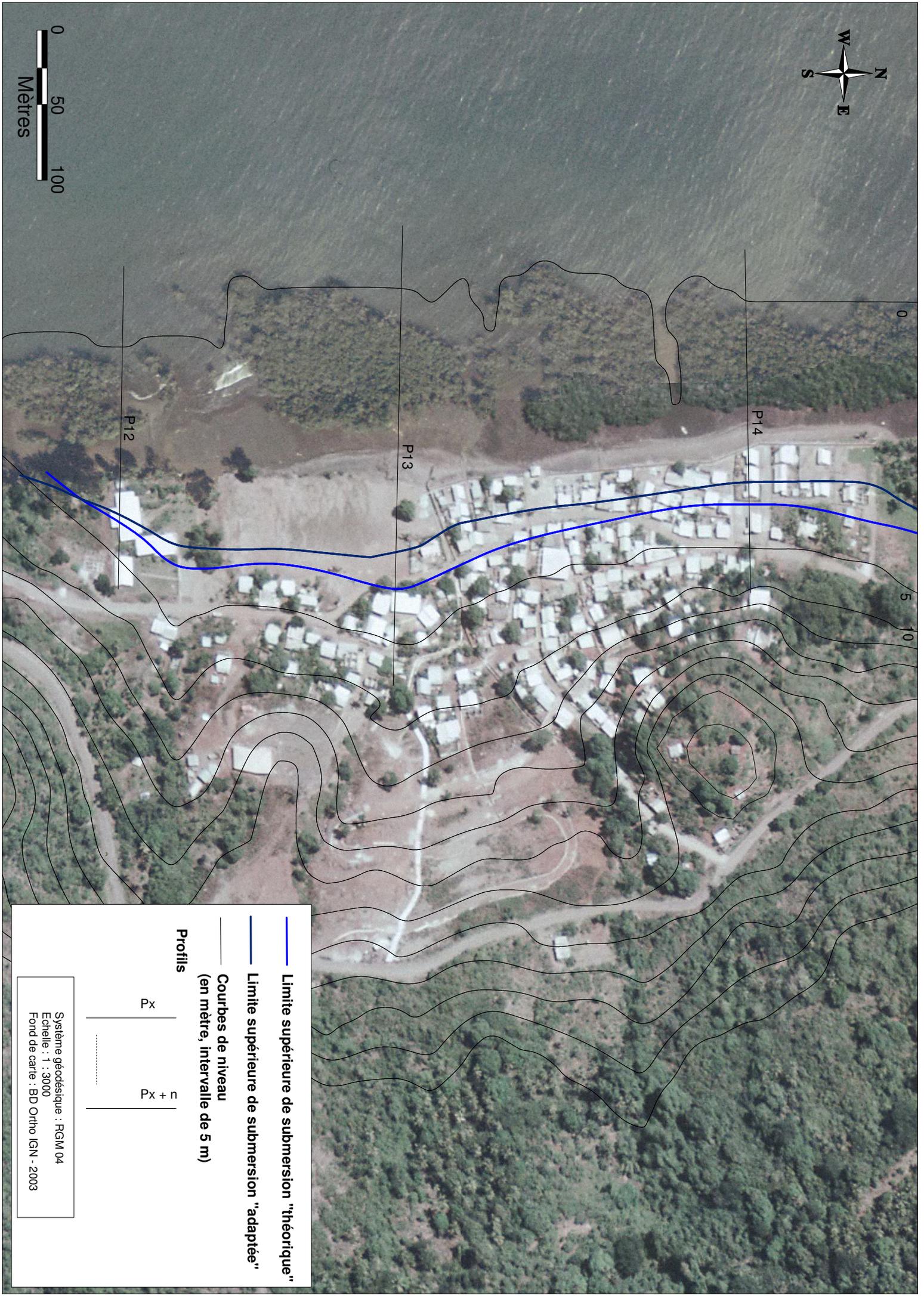
□ Zone U

Aléa érosion

Aléa fort

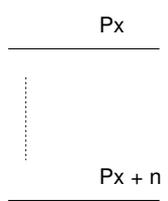
Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

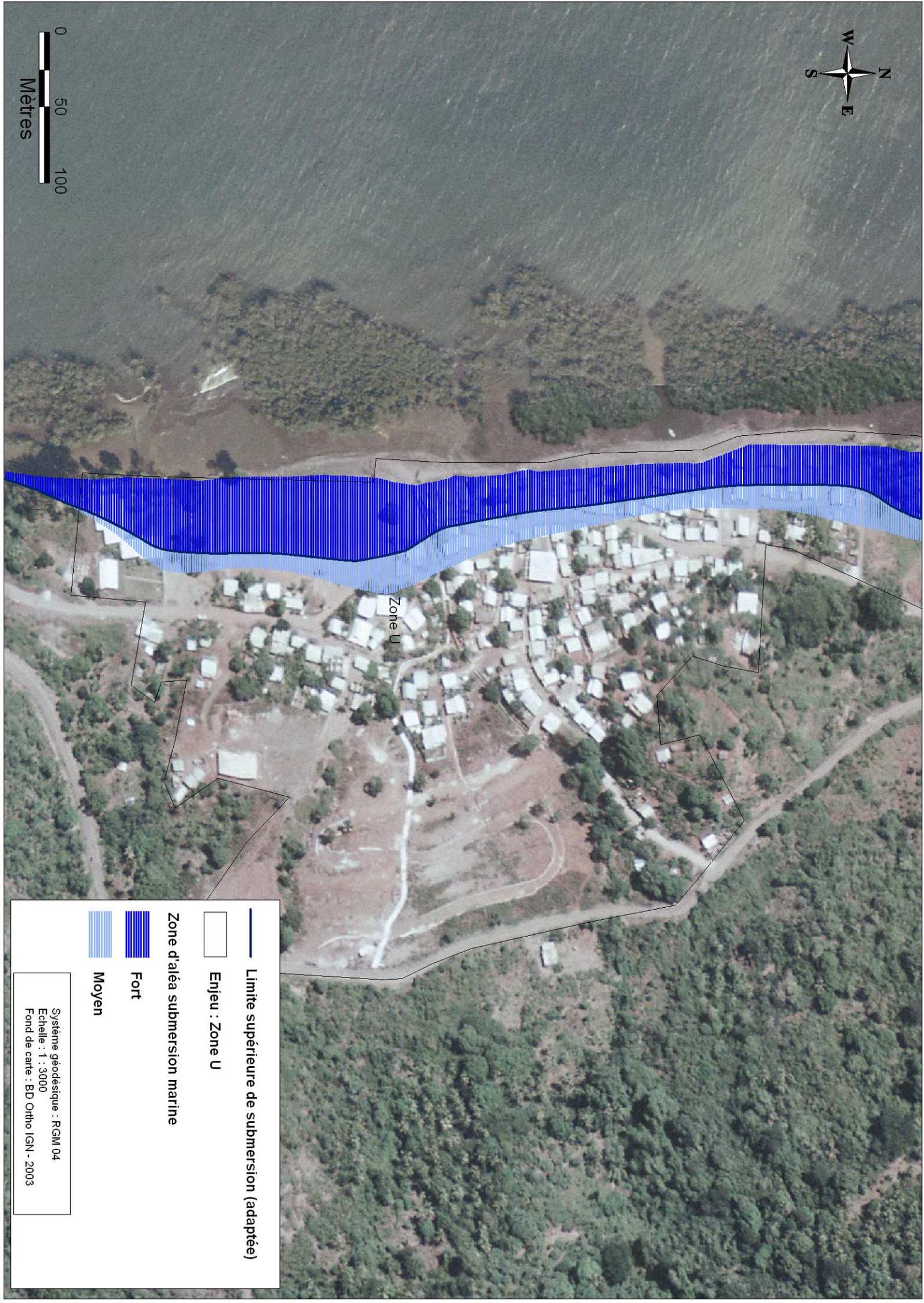


- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau (en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Limite supérieure de submersion (adaptée)

Enjeu : Zone U

Zone d'alea submersion marine

Fort

Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 29

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 16

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1949
- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

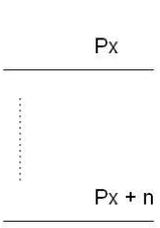
Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

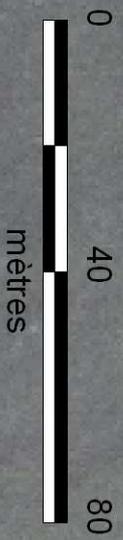
Vitesse moyenne de recul

- 0,06 m / an
- 0,45 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



ZONE U

Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

- Zone U

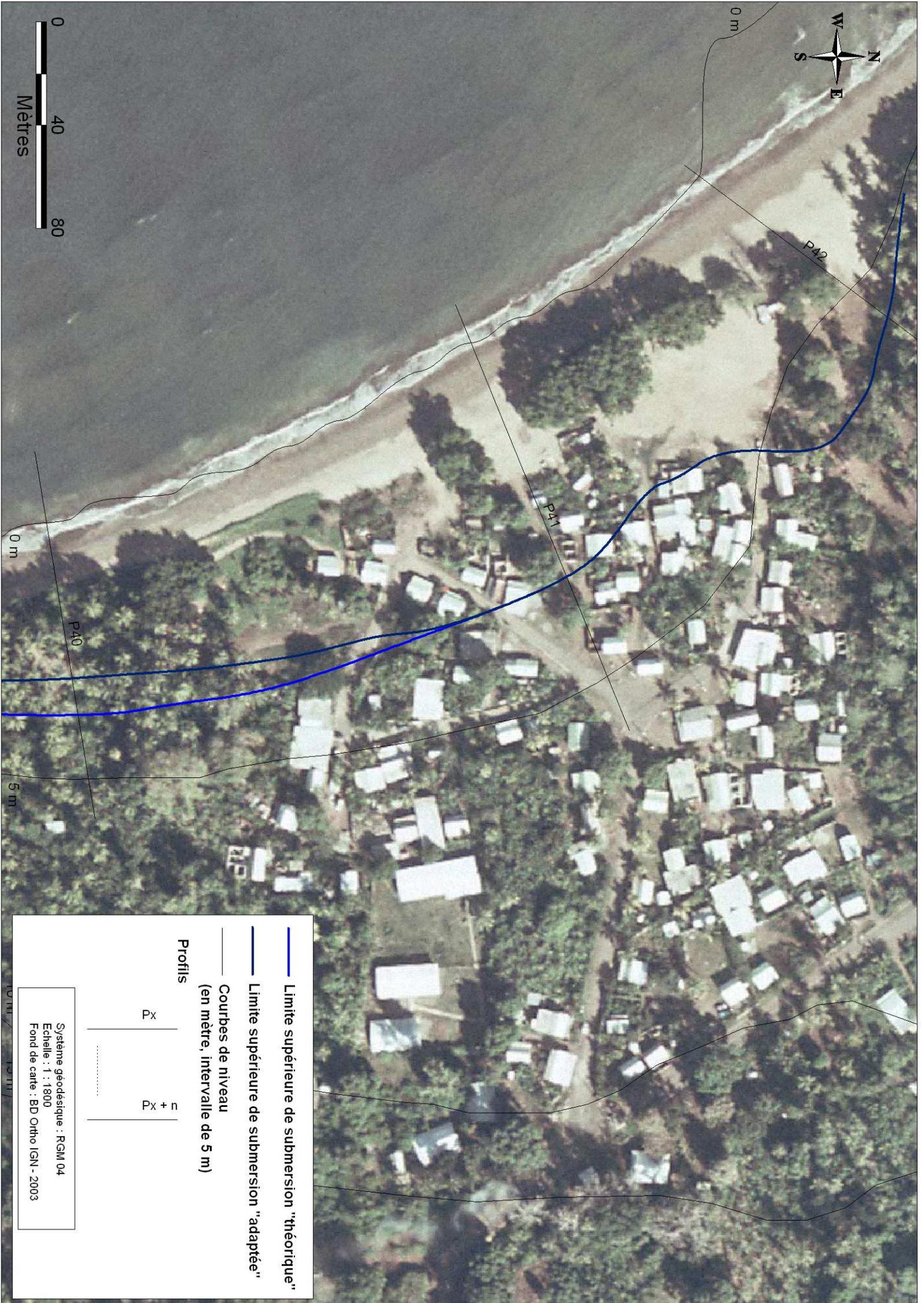
Aléa érosion

- Aléa fort
- Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



0 m



0 m

PA0

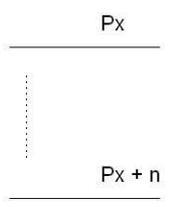
5 m

PA1

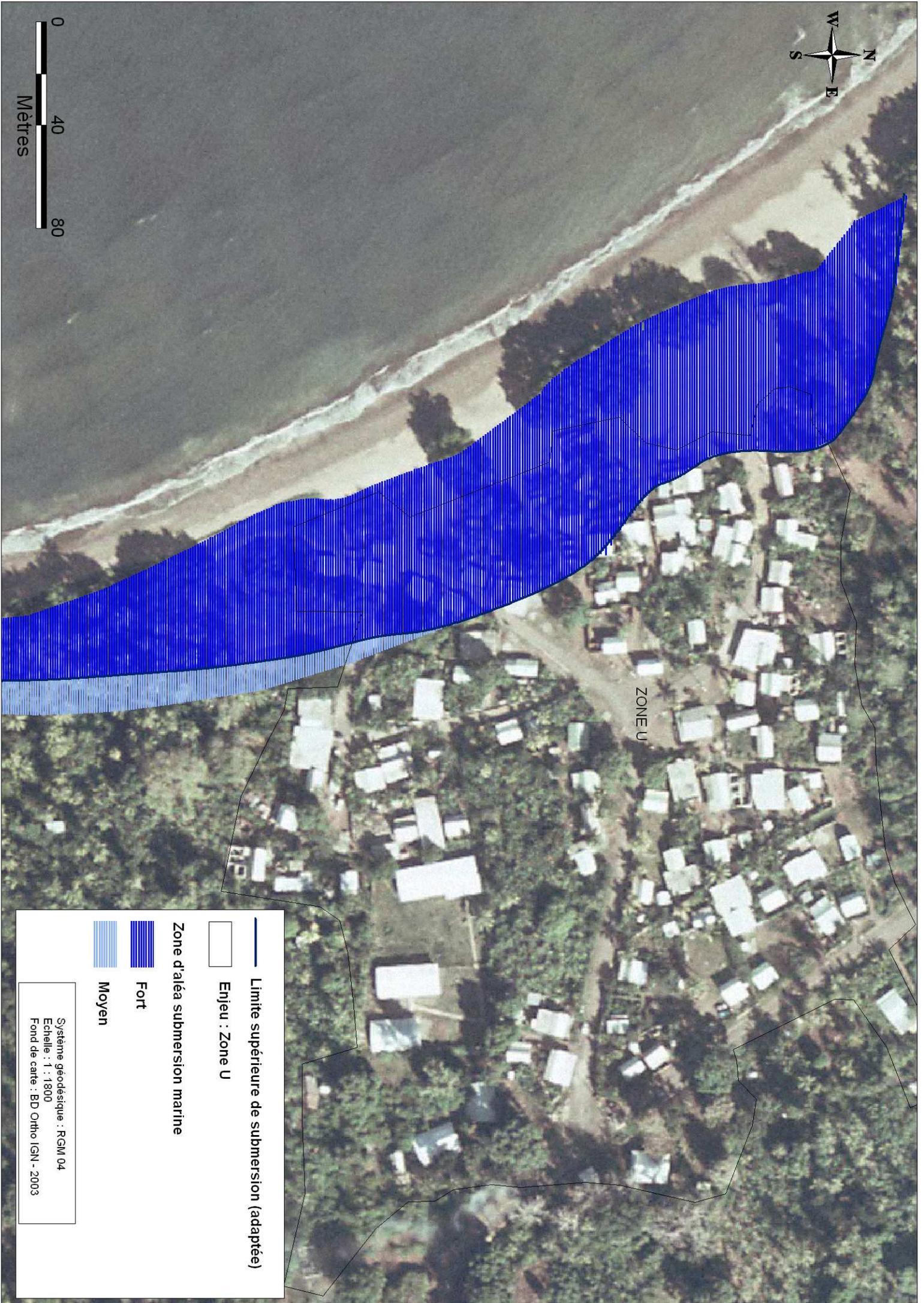
PA2

-  Limite supérieure de submersion "théorique"
-  Limite supérieure de submersion "adaptée"
-  Courbes de niveau (en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



ZONE U

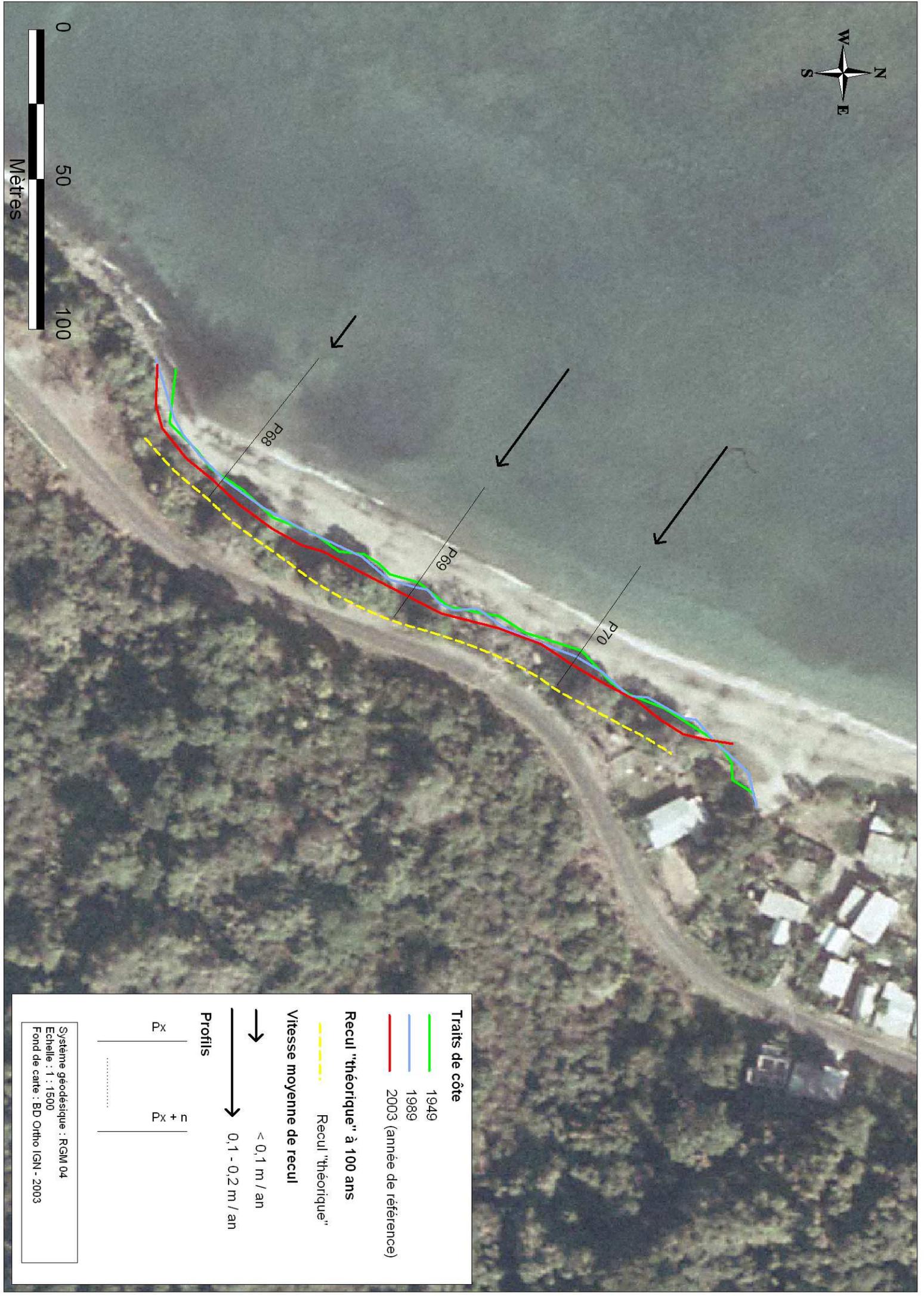
	Limite supérieure de submersion (adaptée)
	Enjeu : Zone U
Zone d'alea submersion marine	
	Fort
	Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 30

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 17

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1949
- 1989
- 2003 (année de référence)

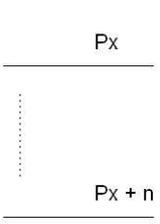
Recul "théorique" à 100 ans

Recul "théorique"

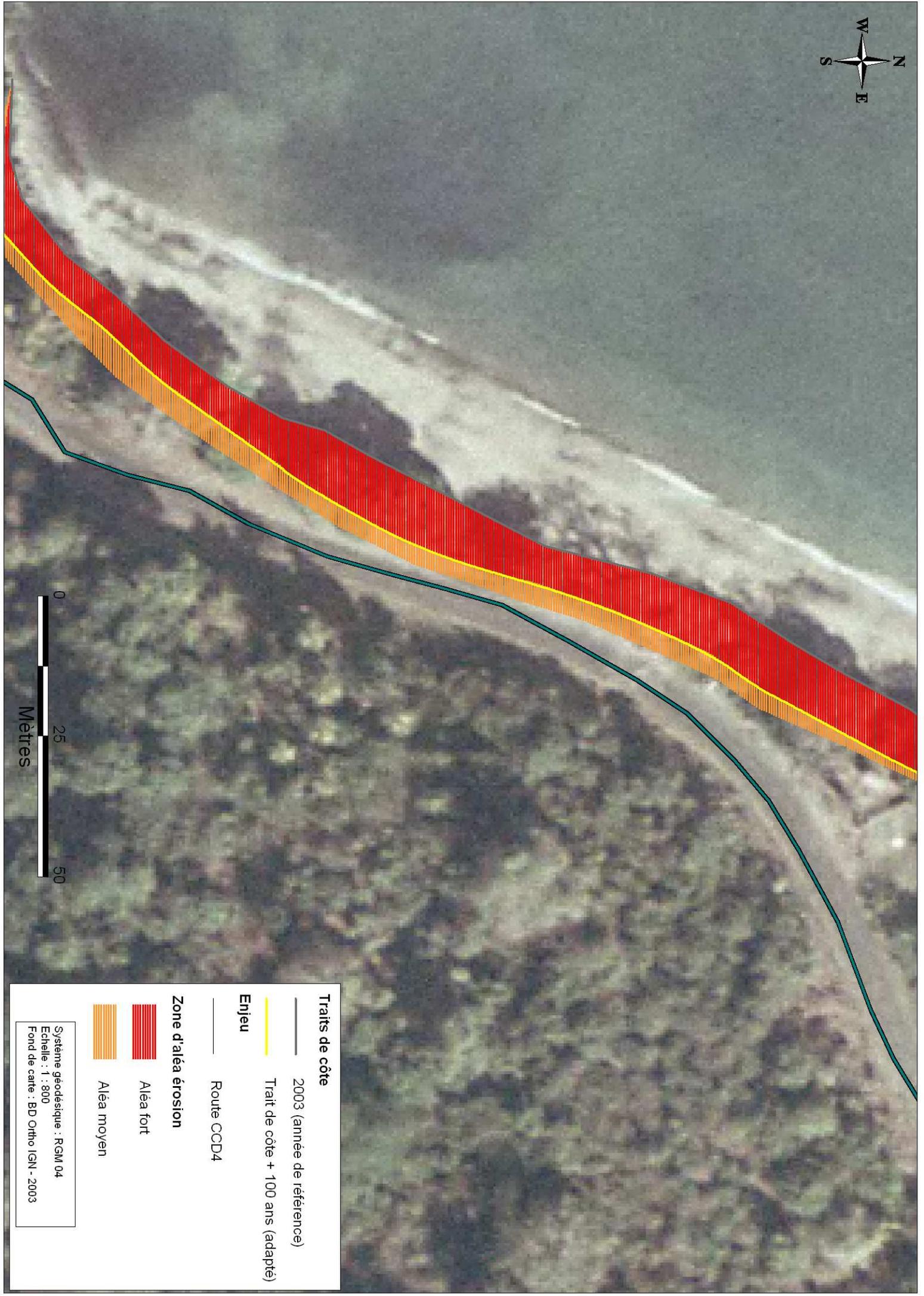
Vitesse moyenne de recul

- < 0,1 m / an
- 0,1 - 0,2 m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

— 2003 (année de référence)

— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

— Route CCD4

Zone d'aléa érosion

Aléa fort

Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 800
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



-  Limite supérieure de submersion "théorique"
-  Limite supérieure de submersion "adaptée"
-  Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

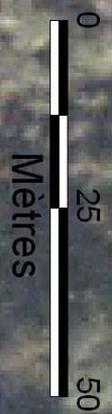
Profils

P_x	$P_x + n$
.....	

Systeme geodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



10m



	Limite supérieure de submersion (adaptée)
	Enjeu : Route RN4
	Zone d'aléa submersion marine
	Fort

Systeme géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Annexe 31

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 18

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

1949

1989

2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

< 0,3 m / an

0,3 - 0,6 m / an

Profils

Px

Px + n

Système géodésique : RGM 04

Echelle : 1 : 4000

Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone U



Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

- Zone U

Zone d'aléa érosion

- ▨ Aléa fort
- ▨ Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 4000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



-  Limite supérieure de submersion "théorique"
-  Limite supérieure de submersion "adaptée"
-  Courbes de niveau (en mètre, intervalle de 5 m)

Profils

Px

Px + n

.....

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



— Limite supérieure de submersion (adaptée)
- - - Enjeu : Zone U

Zone d'aléa submersion marine

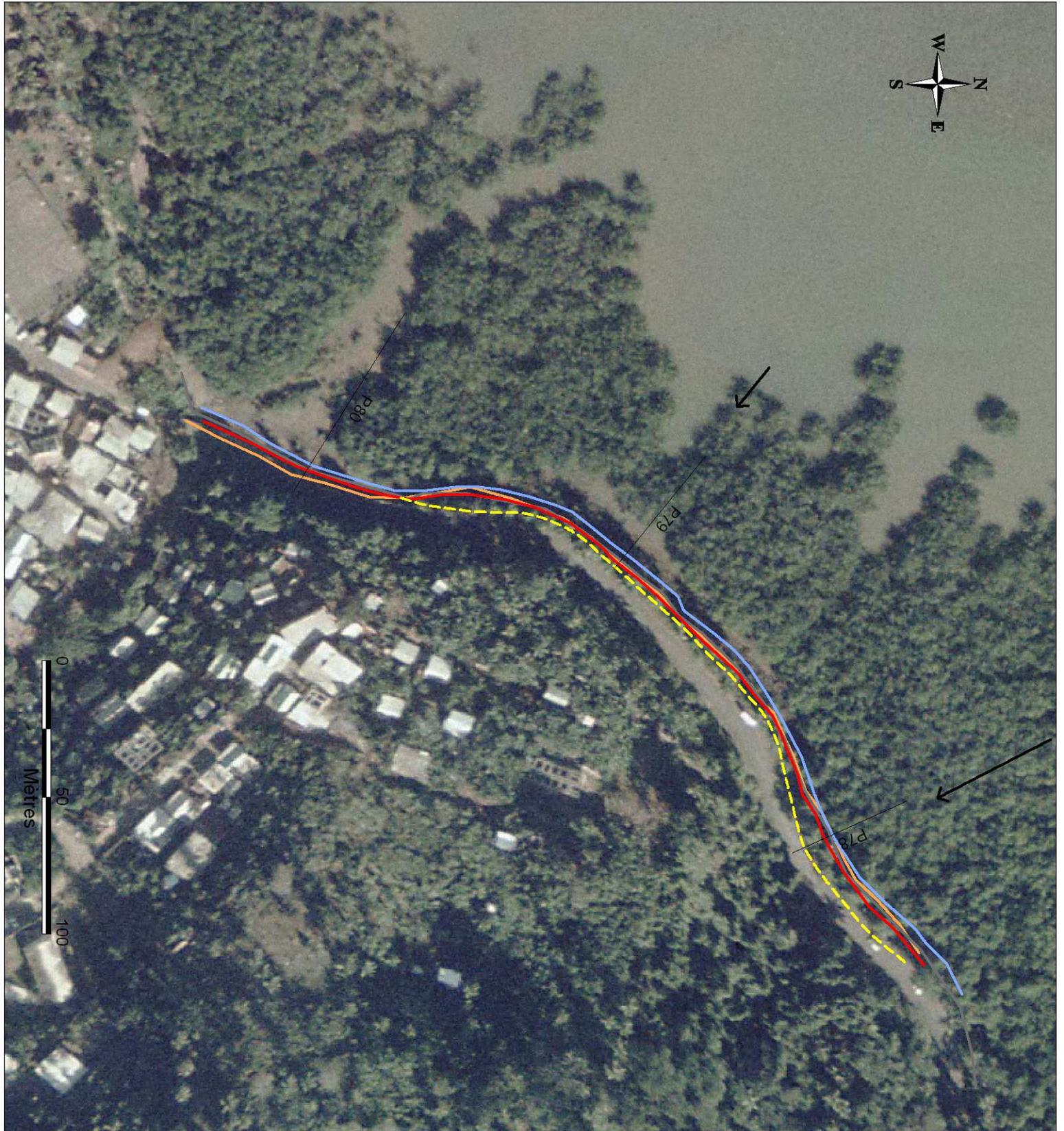
-  Fort
-  Moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 3000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 32

Cartes des aléas érosion théorique et adaptée (falaise : pas de cartes de submersion) – Planche 19

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

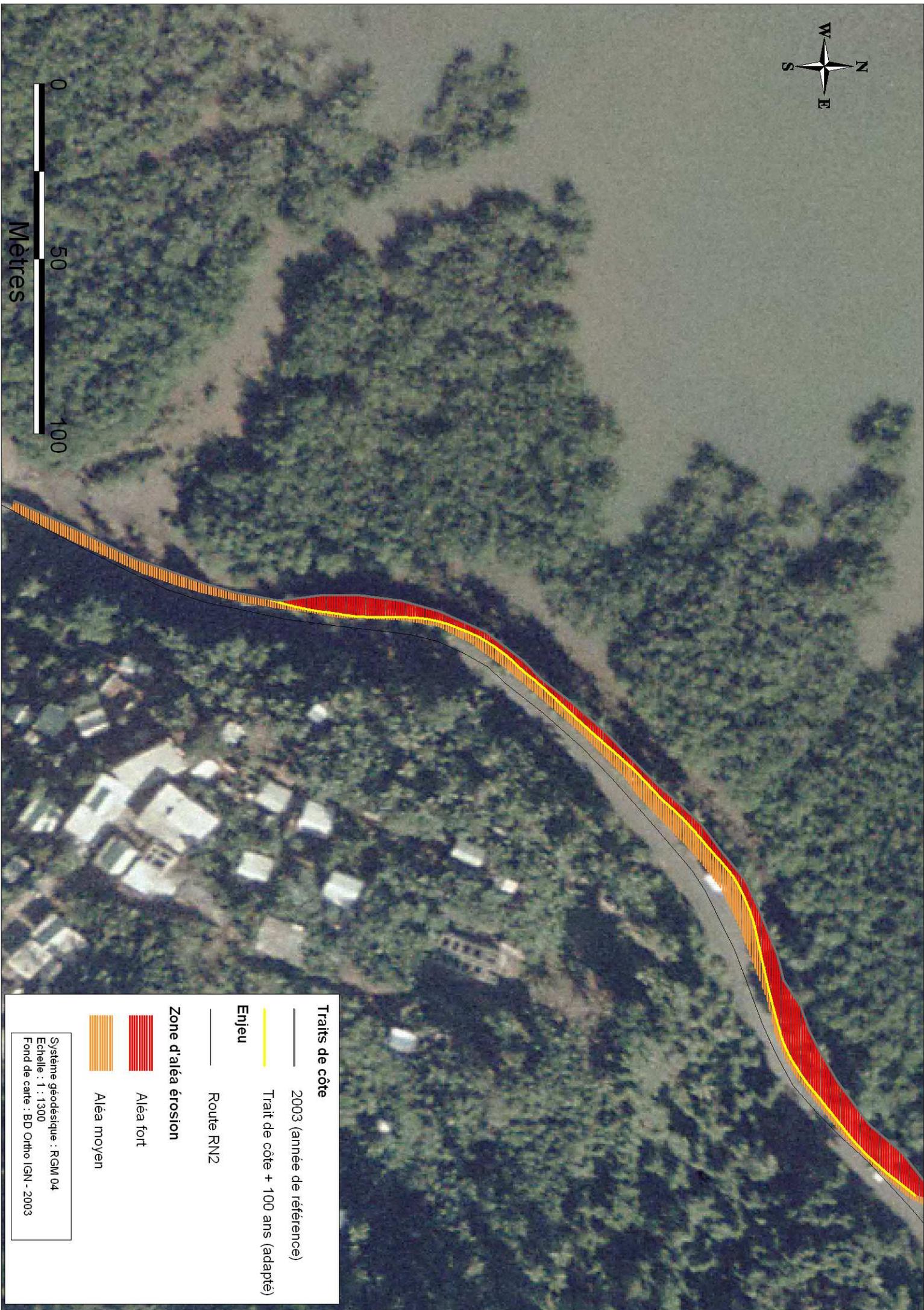
- < 0,05 m / an
- 0,05 - 0,1 m / an

Profils

Px Px + n

.....

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2000
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Traits de côte

— 2003 (année de référence)

— Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

— Route RN2

Zone d'aléa érosion

Aléa fort

Aléa moyen

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 1300
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

Annexe 33

Cartes des aléas érosion et submersion marines théorique et adaptée – Planche 20

Attention, ces cartes n'ont qu'un caractère informatif. Compte-tenu du manque de précision des données topographiques elles ne peuvent être utilisées dans un cadre réglementaire.



Traits de côte

- 1969
- 1989
- 1997
- 2003 (année de référence)

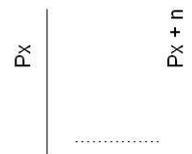
Recul "théorique" à 100 ans

- Recul "théorique"

Vitesse moyenne de recul

- $< 0,05$ m / an
- $0,05 - 0,1$ m / an

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



P83



P82



P81





Zone NAT

Traits de côte

- 2003 (année de référence)
- Trait de côte + 100 ans (adapté)

Enjeu

- Zone future à urbaniser (NAT)

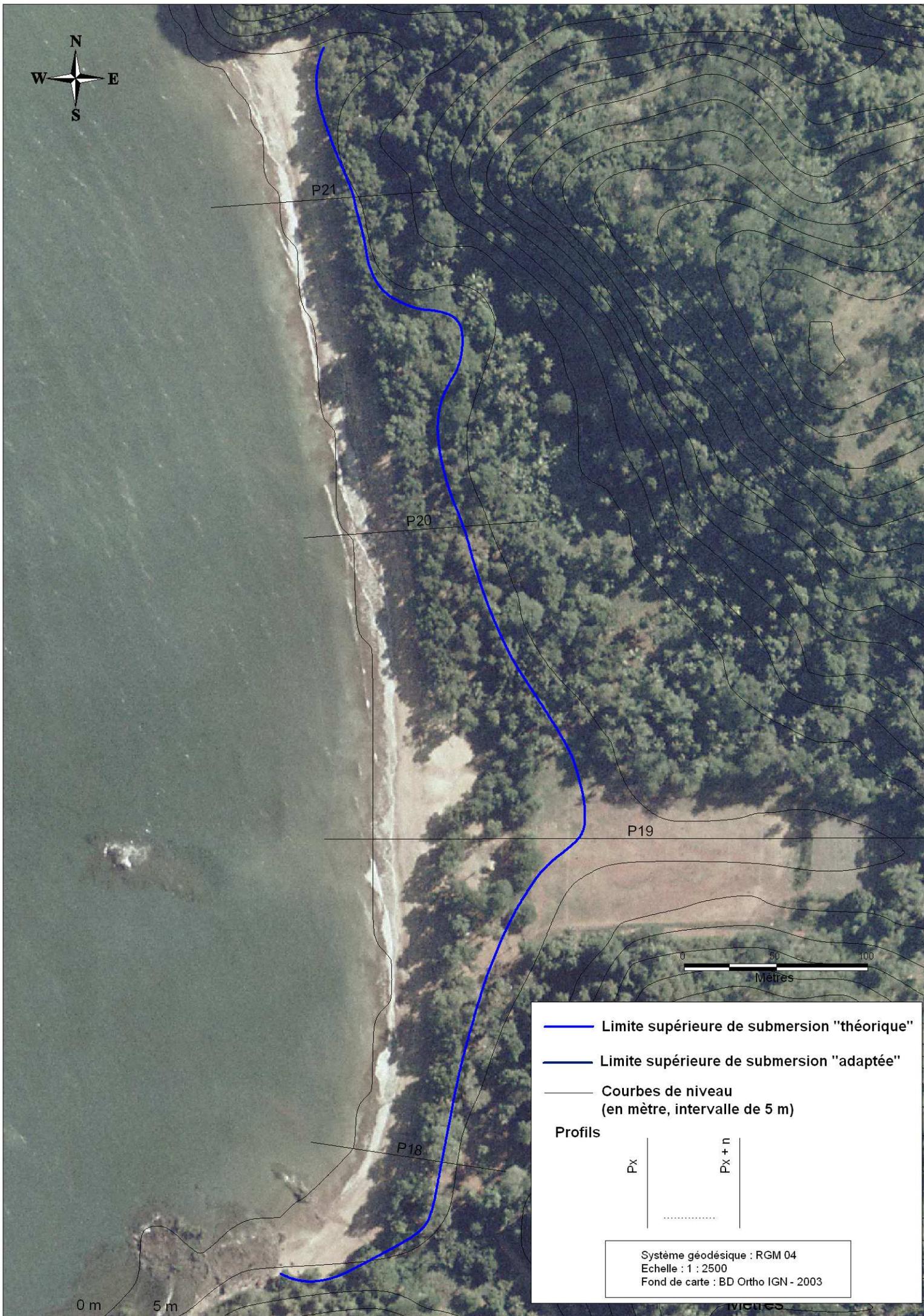
Zone d'aléa érosion

- ▬ Aléa fort

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2200
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003

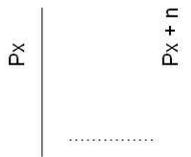


Mètres



- Limite supérieure de submersion "théorique"
- Limite supérieure de submersion "adaptée"
- Courbes de niveau
(en mètre, intervalle de 5 m)

Profils



Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



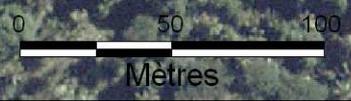


-  Limite supérieure de submersion (adaptée)
 -  Enjeu : Zone d'urbanisation future (NAT)
- Zone d'aléa submersion marine**
-  Fort

Système géodésique : RGM 04
Echelle : 1 : 2500
Fond de carte : BD Ortho IGN - 2003



Zone NAT





Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Service géologique régional "Réunion"
5, rue Ste Anne
BP 906
97478 – St Denis Cedex - France
Tél. : 02 62 21 22 14



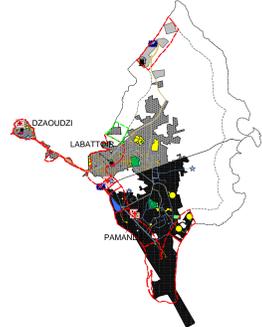
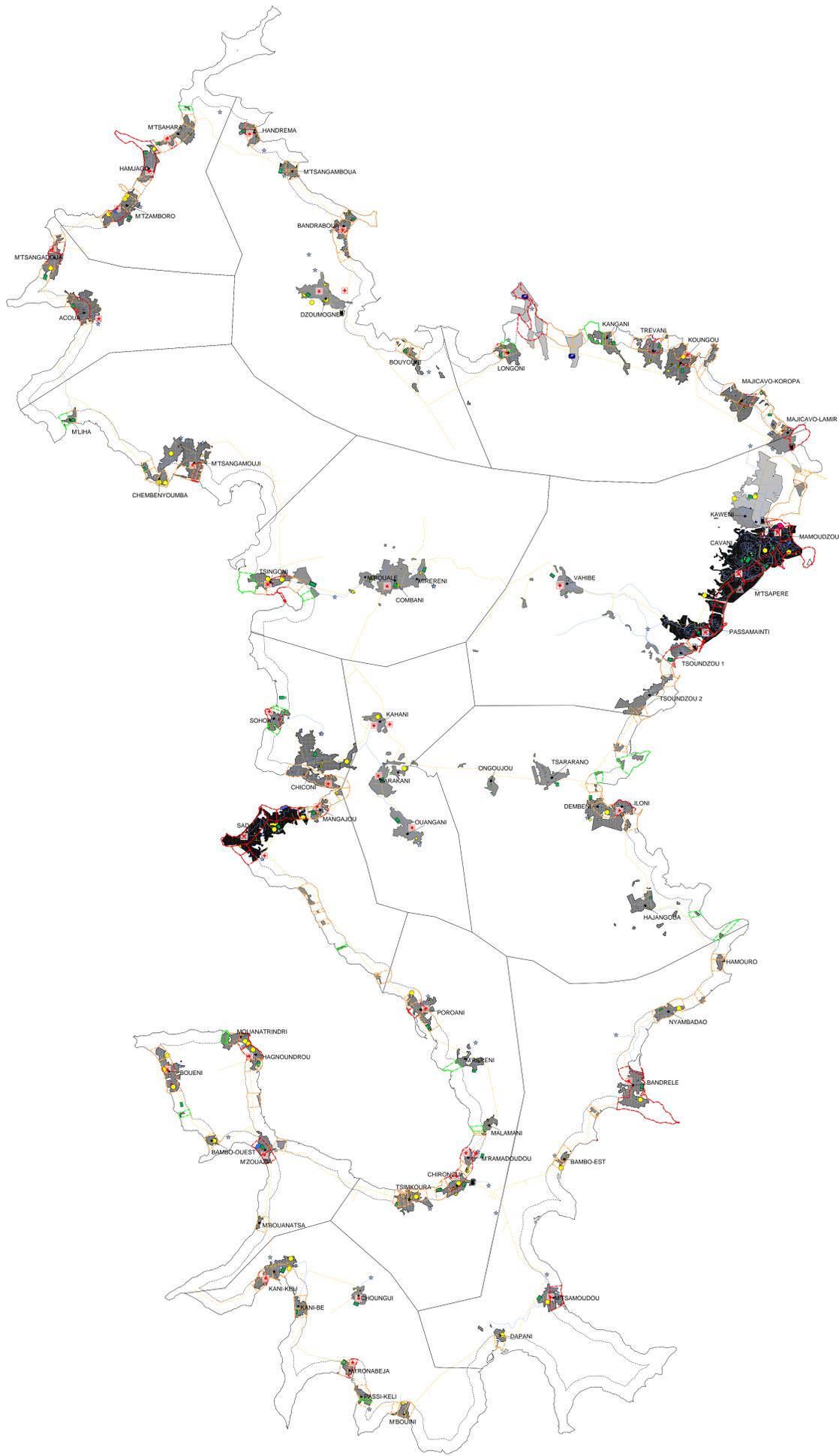
"VULITMAY"
Définition de la vulnérabilité des enjeux littoraux de Mayotte
et proposition de modes de gestion

Annexe 5
Carte au 1 : 50 000 des enjeux des littoraux de Mayotte :
Les zones urbaines

BRGM/RP-57004-FR
Janvier 2009



Carte au 1 : 50 000
Système géodésique : RGM04
Système de projection : UTM Sud Zone 38



- Zones U**
- Zones urbaines
 - Zones d'activité
- Population**
- Faible
 - Moyenne
 - Forte
- Etablissements/Equipements socio-culturels**
- MJC, centres socio-culturels, bibliothèques, etc.
- Equipements sportifs**
- Stades
 - Terrains polyvalents, de football, de tennis, etc.
- Etablissements scolaires**
- Ecoles maternelles, primaires, collèges, lycées, etc.
- Etablissements publics**
- Mairies, préfecture, trésorerie, etc.
- Lieux de cultes, religieux**
- Mosquées, églises, cimetières
- Patrimoines historiques et religieux**
- △ Grande mosquée de Mstapéré, Tombeau du Sultan Adrian Souli
- Santé**
- Hôpitaux, dispensaires
- Sécurité, secours**
- Pompiers, gendarmerie, police, etc.
- Energies**
- Centrales therm/gaz
 - Dépôts d'hydrocarbure/Stations services
- Réseaux**
- Eau
 - Electricité (HTA & BT)
 - Réservoirs
- Classification des enjeux sur la bande des 300 m**
- Niveau1
 - Niveau2
 - Niveau3