



HAL
open science

Dynamique littorale et comportement de ponte des tortues marines en Guyane française

Christina Peron

► **To cite this version:**

Christina Peron. Dynamique littorale et comportement de ponte des tortues marines en Guyane française. Géomorphologie. Université du Littoral Côte d'Opale, 2014. Français. NNT : 2014DUNK0369 . tel-01334795

HAL Id: tel-01334795

<https://theses.hal.science/tel-01334795>

Submitted on 21 Jun 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

USR 3456 CNRS Guyane
UMR 8187 Laboratoire d'Océanologie et Géosciences

ECOLE DOCTORALE SMRE (ED 104)
(Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement)

*Dynamique littorale et comportement de ponte
des tortues marines en Guyane française*

Thèse de DOCTORAT
GEPO (Géosciences, Ecologie, Paléontologie, Océanographie)

Spécialité : Morphodynamique littorale

Présentée par

Christina PERON

Soutenue publiquement à Cayenne le 20 octobre 2014 devant un jury composé de :

Directeurs de recherche :

Antoine GARDEL, maître de conférences HDR, Université du Littoral Côte d'Opale
Damien CHEVALLIER, ingénieur de recherche CNRS, IPHC Strasbourg

Rapporteurs :

Simon BENHAMOU, directeur de recherche CNRS, CEFE Montpellier
Franck DOLIQUE, professeur, Université des Antilles et de la Guyane

Examineurs :

Edward ANTHONY, professeur, Université d'Aix-Marseille, CEREGE Aix en Provence
Yvon LE MAHO, directeur de recherche CNRS, IPHC Strasbourg
Rachel BERZINS, ONCFS, Guyane
Benoit de THOISY, chercheur, Institut Pasteur de Guyane

Remerciements|

Mes premiers remerciements vont à Antoine Gardel, mon directeur de thèse, qui m'a accordé sa confiance et a été présent à chaque étape de cette thèse. Les deux premières années, malgré la distance pendant les campagnes, tu t'es montré disponible pour essayer de résoudre les soucis. Merci d'avoir été là pendant ces quatre ans malgré ton emploi du temps très chargé. Je te remercie également de m'avoir entraîné dans cette aventure en Guyane!

Je veux remercier Damien Chevallier qui a bien accepté de reprendre en route l'encadrement de ma thèse au milieu de la deuxième année, mais qui a été présent dès les premières campagnes pour m'assister dans l'acquisition des mesures.

Cette thèse a été soutenue par Anne Corval (directrice du CNRS Guyane de 2010-2014) et je la remercie pour sa ténacité et d'avoir permis le développement de l'équipe Ecosystèmes littoraux.

Je remercie Edward Anthony pour sa présence et son implication lors des premières campagnes de terrain. Merci de m'avoir conseillée et guidée sur les plages de Guyane lors des missions.

Je remercie les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail et pour certains d'avoir fait le déplacement de métropole et de Martinique.

Je suis reconnaissante aux organismes financeurs à savoir le CNRS et le CNES qui m'ont permis de réaliser cette thèse. Je remercie également la région Guyane qui m'a accordé une aide financière la dernière année pour m'aider à terminer avec moins de difficulté. Merci également au financeur du projet CARET-2 qui ont permis l'acquisition d'une certaine partie des données.

Toutes les mesures acquises au cours de cette thèse pour le volet morphodynamique mais aussi sur le suivi de l'activité de ponte des tortues marines, sont le fruit d'un travail collaboratif d'acquisition de données par une multitude de personnes (stagiaires, ingénieurs, vacataires, amis ou autres doctorants et même professeur) ayant sillonné la plage de Yalimapo en long, en large et en travers, pendant des heures et des heures ou m'ayant aidé sur le terrain. Il est indispensable que je leur dise un énorme MERCI pour tout ce travail effectué: Barbara Giorgis, Thomas Pruvost, Stéphane Berthelot, Anne, Jacques Fortrat, Erwan Gensac, Sancho Mariwajoe, Lesley Blaise, Martin Galpin, Perle Zlotykamian, Vincent Le Viol, Marc Bonola, Lorraine Dannis, Yann Czorlich, Tao Mariwajoe, Marie-Krystina Paul, Marika Marie, Marie Baudoin, Yali William, Myrtho Gipet, Guillaume Brunier, Marta Viera, Sylvain Orseau, Marjorie Gallay et Edward Anthony.

Un grand merci à Andy Chatelet pour tout ce temps passé ensemble sur les plages pour l'acquisition des données, pour ta patience quand tu m'expliquais le protocole d'acquisition du tachéomètre et surtout pour avoir bien voulu venir en Guyane m'aider. Malgré ta phobie des insectes, bactéries et moustiques tu étais toujours enthousiaste pour venir travailler avec moi, et je t'en remercie grandement.

Je remercie les chefs coutumiers de la commune d'Awala-Yalimapo : Daniel William (Yalimapo) et Michel Thérèse (Awala).

Un merci également à toute l'équipe de la maison de la Réserve de l'Amana (le conservateur : Johann Chevalier, les gardes (Alain Auguste, Sylvain Lieutenant, Ronald Wongpawisaro), Gérald Gondrée)) pour leur assistance technique, leur conseil ainsi que pour avoir retrouvé le capteur de pression « perdu ».

Mes remerciements vont également à toutes les personnes rencontrées au village d'Awala-Yalimapo. Un merci pour tous ces échanges, nos mesures ont intrigué un grand nombre de personnes.

Un grand merci à l'équipe administrative du CNRS Guyane, dans lequel j'ai pu trouver un soutien sans faille pendant ces années. Un merci à Jocelyne, en retraite maintenant, qui a toujours veillé sur moi quand elle était là. Josiane, sa remplaçante, je te remercie pour ton immense gentillesse, pour ta grande patience à écouter nos doléances, et pour faire en sorte de nous aider ou remonter le moral quand ça ne va pas. Dorothee, la copine du travail mais aussi ma voisine, avec toi je me suis sentie beaucoup moins seule sur Cayenne. Je te remercie pour ta patience à m'écouter radoter à ma sortie du bureau. Merci pour ta grande gentillesse mais aussi pour tes fous rires qui me redonnaient souvent le moral quand il n'y était pas. Il ne faut pas que j'oublie de remercier Philippe Gaucher, qui même si j'étais « de la mer » s'est toujours montré bien veillant. Un merci également aux agents techniques de la station des Nouragues pour leur gentillesse (Gilles (merci aussi pour les petits gâteaux), Patrick, Matthias et Olivier). Enfin, un merci à Laurent pour sa bonne humeur.

Je remercie également Laure Gardel pour ses encouragements et pour tous ses conseils.

Mes remerciements également aux personnels de l'IRD.

A tous les doctorants du CNRS et de l'IRD (Sylvain, Marjorie, Youven, Tommy, Yi, Justine, Clémence, Pauline). J'ai fini c'est votre tour maintenant 😊. Je vous souhaite bon courage pour la fin de votre thèse et bonne continuation. Merci à Yann pour m'avoir aidé pour les statistiques et pour ses conseils!

Un merci à mes amis aussi qui ont suivi mon parcours de près et qui ont toujours eu une oreille attentive. Aurore : merci d'avoir pris le temps de faire une relecture de mon manuscrit. Elise : ça y est on voit enfin le bout du tunnel !

Merci à mes amis de Yalimapo, avec la famille Paul, Gipet et Lieutenant qui m'ont accueilli, au cours de mes missions de terrain mais aussi pendant tous ces weekends de détente, de fête à vos côtés. Merci de m'avoir fait découvrir et d'avoir partager votre culture et vos traditions. Merci également au groupe Palana Bonon, au son duquel nous avons pu danser de nombreuses fois au rythme de la sanpula ! Les filles maintenant j'aurai sûrement plus de temps pour faire plein de créations avec les kasulus 😊 et l'élève dépassera les maitres ! Krystina : je te remercie pour ta gentillesse et ton grand cœur. Merci de m'avoir accueillie chez toi comme un membre de ta famille. Un merci aux enfants pour leur sourire et pour tous ces moments passés ensemble, je vous souhaite un bel avenir.

Je remercie ma famille de l'île Maurice, du Canada et d'Angleterre qui m'ont soutenu durant toutes ces années, et même mamie qui ne comprenait pas très bien pourquoi j'étais encore étudiante après 10 longues années 😊 ! Le plus grand des MERCI revient à ma maman, qui malgré la distance depuis mes débuts à la fac, m'a toujours soutenue et encouragée quel que soit mes choix. Merci de m'avoir guidée sur ce chemin.

Merci à tous ceux que j'ai oublié de citer mais qui ont contribué à la réalisation de cette thèse.

Merci aux financeurs et organismes partenaires:



SOMMAIRE

CHAPITRE 1. ETAT DES CONNAISSANCES.....	- 1 -
Partie 1. La zone littorale.....	- 2 -
Partie 2. Une dynamique morphosédimentaire très contrastée en Guyane.....	- 3 -
1. Contexte : géographique, climatique et hydrodynamique.....	- 3 -
1.1. Généralités.....	- 3 -
1.2. La Guyane française.....	- 5 -
2. Organisation de la côte.....	- 7 -
2.1. Un littoral majoritairement vaseux.....	- 8 -
2.1.1. Composition d'un banc de vase.....	- 9 -
2.1.1.1. La zone intertidale.....	- 9 -
2.1.1.2. La zone subtidale.....	- 10 -
2.1.2. Dynamique de migration des bancs de vase.....	- 11 -
2.1.3. Des côtes en érosion.....	- 12 -
2.1.4. Le rôle des bancs de vase.....	- 13 -
2.2. ...avec également quelques zones sableuses.....	- 13 -
2.2.1. Plages sur socle rocheux.....	- 13 -
2.2.2. Plages estuariennes.....	- 15 -
2.2.3. Cheniers : les littoraux sableux des côtes vaseuses.....	- 16 -
Partie 3. Un littoral guyanais riche en biodiversité : exemple des tortues marines.....	- 19 -
1. Généralités.....	- 19 -
1.1. Le cycle de vie.....	- 19 -
1.2. Succès à l'incubation et menaces.....	- 20 -
1.3. Ecologie de reproduction.....	- 21 -
2. Les tortues marines en Guyane.....	- 27 -
3. Modèles biologiques.....	- 30 -
3.1. La tortue luth.....	- 30 -
3.2. La tortue verte.....	- 31 -
Partie 4. Les sites d'études.....	- 32 -
1. Littoral d'Awala-Yalimapo.....	- 32 -
2. Littoral de Kourou.....	- 33 -
Partie 5. Problématique et objectifs de l'étude.....	- 33 -
CHAPITRE 2.METHODOLOGIE.....	- 37 -
Partie 1. Mesures hydrodynamiques.....	- 38 -
1. Instrumentation.....	- 38 -

1.1.	ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)	- 38 -
1.2.	Courantomètre	- 39 -
1.3.	Altus	- 40 -
1.4.	Capteur de pression	- 42 -
1.5.	GPS : courantologie.....	- 43 -
2.	Modèles et autres données hydrologiques	- 43 -
2.1.	Données ECMWF WAM ERA 40	- 43 -
2.2.	Données CETMEF-CANDHIS	- 44 -
2.3.	Données de l'Observatoire ORE-HYBAM	- 44 -
2.4.	Données marégraphiques.....	- 45 -
Partie 2. Méthodologie du suivi morphosédimentaire		- 46 -
1.	Suivis topographiques de la morphodynamique de la plage	- 46 -
1.1.	Relevés topographiques.....	- 47 -
1.2.	Traitement des données topographiques.....	- 48 -
2.	Suivi de la dynamique sédimentaire à court terme	- 51 -
3.	Mesures bathymétriques	- 53 -
3.1.	Site d'Awala Yalimapo	- 53 -
3.2.	Site de Kourou.....	- 54 -
Partie 3. La télédétection		- 55 -
1.	Imagerie spatiale.....	- 55 -
2.	Photographies aériennes	- 56 -
3.	Analyse diachronique dans l'Ouest guyanais.....	- 56 -
4.	Détection de la limite subtidale des bancs de vase	- 58 -
Partie 4. Sédimentologie.....		- 59 -
Partie 5. Les tortues marines		- 61 -
1.	Suivi démographique à terre des tortues marines	- 61 -
2.	Géolocalisation des nids et identification des habitats	- 63 -
3.	Equipement GPS des tortues	- 64 -
4.	Traitement des données	- 65 -
4.1.	Tests statistiques.....	- 68 -
4.2.	Représentation cartographique	- 68 -
Partie 6. Synthèse.		- 68 -
CHAPITRE 3. MORPHODYNAMIQUE DU LITTORAL		- 71 -
Partie 1. Cadre dynamique: conditions hydrométéorologiques		- 72 -
1.	Forçages météorologiques	- 72 -
2.	Hydrologie sur la plage des Hattes et sur le littoral de Kourou.....	- 73 -

2.1.	La plage des Hattes.....	- 73 -
2.1.1.	Dynamique générale.....	- 73 -
2.1.2.	Evènements exceptionnels.....	- 75 -
2.1.3.	Circulation des masses d'eaux.....	- 76 -
2.2.	Le littoral de Kourou	- 78 -
Partie 2. Evolution morphologique à moyen terme du littoral.....		- 80 -
1.	Historique du trait de côte de l'Ouest guyanais.....	- 80 -
1.1.	Evolution globale du trait de côte depuis 1950	- 80 -
1.2.	Evolution entre 1950 et 1955 : Installation d'un banc de vase.....	- 81 -
1.3.	Evolution entre 1955 et 1982 : Passage d'un banc de vase et érosion conséquente.....	- 83 -
1.4.	Entre 1987 et 1999: ouverture d'une brèche à l'estuaire de la Mana	- 84 -
1.5.	Evolution entre 2001 et 2012: Fortes interactions sable/vase	- 85 -
2.	Cinétique de migration d'un banc sur le littoral de Kourou	- 89 -
2.1.	Morphologie des bancs.....	- 90 -
2.2.	Cinétique de migration des bancs sur le littoral de Kourou.....	- 91 -
2.3.	Comportement du banc lors du franchissement de l'estuaire.....	- 94 -
2.4.	Scénarios prédictifs	- 97 -
Partie 3. Variabilité morphosédimentaire de la plage d'Awala-Yalimapo		- 99 -
1.	Evolution sédimentaire à très court-terme.....	- 99 -
2.	Dynamique sédimentaire à l'échelle saisonnière.....	- 101 -
2.1.	Dynamique morphosédimentaire en saison des pluies	- 102 -
2.2.	Dynamique morphosédimentaire en saison sèche	- 104 -
3.	Dynamique sédimentaire à l'échelle intra-annuelle	- 105 -
4.	Dynamique morphosédimentaire de l'avant plage des Hattes.....	- 111 -
Partie 4. Dynamique des environnements hétérogènes : les interactions vase/sable		- 114 -
1.	Interactions vase/sable à l'avant banc	- 114 -
1.1.	Le cas d'Awala-Yalimapo	- 114 -
1.1.1.	Contexte hydrodynamique du secteur	- 116 -
1.1.2.	Dynamique morphosédimentaire à l'avant-banc	- 118 -
1.1.2.1.	Gradient granulométrique	- 118 -
1.1.2.2.	Evolution sédimentaire de l'avant banc à moyen terme	- 119 -
1.1.2.3.	Interactions entre le haut et le bas de plage.....	- 121 -
1.2.	L'avant-banc de la Malmanoury	- 124 -
2.	Dynamique morphosédimentaire au départ d'un banc à Kourou	- 125 -
Partie 5. Synthèse		- 127 -

CHAPITRE 4. TORTUES MARINES ET PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX . - 129 -

Partie 1. Activité de ponte des tortues marines sur le littoral guyanais	- 130 -
1. Cas des tortues luth.....	- 130 -
2. Cas des tortues vertes	- 132 -
Partie 2. L'activité de ponte sur la plage d'Awala-Yalimapo	- 133 -
1. Distribution spatio-temporelle des atterrissages.....	- 133 -
1.1. Influence de l'activité tidale et lunaire	- 133 -
1.1.1. Cas des tortues luth.....	- 133 -
1.1.2. Cas des tortues vertes	- 134 -
1.2. Répartition temporelle des atterrissages en fonction de la marée.....	- 135 -
1.2.1. Cas des tortues luth.....	- 136 -
1.2.2. Cas des tortues vertes	- 137 -
1.3. Distribution spatiale sur la plage	- 138 -
1.3.1. Cas des tortues luth.....	- 138 -
1.3.2. Cas des tortues vertes	- 141 -
2. Influence des déterminants environnementaux sur la distribution spatiale	- 142 -
2.1. Distribution en fonction du cycle tidal (Flot/Jusant).....	- 142 -
2.1.1. Cas des tortues luth.....	- 143 -
2.1.2. Cas des tortues vertes	- 144 -
2.2. Spatialisation des atterrissages selon les hauteurs d'eau.....	- 145 -
2.2.1. Cas des tortues luth.....	- 145 -
2.2.2. Cas des tortues vertes	- 147 -
2.3. Influence du forçage du fleuve	- 149 -
2.3.1. Cas des tortues luth.....	- 149 -
2.3.2. Cas des tortues vertes	- 150 -
2.4. Dynamique morphosédimentaire et distribution spatiale des tortues	- 151 -
2.4.1. Distribution des pontes sur le profil de plage	- 151 -
2.4.1.1. Cas des tortues luth.....	- 152 -
2.4.1.2. Cas des tortues vertes	- 153 -
2.4.2. Substrat de ponte	- 154 -
2.4.3. Evolution de la plage et distribution des pontes	- 155 -
2.4.3.1. Cas des tortues luth.....	- 155 -
2.4.3.2. Cas des tortues vertes	- 159 -
2.4.4. Evolution du haut de plage et distribution des pontes	- 161 -
2.4.4.1. Cas des tortues luth.....	- 161 -

2.4.4.2. Cas des tortues vertes	- 162 -
2.4.5. Impact de la dynamique de plage sur les nids	- 163 -
2.4.5.1. Cas des tortues luth.....	- 163 -
2.4.5.2. Les tortues vertes	- 164 -
2.5. Les demi-tours	- 166 -
2.5.1. Cas des tortues luth.....	- 166 -
2.5.2. Cas des tortues vertes	- 166 -
3. Trajectoire en mer.....	- 167 -
3.1. Cas des tortues luth.....	- 167 -
3.2. Cas des tortues vertes	- 169 -
Partie 3. Synthèse	- 171 -
CHAPITRE 5.DICUSSION.....	- 174 -
Partie 1. Nature et dynamique des sites de ponte	- 175 -
1. Le littoral de Kourou	- 176 -
2. Les plages éphémères où la formation de sites de ponte potentiels	- 177 -
3. Les plages de poche de l'île de Cayenne : haut spot de ponte.....	- 178 -
4. La plage d'Awala-Yalimapo: une plage « pérenne » sur un littoral instable	- 180 -
5. Impacts économiques et écologiques de cette dynamique	- 184 -
Partie 2. Influence des tortues sur leur plage de ponte	- 186 -
Partie 3. Les pontes sur la plage d'Awala-Yalimapo.....	- 188 -
1. Conditions hydrodynamiques	- 188 -
2. Morphologie de l'avant-plage	- 190 -
3. Sélection du site de ponte en fonction de la morphologie et de la nature sédimentaire de la plage	- 192 -
Partie 4. Vulnérabilité des nids et enjeux de la conservation	- 193 -
Partie 5. Perspectives.....	- 197 -
CONCLUSION GENERALE	- 202 -
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	- 208 -

Liste des illustrations

Figure 1.1: Localisation de la plus longue côte vaseuse et de cheniers du monde s'étendant du Nord Brésil jusqu'au Venezuela (Image Google Earth).....	- 5 -
Figure 1.2: Paramètres de houle : Hauteur significative (Hs) et Période (s) moyennées obtenues à partir du modèle d'ERA-40 généré par le European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) entre 1960 et 2009. Les points représentent le premier et le troisième interquartile et les cercles les valeurs médianes (actualisé de Gratiot et <i>al.</i> , 2007).	- 6 -
Figure 1.3: Marégramme du modèle de prédiction du SHOM aux îles du Salut (Guyane) en 2012.....	- 7 -
Figure 1.4: Organisation de la côte en zone de banc de vase et zone inter-banc (Est guyanais, Image SPOT©, Octobre 2010).	- 8 -
Figure 1.5: Composition d'un banc de vase: une zone subtidale (vase fluide), une zone d'accumulation à l'avant banc, une zone colonisée au milieu du banc et un arrière banc en érosion (Image SPOT©, septembre 2003)...	- 9 -
Figure 1.6: Faciès de banc de vase en voie de colonisation sur une vasière avec des fentes de dessiccation ..	- 10 -
Figure 1.7: A/ Champ de galets mous sur le banc de vase de Kourou en érosion (© Gensac); B/ Galets mous sur une zone d'avant banc (Cheniers de la Malmanoury (Sinnamary), Août 2011 (© Péron)	- 10 -
Figure 1.8: Schéma du protocole de migration des bancs de vase. L'arrière-banc n'étant plus protégé par l'extension subtidale du banc (pointillé marron) l'attaque de la houle est plus prononcée et arrache des blocs de vase. Ces derniers seront par la suite fluidifiés par l'action de la houle et transportés avec les courants au sein de l'étendue subtidale du banc de vase. Cette vase sera ensuite transportée vers la côte et alimentera les vasières.....	- 12 -
Figure 1.9: Côtes en érosion, recul de la mangrove et apparition d'un secteur sableux (©Berzins, ONCFS, 2011)	- 13 -
Figure 1.10: Images obliques des plages de (A) Rémire-Montjoly et de (B) Kourou photos (© Berzins, ONCFS, 2011).....	- 14 -
Figure 1.11: Modèle de rotation des plages de Cayenne/Rémire-Montjoly (Gardel, 2011)	- 15 -
Figure 1.12: Processus hydro-morphosédimentaire dans l'Ouest guyanais sur la plage d'Awala-Yalimapo (A) et à la Pointe Macouria (B).	- 16 -
Figure 1.13: Cordons sableux ou cheniers dans l'Ouest guyanais (photos © Berzins, ONCFS, 2011)	- 17 -
Figure 1.14: Processus de mise en place d'un système de chenier:1/ le substrat vaseux accolé à la côte est colonisé par la mangrove en période de banc; 2/en période inter-banc l'érosion du secteur est importante et la mangrove précédemment installée s'érode. Les sables contenus dans les bancs de vase peuvent être réactivés et déposés sur la côte, ou les apports de sables (a) par l'action de la dérive littorale permettent la formation d'un cordon sableux ; 3/ On se retrouve de nouveau en période de banc de vase, il y a une progradation accentuée de la côte et le chenier se retrouve confiné entre deux substrats vaseux (d'après Hoyt, 1969).	- 18 -
Figure 1.15: Cycle de vie des tortues marines. Les tortues marines passent 99% de leur cycle de vie en mer (flèches bleues), mais la reproduction essentielle à leur survie est terrestre et a lieu sur les plages de ponte (pointillés noirs et jaunes). (D'après Miller, 1997).	- 20 -
Figure 1.16: Photographies des principales espèces nidifiantes en Guyane, A/ tortue luth; B/ tortue verte; C/ tortue olivâtre (© Péron)	- 27 -

Figure 1.17: Mosaïque d'images satellites (©SPOT) représentant la côte de Guyane française avec la localisation des principaux sites de pontes (Cayenne et Awala-Yalimapo) et des sites secondaires (Organabo, Farez, Azteque, Irakompapi, Malmanoury). Les étoiles jaunes représentent les sites potentiels à formation de cheniers.	- 30 -
Figure 1.18: Tortue luth en phase de balayage sur la plage de Yalimapo	- 30 -
Figure 1.19: Tortue verte en phase de balayage sur la plage de Yalimapo	- 31 -
Figure 1.20: Site d'étude d'Awala-Yalimapo (Ouest Guyane) (Orthophoto 2012, IGN©)	- 32 -
Figure 1.21: Photographie oblique de la ville de Kourou et de l'embouchure du fleuve le 14/11/2012 (© Péron) -	33 -
Figure 2.1: ADCP worksentinel 1200 Khz de RDI instrument	- 38 -
Figure 2.2: Courantomètre de type Aquadopp	- 40 -
Figure 2.3: Emplacement des trois courantomètres les 15 et 16 mai 2013 dans la zone proche subtidale à Yalimapo	- 40 -
Figure 2.4: (A) Eléments composant le système Altus; (B) Système Altus déployé sur l'estran de la plage de Yalimapo	- 41 -
Figure 2.5: Capteur de pression déployée sur la vasière. Le capteur est fixé sur un fer à béton de 2m enfoncé dans la vase.	- 42 -
Figure 2.6: Dispositif de la bouée équipée de GPS sous le principe de dérive lagrangienne	- 43 -
Figure 2.7: Localisation des stations ORE-HYBAM dans le bassin amazonien (cercle rouge: emplacement de la station Langa Tabiki sur le fleuve Maroni)	- 44 -
Figure 2.8: Différences de hauteurs entre mesures <i>in-situ</i> (Rouge pour le capteur n°C95, et vert pour le capteur n°C94) et les valeurs prédictives du SHOM (Bleu pointillé) sur la plage des Hattes.	- 45 -
Figure 2.9: Emplacement des dix profils 2-D (trait noir) de plage ainsi que l'emprise des modèles numériques de terrain zonaux (Z1A et Z1B) (rectangle rouge)	- 46 -
Figure 2.10: Photographie de la station totale Leica TC 470	- 47 -
Figure 2.11: Schéma du principe de fonctionnement de la station totale	- 48 -
Figure 2.12: Profil topographique et localisation des piquets et de l'Altus (rond rouge) le 17 juin 2011 lors de l'expérimentation.	- 51 -
Figure 2.13: A/Photo des piquets de swash et de l'Altus (sur son support); B/ Photo du tube pvc sur un piquet; C/Piquets de swash	- 52 -
Figure 2.14: Emprise du levé bathymétrique sur l'avant plage de Yalimapo	- 53 -
Figure 2.15: (A) Localisation du chenal de navigation du fleuve Kourou où les dragages et sondages bathymétriques ont été effectués et (B) Photographie de la drague.	- 55 -
Figure 2.16: Emprise de l'analyse diachronique et localisation des transects 1, 50, 70, 105, 208, et 270.	- 57 -
Figure 2.17: Principe du système DSAS avec localisation de la ligne de base, des transects, des intersections des transects avec les traits de côte	- 58 -
Figure 2.18: Principe de détection des houles sur une image SPOT avec la limite de l'extension subtidale du banc de vase et détection des crêtes de houle	- 59 -
Figure 2.19: Localisation des emplacements des prélèvements sédimentaires sur les nids de tortues vertes (tv) et luth (tl) en juillet 2012	- 60 -

Figure 2.20: A/ Colonne granulométrique, B/ Exemple de résultats de pourcentage de refus au tamis pour un échantillon.....	- 60 -
Figure 2.21: Localisation des lieux dits et des zones sur la plage d'Awala-Yalimapo (fond de carte, Orthophoto 2012, IGN ©).....	- 62 -
Figure 2.22: Différents faciès rencontrés sur la plage d'Awala-Yalimapo.	- 64 -
Figure 2.23: Carte de localisation des profils (P1 à P7) et des secteurs de plage (fond de carte, Orthophoto 2012, IGN©).....	- 66 -
Figure 2.24: Schéma des quatre configurations possible de l'évolution de l'environnement d'un nid; 1. Le nid est déposé dans un secteur stable avec peu ou pas de variations topographiques; 2. Une érosion partielle au-dessus du nid apparaît (de 10 à 50 cm); 3. Le nid est totalement érodé et les œufs sont en contact direct avec la surface; 4. Du sable se dépose au-dessus du nid augmentant la profondeur d'incubation des œufs déposés.....	- 67 -
Figure 2.25: Récapitulatif des mesures effectuées au cours des 2ans ½ de récoltes de données.	- 69 -
Figure 3.1: Conditions météorologiques enregistrées à la station Météo-France basée à Cayenne en 2012, A/ Température atmosphérique ; B/ Pluviométrie (mm.s-1) ; C/ Vitesse du vent (m.s-1) ; D/ Direction du vent (°)...	- 73 -
Figure 3.2: Données issues du courantomètre-houlographe déployé dans la zone proche subtidale du 17 au 22/04/2011 (A) hauteur d'eau par rapport au zéro hydrographique; (B) Hauteur significative des vagues (m); (C) Période des vagues (s) ; (D) Vitesse du courant (m.s-1); (E) Direction du courant (°).	- 74 -
Figure 3.3: Hauteur significative des houles (mètres) et période (secondes) extraites des capteurs de pression déployés sur la plage de Yalimapo en 2011 et 2012.	- 75 -
Figure 3.4: Débits enregistrés entre mai 2011 et juillet 2013 à la station Langa Tabiki, située à une centaine de kilomètres de l'embouchure du Maroni.	- 75 -
Figure 3.5: Conditions hydrométéorologiques sur la plage de Yalimapo le 13-14mai (A à D) et le 20 juin 2012 (E à H). Les paramètres sont le niveau d'eau (A et E), la hauteur de houle (B et F), la période de houle (C et G) et la vitesse du vent (D et H).	- 76 -
Figure 3.6: (A/B) Trajectographie des bouées déployées à l'embouchure de l'estuaire du Maroni et (C/D) vitesse de déplacement des bouées.	- 78 -
Figure 3.7: A/Hauteur d'eau (m); (B) Vitesse du courant à la côte (5m de côte, mm.s ⁻¹); (C) Vitesse du courant au milieu (8m de fond).	- 79 -
Figure 3.8: Cartographies de l'Ouest guyanais et l'Est surinamais extraites de carte maritime, (A) vers 1880 Cateau van Roosevelt; (B) 1896 Van Pannhuys; (C) 1930 Bakhuis et Quant.....	- 80 -
Figure 3.9: Fluctuations du trait de côte de l'Ouest guyanais de 1955 à 2012 (par rapport à l'année de référence 1950) (Orthophoto 2012, IGN ©).....	- 82 -
Figure 3.10: Mosaïques de photographies aériennes de l'estuaire de la Mana et du village d'Awala-Yalimapo en 1950 et 1955 (Photographies aériennes de l'IGN).	- 83 -
Figure 3.11 : Mosaïques de photographies aériennes de l'estuaire de la Mana et du village d'Awala-Yalimapo en 1955, 1976 et 1982.....	- 84 -
Figure 3.12: Images satellites de l'Ouest guyanais en (A) 1987, (B) 1997 et (C) 1999, et photographies de la passe Panama en (D) 1998 et (E) 1999 (crédit photos © Chevalier).....	- 85 -

Figure 3.13: Chronologie de la migration du cordon sableux en 1976 (A), 1982 (B), 2001 (C) et 2005 (D) et zoom sur la morphologie de la flèche sableuse en 1976 (E) et 2005 (F).....	- 86 -
Figure 3.14: Chronologie de la migration du cordon sableux entre 2006 et 2012: (A) 2006, (B) 2007,(C)2008,(D),(E) 2010, (F)2012; crédit photo F,G,H, I © Wongpawisaro; J,K ©Péron.....	- 88 -
Figure 3.15: Situation du littoral du village d’Awala depuis 2010 (crédit photo Avril 2011 © Berzins, ONCFS) -	89 -
Figure 3.16: Représentation schématique de la localisation de la vasière intertidale des bancs sur le littoral de Kourou à Kaw entre 2003 et 2011 (A à E respectivement). Trois bancs de vase sont présents pendant cette période. (AVB1: Avant banc du banc 1; ARB1: Arrière-banc du banc 1; AVB2: Avant banc du banc 2 ; ARB2: Arrière banc du banc 2 ; AVB3: Avant banc du banc 3 ; ARB3: Arrière banc du banc 3). Les limites d’avant banc représentent les zones frontales des surfaces intertidales.	- 91 -
Figure 3.17: (A à E) Localisation du banc 1 (vasière intertidale et limite d’atténuation de la houle (= proxy de l’extension subtidale)) sur le littoral de Kourou entre 2003 et 2011 et localisation de l’avant et de l’arrière-banc (cercle bleu) et (F, G) vitesse de migration correspondante.....	- 93 -
Figure 3.18: Matrice représentant l’épaisseur de la lentille de vase (m) dans le chenal de navigation du Kourou entre les points kilométriques 5800 et 11000 entre juin 2002 et janvier 2012.	- 94 -
Figure 3.19: Superposition de l’épaisseur de la lentille de vase (moyennes annuelles) dans le chenal pour les points kilométriques de PK 5800 à PK 13800 (tous les 200 m) avec la localisation des limites d’atténuation de la houle entre 2001 et 2011.....	- 96 -
Figure 3.20: Comparaison de l’épaisseur de vase dans le chenal du Kourou et les hauteurs de vagues mesurées à la sortie du Mahury (données Candhis /CETMEF).....	- 97 -
Figure 3.21: Localisation prédictive du banc n°2 par rapport à la migration du banc n°1 sur le littoral de Kourou pour les années futures.	- 98 -
Figure 3.22 : A/Profil topographique de la section de plage où les mesures à très court terme ont été réalisées le 17 juin 2011 avec emplacement des piquets (P1 à P7) et localisation du capteur de pression (triangle rouge); B/ Fluctuations du plan d’eau au moment de de l’expérience ; C/ Variations topographiques mesurées sur les piquets 1 à 7 (P1 à P7), les lignes jaunes représentent les fluctuations sédimentaires érosive vers le haut, et en accrétion vers le bas.	- 100 -
Figure 3.23: A/Profil topographique de la section de plage où les mesures à très court terme ont été réalisées le 15 mai 2012 avec emplacement des piquets (P1 à P9); B/ Fluctuations du plan d’eau au moment de l’expérience ; C/ Variations topographiques mesurées sur les piquets 1 à 7 (P1 à P7), les lignes vertes représentent les fluctuations sédimentaires érosive vers le haut, et en accrétion vers le bas.	- 101 -
Figure 3.24: Modèles numériques de terrains différentiels de la zone de plage, suivie sur la plage de Yalimapo, entre mars 2011 et mai 2013 au cours de la saison des pluies, (A) entre mars et juin 2011, (B) entre mars et mai 2012 et (C) entre mars et mai 2013. La limite entre la végétation et la plage est représentée par une isoligne de couleur verte sur les MNT.....	- 103 -
Figure 3.25: Modèles numériques de terrains différentiels de la zone de plage suivie sur la plage de Yalimapo, entre juin 2011 et mai 2012 pour la saison des pluies, (A) entre juin et août 2011, (B) entre mai et juillet 2012. La limite entre la végétation et la plage est représentée par une isoligne de couleur verte sur les MNT.	- 104 -

Figure 3.26: Modèles numériques de terrains différentiels de la zone de plage suivie sur la plage de Yalimapo entre août 2011 et novembre 2012, pour la saison sèche, (A) entre août et octobre 2011, et (B) entre juillet et novembre 2012. La limite entre la végétation et la plage est représentée par une isoligne de couleur verte sur les MNT..... - 105 -

Figure 3.27: Profils topographiques du profil n°1 (Vigie) à l'Ouest de la plage..... - 106 -

Figure 3.28: Profils topographiques à l'Ouest de la plage (A) profil 2, (C) profil 3, (E) profil 4 et bilans sédimentaires volumiques associés (B) pour le profil 2, (D) pour le profil 3, (F) pour le profil 4. Les barres bleu et jaune au bas des graphiques de volumes représentent les saisons des pluies et saison sèche respectivement..... - 107 -

Figure 3.29: Profils topographiques à l'Ouest de la plage (A) profil 2, (C) profil 3, (E) profil 4 et bilans sédimentaires volumiques associés (B) pour le profil 2, (D) pour le profil 3, (F) pour le profil 4..... - 108 -

Figure 3.30: Profils topographiques à l'Est de la plage (A) profil 5, (C) profil 6, (F) profil 7 et bilans sédimentaires volumiques associés (B) pour le profil 5, (D) pour le profil 6, (E) pour le profil 7. Les barres bleu et jaune au bas des graphiques de volumes représentent les saisons des pluies et saison sèche respectivement. - 110 -

Figure 3.31: Cartes bathymétriques de l'avant-plage de la plage des Hattes en Août 2011 (A), Mars 2013 (B) et le différentiel entre les deux dates (C), ainsi que deux profils cross-shore sur le banc (D) et (E)..... - 112 -

Figure 3.32: MNT différentiel entre août 2011 et mars 2013 sur la plage des Hattes (fond de carte, Orthophoto 2012, IGN©). - 113 -

Figure 3.33: Morphologie de l'avant banc de vase localisée devant le village d'Awala fin mai 2013, (A) localisation du secteur, (B) Modèle numérique de terrain de l'avant banc; (C) profil longshore extrait (position sur le B), Photographies des différents faciès rencontrés sur l'avant banc de vase; (D) banc consolidé, (E) vase molle, (F) vase fluide. - 115 -

Figure 3.34: Localisation des capteurs de pression sur les transects et atténuation de la houle correspondante en longshore (A) - 116 -

Figure 3.35: Résultats du déploiement des courantomètres: (A) la journée du 15/05 avec la hauteur d'eau (m), la vitesse du courant ($m.s^{-1}$) et la direction du courant ($^{\circ}$); (B) la journée du 16/05 avec la hauteur d'eau (m), la vitesse du courant ($m.s^{-1}$) et la direction du courant ($^{\circ}$)..... - 117 -

Figure 3.36: Courbe granulométrique de pourcentages de refus de tamis en fonction de la taille des grains, (A) échantillons à mi- estran, (B) échantillons à bas estran..... - 119 -

Figure 3.37: Profils topographiques de l'estran pour le profil n°8 (avant banc) localisé à proximité du lieu Simili entre avril 2012 et mars 2014..... - 119 -

Figure 3.38: Photographies du site de Simili entre août 2013 et février 2014 - 120 -

Figure 3.39: Modèle numérique de terrain différentiel entre mai 2013 et mars 2014 sur la zone à l'avant banc ... - 120 -

Figure 3.40: Profils topographiques de l'estran de la plage banc pour le profil 9 - 121 -

Figure 3.41: Carotte sédimentaire extraite du bas de plage à la limite de l'estran vaseux et de la plage sableuse.. - 122 -

Figure 3.42: Carotte sédimentaire extraite du bas de plage à la limite de l'estran vaseux et de la plage sableuse.. - 122 -

Figure 3.43: Photographies prises sur la plage fossilisée d'Awala montrant les interactions des substrats sableux et vaseux (A et B) et des patterns de sédiments grossiers, cailloux et débris coquillers (C). - 123 -

Figure 3.44: (A) Localisation du site atelier par rapport à Kourou; (B) Modèle numérique de terrain réalisé sur le chenier de la Malmanoury le 09/08/2011; (C) Profil extrait (référence sur le MNT) du MNT ; (D) et (E) photographies de la plage correspondant à l'encadré rouge de la figure C (crédit photos, Péron©). - 125 -

Figure 3.45: Modèles numériques de terrain sur le secteur (B/C) de l'arrière-banc du Kourou entre le 26/03/2013 et le 28/05/2013 et modèle numérique de terrain avec la localisation de l'isocontour 1.2m. - 126 -

Figure 4.1: Nombre de pontes de tortues luth sur les plages d'Awala-Yalimapo et Cayenne entre 2001 et 2013 (encadré rouge correspondant à la présence du banc de vase sur les plages de Cayenne). - 131 -

Figure 4.2: Images satellites de l'Ouest guyanais (2001 (a); 2005 (b); 2012 (c) et de l'île de Cayenne (2003(d); 2005(e); 2011 (f). - 132 -

Figure 4.3: Répartition temporelle des pontes de tortues vertes (vert) et tortues luth (bleu) sur la plage des Hattes au cours des saisons 2012 et 2013 (nombre de pontes par jour) (données IPHC-CNRS Strasbourg). - 133 -

Figure 4.4: Nombre d'atterrissages de tortues luth réparties en fonction du marnage («<1m», «1-1,5m», «1,5-2m», «2-2,5m», «2,5-3m», «>3m»). - 134 -

Figure 4.5: Nombre d'atterrissages de tortues vertes réparties en fonction du marnage («<1m », «1-1,5m», «1,5-2m», «2-2,5m», «2,5-3m», «>3m»). - 135 -

Figure 4.6: Graphiques présentant les conditions hydrodynamiques exercées sur la plage de Yalimapo avec la direction (°) et la vitesse (mm.s^{-1}) du courant en fonction du cycle tidal (hauteur d'eau (m)). (en rose: la marée montante; en bleu: la marée descendante). - 136 -

Figure 4.7: Distribution des tortues luth (en pourcentage par rapport au nombre total d'atterrissages) en fonction du cycle de marée (F (=Flot), J (=Jusant), exemple : F (-6) entre -6h et -5hr avant la pleine mer). - 137 -

Figure 4.8: Distribution des tortues vertes (en pourcentage par rapport au nombre total de pontes) en fonction du cycle de marée (F (=Flot), J (=Jusant), exemple : F (-6) entre -6h et -5hr avant la pleine mer). - 138 -

Figure 4.9: Distribution moyenne des tortues luth sur la zone 1 en fonction du nombre total de pontes (%) . - 139 -

Figure 4.10: Carte de densité de distribution des nids de tortues luth sur la zone 1 de la plage de Yalimapo en 2011, 2012, 2013. - 140 -

Figure 4.11: Distribution des tortues vertes sur la zone 1 en fonction du nombre total de pontes (%). - 141 -

Figure 4.12: Carte de densité de distribution des pontes de tortues vertes sur la zone 1 de la plage de Yalimapo, au cours des saisons 2012 et 2013. - 142 -

Figure 4.13: Répartition (%) des tortues luth sur la zone 1 en fonction du nombre total de montées sur la plage (zone 1+2) par tranche de 100m en fonction du cycle de marée au cours des saisons 2011, 2012 et 2013. Flot (-4hr): entre 3 et 4hr avant marée haute; Flot(-3hr): entre 2 et 3hr avant marée haute; Flot (-2hr) : entre 1hr et 2hr avant marée haute; Flot (-1hr): l'heure avant marée haute; Jusant (+1hr): de marée haute à 1hr après; Jusant (+2hr): entre 1hr et 2hr après marée haute; Jusant (+3hr): entre 2 et 3hr après marée haute; Jusant(+4hr): entre 3 et 4hr après marée haute. - 143 -

Figure 4.14: Répartition (%) des tortues vertes sur la zone 1 en fonction du nombre total de montées sur la plage (zone 1+2) par tranche de 100m en fonction du cycle de marée au cours des saisons 2012 et 2013. Flot (-4hr): entre 3 et 4hr avant marée haute; Flot(-3hr): entre 2 et 3hr avant marée haute; Flot (-2hr):entre 1hr et 2hr avant marée haute; Flot (-1hr): l'heure avant marée haute; Jusant (+1hr): de marée haute à 1hr après; Jusant (+2hr):

entre 1hr et 2hr après marée haute; Jusant (+3hr) entre 2 et 3hr après marée haute; Jusant (+4hr): entre 3 et 4hr après marée haute.....	- 144 -
Figure 4.15: Pourcentage moyen de distribution des animaux selon les hauteurs d'eau de sortie des animaux sur les trois zones de plage sur les trois saisons.....	- 145 -
Figure 4.16: Pourcentage moyen d'atterrissages de tortues luth en fonction du marnage sur les trois saisons.....	- 146 -
Figure 4.17: Hauteurs d'eaux moyennes des sorties de tortues luth correspondant aux sections de plage depuis l'embouchure du Maroni par section de 100m.....	- 147 -
Figure 4.18: Pourcentage moyen de distribution des tortues vertes selon les hauteurs d'eau de sortie des animaux sur les trois zones de plage sur les trois saisons.....	- 147 -
Figure 4.19: Pourcentage moyen d'atterrissages de tortues vertes en fonction du marnage sur les trois saisons. ...	- 148 -
Figure 4.20: Hauteurs d'eaux moyennes de sorties des tortues vertes correspondant aux sections de plage depuis l'embouchure du Maroni.....	- 148 -
Figure 4.21: Débits moyens journaliers du fleuve Maroni à la station Langa Tabiki pendant la saison de ponte 2012.	- 149 -
Figure 4.22: Répartition des tortues luth (%) à marée descendante durant (A) les marées de mortes eaux (ME) et (B) de vives eaux (VE) en fonction du débit du fleuve Maroni («<2000m ³ .s ⁻¹ », «2000-3000 m ³ .s ⁻¹ », «3000-4000 m ³ .s ⁻¹ », «4000-5000 m ³ .s ⁻¹ », «>5000 m ³ .s ⁻¹ ».....	- 150 -
Figure 4.23: Répartition des tortues vertes (%) à marée descendante durant (A) les marées de mortes eaux (ME) et (B) de vives eaux (VE) en fonction du débit du fleuve Maroni («<2000m ³ .s ⁻¹ », «2000-3000 m ³ .s ⁻¹ », «3000-4000 m ³ .s ⁻¹ », «4000-5000 m ³ .s ⁻¹ », «>5000m ³ .s ⁻¹ ».....	- 151 -
Figure 4.24: Les différents faciès de plage rencontrés sur la plage des Hattes: un secteur Ouest à l'embouchure du fleuve avec une façade érosive modulée par les fluctuations des conditions hydrodynamiques estuariennes du secteur ; suivi d'un secteur avec une plage large à pente douce sans talus avec un banc de sable accolé à la plage ; un secteur plus à l'est en érosion avec des talus d'érosion.	- 152 -
Figure 4.25: Répartition (%) des tortues luth en fonction du profil de plage (Bas de talus (bleu), limite sable/végétation (gris), végétation (vert) et sable (jaune)) sur la zone 1 en 2012 et 2013.....	- 153 -
Figure 4.26: Répartition (%) des tortues vertes en fonction du profil de plage (Bas de talus (bleu), limite sable/végétation (gris), végétation (vert) et sable (jaune)) sur la zone 1 en 2012 et 2013.....	- 154 -
Figure 4.27: Résultats de l'analyse granulométrique, le pourcentage de refus au tamis (A) et les fréquences cumulées; (B) pour des échantillons type à mi- estran, à la limite de l'estran et de la végétation et au sein de la végétation supralittorale.	- 155 -
Figure 4.28: A/ MNT différentiel entre mars 2011 et mars 2012 sur la zone 1 ; B/ Carte de différentiel de ponte de tortues luth entre 2011 et 2012 ; C/ MNT différentiel entre mars 2013 et mars 2012 sur la zone 1 ; D/Carte de différentiel de ponte de tortues luth entre 2012 et 2013.....	156
Figure 4.29: Distribution des atterrissages de tortues luth sur les zones 1 & 2 en 2011 et 2013 en fonction du nombre d'atterrissages uniquement sur la zone 1.....	- 157 -
Figure 4.30: A/ MNT différentiel entre mars 2012 et mars 2013 sur la zone 1; B/ Différentiel de ponte des tortues vertes entre 2012 et 2013.....	- 159 -

Figure 4.31: Distribution des atterrissages de tortues vertes sur les zones 1 & 2 en 2012 et 2013 en fonction du nombre d'atterrissages uniquement sur la zone 1.....	- 160 -
Figure 4.32: Différence de fréquentation (%) des tortues luth entre 2011 et 2012 confrontée à l'évolution de haut de plage représentée par la limite de végétation.....	- 162 -
Figure 4.33: Différence de fréquentation (%) des tortues luth entre 2012 et 2013 confrontée à l'évolution de haut de plage représentée par la limite de végétation.....	- 162 -
Figure 4.34: Différence de fréquentation (%) des tortues vertes entre 2012 et 2013 confrontée à l'évolution de haut de plage représentée par la limite de végétation.....	- 163 -
Figure 4.35: Classification des zones de pontes à partir des modèles numériques de terrain différentiel entre mars 2011 et mai 2013 : Zone en danger (érosion supérieure à 50cm), Erosion <50cm, zone stable et zone en accréation.....	- 165 -
Figure 4.36: Répartition moyenne des demi-tours de tortues luth sur la zone 1 entre 2011 et 2013.....	- 166 -
Figure 4.37: Répartition moyenne des demi-tours de tortues vertes sur la zone 1 entre 2012 et 2013.....	- 167 -
Figure 4.38: Trajectoires de cinq tortues luth équipées de GPS à leur départ (TL) et leur retour (TL2, TL4) de la plage des Hattes (Orthophoto 2012, IGN©).....	- 168 -
Figure 4.39: Trajectoires des cinq tortues vertes à leur départ et retour (TV1 et TV5) de la plage de ponte des Hattes (Orthophoto 2012, IGN©).....	- 170 -
Figure 4.40: Trajectoires de tortues vertes équipées de GPS à leur départ (TV 4 (A) et retour (TV5 (B)) de la plage des Hattes (Orthophoto 2012, IGN©).....	- 171 -
Figure 5.1: Images satellites (© SPOT, image) du littoral de Kourou de 1994 à 2011 et distribution du sédiment (flèche jaune).....	- 177 -
Figure 5.2: Evolution des plages de l'île de Cayenne (de Anthony et Dolique, 2004).....	- 179 -
Figure 5.3: Evolution du nombre de ponte de tortues luth depuis 2001 sur la plage d'Awala-Yalimapo.....	- 180 -
Figure 5.4: Schéma de synthèse du fonctionnement hydrosédimentaire de la plage d'Awala-Yalimapo.....	- 182 -
Figure 5.5: Plage d'Awala-Yalimapo au niveau du secteur de Simili: Juillet 2013, Décembre 2013, et Février 2014, mettant en évidence l'érosion progressive.....	- 181 -
Figure 5.6: Secteurs de plage protégés par le banc de sable, en sévère érosion, et protégée par l'avant-banc- -	184 -
Figure 5.7: Enrochements disposés sur le haut de plage à Cayenne pour protéger les habitations.....	- 185 -
Figure 5.8: Modèles numériques de terrain sur une portion de plage en mars 2012 (A) et mai 2012 (B) et profil longshore.....	- 187 -
Figure 5.9: Exemple pour les tortues luth de la répartition spatiale en fonction du flot et du jusant.....	- 190 -
Figure 5.10: Carte bathymétrique présentant les secteurs subtidaux avec une couche d'eau plus fine.....	- 191 -
Figure 5.11: Classification des zones de pontes par rapport aux modèles numériques de terrain différentiel entre mars 2012 et mai 2012 : Zone en danger (érosion supérieure à 50cm), Erosion <50cm, zone stable et zone en accréation.....	- 195 -

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Tableau récapitulatif des paramètres associés paramètres environnementaux, des références bibliographiques et des pays associés	- 23 -
Tableau 1.2: Tableau récapitulatif des paramètres environnementaux, des références bibliographiques et des pays associés	- 26 -
Tableau 2.1: Récapitulatif des périodes de déploiement du courantomètre houlographe en 2011 et 2012 sur l'avant plage de Yalimapo	- 39 -
Tableau 2.2: Tableau récapitulatif des périodes de déploiement du système Altus dans la zone intertidale de la plage des Hattes entre 2011 et 2012 et sur la vasière de l'avant banc en 2013.	- 41 -
Tableau 2.3: Tableau récapitulatif des périodes de déploiement des capteurs de pression dans la zone intertidale de la plage des Hattes entre 2011 et 2012 et sur les vasières en 2013.....	- 42 -
Tableau 2.4: Récapitulatif des dates de réalisation des profils 2-D cross-shore et des modèles numériques de terrain sur la plage d'Awala-Yalimapo et de Kourou	- 50 -
Tableau 2.5: Récapitulatif des dates de réalisation des piquets de swash	- 52 -
Tableau 2.6: Date de réalisation des levés bathymétriques sur la plage des Hattes.....	- 54 -
Tableau 2.7: Récapitulatif des données utilisées pour l'analyse diachronique	- 57 -
Tableau 2.8: Classification granulométrique de Wentworth (1924)	- 61 -
Tableau 2.9: Extrait du tableur de données des tortues marines comportant les différents paramètres : année (saison), PIT, Espèce (tortue verte :TV ; tortue luth :TL ;tortue olivâtre : TO ; tortue imbriquée : TI), Date, nuit de la saison, F/J (tortue retrouvée à marée montante (F) ou marée descendante (J), Marnage, heure (heure de rencontre), ME/VE (ME :morte eau ; VE : vive-eau), zone sur laquelle la tortue a atterri (Z1 : zone 1 ; Z2 : zone 2), hauteur d'eau correspondant à l'heure de sortie), E (coordonnées Est), N (coordonnées N), comportement de l'animal, habitat	- 63 -
Tableau 2.10: Numéro de profil correspondant aux sept zones et distance par rapport à l'embouchure	- 65 -
Tableau 4.1: Distribution (en %) des tortues luth sur les zones 1 et 2 en 2011, 2012, 2013.....	- 138 -
Tableau 4.2: Distribution (en %) des tortues vertes sur les zones 1 et 2 en 2012, 2013.	- 141 -
Tableau 4.3: Résumé de la distribution mensuel des lieux de ponte de tortues luth de 2011 à 2013 (% par mois) -	157 -
Tableau 4.4: Résumé de la distribution des nids de tortues vertes au cours des saisons 2012 et 2013 (% par mois)	- 160 -

Abréviations

TL : Tortue luth

TV : Tortue verte

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

VE : Vive-eau

ME : Morte-eau

MNT : Modèle numérique de terrain

Hs= Hauteur significative de houle (m)

T=Période de houle (s)

z = hauteur altimétrique (m)

Advice from a Sea Turtle

"Swim with the current

Be a good navigator

Stay calm under pressure

Be well-travelled

Think long term

Age gracefully

Spend time at the beach! "

Ilan Shamir

INTRODUCTION

Les côtes de la Guyane française sont rythmées par une dynamique sédimentaire particulière avec des interactions complexes entre littoraux sableux et la migration d'entités vaseuses. Sur ce même littoral, les plages sableuses accueillent les pontes de trois espèces emblématiques de tortues marines. La présence de sédiments vaseux vient modifier la qualité du substrat de ponte qui a un rôle majeur sur le succès à l'incubation des œufs déposés. Une approche pluridisciplinaire intégrant la dynamique morphosédimentaire du littoral d'accueil et l'activité et le comportement de ponte des tortues marines sur le littoral guyanais permettrait d'avoir une vision plus globale des enjeux de cette forte instabilité littorale sur le devenir des populations de tortues marines

Dans ce contexte, cette thèse a bénéficié de l'appui du CNES et de l'Institut National Environnement et Ecologie du CNRS dans le but de consolider la recherche sur le domaine marin en Guyane par notamment une approche pluridisciplinaires à l'interface entre la dynamique morphosédimentaire du littoral et l'écologie marine. Cette thèse a été également une étape à la concrétisation de la volonté du CNRS de s'implanter durablement dans l'Ouest guyanais en proposant de répondre par une étude fondamentale à certaines préoccupations des communautés locales et des acteurs du territoire.

Chapitre 1

Etat des connaissances

Partie 1. La zone littorale

Partie 2. Une dynamique morphosédimentaire très contrastée en Guyane

Partie 3. Un littoral guyanais riche en biodiversité : les tortues marines

Partie 4. Sites d'étude

Partie 5. Problématiques et objectifs de l'étude



Dans ce chapitre, nous introduisons les notions de base de cette étude. Nous décrivons la dynamique morphosédimentaire des écosystèmes côtiers guyanais ainsi que leur fonction d'accueil en tant qu'habitat de ponte pour certaines espèces de tortues marines. Ce chapitre s'articule en cinq sous-parties. La première partie introduit la particularité de la zone littorale. La seconde partie décrit le contexte morphosédimentaire complexe des côtes guyanaises. La troisième partie se concentre sur l'écologie des plages de ponte des tortues marines, fréquentant le littoral sableux guyanais. La quatrième partie présente les sites d'étude. La dernière partie, expose les problématiques et les objectifs de ces travaux de recherche.

PARTIE 1. LA ZONE LITTORALE

Interface entre l'océan hauturier et le domaine continental, les domaines côtiers sont les environnements les plus diversifiés, les plus dynamiques et les plus productifs. La zone littorale abrite des milieux diversifiés, comprenant aussi bien des environnements homogènes (plage de galets, plage de sable, vasière) qu'hétérogènes (mixtes de substrat) (Holland & Elmore, 2008). Près d'un tiers des côtes sont occupées par des secteurs sableux (Hardisty, 1994). Sur ces littoraux meubles, la tendance érosive naturelle est amplifiée par les actions anthropiques (plus de 80% des plages mondiales sont en érosion (Pilkey & Hume, 2001)). Afin d'assurer la préservation de ces milieux fragiles, il est nécessaire de suivre leur évolution. L'évolution morphodynamique des littoraux consiste à faire le lien entre les forçages hydrodynamiques et les processus de transport sédimentaire (Wright & Thom, 1977).

Dans un contexte de réchauffement climatique, l'élévation du niveau moyen des océans et l'augmentation de la fréquence des événements exceptionnels de fortes énergies (tempêtes, cyclones) vont accélérer l'érosion côtière et le recul du trait de côte (Cowell *et al.*, 2006; Slott *et al.*, 2006). La principale menace des plages sableuses dans le monde est le rétrécissement de la bande sableuse. Cet espace subit une dynamique érosive des sédiments pour le côté marin mais aussi une forte pression anthropique sur le domaine terrestre, ne laissant que peu d'espace pour les processus sédimentaires naturels (Defeo *et al.*, 2009). Cette même érosion de la frange côtière, met en péril les installations humaines qui bordent le littoral, ce qui en fait donc une des préoccupations majeure de notre société (Bird, 1985). L'épuisement des stocks sableux est le résultat d'un déficit des apports de ces sédiments vers les plages, accentué par des perturbations du transit sédimentaire en raison d'aménagement ou d'infrastructures à proximité de ces zones. L'épuisement des ressources sédimentaires ne permet plus de compenser les pertes.

La fonctionnalité des écosystèmes littoraux a été répertoriée par Defeo *et al.* (2009) qui font état de l'importance de ces environnements. En effet, cette interface entre le domaine terrestre et marin

constitue, une zone tampon pour la dissipation des vagues, protégeant ainsi la côte des événements extrêmes tels que des tempêtes ou tsunamis. Ces écosystèmes côtiers ont également un rôle écologique majeur puisqu'ils maintiennent la biodiversité marine et les ressources génétiques. L'hétérogénéité des habitats côtiers fait de ces derniers, des sites multifonctions pour la faune, servant ainsi de zones d'alimentation pour les oiseaux et certaines espèces terrestres, d'aire de repos pour certains mammifères marins (éléphants de mer, phoques) et de site de nidification pour les oiseaux et les tortues marines (Defeo et *al.*, 2009).

Ces littoraux sableux peuvent également être en interaction avec des substrats de nature différente. Cette hétérogénéité peut être différenciée en sept classes (Holland & Elmore, 2008) comprenant notamment des côtes à cheniers, des vasières mixtes ou encore des plages à placage de vase. A la différence des côtes de composition sédimentaires homogènes, la dynamique des milieux hétérogènes reste mal connue en raison de la complexité des processus mis en jeu (Holland & Elmore, 2008).

PARTIE 2. UNE DYNAMIQUE MORPHOSEDIMENTAIRE TRES CONTRASTEE EN GUYANE

1. Contexte : géographique, climatique et hydrodynamique

1.1. Généralités

Dominé par les apports sédimentaires vaseux de l'Amazone, le littoral des Guyanes est la plus longue côte vaseuse mais aussi le plus long linéaire de côte à cheniers, ce qui en fait un exemple unique de côtes hétérogènes (Augustinus, 1978 ; Prost, 1989 ; Anthony et *al.*, 2010). En général, les côtes vaseuses se développent dans des zones abritées, protégées de toute action de la houle ou situées à proximité de grands estuaires. En l'absence d'agitation, ces sédiments vaseux sont confinés à proximité de leurs lieux d'expulsion. Les côtes sous dominance océanique sont majoritairement constituées de plages sableuses ou de galets. Une redistribution longitudinale des sédiments fins, rejetés par les fleuves très chargés en particules, peut entraîner la formation d'importants linéaires de côtes composés de sédiments vaseux (Wright and Nittrouer, 1995; Anthony, 2009 ; Anthony et *al.*, 2010). Les côtes du delta du Mekong (Tamura et *al.*, 2010), le golfe de Nouvelle-Guinée (Walsh and Nittrouer, 2004), ou encore la côte à chenier du Mississippi (Russell et Howe, 1935; Price, 1955; Mc Bride et *al.*, 2007) sont représentatifs des côtes sous influence de grands fleuves. La façade Atlantique des côtes sud-américaines, s'étendant sur près de 1500 km, du Cap Cassiporé (Brésil) à l'embouchure de l'Orénoque (Venezuela), est dominée par des dépôts vaseux provenant essentiellement de l'Amazone (Boye, 1961; Nedeco, 1968; Gibbs, 1976; Froidefond et *al.*, 1988).

La particularité de cette côte est liée à la présence du fleuve Amazone et à son envergure. En effet, avec un débit moyen de $200000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ce fleuve déverse chaque année dans l'océan Atlantique près de $754.10^6 (\pm 9\%)$ tonnes de sédiments en suspension (Martinez et *al.*, 2009). Un delta sédimentaire

subaquatique de faible profondeur se forme au large de l'estuaire de l'Amazone par contact avec le front de salinité qui piège les particules sédimentaires fines, amenant ainsi à la création de vases fluides (Rockwell Geyer et *al.*, 1995a, 1995b, 2004). Cette vase fluide est alors remobilisée par la houle puis transportée à la côte (Wells et Coleman, 1978; Allison et *al.*, 1995). Entre 10 à 15% de ces particules, migrent, longeant la côte vers le Nord-Ouest, soit sous forme turbide ou soit sous forme de vase fluide ($> 1 \text{ g.l}^{-1}$), dont la forme est modulée par le débit de l'Amazone, la direction des vents et les courants de surface. Ces sédiments semblent s'accumuler au niveau du Cap Cassiporé (Brésil). Des entités sédimentaires de plusieurs kilomètres de long se différencient et se détachent de la côte lorsqu'un seuil de rupture est atteint (non connu à ce jour). On parle dès lors de «bancs de vase», qui sont composés à 90 % de silt et de minéraux argileux (majoritairement: Illites, kaolinites et smectites) (Pujos et *al.*, 1996). La genèse et le détachement des bancs de vase du Cap Cassiporé restent encore mal connus. L'influence combinée des houles et des courants Nord Brésil, et des Guyanes engendre une migration de ces bancs de vase le long des côtes s'étendant du Brésil au Venezuela (figure 1.1) (Nedeco, 1968; Gibbs, 1976; Augustinus, 1978; Prost, 1986; Froidefond et *al.*, 1988; Eisma, 1988; Nittrouer et *al.*, 1995; Warne et *al.*, 2002; Anthony et *al.*, 2010).

Le long de cette côte, la migration des bancs de vase provoque des alternances de phase d'accrétion et d'érosion. Les fluctuations du trait de côte le long des côtes des Guyanes, entraînent des modifications de l'écosystème côtier qui peut donc être très changeant selon le passage des bancs de vase. L'installation d'un banc de vase à la côte est de ce fait associée à un développement rapide d'une végétation de mangrove qui représente un élément indissociable de cette dynamique littorale. Cette formation forestière éphémère est résiliente face à la forte instabilité morphosédimentaire de ce littoral. La région des Guyanes possède donc l'une des côtes à mangrove les plus étendues et relativement préservées, hormis le Guyana où les autorités ont artificialisé (murs et digues) la majeure partie du littoral.

Les phases érosives, permettent si un stock sédimentaire est disponible, la création de cheniers. Otvos et Price (1979) définissent un chenier comme étant un sillon de sable reposant sur un substrat vaseux qui est isolé de la côte par l'installation d'une vasière entre celui-ci et la mer. La présence d'au moins deux systèmes de cheniers séparés l'un de l'autre par un dépôt vaseux, forme une *plaine à chenier* (Price, 1955 ; Otvos et Price, 1979 ; Augustinus, 1989).

Les cheniers se forment le long des côtes vaseuses, progradantes de faibles énergies (Augustinus, 1989). Cependant, du matériel grossier peut être transporté lors d'évènements plus énergétiques, aidant ainsi à la construction des cheniers. Leur développement est favorisé par une interruption des apports de vase sur les lignes de rivages avec une avancée vers la mer (Otvos et Price, 1979 ; Augustinus, 1989).

Deux processus peuvent être mis en jeu dans la formation des cheniers: 1) le chenier est formé via la houle qui permet un vannage des sédiments les plus grossiers contenus dans les bancs de vase; 2) le

chenier est formé par l'érosion des secteurs sableux en amont dérive et des sédiments fluviaux (si à proximité de l'embouchure d'un fleuve) qui sont transportés par la dérive littorale.

Les côtes à cheniers sont présentes des régions tropicales aux régions subarctiques et présentent diverses morphologies (Augustinus, 1989). Elles sont dominées par une sédimentation fine et sont caractérisées par de faibles énergies de houles. Parmi les plus importantes côtes à cheniers, on peut citer celles de Louisiane qui furent les premières décrites dans la littérature (Russell et Howe, 1935), celles du Nord-Est australien (Davies, 1980) mais aussi d'Afrique de l'Ouest (Anthony, 1989) et de la région des Guyanes considérée comme la plus longue du monde (Augustinus, 1978, 1989; Prost, 1989). Ces dernières sous influence amazonienne, comprennent les côtes du Nord Brésil (Amapa), de Guyane française, du Suriname et du Guyana (figure 1.1).



Figure 1.1: Localisation de la plus longue côte vaseuse et de cheniers du monde s'étendant du Nord Brésil jusqu'au Venezuela (Image Google Earth)

1.2. La Guyane française

La Guyane française ($4^{\circ}13'45''$ N; $52^{\circ}59' 20''$ O) située au nord de l'équateur, est le seul département français en Amérique du sud. D'une superficie de 84000 km², ce département d'outre-mer est couvert à 95 % de forêt amazonienne et est bordé de près de 320 km de côte. Les deux plus grands fleuves guyanais (fleuves Maroni et Oyapock) constituent les frontières naturelles avec le Suriname à l'Ouest et le Brésil à l'Est.

La Guyane, est soumise à un climat équatorial, influencée par la proximité de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT). Celle-ci correspondant à une zone de convergence des alizés du Nord-Est (soufflant en janvier/février et provenant de l'anticyclone des Açores) et des alizés du Sud-Est (présent en juillet/août et venus de l'anticyclone de Sainte-Hélène) (Bourret, 2005). La ZCIT oscille du Nord

au Sud tout au long de l'année et passe au-dessus de la Guyane deux fois par an. Son climat est rythmé par deux saisons divisées en quatre périodes : deux saisons des pluies (de fin mars à juillet et mi-novembre à fin janvier), une longue saison sèche (août à mi-novembre) et une petite saison sèche de fin février à mars.

Les côtes de Guyane sont sous l'influence du courant Nord Brésil et des Guyanes. Ces courants Sud-équatoriaux se déplacent selon la direction Sud-Sud-Est/Nord-Nord-Ouest. Deux régimes de houles se distinguent avec une période plus calme de juin à septembre et une période plus énergétiques d'octobre à mai (Gratiot et *al.*, 2007) (figure 1.2). En réponse aux alizés, les houles arrivant à la côte s'orientent de l'Est vers le Nord-Est. Les paramètres de houle typique rencontrés le long de la côte ont des hauteurs significatives de 1 à 2,5 m pour des périodes comprises entre 7 et 10 s (Gratiot et *al.*, 2007).

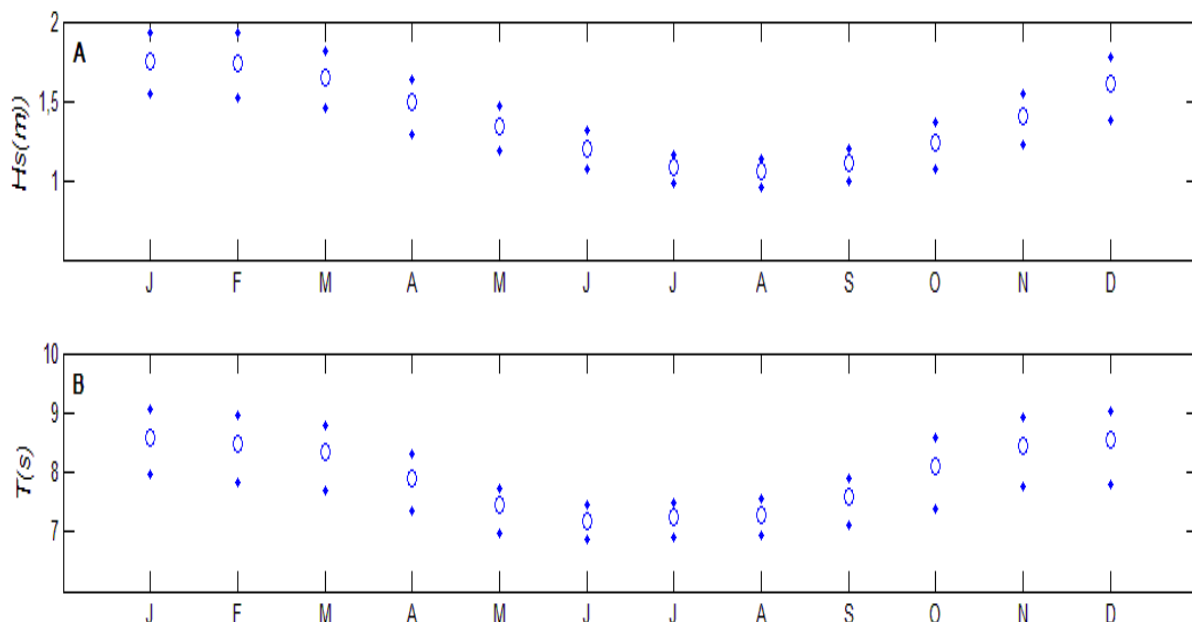


Figure 1.2: Paramètres de houle : Hauteur significative (Hs) et Période (s) moyennées obtenues à partir du modèle d'ERA-40 généré par le European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) entre 1960 et 2009. Les points représentent le premier et le troisième interquartile et les cercles les valeurs médianes (actualisé de Gratiot et *al.*, 2007).

Gensac (2012) montre une diminution d'influence du courant des Guyanes pour les petits fonds (< 5m) et les courants de marées y sont dominants. Les régimes de marées sont semi-diurne de type micro à mesotidal ($H_s < 4$ m) d'une durée de 25h50 (Pujos et Froidefond, 1995) (figure 1.3). Le courant de marée rencontré sur les côtes guyanaises est un courant avec un flot et un jusant de directions différentes. Des études menées par Pujos et Froidefond (1995) sur le littoral de Cayenne ont montré un jusant de direction Nord-Ouest de même direction que le courant des Guyanes, avec une orientation du flot à l'Ouest. Ces directions sont modifiées selon la localisation des mesures et l'influence plus ou moins marquée des estuaires. Le régime hydrodynamique des côtes amazoniennes

est fortement contrôlé par la circulation tidale ainsi que par l'activité épisodique de phénomènes cycloniques du Nord de l'Atlantique.

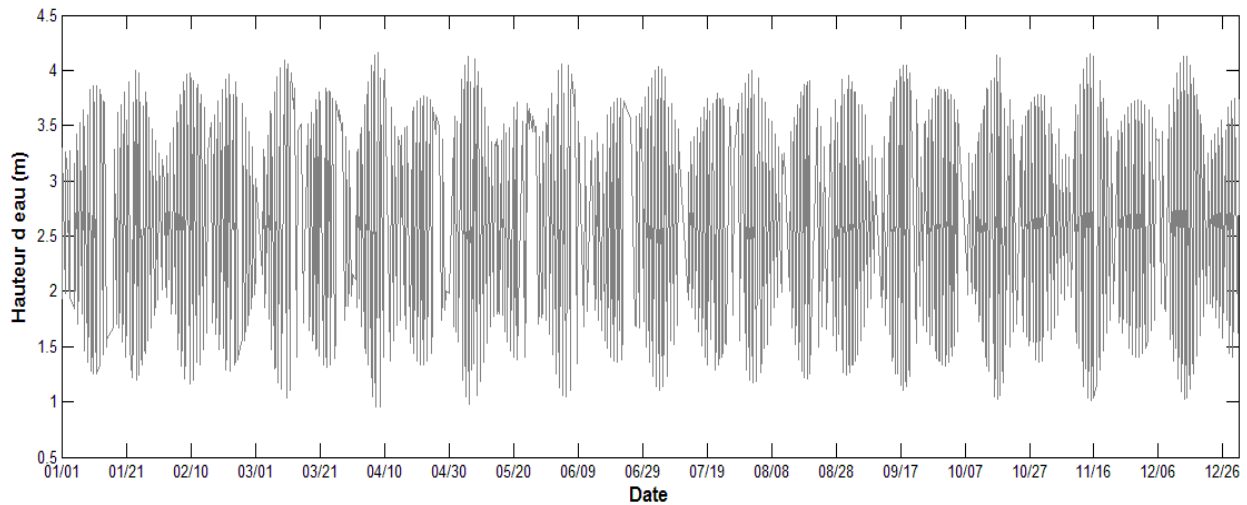


Figure 1.3: Marégramme du modèle de prédiction du SHOM aux îles du Salut (Guyane) en 2012

2. Organisation de la côte

A moins de 500 km de l'embouchure de l'Amazone, les côtes guyanaises subissent l'influence directe du système de dispersion amazonien. Ces côtes sont caractérisées par des fluctuations de la ligne de rivage en raison de la migration de vastes bancs de vase le long de la côte, sous l'action des houles et des courants (Froidefond et *al.*, 1988 ; Prost et Charron, 1991). Les travaux réalisés sur cette thématique ont montré un changement de morphologie de ces bancs de vase au fur et à mesure de leur migration (Augustinus, 1978; Froidefond et *al.*, 1988). Dès leur formation sur les côtes de Guyane française, ceux-ci sont plus compacts puis tendent à s'étirer au cours de leur migration jusqu'à l'Orénoque. Sur le littoral de Guyane française, ces bancs de vase s'étendent sur 60 km de long, sur une largeur comprise entre 20 et 30 km pour une épaisseur de 5 m (Froidefond et *al.*, 1988; Eisma et *al.*, 1991; Prost et Charron, 1991; Allison et *al.*, 2000). Leur topographie est très plane avec une pente de 1:2000 pour la partie intertidale contre 1:1000 pour la zone subtidale (Gardel et Gratiot, 2005). Ces zones de bancs présentent des profils convexes d'accrétion vaseuse et de progradation (Gratiot et *al.*, 2007).

Divers travaux ont permis d'estimer des vitesses d'avancement des bancs de vase en Guyane française qui migrent à des vitesses de 0,2 à 5 km.an⁻¹ (Froidefond et *al.*, 1985; 1988 ; Prost, 1990 ; Gardel et Gratiot, 2005). La migration des bancs de vase n'est pas uniforme le long du littoral guyanais et semble être influencée par l'orientation de la côte et par les fleuves (Gardel et Gratiot, 2004; Gensac, 2012) mais également par les saisons qui modulent les conditions hydrométéorologiques (Froidefond et *al.*, 1985; Prost, 1990; Gensac, 2012).

2.1. Un littoral majoritairement vaseux...

Le littoral guyanais est soumis à l’alternance de phases d’accumulation et d’érosion. L’arrivée d’un banc de vase est suivie d’une progradation de la côte de plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres, entraînant des variations complexes du trait de côte. Cette forte dynamique se traduit donc par des secteurs en accrétion, séparés les uns des autres par des espaces en reculs nommés «espaces inter-bancs» (Augustinus, 1978; Prost, 1986; Froidefond et *al.*, 1988) (figure 1.4). Les bancs de vase migrent le long de la côte (Nord-Ouest) par l’érosion de la vase des parties distales donnant lieu à une accumulation vers les parties frontales (Augustinus, 1978). La vase fluide contenue dans la zone subtidale des bancs de vase, amortie considérablement la houle, protégeant ainsi les zones de bancs (Gratiot et *al.*, 2007; Winterwerp et *al.*, 2007). Cependant, l’arrière-banc n’est plus sous protection, de la zone subtidale, et connaît une érosion constante des vasières.

L’accumulation de sédiments fins à la côte provoque l’envasement des écosystèmes côtiers induisant une progradation du trait de côte, l’expansion de la mangrove de front de mer, la fossilisation des plages sableuses ou encore l’envasement des chenaux d’accès aux ports. Les zones inter-bancs quant à elles, sont des espaces sans protection et subissent l’attaque directe de la houle. La côte n’étant plus protégée, l’érosion de ces espaces est donc très rapide.

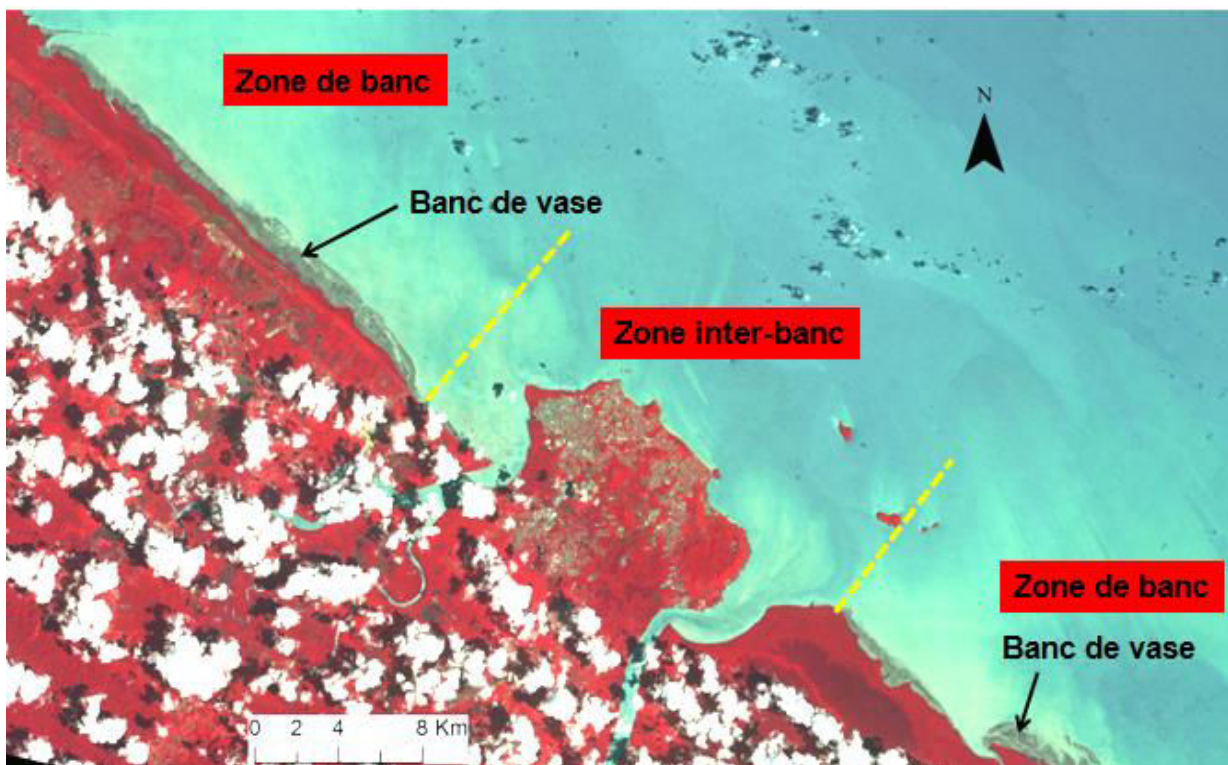


Figure 1.4: Organisation de la côte en zone de banc de vase et zone inter-banc (Est guyanais, Image SPOT©, Octobre 2010).

2.1.1. Composition d'un banc de vase

Un banc de vase se compose de quatre zones aux particularités fonctionnelles bien distinctes : une zone frontale en accrétion, une zone de colonisation, une zone d'érosion et une zone subtidale (figure 1.5). Les trois premières parties constituent la zone intertidale qui est soumise au régime de balancement des marées. Ces zones sont donc émergées à marée basse et peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres.

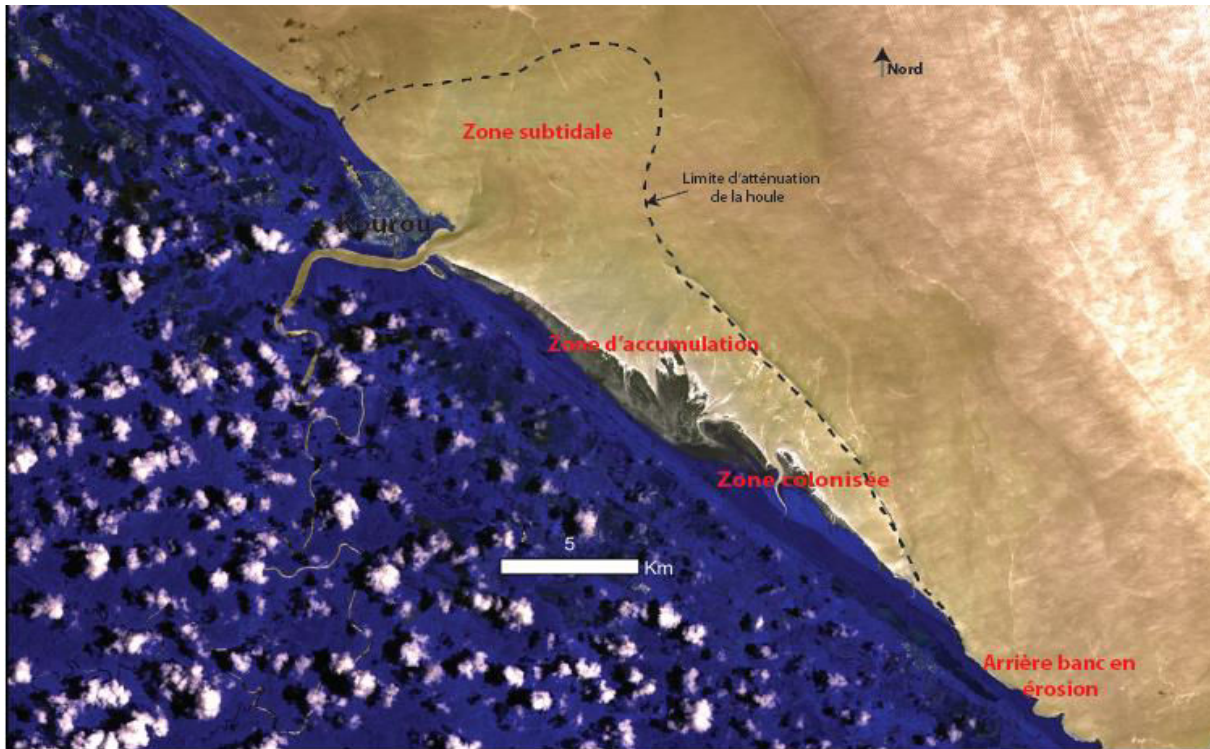


Figure 1.5: Composition d'un banc de vase: une zone subtidale (vase fluide), une zone d'accumulation à l'avant banc, une zone colonisée au milieu du banc et un arrière banc en érosion (Image SPOT©, septembre 2003).

2.1.1.1. La zone intertidale

La zone frontale du banc de vase ou « avant-banc » constitue la zone d'accumulation de vase, fluide à molle ($< 650 \text{ g.l}^{-1}$), nouvellement arrivée à la côte. Les apports de vase fluide sur la zone intertidale de l'avant-banc provenant de la zone subtidale, accroît de façon perpétuel l'altitude de la vasière (Gardel et *al.*, 2011, Gensac et *al.*, 2011). Au fur et à mesure, ces apports vaseux entraînent une consolidation de la vasière ($> 650 \text{ g.l}^{-1}$). La consolidation peut être reliée à l'altitude du substrat vaseux. Des fentes de dessiccation se forment lorsque les conditions d'assèchement liées aux fréquences d'émersion et donc à l'altitude des vasières sont suffisantes. Ainsi, il a été observé que ces conditions étaient atteintes pour des altitudes supérieures à 2,4m (Fiot et Gratiot, 2006; Gensac, 2012). Ces fentes sont propices au piégeage des propagules lors de l'arrivée des graines au moment de la fructification des palétuviers (Gardel et *al.*, 2009; Proisy et *al.*, 2009; Gensac, 2012) (figure 1.6), ce qui permettra une expansion rapide de la mangrove (90% du banc colonisé en trois ans (pour des altitudes $> 2,4 \text{ m}$), Gensac et *al.*, 2011). Sur la bordure côtière guyanaise, on retrouve le palétuvier

blanc ou bois de mèche *Avicennia Germinans* qui est quasi monospécifique et peut être accompagné secondairement par un second palétuvier blanc *Languncularia Racemosa*, alors que le palétuvier rouge *Rhizophora Racemosa* pousse le long des cours d'eau (Fromard et al., 1998).



Figure 1.6: Faciès de banc de vase en voie de colonisation sur une vasière avec des fentes de dessiccation

En l'absence de protection subtidale, l'arrière du banc de vase ou «arrière-banc», formé de vase consolidée ($> 700 \text{ g.l}^{-1}$) et colonisé par la mangrove, est assujéti à une érosion marquée. Le démantèlement du banc de vase va entraîner le détachement de blocs de vase consolidée, qui roulés, vont se modeler en galets de vase puis de galets mous jusqu'à redevenir de la vase fluide (figure 1.7). Cette vase fluidifiée par l'action de la houle est par la suite transportée vers l'avant-banc.



Figure 1.7: A/ Champ de galets mous sur le banc de vase de Kourou en érosion (© Gensac); B/ Galets mous sur une zone d'avant banc (Cheniers de la Malmanoury (Sinnamary), Août 2011 (© Péron)

2.1.1.2. La zone subtidale

A la différence des surfaces intertidales, l'extension subtidale des bancs de vase est en permanence immergée. Une pseudo-localisation de cette portion offshore peut être aisément détectée en utilisant l'amortissement de la houle sur la vase plus ou moins fluide ($< 650 \text{ g.l}^{-1}$) de la zone subtidale, mais

encore, par mesures *in-situ* (Gratiot et al., 2007; Gensac, 2012). La zone subtidale constitue la partie la plus importante du banc de vase (> 80 %). La surface subtidale présente une zone avant arrondie qui s'étant vers le large, résultant de l'accumulation de vases fluides dans cette portion frontale du banc alors qu'en se rapprochant de l'arrière-banc la houle déferle au plus proche de la côte.

2.1.2. Dynamique de migration des bancs de vase

Les surfaces subtidales et intertidales sont interdépendantes. La sédimentation des zones intertidales est régie par les apports de vase stockée dans la zone subtidale. En premier lieu, des paquets de vases fluides s'accolent à la côte et le rivage présent se retrouve peu à peu envasé.

Après de longues périodes de faibles conditions énergétiques ($H_s < 1$ m), correspondant à la fin de la saison sèche et aux marées de mortes eaux, les apports de vases fluides sont plus importants car mobilisés par les vagues d'énergies moyennes (Gratiot et al., 2007).

Deux processus de transports sédimentaires sont ainsi observés au sein de la partie subtidale (figure 1.8). La déformation des profils de houle, lors de leur amortissement à l'approche de l'extension subtidale (isobathe > 5 m) (Wells et Coleman, 1981; Gardel et Gratiot, 2005), résulte en un transport *transversal*.

Cette vase fluide est alors transportée en direction de la côte et alimente les vasières intertidales (Gensac, 2012). Le second type de transport est *longitudinal* et est régi par les courants côtiers. La vase fluide migre donc parallèlement à la côte et concerne particulièrement la vase fluide au plus proche de la côte (isobathe < 5 m) (Gensac, 2012). A l'approche de l'extension subtidale, les houles sont rapidement amorties sur cette vase fluide (Wells & Coleman, 1981; Wells, 1983 ; Wells & Kemp, 1986; Winterwerp et al., 2007, 2012). La position des limites d'atténuation de la houle est fluctuante puisqu'elle dépend du niveau d'eau et de la concentration en vase de la zone (Wells & Kemp, 1986; Winterwerp et al., 2007, 2012).

La migration des bancs de vase commence par une accumulation de vases fluides à l'avant du banc résultant de l'érosion puis de la liquéfaction de la vase consolidée de l'arrière banc (Allison & Lee, 2004; Gensac, 2012 ; Anthony et al., 2013). Ce recyclage de vase de l'arrière vers l'avant est donc le moteur de la migration des bancs entraînant un perpétuel remaniement de la vase le long de la côte.

La houle est donc responsable de la remise en suspension des particules fines, alors que les courants de marée, et le courant des Guyanes, assurent la dispersion et migration de ces sédiments (Pujos et Froidefond, 1995). Au plus proche de la côte, le courant des Guyanes à peu d'effet et les courants majoritaires ressentis sont les courants de marées (Gensac, 2012).

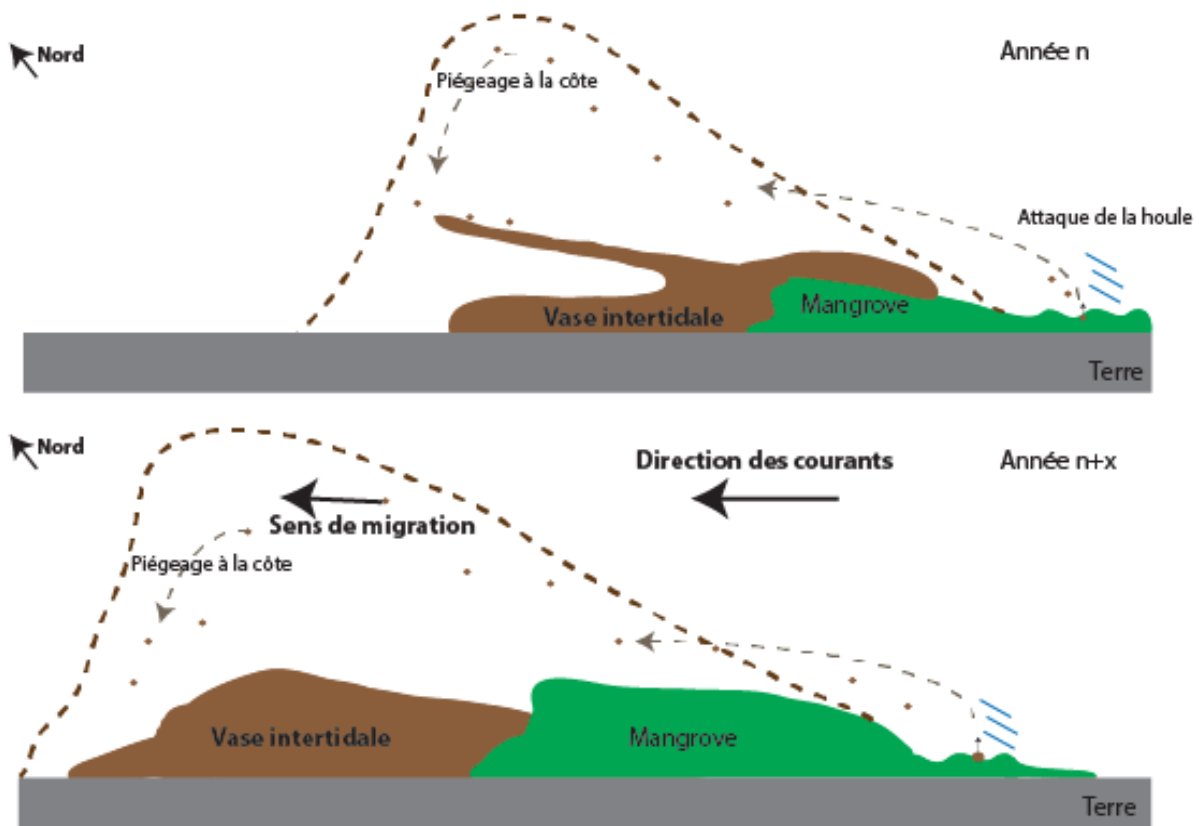


Figure 1.8: Schéma du protocole de migration des bancs de vase. L'arrièr-banc n'étant plus protégé par l'extension subtidale du banc (pointillé marron) l'attaque de la houle est plus prononcée et arrache des blocs de vase. Ces derniers seront par la suite fluidifiés par l'action de la houle et transportés avec les courants au sein de l'étendue subtidale du banc de vase. Cette vase sera ensuite transportée vers la côte et alimentera les vasières.

2.1.3. Des côtes en érosion

Entre deux bancs de vase, on retrouve des zones en recul où l'érosion est conséquente : les espaces inter-bancs. Ces portions de côte, n'étant plus protégées par l'extension subtidale des bancs qui amortissaient la houle, connaissent une forte érosion due à l'attaque directe des vagues jusqu'à 200 m.an⁻¹ (Gardel et Gratiot, 2006). Le remaniement périodique des côtes de Guyane provient du déplacement des zones de bancs et inter-bancs. Ainsi, en l'absence de banc de vase (suite à sa migration), la côte présente les reliquats d'une ancienne occupation par ce dernier, entraînant la disparition de la mangrove précédemment installée. Selon le stade d'érosion, ces espaces inter-bancs arborent de multiples faciès. La houle arrivant à la côte n'étant plus amortie, l'érosion s'intensifie et des croissants d'érosion (en dents de scie) se forment alors le long des mangroves érodées (figure 1.9). Cette érosion dans les zones inter-bancs peut entraîner la réactivation des plages (anciennement fossilisée par les vasières intertidales). Il peut également y avoir création de nouvelles formations sableuses lorsque les apports sableux sont localement disponibles. Sur ces zones inter-bancs, le profil de plage est légèrement convexe jusqu'à l'isobathe -15 m puis concave au-dessus de celle-ci. Le substrat du fond reste relativement vaseux (1450 kg.m⁻³) (Gratiot et *al.*, 2007).



Figure 1.9: Côtes en érosion, recul de la mangrove et apparition d'un secteur sableux (©Berzins, ONCFS, 2011)

2.1.4. Le rôle des bancs de vase

Les bancs de vase assurent un rôle de protection du littoral guyanais en permettant l'atténuation de la houle avant leur arrivée sur la côte. Les zones de bancs sont donc régies par de faibles conditions hydrodynamiques contribuant à la mise en place de secteur en progradation. En période de banc, la côte est donc protégée et les habitations et infrastructures côtières sont épargnées. A l'échelle de la Guyane, des zones en constante accumulation vaseuses depuis ces dernières décennies sont identifiées notamment au niveau des caps sur la rive droite des embouchures de fleuves et notamment le secteur entre Sinnamary et Iracoubo où la pointe vaseuse à la sortie du fleuve s'épaissit sur plusieurs kilomètres.

2.2. ...avec également quelques zones sableuses

Le long du littoral de Guyane, les littoraux sableux sont en interaction avec les dépôts vaseux d'origine amazonienne. Cette interaction provoque des variations spatio-temporelles du substrat sédimentaire, marquées par des alternances de vase et de sable sur les rares plages sableuses. Ces espaces sableux sont très instables dans le temps, du fait de la migration des bancs de vase, et ne représentent que 14 % du linéaire côtier. Ces littoraux sableux possèdent cependant des enjeux environnementaux et socio-économiques importants puisqu'ils servent de zones récréatives, de support aux infrastructures routières et constituent également des sites de nidification pour certaines espèces marines et notamment des sites de ponte pour les tortues marines.

Les littoraux sableux peuvent être distingués en trois types: plages sur socle rocheux, plage estuarienne et cordons sableux.

2.2.1. Plages sur socle rocheux

A l'échelle du littoral des Guyanes, c'est uniquement en Guyane française que l'on rencontre des affleurements du socle. On retrouve des plages sableuses, entre ces avancées rocheuses, dans la région

de Cayenne et de Kourou (figure 1.10). Ces côtes sableuses constituent des plages fixes dont la dynamique est en relation directe avec la migration des bancs de vase (Anthony et *al.*, 2002).

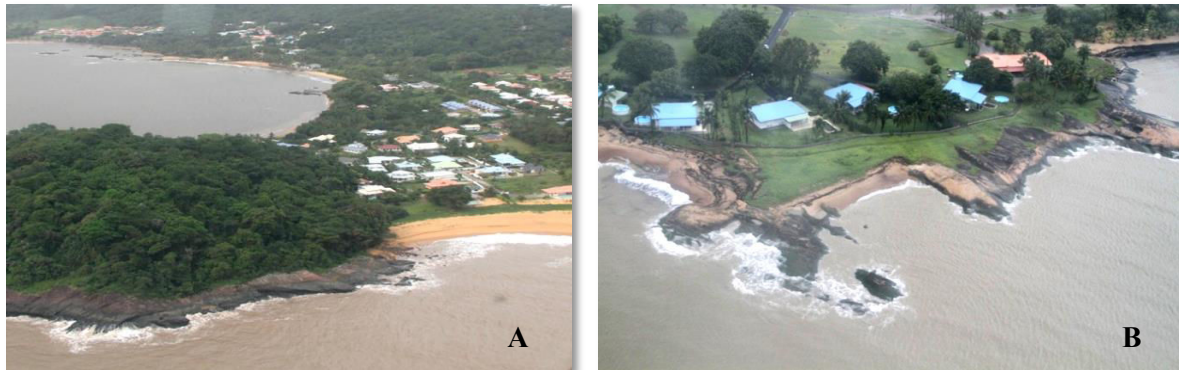


Figure 1.10: Images obliques des plages de (A) Rémire-Montjoly et de (B) Kourou photos (© Berzins, ONCFS, 2011)

Anthony et Dolique (2004) proposent un cycle de rotation du stock sableux des plages de Cayenne (figure 1.11), en lien avec la migration des bancs avec quatre phases: banc, inter-banc et deux phases de transition.

- Phase 1

L'installation d'un banc de vase résulte de l'arrivée successive de vase fluide à proximité des plages. L'envasement devient de plus en plus conséquent et isole le secteur sableux de la dynamique côtière. Lors d'épisodes d'envasement, les échanges sédimentaires de sable entre le domaine intertidal et subtidal ne peuvent plus avoir lieu puisque le sable est fossilisé par cette vase située en bas d'estran. Plusieurs kilomètres de vasière peuvent ainsi se déposer à l'avant d'une plage sableuse et être rapidement colonisées par de la mangrove pionnière.

- Phase 2

Au fur et à mesure le banc migre, au cours de cette phase transitoire la dérive littorale est majoritaire ce implique une accrétion des sédiments sablo-vaseux au Nord-Ouest des anses.

- Phase 3

En phase inter-banc, le banc de vase a migré et les processus de transports sédimentaires normaux se réinstallent. La dérive littorale de sens Nord-Ouest entraînent un transport des sables sur les flancs Nord-Ouest des anses au contraire des secteurs Sud-Est qui connaissent alors une érosion intensive.

- Phase 4

La présence d'un banc de vase au large modifie le sens de la dérive et lors d'une phase de transition le transit sédimentaire de contre-dérive s'oriente vers le Sud-Est. Cette dynamique rééquilibre pendant une courte période les échanges sédimentaires le long des plages. Néanmoins, le secteur Nord-Ouest peut être fortement érodé lorsque cette contre-dérive est importante, au profit de la portion Sud-Est. Le stock sableux semble se balancer d'une plage à l'autre selon les phases d'inter-banc et de banc.

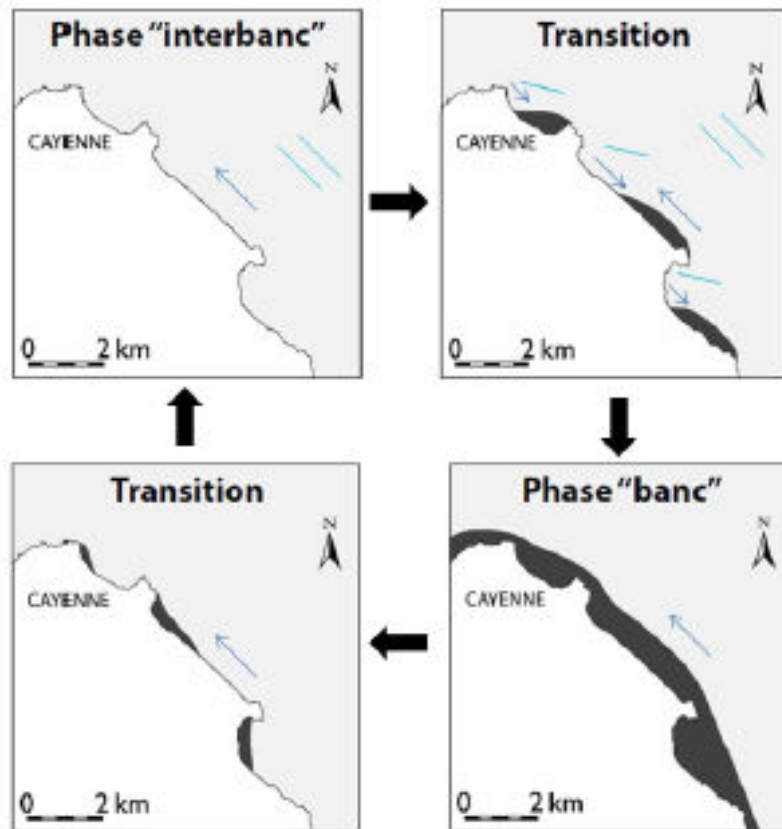


Figure 1.11: Modèle de rotation des plages de Cayenne/Rémire-Montjoly (Gardel, 2011)

2.2.2. Plages estuariennes

Les rares plages guyanaises, souvent éphémères, sont assujetties à la localisation et à la dynamique des bancs de vase. Cependant, l'une des principales plages pérennes est localisée dans l'Ouest guyanais, à l'embouchure estuarienne du fleuve Maroni : la plage de Yalimapo (ou plage des Hattes). Depuis ces soixante dernières années, cette plage estuarienne n'a connu que très peu de fluctuations du trait de côte et ne semble pas avoir été envasée à la différence des autres plages de Guyane (voir Chapitre 3). Sa situation à la confluence des fleuves Maroni et Mana semble l'avoir préservée de tout envasement. Le débit du fleuve Maroni est le plus important de Guyane ($Q > 1800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Ce fleuve semble contribuer au démantèlement du banc de vase avant son arrivée sur la plage de Yalimapo. La plage des Hattes est marquée par la présence d'importants bancs de sables et, celle-ci bénéficie d'un double apport sableux. La première source de ces apports provient du fleuve Maroni (Augustinus, 1978) qui charrie des quantités importantes de sédiments sableux non quantifiés. Cette plage estuarienne, localisée à l'extrême Ouest de la Guyane, correspond à la limite guyanaise de la dérive littorale ce qui constitue une deuxième source d'alimentation.

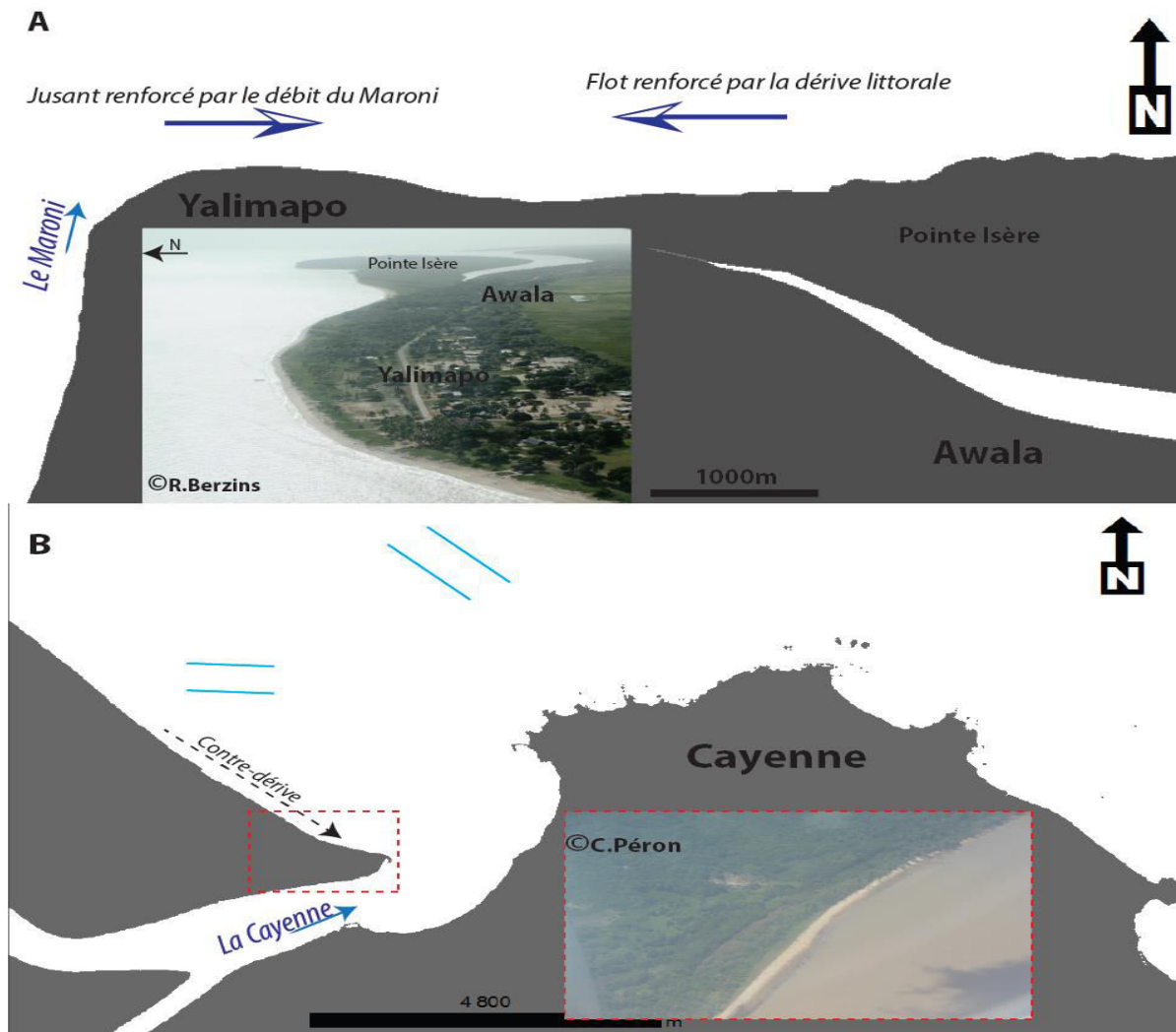


Figure 1.12: Processus hydro-morphosédimentaire dans l'Ouest guyanais sur la plage d'Awala-Yalimapo (A) et à la Pointe Macouria (B).

A la sortie de l'embouchure de la rivière Cayenne, sur la rive gauche, la pointe Macouria est un secteur toujours ensablé qui peut néanmoins être périodiquement fossilisé par l'installation d'un banc de vase (figure 1.12B). La pérennité de cette bande sableuse est vraisemblablement liée à la proximité de l'île de Cayenne, qui va réfracter et diffracter la houle. Le contre-courant de dérive favorise ainsi l'accumulation sableuse dans le secteur.

2.2.3. Cheniers : les littoraux sableux des côtes vaseuses

La plaine côtière de Guyane est organisée en deux grandes unités morphologiques (Choubert, 1957, Boye, 1959; Turenne, 1978; Prost et Lointier, 1986): une *plaine côtière récente* (Holocène), composé de cheniers étroits et rectilignes parallèles à la ligne de rivage actuelle intercalés entre des substrats vaseux et une *plaine côtière ancienne*, (Pléistocène), avec des cheniers proches les uns des autres, qualifiés de barres pré-littorales. Selon Prost (1986), ces anciennes barres pré-littorales, orientées Sud-Est/Nord-Ouest, présentent un sédiment bien trié au contraire des sables holocènes.

En période inter-bancs, lorsque la mangrove est totalement érodée, la houle peut déferler et réactiver d'anciens cheniers. Le sable constituant ces anciens cheniers est donc remobilisé. Les cheniers sont essentiellement constitués de sables moyens à grossiers (0,1 à 1 mm) et de sables plus grossiers (1-2 mm) (Sourdat et Marius, 1964). Les cheniers sont retrouvés majoritairement dans l'Ouest guyanais particulièrement dans la zone du bassin de Mana à l'embouchure du Maroni (figure 1.13).



Figure 1.13: Cordons sableux ou cheniers dans l'Ouest guyanais (photos © Berzins, ONCFS, 2011)

Les nouveaux cheniers résulteraient, sous l'action de la dérive littorale, de l'accumulation, des sables provenant de la dislocation ou du démantèlement des bancs de vase (Prost et Lointier, 1986). En effet, un stock de sable, provenant des apports des fleuves locaux plus ou moins ancien, est piégé dans les bancs de vase (Anthony et *al.*, 2010). La vase continuerait ainsi sa migration alors que les sables nouvellement disponibles alimenteraient les plages et les cordons. Pujos et *al.* (2001) ont conclu que les particules sableuses étaient constituées d'un assemblage de minéraux lourds qui selon Anthony et *al.* (2012), pourraient avoir une origine locale.

D'autre part, ces cheniers peuvent être alimentés par des apports sableux provenant d'autres cheniers en érosion situés en amont. Le remaniement des sables d'origine fluviale par la houle peut également induire la formation d'un cordon sableux (figure 1.14). Les cordons de plage se développent au-dessus du niveau moyen des marées et leur crête peut être submergée par les plus hautes marées de vives eaux (Robelin et Farjanel, 1997). Deux types de cordons sableux sont décrits: des *cordons internes* et des *cordons externes* (Palvadeau, 1998). Les cordons internes, composés de sables fins et de particules argileuses (8 à 18%), indiquent leur formation dans un milieu régi par de faibles conditions énergétiques. Quant aux cordons externes, ils sont constitués de sables grossiers, signe de conditions hautement énergétiques. Ces sables grossiers sont transportés par les fleuves locaux, puis s'accumulent sous forme de cordons sous l'effet de la dérive littorale (Augustinus, 1989).

On distingue deux types de plaines côtières en Guyane avec à l'Ouest, des plages jalonnées de nombreux cordons sableux récents et holocènes, à la différence de l'Est guyanais qui ne comporte que des cheniers holocènes.

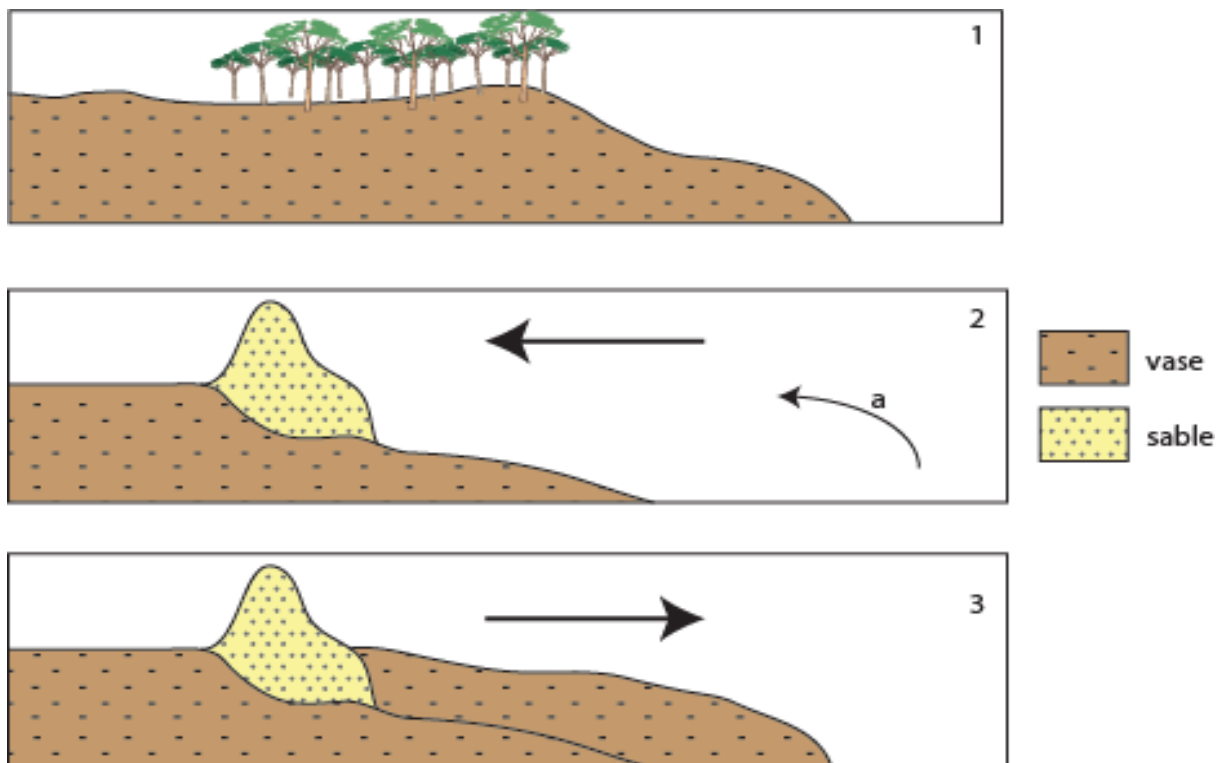


Figure 1.14: Processus de mise en place d'un système de chenier:1/ le substrat vaseux accolé à la côte est colonisé par la mangrove en période de banc; 2/en période inter-banc l'érosion du secteur est importante et la mangrove précédemment installée s'érode. Les sables contenus dans les bancs de vase peuvent être réactivés et déposés sur la côte, ou les apports de sables (a) par l'action de la dérive littorale permettent la formation d'un cordon sableux ; 3/ On se retrouve de nouveau en période de banc de vase, il y a une progradation accentuée de la côte et le chenier se retrouve confiné entre deux substrats vaseux (d'après Hoyt, 1969).

Très peu de travaux se sont intéressés à la question du stock sableux disponible sur le littoral ainsi qu'à son alimentation par les fleuves locaux. Les connaissances sur ce sujet sont nulles. Or l'importance de ce stock représente un enjeu majeur puisque celui-ci constitue d'une part une zone tampon de protection du littoral contre les attaques des fortes houles mais également une ressource importante pour la construction. De plus, dans un contexte de pénurie mondiale, le stock sableux s'amenuisant, les bandes sableuses servant de sites de nidification pour les tortues marines, deviennent très vulnérables.

PARTIE 3. UN LITTORAL GUYANAIS RICHE EN BIODIVERSITE : EXEMPLE DES TORTUES MARINES

Malgré le peu de plages sableuses en Guyane, celles-ci représentent toutefois des enjeux écologiques majeurs de la biodiversité marine. En effet, les plages guyanaises sont des sites majeurs de ponte pour les tortues marines.

1. Généralités

1.1. Le cycle de vie

Les tortues marines sont des espèces patrimoniales emblématiques de la biodiversité marine. Actuellement, sept espèces de tortues marines sont présentes dans les océans : la tortue luth (*Dermochelys coriacea*), la tortue verte (*Chelonia mydas*), la tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*), la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*), la tortue de Kemp (*Lepidochelys kempii*), la tortue caouanne (*Caretta caretta*), et la tortue à dos plat (*Natator depressus*). Présent dans tous les océans, elles sont principalement distribuées sur la ceinture intertropicale (Pritchard, 1997). Les tortues marines passent majoritairement leur vie en mer (99 %) mais ont également une phase de vie terrestre. Tout comme les oiseaux et certains mammifères marins, celles-ci assurent leur reproduction sur le continent en venant pondre sur des plages de sable. Les tortues marines ont un cycle de vie comparable quel que soit l'espèce (figure 1.15) (Miller, 1997). Après une phase de vie en mer dans les zones d'alimentation, les femelles regagnent les sites de reproduction avec les mâles. L'accouplement est réalisé en mer à proximité des plages de nidification. A chaque nouvelle saison de ponte, les tortues reviennent généralement sur le même site, supposé être leur lieu de naissance (Miller, 1997). Chaque femelle reviendra pondre entre 5 à 10 fois selon l'espèce, avec un intervalle de ponte de 10 à 15 jours. Au cours de la période inter-ponte, les tortues marines restent à proximité des plages de ponte (Godfrey & Barreto, 1998). Pendant la saison de ponte, les femelles pondent dans la majorité des cas sur le même site, dans un périmètre de 0 à 5 km (Carr & Carr, 1972 ; Miller, 1997). En effet, il est rare qu'au cours d'une saison, les tortues aillent pondre à plus d'une centaine de kilomètres de leur plage de ponte initiale (Stoneburner & Ehrhart, 1981).

La période d'incubation des œufs, déposés par les femelles dépend du lieu de réalisation du nid et de la température, mais oscille entre 45 et 60 jours (plus rapide à haute température, Miller (1997)). Une fois en mer, les nouveau-nés appelés «émergences», vont entreprendre une longue phase de migration passive durant laquelle elles vont dériver et être dispersées, jusqu'à ce qu'elles atteignent les zones d'alimentations pélagiques. On suppose que leur temps de séjour sur ces zones dure 5 à 20 ans, jusqu'à ce qu'elles atteignent la taille adulte (Miller, 1997) puis se déplacent vers les sites d'alimentation benthique. Lorsqu'elles atteignent la maturité sexuelle, les femelles et mâles migrent vers les zones de reproduction (figure 1.15).

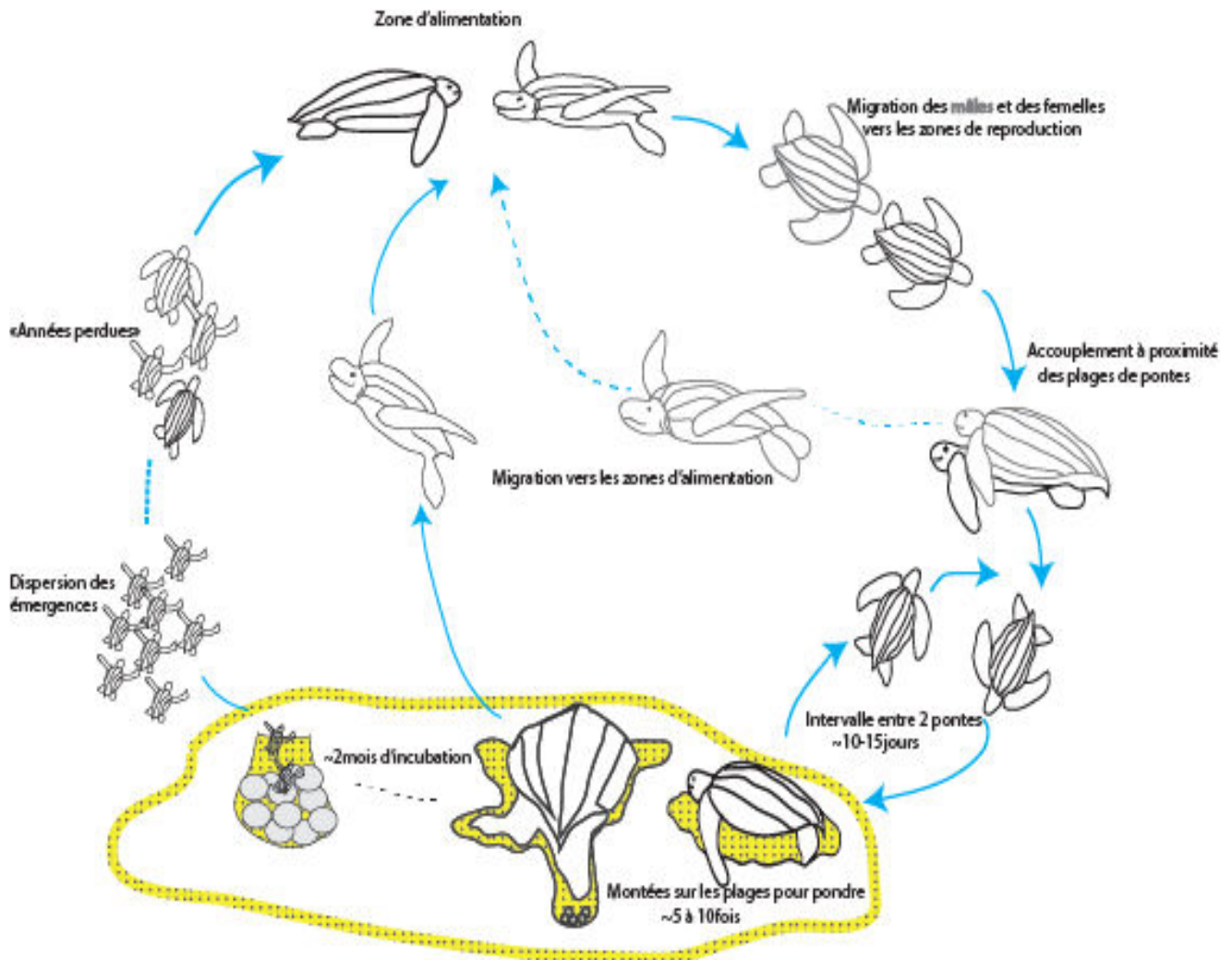


Figure 1.15: Cycle de vie des tortues marines. Les tortues marines passent 99% de leur cycle de vie en mer (flèches bleues), mais la reproduction essentielle à leur survie est terrestre et a lieu sur les plages de ponte (pointillés noirs et jaunes). (D'après Miller, 1997).

1.2. Succès à l'incubation et menaces

Le nombre de tortues atteignant la maturité sexuelle est estimé à 1 pour 1000. Cette faible proportion est liée d'une part au succès à l'incubation, mais également à de fort taux de prédation. Le succès à l'incubation peut grandement être influencé par les conditions environnementales, celles-ci accentuant les taux de mortalité embryonnaire (Bell *et al.*, 2003). De plus, la dynamique érosive des plages de ponte, a un impact direct sur la destruction des nids, estimée entre 36 et 60 % pour les tortues luth (Mrosovsky, 1983; Eckert & Eckert, 1985) et donc sur le renouvellement des populations de tortues marines. Les émergences sont la proie de nombreux prédateurs tels que les chiens errants, les rats-crabiers, les oiseaux (nocturnes et diurnes), les poissons, les crabes et les courtilières fréquentant le domaine littoral (Viseux, 2001).

Cependant, les causes du déclin des tortues marines résultent principalement des activités humaines telles que la pêche (filets et navires non-équipés de dispositif d'exclusion des tortues marines;

Spotila *et al.*, 1996; Eckert & Sarti, 1997; Fossette *et al.*, 2014) le pillage des œufs sur les plages de ponte mais aussi la consommation de la chair de tortues et le commerce des écailles.

Face au déclin des populations, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a listé cinq des sept espèces de tortues marines comme étant vulnérable voire en danger critique d'extinction. Cette classification a permis la mise en place de mesures de conservation à travers le monde. Les tortues sont ainsi toutes protégées par un arrêté ministériel en France (arrêté du 14 octobre 2005).

1.3. Ecologie de reproduction

Compte tenu de leur accessibilité lors de la ponte, les tortues marines sont des modèles d'études pertinents pour identifier les stratégies comportementales développées par les femelles venant pondre sur les plages. Les tortues marines pondent plusieurs fois dans une même saison (quelques mois), à de courts intervalles, ce qui en font des espèces idéales pour étudier la sélection des sites de ponte (Ali *et al.*, 2005).

La ponte se fait en neuf phases qui peuvent durer entre 1h30 à 2h selon l'espèce. Ce processus est similaire pour toutes les espèces de tortues marines, avec un éthogramme commun (Hendrickson, 1958, 1981; Bustard & Greenham, 1969; Hailman & Elowson, 1992; Miller, 1997):

- (1) Approche du site de ponte
- (2) Sortie de l'eau
- (3) Montée sur le haut de plage
- (4) Premier balayage qui coïncide au choix de la future aire de ponte
- (5) Creusement du nid
- (6) Dépôt des œufs
- (7) Rebouchage du nid
- (8) Deuxième balayage qui correspond au camouflage du nid
- (9) Retour à l'eau

Les tortues marines sont thermo-dépendantes c'est-à-dire que la détermination du sexe est sensible aux conditions d'incubation, plus particulièrement au cours du second tiers de la période d'incubation (Mrosovsky & Yntema, 1980; Yntema & Mrosovsky, 1980). Les embryons exposés à des températures supérieures à la température pivot (29,5°C pour les luth et 28,26°C pour les tortues vertes) seront des femelles et ceux exposés à des températures inférieures à ce seuil seront des mâles (Mrosovsky & Yntema, 1980 ; Mrosovsky, 1994; Chan & Liew, 1995; Davenport, 1997 ; Ackerman, 1997). Ainsi, l'emplacement du nid (exposé ou non à l'ensoleillement, à l'humidité, végétation, sable nu, etc.) joue donc un rôle prépondérant dans la détermination du sex-ratio.

Chez les tortues marines, le choix du site de ponte s'opère à trois échelles spatio-temporelles (Carr, 1975). La première, appelée la *philopatrie*, intervient à macro-échelle, et désigne le retour sur le site présumé de naissance (Carr & Carr, 1972; Miller, 1997) ; avec un haut degré d'exactitude. Avens *et al.* (2003) et Lohmann *et al.* (2004) ont montré une réorientation des juvéniles vers leur site de naissance. Des travaux menés sur des tortues vertes, matures sexuellement, démontrent que des champs géomagnétiques et indices visuels orientent les femelles de tortues vertes (*Chelonia mydas*) vers leur site de ponte (Avens & Lohmann, 2003; Luschi *et al.*, 2007 ; Benhamou *et al.*, 2011). La *fixité* (mésos-échelle) permet à ces espèces d'identifier un site particulier favorable à la ponte et au succès incubateur (Miller *et al.*, 2003). Une fois arrivée à proximité de leur plage de ponte, l'existence de processus micro-échelle intervient; les tortues semblent s'aider des conditions environnementales. Elles doivent ainsi choisir le moment opportun d'émergence à terre. L'oviposition dans cet environnement terrestre expose les tortues marines, à un risque de prédation supplémentaire et à une grande dépense énergétique. Les femelles gravides tendent à minimiser leur exposition à un environnement terrestre non-favorable avant même leur sortie de l'eau (Pike, 2008). La prise de décision de sortie de l'eau peut être influencée d'une part par les *paramètres océaniques* tels que les hauteurs de marée corrélées au cycle lunaire, mais également les houles et les courants (Frazer, 1983; Fretey & Girondot, 1989). Les *conditions météorologiques* telles que la pluviométrie, le vent, la température de l'eau et de l'air peuvent intervenir également (Mazaris, 2005; Pike, 2008) (tableau 1.1.).

Les tortues marines n'assurent pas les soins parentaux aux juvéniles. Ainsi après la ponte, elles retournent en mer en abandonnent leur nid. Dans ce contexte, l'emplacement du nid pour les œufs des tortues marines constitue donc un facteur déterminant pour leur bon développement et leur survie (Kamel & Mrosovsky, 2005). La localisation du nid induit d'importantes variations sur le succès à l'incubation des œufs déposés (Fowler, 1979; Spotila *et al.*, 1987; Horrocks & Scott, 1991). Le choix minutieux du site de ponte correspond donc au seul bénéfice apporté à leur descendance (Ali *et al.*, 2005). La sélection du site de ponte ne se fait pas au hasard et semble être prédictible (Weishampel *et al.*, 2003 ; Tiwari *et al.*, 2005). En effet, les paramètres environnementaux ainsi que la dynamique de la plage influencent directement le succès reproducteur (Girondot *et al.*, 2002).

Tableau 1.1: Tableau récapitulatif des paramètres associés paramètres environnementaux, des références bibliographiques et des pays associés

	Paramètres	Localisation	Références
Activité lunaire et marée	Influence importante si la marée est prononcée Préférence de sortie à pleine mer Peu de corrélation entre hauteurs d'eau et émergences : plage microtidale	Floride, Caroline du Nord Guyane française Sri Lanka, Floride, Caroline du Nord, Gabon	Bustard (1979) Carr (1952) ; Frazer(1983) Fretey & Girondot (1989) Ekanayake et al. (2002), Davis & Whiting (1977), Frazer (1983), Ikaran (2010)
Paramètres météorologiques	Pluie : signal déclencheur Pluie : aide à camoufler les nids Marée, lune, vent : phénomène <i>arribada</i>	Floride (USA) Surinam	Bowen & Janzen (2005) Pike (2008) Pritchard (1969)

Une fois arrivée sur le site de nidification, les tortues gravides procèdent au choix de l'emplacement du nid. Les paramètres environnementaux liés à la qualité et au type de substrat tels que la température, la topographie (pente de la plage, présence de barrière naturelle), la situation géographique du nid (exposition à la houle, présence de végétation), sont déterminants dans le choix ultime du site de ponte et la décision de ponte (Whitmore & Dutton, 1985; Wood & Bjondal, 2000; Weishampel *et al.*, 2003). Par ailleurs, les éclairages artificiels implantés à proximité des plages, perturbent les tortues venant y pondre et certaines portions de plage sont peu fréquentées (Salmon *et al.*, 2000). Cette luminosité désoriente également les émergences (Witherington, 1991).

Le choix de l'emplacement du nid, est déterminé par l'influence des facteurs **abiotiques** (tableau 1.2) tels que les caractéristiques *physico-chimiques* du milieu comme la température, l'humidité, la porosité, la texture, la granulométrie du sable (Mortimer, 1990; Hernandez *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2007), la *couverture végétale* du haut de plage (Whitmore & Dutton., 1985; Janzen, 1994; Weishampel *et al.*, 2003; Hannan *et al.*, 2007), la *topo-morphologie de la plage* avec la pente (Provancha & Ehrhart, 1987; Mortimer, 1990; Wood & Bjorndal, 2000; Weishampel *et al.*, 2003; Fish *et al.*, 2005; Mazaris *et al.*, 2009; Fuentes-Farias *et al.*, 2010; Spanier, 2010; Jankie & Lawrence, 2010 ; Yanamoto *et al.*, 2012) ainsi que la *largeur de la plage* (Provancha *et al.*, 1987; Weishampel *et al.*, 2003; Cuevas *et al.*, 2010). Certaines études émettent l'hypothèse d'une possible influence de la configuration de l'avant-plage, notamment l'influence de la bathymétrie sur la distribution des animaux venant pondre sur la plage (Pritchard, 1971; Mortimer, 1982, 1995). Enfin, des barrières

physiques d'origine anthropique (ex: digues, embarcations, etc.) peuvent être un obstacle pour les tortues marines lors de leur ascension vers leur site de ponte (Salmon et *al.*, 1995 ; Witherington et *al.*, 2011a, 2011b) ou des barrières naturelles (troncs, escarpement de plage trop important).

Les facteurs **biotiques** influençant la localisation des nids sont d'une part liés à la prédation (Fowler, 1979; Spencer & Thompson, 2003; Witherington et *al.*, 2011a) et à la bio-morphologie des individus (tableau 1.2).

Après l'atterrissage, les tortues marines peuvent retourner à l'eau sans même avoir pondu. En effet, des demi-tours ou fausses montées («false crawl») ont été observés chez plusieurs espèces (vertes, luth, olivâtres) (Schultz, 1975 ; Stoneburner & Richardson, 1981). Ces phénomènes se produisent tout au long du profil de plage (subtidale, estran, et sur le haut de plage) mais aussi à différents stades de ponte (émergence de l'eau, montée de la plage, premier balayage, creusement du nid et certaines fois au cours de la ponte). Ces demi-tours ne s'expliquent pas toujours, mais peuvent être causés par des perturbations liées à l'éclairage artificiel, aux infrastructures environnantes, à la présence humaine (Weishampel et *al.*, 2003) ou aux conditions environnementales non favorables à la ponte. Malgré ces perturbations, les tortues retenteront de revenir pondre sur la même plage au cours de la même nuit ou les nuits suivantes (Miller, 1997).

Dans ce contexte, la sélection d'un site dont les conditions sont défavorables (proximité de la ligne de haute mer exposant à l'inondation des œufs et à l'érosion) peut conduire à l'échec total de l'incubation (Eckert, 1987; Duque et *al.*, 2000; Hilterman & Goverse, 2002). Des nids localisés trop près de la végétation supralittorale peut entraîner la destruction des œufs par le système racinaire (Wood & Bjorndal, 2000).

La réponse des tortues face à l'influence des paramètres environnementaux sur la sélection finale du site de ponte peut totalement différer selon les espèces et la localisation des sites de nidification. De telles variations comportementales chez une même espèce, suggèrent que les tortues marines sont capables de s'adapter à une gamme de dénivelé importante selon la disponibilité des plages de ponte (Cuevas et *al.*, 2010). D'autres auteurs (Kamel & Mrosovsky, 2006), proposent que la variabilité du choix de site de ponte soit liée à l'héritage génétique propre à chaque colonie qui a donc des critères de sélection différents.

Les tortues marines pondent sur des plages à caractéristiques différentes et il est donc difficile de se rendre compte des facteurs influençant le choix des animaux venus pondre. Toutefois, ce choix semble lié aux propriétés intrinsèques de chaque plage et de chaque espèce de tortues marines. Cependant, les qualités requises d'un site de ponte favorable avec un fort taux d'émergences incluent :

- (1) un accès facile par la mer avec une plage non rocheuse et relativement libre de débris majeurs (Mortimer, 1982, 1995);
- (2) une plage haute (altitudes topographiques importantes) pour prévenir toute inondation du nid pendant les pleines mers (Provancha & Ehrhart, 1987);

- (3) un substrat composé de sable afin de faciliter la diffusion gazeuse mais assez humide et fin pour prévenir les glissements lors de la construction du nid ;
- (4) de faibles pressions anthropiques (bruits et pollution lumineuse (Mortimer, 1995; Miller, 1997; Garmestani et *al.*, 2000)).

Il est évident que les plages de ponte ne peuvent pas réunir toutes ces caractéristiques, et un compromis entre les paramètres physiques et biologiques doit être fait par les tortues nidifiantes. Les plages sont donc des écosystèmes dynamiques, en perpétuel remaniement, régis par les cycles de marée journaliers, les conditions météorologiques et hydrodynamiques. Les tortues marines doivent ainsi développer des stratégies évolutives, afin d'optimiser les chances de survie de leur descendance en raison de la grande variabilité spatio-temporelle des paramètres environnementaux gouvernant l'évolution de leur site de ponte.

Tableau 1.2: Tableau récapitulatif des paramètres environnementaux, des références bibliographiques et des pays associés

	Paramètres	Pays	Références
Qualité du substrat de ponte de la plage	Abandon des sites de ponte quand substrat fin à vaseux à proximité (caouanne, luth)	Surinam, Guyane française, Grèce, Grenade (Caraïbes)	Shoop <i>et al.</i> (1985), Karavas <i>et al.</i> (2005), Kelle <i>et al.</i> (2007), Maison <i>et al.</i> (2010)
	Ponte sur plage à sable grossier (tortues luth), à sable fin (tortue verte)	Malaisie Turquie	Hendrickson & Balsingham (1966) Yalcin-Ozdilek <i>et al.</i> (2007)
Conditions offshore : Obstacles	Présence de rochers subtidiaux et de récifs coralliens : gênes dans la trajectoire des animaux	Capcarnaval (USA) Iles de l'Ascension (GB) Costa Rica	Eckert (1987) Mortimer (1995) Spanier (2010) Prichard (1971);
	Barrières naturelles provoquent des demi-tours	USA	Mosier (1998) / Witherington <i>et al.</i> (2011 a/b)
Topo-morphologie de la plage	Tortues luth : pontes sur les plages en érosion : perte d'une forte proportion des nids	Trinidad, Grenade Les Guyanes Afrique du Sud Iles vierges Costa Rica	Bacon (1970) ; Maison <i>et al.</i> (2010) Prichard (1971) ; Mrosovsky (1983) Hughes (1974) Eckert & Eckert (1983), Eckert <i>et al.</i> 1984 Spanier (2010)
	Tortues luth : ponte au plus proche de la ligne de rivage		Whitmore & Dutton (1985)
	Distribution influencée par la largeur de la plage	Grèce	Mazaris <i>et al.</i> (2006)
	Tortues vertes et imbriquée: Ponte dans le domaine supra-littorale et partie végétalisée	Barbades; Taiwan, USA; Mexique	Horrocks and Scott (1991); Chen <i>et al.</i> (2007) Witherington (1986); Zavaleta Lizarraga & Morales-Mavil (2013)
	Tortues vertes : plus de ponte avec profil escarpé Tortues olivâtres : moins de ponte avec profil escarpé	Mexique Mexique	 Cuevas <i>et al.</i> (2010)

2. Les tortues marines en Guyane

Cinq des sept espèces de tortues marines nidifient sur les littoraux de la région des Guyanes et plus généralement du plateau Guyano-Brésilien (Fretey & Lescure, 1998). Parmi elles, trois nidifient régulièrement en Guyane, la tortue luth, la tortue verte et la tortue olivâtre. Les plages de l'Est de la Guyane (Ile de Cayenne), sont majoritairement fréquentées par les luth (figure 1.16A) et olivâtres (figure 1.16C) alors que celles de l'Ouest guyanais sont fréquentées par les tortues vertes (figure 1.16B) et luth.



Figure 1.16: Photographies des principales espèces nidifiantes en Guyane, A/ tortue luth; B/ tortue verte; C/ tortue olivâtre (© Péron)

En Guyane française, la saison de ponte varie selon l'espèce: les tortues luth pondent de mars à août avec une petite saison supplémentaire dans l'Ouest guyanais en décembre et janvier, les tortues vertes de février à juin, et les tortues olivâtres de juin à septembre (Chevalier et *al.*, 1998, 1998a, 1998b).

La présence des tortues marines en Guyane et notamment sur l'île de Cayenne (figure 1.17), apparaît dès 1664 dans les récits d'expéditions, différenciant la tortue «*Caouanne*» de «*Kawana*» (mot amérindien Kaliña désignant la tortue luth) et la tortue «*Caret*» en référence à la tortue verte (Biet, 1664). Près de deux siècles plus tard, Kappler (1881) fait mention de la présence de tortue verte, luth et d'olivâtre à l'embouchure du fleuve Maroni.

Pritchard en 1969 met en évidence des sites favorables à la ponte des tortues vertes et luth, à proximité de l'embouchure de la rivière Organabo. De même, ces deux espèces semblent pondre en grand nombre sur les plages d'Awala-Yalimapo (Schulz, 1971). En se basant sur la mémoire collective des habitants des villages (peuplement des villages à partir de 1950) ainsi que des premières prospections, les tortues luth étaient peu nombreuses sur la plage d'Awala-Yalimapo dans les années 50 (Pritchard, 1969; Girondot et *al.*, 2007 ; Daniel William, communication personnelle).

L'attrait des plages d'Awala-Yalimapo dans les années 70 à 80 par les tortues vertes et luth, serait dû à l'envasement des principaux sites de pontes les plus à l'Est (presqu'île Kawana (ou Pointe Isère)) (Fretey & Girondot, 1987). De même, les modifications des côtes guyanaises auraient augmenté la fréquentation des plages surinamiennes entre 1968 et 1985 (plus de 12000 pontes de tortues luth) (Schulz, 1975; Reichart et Fretey, 1993 ; Hoekert et *al.*, 1996).

Depuis la fin des années 1970, l'Ouest guyanais fait donc l'objet d'un grand nombre de programmes de recherche sur les tortues marines. Les premiers suivis démographiques de tortues marines (exclusivement les tortues luth) sur les plages de l'Ouest guyanais ont débuté en 1977 (Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, Greenpeace, WWF). En 1986, sont créées les campagnes «Kawana» dans l'Ouest Guyanais. On recense près de 1000 pontes par nuit sur la plage de Yalimapo en 1988. La forte fréquentation de ce secteur, conduit à la création en 1998, de la Réserve Naturelle de l'Amana (RNA) qui s'étend de l'estuaire du Maroni à Organabo (Iracoubo) et dont la vocation principale est la protection des sites de ponte des tortues marines. Les agents de la RNA assurent le comptage des traces des tortues marines tout au long de la saison de ponte et sensibilisent également le public à la conduite à tenir pour un bon déroulement des pontes.

Les plages de l'île de Cayenne ne sont suivies que depuis 1998 (association Kwata). Les premiers suivis sur les plages de Kourou (association Sepanguy) ont commencé en 1999.

L'important effort de suivi des individus sur les plages d'Awala-Yalimapo, via l'identification par les bagues métallisées ou plus récemment de transpondeur passif intégré (PIT) a permis d'améliorer les connaissances relatives à l'écologie de l'espèce et notamment sur l'activité de ponte des individus (Girondot et *al.*, 2002; Girondot et *al.*, 2007), les propriétés intrinsèques liées à la ponte (Fretey & Girondot, 1987; Girondot et Fretey, 1996; Fretey & Lescure, 1998; Chevalier et *al.*, 1998a, 1998b), l'écotoxicologie des œufs (Guirlet, 2008) et l'intervalle inter-ponte (Rivalan, 2004).

L'intensification des marquages dans les années 80, a montré que les tortues luth pondaient indifféremment entre les deux pays frontaliers (Fretey & Girondot, 1987; Chevalier & Girondot, 1998), séparés de quelques kilomètres, mettant en évidence une population de tortues luth unique pour les deux sites guyano-surinamiens.

Depuis les années 2000, des chercheurs du CNRS ont équipés plusieurs dizaines de tortues luth de balises ARGOS munies, d'enregistreurs de température et de pression sur la plage d'Awala-Yalimapo, dans le but d'étudier leur comportement en mer au cours de l'inter-ponte (Georges et *al.*, 2007; Fossette et *al.*, 2007; Fossette et *al.*, 2008) et de leur migration vers les sites d'alimentation (Ferraroli, 2004). En Guyane, les tortues luth se dispersent ainsi jusqu'à 140 km de leur plage de ponte et restent au niveau du plateau continental (Ferraroli, 2000). En fin de saison de ponte, celles-ci repartent en migration (2 à 3 ans) vers les zones d'alimentation (tous les un à trois ans) (Ferraroli, 2004 ; Fossette, 2008).

Le suivi de la dynamique de ponte des tortues vertes est plus récent, bien que les gardes de la RNA comptabilisent les traces de l'activité de ponte depuis la création de la réserve, ce n'est qu'en 2012 que les tortues vertes sont intégrées au protocole de suivi pour les équipes du CNRS. Les premières tortues

vertes équipées de balises ARGOS (au nombre de 12) sont parties des plages de Yalimapo et de Galibi (Suriname) pour déterminer leur migration inter-ponte et la trajectoire empruntée après la ponte.

En Guyane, la présence de tortues olivâtres a été très peu décrite en raison des faibles fréquentations (Prichard, 1969). Les plages du Suriname et notamment les plages de la réserve naturelle de Galibi, représentaient quant à elles d'importants sites de ponte pour cette espèce (Pritchard, 1973; Hoekert et al., 1996). Toutefois, il est observé une diminution de la fréquentation des plages surinamiennes dans les années 90 (Reichart, 1993; Hilterman et al., 2008). En effet, Hoekert et al. (1996) évoque un balancement des sites de ponte des tortues olivâtres au Surinam avec en parallèle une délocalisation de l'effort de suivi, probablement dû à l'envasement ou une érosion excessive de ces plages de ponte.

A partir de 2002, les tortues olivâtres sont suivies sur les plages de l'île de Cayenne qui sont d'essentiels sites de ponte pour cette espèce (Kelle et al., 2009).

Depuis 2007, un Plan de Restauration des Tortues Marines (PRTM), pour leur conservation, a été validé par le Conseil National de Protection de la Nature (CNPN). Ce plan de restauration a trois objectifs principaux: *Réduction des menaces* (menaces en mer (captures et mortalité par les pêcheries), menaces sur les plages (mortalités par d'autres animaux, dérangements et dégradation des habitats terrestres); *Suivi démographique* avec la base de données existantes et *Consolidation de l'approche régionale* sur le plateau guyano-brésiliens.

Il a été montré que les tortues marines sont fidèles à leur site de ponte (Carr & Carr, 1972; Webster & Cook, 2001). Cependant, les sites de nidification ne sont pas pérennes en raison de la migration des bancs de vase, des phases d'accrétion et d'érosion du littoral guyanais, contraignant les tortues marines à rechercher d'autres sites de ponte (Chevalier & Girondot, 1998). D'autre part, la présence de plages sableuses n'implique pas systématiquement la présence de tortues marines. Cela pourrait expliquer la faible activité de ponte sur les plages de Kourou (Kelle et al., 2007, 2009). Actuellement, seuls deux sites de ponte guyanais sont suivis très régulièrement: **la plage des Hattes pour l'Ouest guyanais** (IPHC-CNRS Strasbourg) et **les plages de l'île de Cayenne** (Association Kwata). Quelques sites isolés de l'Ouest Guyanais font l'objet de suivi ponctuel par le WWF-Guyane (plages des îlets Bâches, Irakompapi, Farez) (figure 1.17). Ces sites isolés sont composés d'espaces sableux de cheniers non pérennes, formés lors de phases érosives importantes, constituant des sites de ponte ponctuels pour les tortues marines. L'absence de suivi exhaustif sur ces sites isolés, très difficiles d'accès, ne permet pas d'obtenir une information précise de l'activité de ponte et de la répartition des trois espèces de tortues marines sur l'ensemble du territoire guyanais.

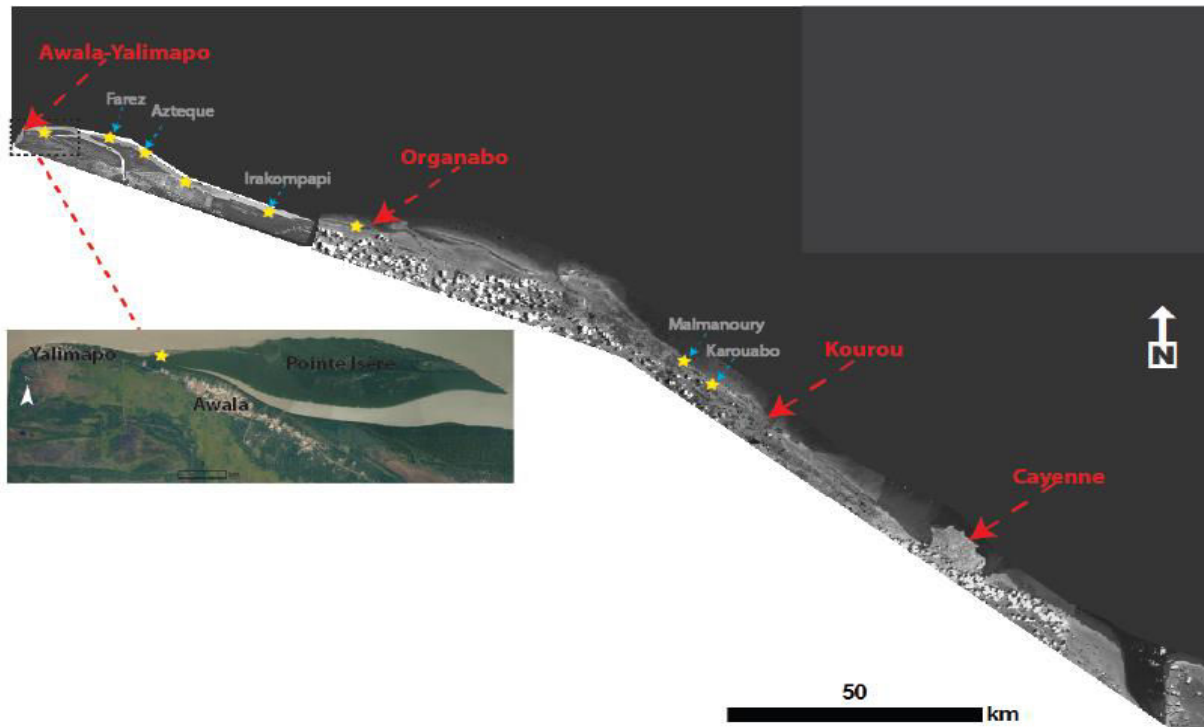


Figure 1.17: Mosaïque d'images satellites (©SPOT) représentant la côte de Guyane française avec la localisation des principaux sites de pontes (Cayenne et Awala-Yalimapo) et des sites secondaires (Organabo, Farez, Azteque, Irakompapi, Malmanoury). Les étoiles jaunes représentent les sites potentiels à formation de cheniers.

3. Modèles biologiques

Pour notre étude, nous avons fait le choix d'étudier le comportement de ponte de deux tortues marines : la tortue verte et la tortue luth. Ces deux espèces ont des caractéristiques anatomiques différentes. Nous nous sommes donc posé la question des différences comportementales vis-à-vis des paramètres environnementaux rencontrés sur les plages guyanaises.

3.1. La tortue luth

La tortue luth (*Dermochelys coriacea*, Vandelli, 1761) est la plus grande des tortues marines (longueur <math>< 2\text{ m}</math> et poids moyen $\sim 450\text{ kg}$) et est la seule représentante du genre *Dermochelys* et fait partie de la famille des *Dermochelyidae* (figure 1.18). On suppose que cette espèce s'est différenciée au cours du Crétacé ou du Jurassique, il y a plus de 100 à 150 millions d'années (Zangerl, 1980), tant anatomiquement que par son comportement. Elle ne possède pas de carapace mais une dossière de cuir sur des os dermiques.



Figure 1.18: Tortue luth en phase de balayage sur la plage de Yalimapo

Parmi toutes les tortues marines, cette espèce présente la plus large distribution mondiale (Plotkin, 2003). En 1996, elle est classée en «danger critique d'extinction» sur la liste rouge de l'IUCN en raison d'une sévère réduction de la population globale ces dernières décennies (Spotila et al., 1996; Sarti Martinez, 1996) et est déclassée en 2013 dans la catégorie «vulnérable» (Wallace et al., 2013) suite à une amélioration du stock de population.

Les populations de l'Est Pacifique ont largement décliné (Spotila et al., 2000 ; Sarti Martinez et al., 2007), alors que celles de l'Atlantique sont plus stables et semblent augmenter sur certains secteurs (Dutton et al., 2005 ; Chacon & Eckert, 2007; Stewart et al., 2011). Les principaux sites de ponte sont situés dans la ceinture intertropicale, de la façade Atlantique (70% de la population mondiale, Troëng et al., 2004): le Gabon (Fretey & Billes, 2000) et les côtes des Guyanes constituent les sites majeurs pour cette espèce au cours de la saison de ponte (Girondot & Fretey, 1996; Hilterman & Goverse, 2007).

La distribution des pontes des tortues luth sur leur site de nidification est considérée comme étant aléatoire le long de la plage ce qui permettrait de maximiser le succès à l'incubation sur un site de ponte dont la dynamique morphosédimentaire est imprévisible (Mrosovsky 1983; Eckert, 1987).

La ponte des tortues luth a lieu préférentiellement dans la zone intertidale ou sur le sable du haut estran ou dans le domaine supralittorale dépourvu de végétation (Whitmore & Dutton, 1985; Kamel & Mrosovsky, 2004; Caut et al., 2006). Au Costa Rica, Trinidad et aux îles vierges, les nids des tortues luth sont réalisés entre la zone intertidale, et la végétation supralittorale (Carr & Ogren, 1959 ; Bacon, 1970 ; Eckert, 1987). La localisation des nids de cette espèce induit un faible taux de succès à l'éclosion (~50 %) qui semble dû à une mauvaise sélection du site de ponte (Whitmore & Dutton, 1985; Bell et al., 2003). Les nids étant localisés dans la zone intertidale, sont sujet à l'érosion ou à l'inondation des nids, la stratégie de nidification de cette espèce diminue donc le succès à l'éclosion. En effet, l'inondation répétée des œufs cause une augmentation de la salinité, induisant la mort des embryons (Bustard & Greenham, 1968; Whitmore & Dutton, 1985).

3.2. La tortue verte

La tortue verte (*Chelonia mydas*, Linnaeus, 1758) est la plus grande des tortues de la famille des *Cheloniidae* (figure 1.19). Les *Cheloniidae* sont pourvus d'une carapace solide et possèdent des écailles. Les zones de ponte des tortues vertes sont réparties dans la ceinture intertropicale à l'exception de la façade Est pacifique. Cette espèce est classée «menacée d'extinction» par la liste rouge de l'IUCN.



Figure 1.19: Tortue verte en phase de balayage sur la plage de Yalimapo

Les tortues vertes ont une préférence de ponte sur la partie végétalisée des plages proche de la ligne de pleine mer (Bustard & Greenham 1968; Bustard, 1972; Brown & Macdonald 1995; Chen *et al.*, 2007; Turkozan *et al.*, 2011). Cette préférence semble susciter un succès à l'éclosion plus important.

PARTIE 4. LES SITES D'ETUDES

Les deux sites d'études choisis pour mener nos travaux présentent un contexte morphodynamique distinct: 1) Le littoral de Kourou impacté par le passage d'un banc sur son littoral; 2) La plage d'Awala-Yalimapo, une plage estuarienne pérenne peu impactée par le passage des bancs sur laquelle les tortues viennent pondre.

1. Littoral d'Awala-Yalimapo

Le littoral d'Awala-Yalimapo est inclus dans la Réserve Naturelle de l'Amana (RNA). Avant 2007, les villages d'Awala et Yalimapo possédaient un front de mer composé de plages sableuses (figure 1.20). La plage d'Awala était une plage estuarienne sous l'influence du fleuve de la Mana et la plage de Yalimapo à la sortie du fleuve du Maroni. Suite à l'ouverture naturelle d'une brèche dans la Pointe Isère en 1998, le lit du fleuve Mana a changé et son ancien lit, situé devant le village d'Awala, a été rapidement barré par une flèche sableuse. Le littoral du village d'Awala s'est progressivement envasé pour être aujourd'hui recouvert de mangrove (figure 1.20). Un nouveau banc de vase est aujourd'hui sur la façade océanique de l'ancienne flèche sableuse (au large) et est aussi en voie de colonisation par la mangrove. Cette transformation sera détaillée dans le chapitre 3.

Ainsi, les modifications majeures du littoral d'Awala ont rendu inaccessible sa plage pour les tortues marines. La dynamique morphosédimentaire des plages d'Awala-Yalimapo n'a jamais été étudiée jusqu'à présent. De même, la sélection finale du site de ponte des tortues luth sur la plage des Hattes a été très peu étudiée (Fretey & Girondot, 1987, 1989; Kamel & Mrosovsky, 2004; Kelle *et al.*, 2007). Concernant les tortues vertes, aucune étude n'a été réalisée sur ce sujet en Guyane.

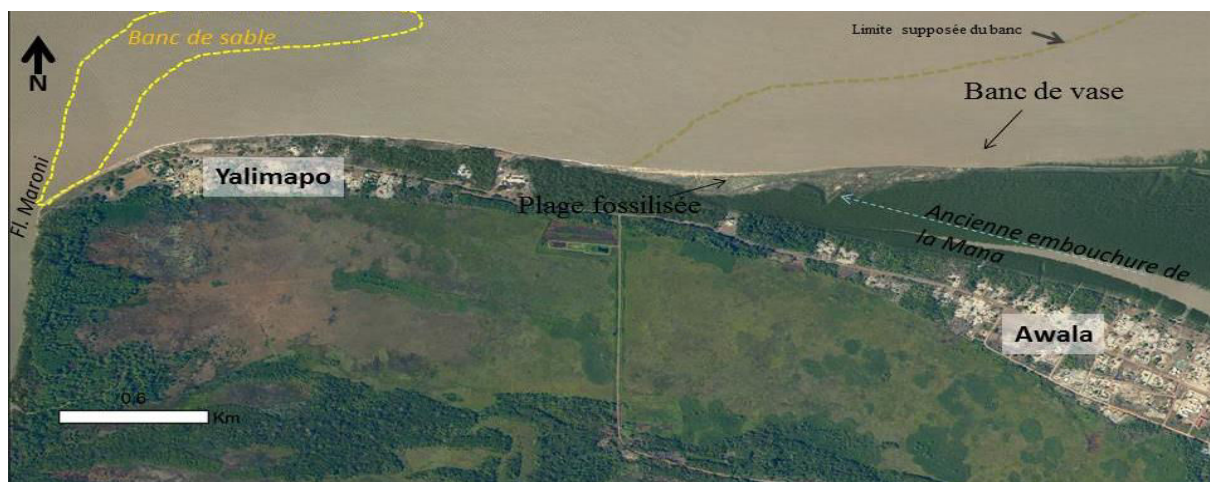


Figure 1.20: Site d'étude d'Awala-Yalimapo (Ouest Guyane) (Orthophoto 2012, IGN©)

2. Littoral de Kourou

Les fluctuations du trait de côte modifient ce littoral qui alterne entre progradation et érosion. Les plages de Kourou (figure 1.21), situées entre des avancées rocheuses, sont sujettes à des envasements périodiques. Ce site est exposé à la dynamique de fluctuation du trait de côte, engendrée par le passage des bancs de vase, et peut donc se retrouver complètement envasé lors de leur migration. La ville de Kourou est bordée par l'embouchure du fleuve Kourou (figure 1.21). Ce fleuve malgré son faible débit semble ralentir la progression des bancs (Gardel et Gratiot, 2004; Gensac, 2012). Le fleuve Kourou abrite le port de Pariacabo (port du Centre Spatial Guyanais), qui est un port économique fortement fréquenté notamment pour la livraison des éléments des fusées spatiales. Dans ce contexte, le tirant d'eau doit être suffisamment important pour permettre le passage des gros navires de transport. Lorsqu'un banc de vase est situé à proximité, l'accumulation de vases fluides diminue la profondeur du chenal, ce qui nécessite un dragage intensif pour maintenir une profondeur adéquate pour le passage des navires.



Figure 1.21: Photographie oblique de la ville de Kourou et de l'embouchure du fleuve le 14/11/2012 (© Péron)

PARTIE 5. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La gestion d'espèces protégées nécessite une approche écosystémique prenant en compte la dynamique de l'écosystème d'accueil dans son ensemble. Les interactions interspécifiques sont un indicateur naturel de l'état d'un écosystème et de ces éventuelles évolutions. Chez les tortues marines qui sont dépendantes des plages sableuses pour la nidification, la modification de la qualité du substrat ou l'évolution de ces domaines littoraux peut être problématique. Aussi, la conservation de ces espèces nécessite la préservation des sites de ponte qui constituent un point clé dans la reproduction des tortues marines. Les premières étapes avant tout effort de conservation d'une espèce visent à évaluer d'une part le nombre d'individu et d'autre part à caractériser leur habitat. Une meilleure connaissance de

l'évolution du littoral guyanais et de sa dynamique morphosédimentaire est donc primordiale pour toute étude concernant les sites de ponte et le succès reproducteur des espèces qui l'utilisent. Effectivement la fréquentation des tortues est assimilée à la qualité du substrat sur ces sites (Hendrikson & Balsingham, 1966 ; Mortimer, 1995).

Les dynamiques morphosédimentaires des différents types de plages du monde ont fait l'objet de nombreuses études certaines proposant même des classifications (par exemple, la classification des plages de Wright & Short, 1984). Le lien entre ces dynamiques morphosédimentaires et la fréquentation par les tortues n'a été que très peu étudié et seuls certains paramètres (pente, granulométrie) sont dans la majorité des cas utilisés. Le site de ponte d'Awala-Yalimapo fait l'objet de divers travaux de recherche sur les tortues marines, cependant aucune étude morphodynamique n'a jamais été réalisée en lien avec leur écologie.

Cette thèse présente ainsi les premiers résultats de la dynamique morphosédimentaire de cette plage estuarienne en lien avec l'activité de ponte de deux espèces de tortues marines: la tortue luth et la tortue verte.

Au cours de ces travaux de recherche, nous nous sommes intéressés aux répercussions géomorphologiques du passage d'un banc de vase sur les littoraux sableux. Il s'agissait d'évaluer les éléments moteurs de la migration des bancs de vase et de mieux comprendre leur dynamique le long du littoral guyanais et la répercussion de leur migration sur ce littoral. En effet, leur déplacement influence directement la présence ou non des plages sableuses ainsi que la qualité du substrat de ponte pour les tortues marines. Pour ce faire, comme nous l'avons vu ci-dessus deux types de littoraux sableux ont ainsi été choisis.

Ce manuscrit est structuré autour de deux grands axes de recherche majeurs l'un visant à améliorer les connaissances de la dynamique des habitats de ponte des tortues marines et le second à évaluer l'influence de ces caractéristiques sur leur distribution.

Les chapitres suivants se composent d'un chapitre de présentation des matériels et méthodes utilisés (chapitre 2), suivis de deux chapitres de résultats (chapitre 3 et 4).

Le **chapitre 3** s'articule autour de deux axes et présente les résultats obtenus au cours de ces travaux de recherche. Le premier axe se divise en deux volets de recherche s'intéressant aux répercussions géomorphologiques du passage des bancs de vase sur les littoraux sableux. Le premier volet concerne les répercussions **du passage d'un banc de vase sur le littoral de Kourou et la reformation de la plage au départ de celui-ci**. Le second volet traite de la cinétique du **trait de côte de l'Ouest guyanais (depuis 1950)**, ce qui permet de mieux appréhender la dynamique morphosédimentaire à court terme de la plage d'Awala-Yalimapo permet de **caractériser l'habitat de ponte des tortues marines ainsi que la dynamique mensuelle, saisonnière et annuelle de cette plage**.

Le **chapitre 4**, concerne le comportement de ponte des tortues marines sur la plage d'Awala-Yalimapo. Cette partie vise donc à évaluer les paramètres environnementaux pouvant influencer la sélection du site de ponte par les tortues marines.

Dans ce contexte, les questions abordées dans ce chapitre sont les suivantes :

- **Quels sont les déterminants environnementaux pouvant jouer un rôle dans la distribution des tortues marines sur leur site de nidification ?**
- **Les tortues vertes et luth réagissent-elles de la même façon à un même facteur ?**
- **Les facteurs influençant la ponte et la distribution des pontes ont-ils le même degré d'importance chez la tortue verte et la tortue luth ?**

Dans la discussion (chapitre 5), nous cherchons à faire le lien entre la dynamique hydro-morphosédimentaire et l'écologie des plages sableuses. La forte mobilité du trait de côte sur le littoral guyanais contraint les animaux à adapter régulièrement leur comportement. De plus, les milliers de nids réalisés sur la plage d'Awala-Yalimapo par les tortues vertes et luth peuvent influencer la dynamique morphosédimentaire de la plage. Il s'est donc posé la question de **quelle était l'influence de ces pontes sur la morphodynamique de la plage d'Awala-Yalimapo ?**

La nature érosive des plages de ponte modifie les conditions environnementales d'incubation des œufs déposés et à court –terme influencé le succès à l'incubation. **La plage d'Awala-Yalimapo possède t'elle certain lieux de ponte plus favorables à l'accueil des nids ?**

Chapitre 2.

Méthodologie

Partie 1. Mesures hydrodynamiques

Partie 2. Méthodologie du suivi morphosédimentaire

Partie 3. Apports de la télédétection

Partie 4. Sédimentologie

Partie 5. Les tortues marines

Partie 6. Synthèse



Ce chapitre présente l'instrumentation utilisée et déployée au cours des différentes campagnes de mesures *in-situ*, ainsi que la méthodologie employée lors du traitement des données acquises ou le traitement des données de télédétection. Entre mars 2011 et juin 2013, l'instrumentation sur le site de la plage de Yalimapo a permis l'acquisition d'un jeu de données uniques, sur le plan hydro-morphosédimentaire en lien avec l'activité de ponte des tortues marines. A ces mesures *in-situ* sont venus s'ajouter des données de télédétection pour l'évolution à moyen terme du littoral de l'Ouest guyanais.

Sur le site de Kourou, la télédétection a été utilisée pour étudier le comportement d'un banc de vase lors de son passage et ses répercussions sur le littoral. En 2013, quelques mesures *in-situ* ont été réalisées pour étudier la reconstitution de la plage liée au départ du banc de vase.

PARTIE 1. MESURES HYDRODYNAMIQUES

Moteur de la dynamique morphosédimentaire, les conditions hydrodynamiques des milieux étudiés sont nécessaires pour mieux comprendre leur évolution. Cela implique la mise en place de campagnes d'acquisition de mesures hydrodynamiques via le déploiement d'instrumentation ou alors de moyens alternatifs (modèles numériques).

1. Instrumentation

1.1. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

La direction et la vitesse des courants dans la colonne d'eau ont été mesurées à l'aide d'un courantomètre-houlographe ADCP de type work-sentinel 1200 Khz de RDI instrument (RD instruments, 1989), doté d'une double fonction, il mesure en effet la direction et la vitesse des courants dans la colonne d'eau (figure 2.1). Pour mesurer les paramètres, l'ADCP utilise l'énergie acoustique réfléchiée par les particules en suspension dans l'eau. L'ADCP est équipé de quatre transducteurs émettant des pulsations acoustiques à une fréquence de 1200 Khz dans l'eau qui sont par la suite réfléchies par les particules en suspension. L'appareil est intégré d'un capteur de pression indiquant les variations d'élévation de la surface libre de l'eau. Les courantomètres permettent l'obtention des trois composantes de la vitesse V_e (Est), V_n (Nord) et V_{up} (Verticale). Cet instrument fournit des profils de vitesses et direction du courant dans différentes tranches de la colonne d'eau (bins), choisies par l'opérateur. La fonction houlographe permet d'extraire les paramètres de houles des données du capteur de pression obtenant tels que la hauteur, la période et la direction de houle à la surface libre de l'eau.



Figure 2.1: ADCP worksentinel 1200 Khz de RDI instrument

Au cours des déploiements, les appareils ont été paramétrés avec une épaisseur de 35 cm pour les cellules (bins) et un espace dit de «blanc» de 85 cm, correspondant à une zone entre l'appareil et la première cellule de mesure. La durée d'enregistrement, appelée «burst», est programmée pour enregistrer les données durant 9 minutes toutes les 15 minutes avec une fréquence d'acquisition de 2 Hz.

Les séries de données sont souvent tronquées en raison de dysfonctionnement technique de l'appareil (tableau 2.1). Ces déploiements nous ont permis d'évaluer les conditions hydrodynamiques au cours des périodes de mortes et de vives eaux.

Pour évaluer, les conditions hydrodynamiques en période de banc de vase, en 2010, trois ADCP ont été déployés sur le littoral de Kourou, disposés selon un transect perpendiculaire à la côte à des profondeurs de 5 m, 8 m et 10 m.

Tableau 2.1: Récapitulatif des périodes de déploiement du courantomètre houlographe en 2011 et 2012 sur l'avant plage de Yalimapo

	Date de déploiement	Nombre de jours	Période
2011	10-12/03/2011	3	ME
	17-22/04/2011	9	VE
2012	26/03 – 06/04/2012	12	ME-> VE
	8-10/05/2012	3 (problème appareil)	VE
	4-06/06/2012	3 (problème appareil)	VE

1.2. Courantomètre

La direction et la vitesse des courants dans la colonne d'eau ont été mesurées à l'aide de trois courantomètres à effet Doppler «Aquadopp current meter (® NortekMED)», basés sur le principe d'émission et de réception d'ondes acoustiques ultrasons (figure 2.2). Les ondes, émises vers la surface puis réfléchies, sont captées par trois transducteurs qui mesurent alors la vitesse des particules en suspension dans l'eau et donc la vitesse des courants. Ces courantomètres sont paramétrés avec un burst de 5 minutes toutes les 10 minutes. Les données obtenues sont constituées de mesures de vitesse et de direction du courant mesurées selon les trois composantes (*Est, Nord, Up*).



Figure 2.2: Courantomètre de type Aquadopp

Ces courantomètres ont été déployés le long d'un gradient longshore dans la zone proche subtidale de la plage de Yalimapo et à proximité de l'avant-banc de vase les 15 et 16 mai 2013 (figure 2.3). Pour garantir la fiabilité des données, l'appareil ne doit pas dépasser 30° d'inclinaison (roulis et tangage).

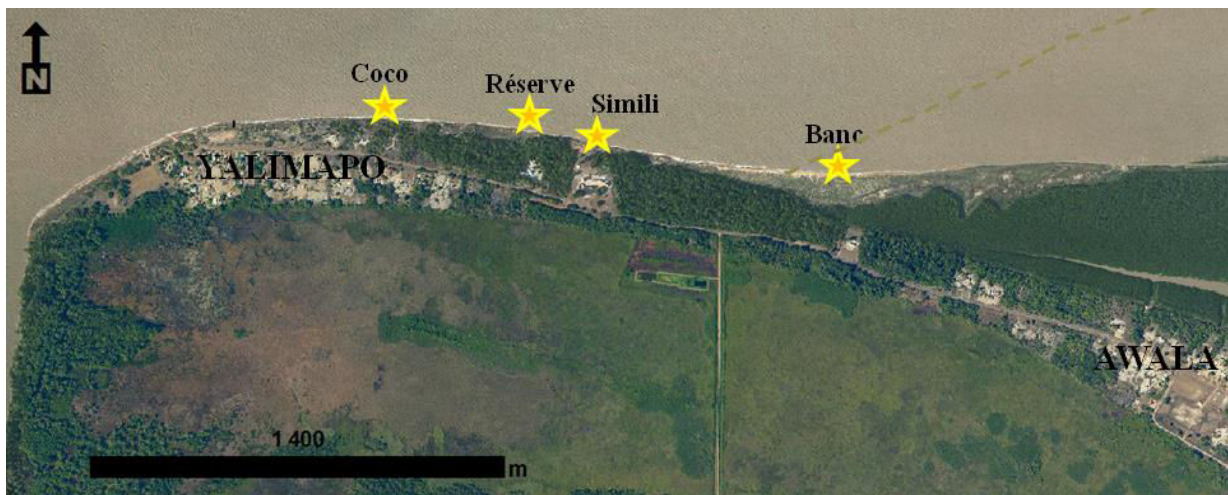


Figure 2.3: Emplacement des trois courantomètres les 15 et 16 mai 2013 dans la zone proche subtidale à Yalimapo

1.3. Altus

L'ALTimètre Ultra-Son (Altus) (Jestin et *al.*, 1998) fonctionne à une fréquence d'ondes acoustiques de 2MHz, celui-ci est constitué de deux parties: le transducteur acoustique et le module enregistreur (figure 2.4). Le transducteur doit être orienté vers le sédiment et placé à une trentaine de centimètres du sol. Celui-ci convertit le temps de trajet entre l'émission de l'onde acoustique et sa réception par le transducteur en distance. Le module enregistreur est composé d'un capteur de pression qui traduit la hauteur d'eau au-dessus du capteur. Ces variations de hauteur d'eau peuvent être elles-mêmes utilisées afin d'en déduire les paramètres de houle. Ce module permet également l'acquisition de 1 à 4 seuils de détection de l'énergie acoustique reçue qui se traduit en hauteur entre transducteur et

sédiment. Ces quatre seuils permettent de quantifier les apports et pertes de sédiments dans la zone de déploiement. Cependant, ce dernier élément n'ayant pas été calibré, les données obtenues ne sont pas exploitables. Seuls les enregistrements issus du capteur de pression ont été utilisés.

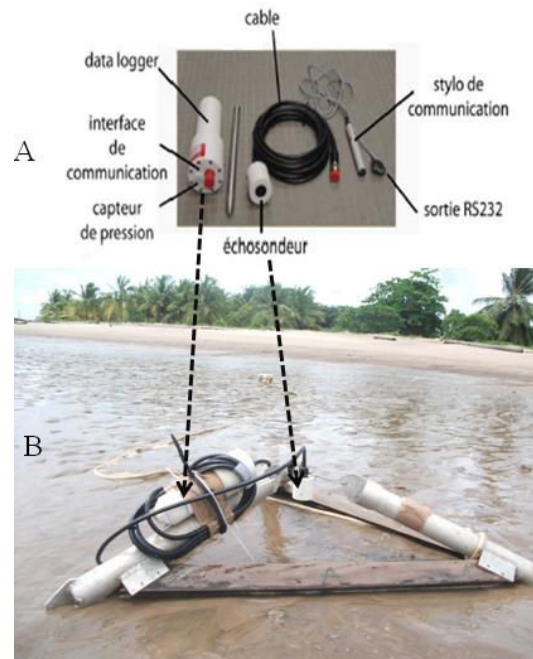


Figure 2.4: (A) Eléments composant le système Altus; (B) Système Altus déployé sur l'estran de la plage de Yalimapo.

Le système d'acquisition de pression de l'altus possède une précision de ± 6 cm selon le constructeur. L'altus a été déployé a quelques reprises sur la plage d'Awala-Yalimapo en 2011 et 2012 ainsi que sur la vasière d'Awala en 2013 (tableau 2.2.).

Tableau 2.2: Tableau récapitulatif des périodes de déploiement du système Altus dans la zone intertidale de la plage des Hattes entre 2011 et 2012 et sur la vasière de l'avant banc en 2013.

	Date de déploiement	Fréquence (Hz)
2011	20-21/04	2
	17-18/06	2
2012	10-15/05	2
	15-21/05	0,33
	20-22/06	2
	04-07/07	1
2013	27-28/03	2
	08-09/06	2
	Kourou 27/03	2
	Kourou 29/04	2
	Kourou 28/05	2

1.4. Capteur de pression

Afin de mesurer les variations d'altitude du plan d'eau, des capteurs de pression (sonde SP2T-10 par NKE instrument) ont été installés dans la zone intertidale et proche subtidale des zones d'études (figure 2.5). Les capteurs de pression, ont été déployés à une fréquence de 1 à 2 Hz afin d'extraire les paramètres de houle. Les capteurs mesurent la pression et la température dans la colonne d'eau et sont un bon compromis pour l'acquisition de données hydrodynamiques. Au cours des campagnes de mesures, ces capteurs ont permis l'acquisition d'une longue série de données non continues (tableau 2.3).



Figure 2.5: Capteur de pression déployée sur la vasière. Le capteur est fixé sur un fer à béton de 2m enfoncé dans la vase.

Tableau 2.3: Tableau récapitulatif des périodes de déploiement des capteurs de pression dans la zone intertidale de la plage des Hattes entre 2011 et 2012 et sur les vasières en 2013.

	Date de déploiement	Fréquence (Hz)	Nombre de jours
2011	12/03-13/03	2	1
	20/03-26/03	2	7
	17-22/04	2	5
	20-21/04	2	2
	30/08-31/08	2	2
	26/10-27/10	2	2
2012	26/03-31/03	2	6
	04/04-11/04	2	8
	10/05-12/05	2	3
	09/05-12/05	1	4
	18/05-23/05	2	6
	05/06-12/06	1	8
	04/06-05/06	1	2
	10/11-11/11	2	2
2013	27-29/03	2	2
	15-21/05	2	6
	16-17/05	2	2
	09-10/05	2	2
	Kourou 26/03	2	1
	Kourou 29/04	2	1

1.5. GPS : courantologie

A marée descendante, une série de bouées équipées de GPS CatTrack® ont été déployées à l'embouchure du fleuve Maroni. Cette expérience avait pour but d'évaluer l'écoulement du Maroni avec le courant de jusant par le biais de bouées-GPS sous le principe d'une dérive lagrangienne (figure 2.6).

Un premier déploiement de trois bouées s'est déroulé pendant une marée de morte-eau mais pendant un jour de fort débit ($Q \sim 4400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) le 15 mai 2013. La seconde série de largage de bouée s'est déroulé du 09 au 11 juin 2013 ($Q \sim 2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), où quatre bouées ont été lâchées à l'embouchure à la racine du banc de sable.



Figure 2.6: Dispositif de la bouée équipée de GPS sous le principe de dérive lagrangienne

2. Modèles et autres données hydrologiques

2.1. Données ECMWF WAM ERA 40

Les données issues de ERA-40 (European Re-Analysis 40 years) sont issues d'une réanalyse des variables météorologiques globales du modèle de Houle (WAM=Wave Model) (Wamdig, 1988; Komen et al., 1994). Ce modèle a été validé à partir de données (moyennées sur 3 heures) des bouées américaines déployées par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Les données de hauteurs et de directions des houles, acquises à la coordonnée $5^{\circ}\text{N } 52^{\circ}\text{W}$, ont permis d'obtenir les caractéristiques des paramètres de houles proches du littoral guyanais. Ce modèle présente cependant des limites puisque pour des fortes ($H_s > 5 \text{ m}$) et faibles ($H_s < 1 \text{ m}$) houles, les hauteurs sont sous et surestimées (Sterl et Caires, 2005; Caires et Sterl, 2005).

Cette station est opérationnelle depuis 1953 et n'a connu que de très brèves interruptions; ce qui nous a permis d'obtenir un jeu de données de plus de 63 ans des conditions hydrodynamiques fluviales dans le Maroni.

2.4. Données marégraphiques

Le choix des dates et heures de campagnes de mesures a été conduit en se référant aux valeurs de marées théoriques calculées par le logiciel de prédiction Shomar du S.H.O.M. (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). En Guyane française le S.H.O.M. fournit les hauteurs de marée prédictives pour trois stations réparties sur le littoral: Le Larivot, les Iles du Salut et les Hattes.

Les hauteurs théoriques du niveau de la mer sont influencées par le vent et la pression atmosphérique qui modulent l'amplitude du signal de marée. Lorsque le niveau réel baisse, on parle de *décôte* et quand celui-ci est surélevé, c'est la *surcôte*. Les variations du niveau d'eau influencent directement les changements morphologiques du haut de plage, compte tenu que les surcôtes augmentent la hauteur de déferlement des vagues sur l'estran. Il s'agit ici de comparer la fiabilité des prédictions fournies par le modèle du SHOM, par rapport aux mesures *in-situ* acquises en partie sur la plage des Hattes et sur la plage de Kourou. Les différences de hauteur d'eau entre le modèle du SHOM et celles relevées *in-situ*, semblent être plus importantes à marée haute avec des surcôtes de ~ 50 cm. Le décalage temporel semble être de ± 10 min par rapport aux prédictions du SHOM (figure 2.8).

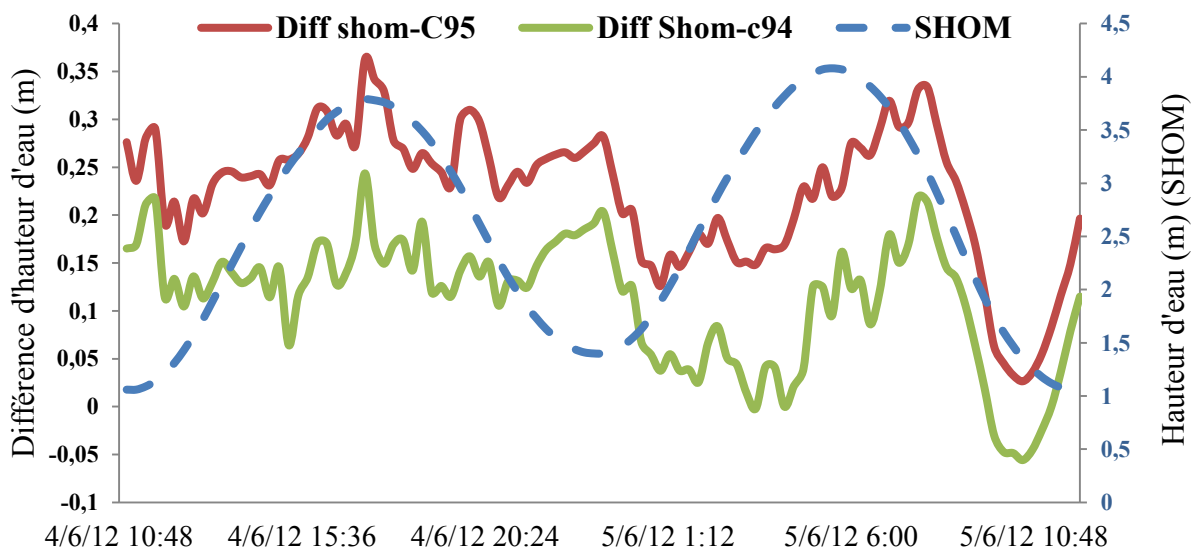


Figure 2.8: Différences de hauteurs entre mesures *in-situ* (Rouge pour le capteur n°C95, et vert pour le capteur n°C94) et les valeurs prédictives du SHOM (Bleu pointillé) sur la plage des Hattes.

PARTIE 2. METHODOLOGIE DU SUIVI MORPHOSEDIMENTAIRE

Le suivi de l'évolution morphosédimentaire des plages et vasières a donné lieu à la mise en place d'un protocole de suivi topographique couplé de quelques relevés bathymétriques.

1. Suivis topographiques de la morphodynamique de la plage

Afin de rendre compte des changements morphologiques à plus grande échelle spatiale, trois types de mesures ont été réalisés sur deux portions de la plage (à l'Ouest et à l'Est de la plage) :

- (1) des profils 2-D *cross-shore* avec un pas de mesure de 1 à 5 m (tous les mois ou les deux semaines)
- (2) des modèles numériques de terrains (MNT) zonaux (zone 1A et 1B) avec un maillage régulier de points tous les 5 à 10 m (tous les mois ou les deux semaines)
- (3) des modèles numériques de terrain généraux englobant toute la plage (~1400 à 1500 m de long, tous les 2 à 3 mois)

Pour couvrir au mieux les variations morphologiques rencontrées au cours de la période de mesures, sept profils ont été répartis sur la plage de Yalimapo (figure 2.9). Les relevés ont été réalisés en 2011, 2012 et 2013. En 2012, trois autres profils (n° 8 à 10) ont été ajoutés au protocole, ceux-ci localisés au-delà de la zone d'étude (figure 2.9). Ces derniers profils permettaient d'évaluer la dynamique morphosédimentaire à l'avant banc de vase.



Figure 2.9: Emplacement des dix profils 2-D (trait noir) de plage ainsi que l'emprise des modèles numériques de terrain zonaux (Z1A et Z1B) (rectangle rouge).

Afin d'évaluer la mobilisation sédimentaire engendrée par les tortues marines et par la marée, des relevés topographiques à micro-échelle ont été réalisés sur la plage.

En 2013, les interactions sable/vase dans la zone frontale du banc de vase a conduit à la réalisation de modèles numériques de terrain.

La dynamique de plage de l'arrière banc de Kourou et un levé topographique sur le chenier de la Malmanoury a également été mesurée par levés topographiques.

1.1. Relevés topographiques

Les relevés topographiques ont dans la majorité des missions été acquis à partir d'une station électronique, dite totale de type Leica TC 470 (figure 2.10). Ce tachéomètre à visée laser est constitué d'une station de mesure disposée sur un trépied et associé à un prisme réflecteur monté sur une canne télescopique. Les levés topographiques sont réalisés à partir de «têtes de stations» fixes de coordonnées (X, Y, Z) connues, localisées sur le haut de plage végétalisé pour permettre la répétition des mesures à chaque levé.

Avant de commencer les relevés, la station totale est positionnée sur une tête de station de coordonnées connues. Dans un deuxième temps, les hauteurs de l'instrument et de la canne munie du réflecteur sont entrées



Figure 2.10: Photographie de la station totale Leica TC 470

dans la base de données du tachéomètre (figure 2.11). La mise en station de l'appareil est suivie de la visée d'une ou de plusieurs têtes de station (de coordonnées connues) permettant une géolocalisation de l'appareil. Cet instrument repose sur le principe de réflexion d'un faisceau laser infrarouge dirigé du tachéomètre vers le prisme réflecteur. Pour chaque point pris par l'appareil, celui-ci calcule les coordonnées X, Y, Z, à partir de la mesure des angles et de distance.

Le site d'étude n'étant pas rectiligne, les têtes de stations ont été disposées en fonction de la configuration de la plage pour minimiser le nombre de points de calage sur le site. Ces têtes de stations ont été matérialisées par des fers à béton installés sur la portion végétalisée du haut de plage et protégés par un tube pvc ou bouteille afin d'éviter tout accident par les divers utilisateurs de la plage.

Le recul de la crête et l'érosion du haut de plage dû à la houle, les tortues marines ou la fréquentation touristique, a parfois conduit à une déstabilisation de cette portion au cours des trois années de suivis provoquant la disparition ou le déplacement de certaines têtes de stations. Un renouvellement des stations a donc été nécessaire tout au long de l'étude.

L'instabilité des milieux levés par le tachéomètre, a nécessité une vigilance particulière lors de la réalisation des mesures. En effet, l'enfoncement de la canne de mesure dans le sable ou sur la vasière a été surveillé afin d'éviter une erreur de précision trop importante des mesures. La précision de la station totale Leica par le constructeur est de $\pm 0,2$ mm et $0,2^\circ$.

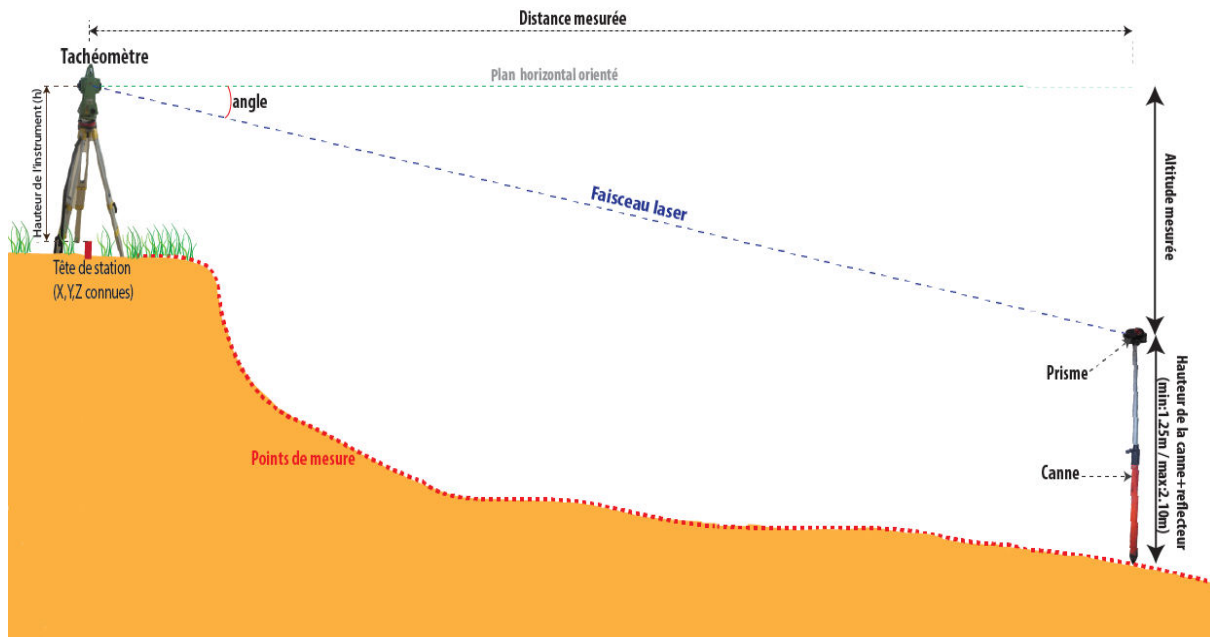


Figure 2.11: Schéma du principe de fonctionnement de la station totale

1.2. Traitement des données topographiques

Les données des profils issues des relevés topographiques ont été traitées à l'aide de la macro Excel Profiler 3.0 XL développée par Olivier Cohen de l'équipe Morphodynamique des littoraux du Laboratoire d'Océanologie et Géosciences (LOG, UMR 8187) de l'Université du Littoral Côte d'Opale. Cet outil permet entre autres de calculer, par interpolation, des variations d'altitude par mètre linéaire mais également le calcul de volumes par mètre linéaire de plage.

Les modèles numériques de terrain ont été analysés indifféremment par les logiciels Surfer 8 (Golden Software) ou ArcGIS 9.2. Les points des levés ont été interpolés par la technique du krigeage. Les modèles numériques de terrain n'ont pas été réalisés avec les mêmes équipes de travail, et, en l'absence de repères dans l'eau, ces MNT n'avaient pas une emprise similaire. C'est pour cela qu'ils sont généralement comparés deux à deux.

La série de dix modèles numériques de terrain couvrant la totalité de la plage levée entre mars 2011 et mai 2013, permet de mettre en évidence des dynamiques morphosédimentaires saisonnières selon trois périodes :

- Classe A, Saison des pluies : mars à juin 2011, mars à mai 2012 et 2013
- Classe B, Fin de la saison des pluies : juin à août 2011 et mai à juillet 2012
- Classe C, Saison sèche : août à octobre 2011 et juillet à novembre 2012

Pour apprécier les modifications morphologiques sur les profils topographiques, ceux-ci sont représentés sur un graphique avec en abscisse la distance cumulée (m) entre le début et la fin du profil en fonction de l'altitude topographique exprimée en mètres dans le système de référence NGG 1977. Des calculs de volumes sédimentaires d'érosion ou accrétion ont été calculés. Le premier est un volume

relatif (V rel) différentiel entre deux levés, puis un volume cumulé (V cumulé) sur l'ensemble des levés topographiques. Ces volumes sont calculés par l'extension Excel Profiler 3.0XL sur les tronçons communs des profils. En effet, les profils ne sont pas de longueur similaire, et leur comparaison doit être faite sur une même longueur.

Afin de rendre compte du nombre de relevés effectués, les tableaux présentent l'historique des mesures topographiques effectuées au cours de ces travaux de thèse. Le tableau 2.4 récapitule donc la majorité des relevés topographiques effectués sur le site d'Awala-Yalimapo et de Kourou. 205 profils ont été réalisés sur la plage d'Awala-Yalimapo entre 2011 et 2013. Le nombre de total de points topographiques pris au cours de ces 2 ans ½ avoisine les 60000 points. La vitesse d'acquisition en un point fixe est d'environ 250 points par heure.

Tableau 2.4: Récapitulatif des dates de réalisation des profils 2-D cross-shore et des modèles numériques de terrain sur la plage d'Awala-Yalimapo et de Kourou

Profils							MNT plage				
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5	Profil 6	Profil 7	Date	Saison	Nombre de points	
2011	12-mars		13-mars		12-mars			2011	09-11/03	Sèche	1321
	20-avr				20-avr				14-16/06	Pluie	2316
			18-mai						11-12/08	Pluie	2557
			03-juin						27-28/10	Sèche	2076
	14-juin		16-juin		15-juin			2012	10-12/03	Sèche	2904
	02-juil				04-juil				17-18/05	Pluie	4747
	15-juil				16-juil				09-11/07	Pluie	4664
			02-août						10-11/11	Sèche	2103
			05-août					2013	17-18/03	Sèche	5328
	11-août				12-août				25-28/05	Pluie	7554
		27-oct									
2012	11-mars		09-mars		10-mars		09-mars		MNT avant-banc		
	27-mars		26-mars		27-mars		28-mars				
	13-avr		07-avr		12-avr						
			04-mai		07-mai						
			17-mai								
			05-juin								
	18-juin		20-juin		18-juin						
			24-juin								
	02-juil		04-juil		03-juil						
	09-juil				10-juil						
			29-août								
	18-sept				17-sept						
	11-nov		10-nov		11-nov						
18-déc		20-déc		18-déc		20-déc					
2013			21-mars						MNT arrière-banc		
			29-avril								
			30-mai								
								* + de 2km couvert ** uniquement la zone de vase fluide			
								Malmanoury Awala			
								Date Nombre de points			
								Kourou			
								Date Nombre de points			

2. Suivi de la dynamique sédimentaire à court terme

Le suivi de la dynamique sédimentaire à court terme (à l'échelle d'une marée montante) consiste en l'utilisation de la méthode des piquets de *swash*. Le terme « swash » indique la zone d'action du déferlement des vagues sur la plage, zone qui évolue en fonction du niveau d'eau modulé par la marée. Le suivi topographique effectué par les piquets de swash nous renseigne sur les phénomènes hydro sédimentaires se déroulant au cours d'une marée montante. L'expérience des piquets de swash a pu être réalisée cinq fois entre 2011 et 2012 (tableau 2.5). Cette méthode a pour but l'implantation de piquets de fer le long d'un transect de plage, espacés de trois à cinq mètres afin de caractériser la dynamique sédimentaire à court terme le long d'un profil de plage (figure 2.12). Munie d'un tube pvc (d'un mètre de haut) et d'un mètre ruban, l'expérimentation consiste à mesurer la hauteur de chaque piquet dépassant du tube pvc (figure 2.13). Connaissant la hauteur initiale, la nouvelle hauteur mesurée indique l'apport ou la perte sédimentaire au niveau du piquet.

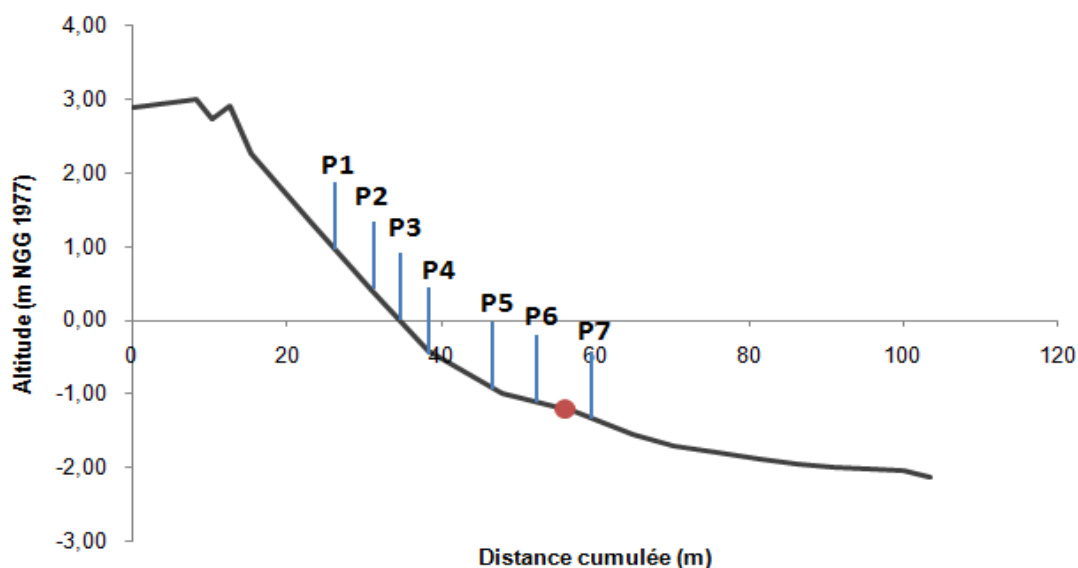


Figure 2.12: Profil topographique et localisation des piquets et de l'Altus (rond rouge) le 17 juin 2011 lors de l'expérimentation.

Parallèlement à ces mesures, le déploiement d'un altus permet d'obtenir les caractéristiques hydrodynamiques au moment de l'expérience des piquets de swash (figure 2.4).

Les relevés de la hauteur tube PVC-piquet sont réalisés toutes les 2 à 5 minutes durant 5 à 7 heures selon la localisation des piquets. Afin d'éviter tout accident, les piquets non accessibles au prochain relevés sont retirés de l'eau.

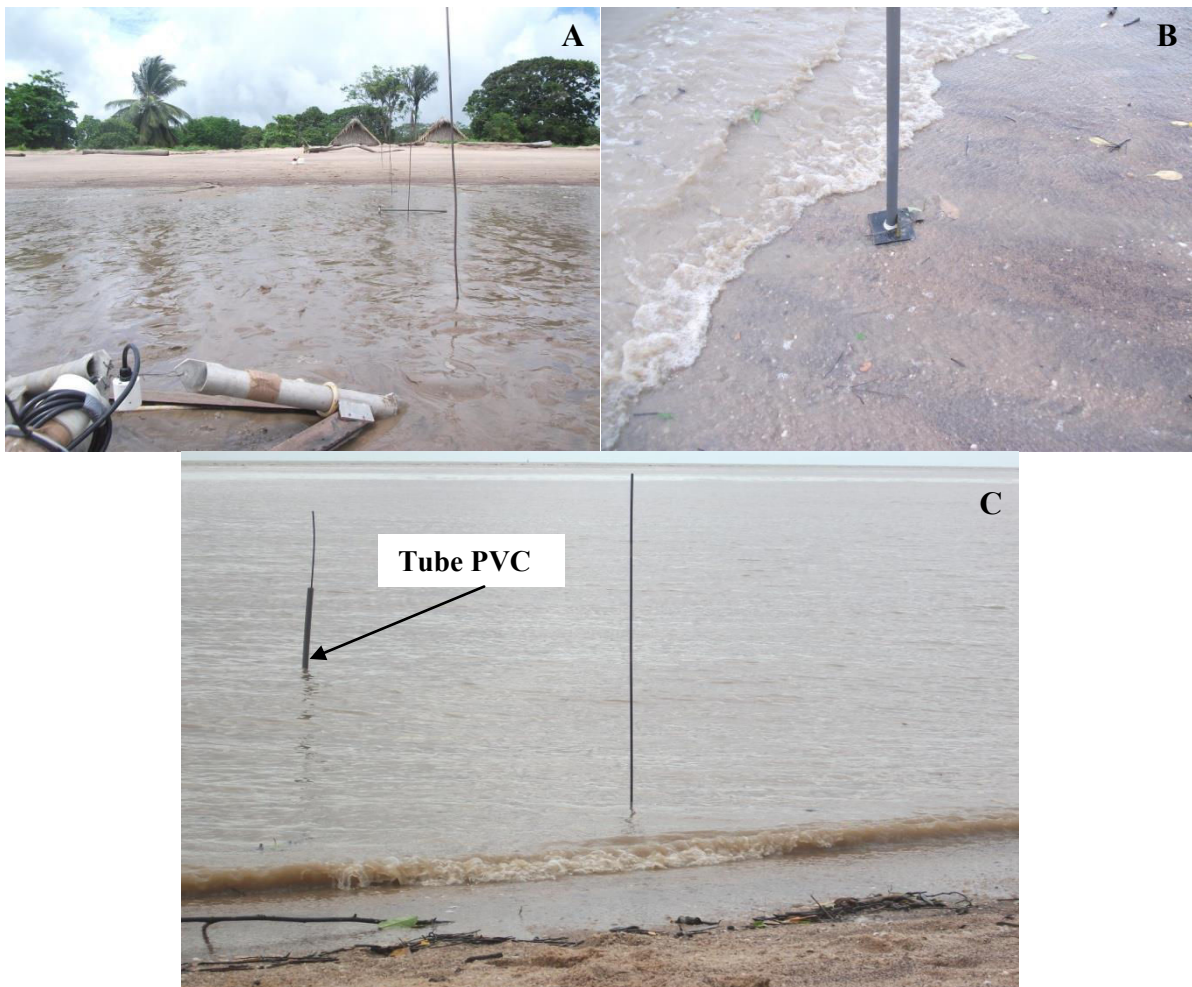


Figure 2.13: A/Photo des piquets de swash et de l'Altus (sur son support); B/ Photo du tube pvc sur un piquet; C/Piquets de swash

Tableau 2.5: Récapitulatif des dates de réalisation des piquets de swash

	Date de l'expérience
2011	20-avr
	17-juin
2012	15-mai
	20-juin
	04-juil

3. Mesures bathymétriques

3.1. Site d'Awala Yalimapo

Seulement, quatre campagnes bathymétriques ont pu être effectuées sur l'avant plage de Yalimapo en raison d'absence de moyens nautiques et techniques à disposition en Guyane entre 2011 et 2013 (tableau 2.6). L'instrumentation embarquée est constituée d'un sonar mono-faisceau de type GPS Map 521S Garmin, utilisé à une fréquence de 50 kHz. L'emprise des levés bathymétriques était de ~2 km de long et de 1,5 km de large (figure 2.14).

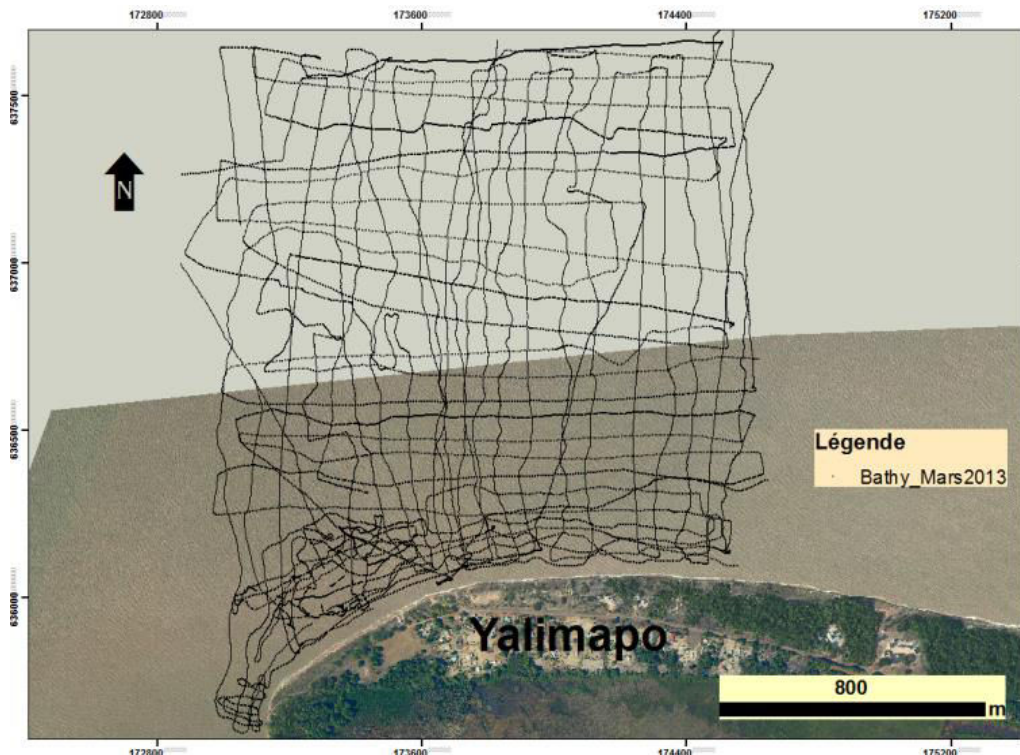


Figure 2.14: Emprise du levé bathymétrique sur l'avant plage de Yalimapo

Les données acquises via le sondeur ont été corrigées des hauteurs du plan d'eau (capteur de pression déployée au moment de la mesure) correspondant à l'instant du point de mesures (les données obtenues sont X, Y, Z et l'heure de mesures). Les coordonnées du semi de points obtenus ont été transformées dans le système planimétrique UTM 22 Nord et dans le système local altimétrique NGG 1977.

Le semi de points obtenu a été traité indifféremment par les logiciels Surfer 8 (Golden Software) ou ArcGIS 9.2 et les points constituant les levés ont été interpolés par la technique du krigeage.

Tableau 2.6: Date de réalisation des levés bathymétriques sur la plage des Hattes

	Date de réalisation	Nombre de km
2011	22-24/03	32
	30-31/08	72
2013	18-22/03	95
	15-17/05	40

3.2. Site de Kourou

Les campagnes de dragages du chenal de navigation du Kourou, mises en place par le Centre Spatial Guyanais, impliquent des sondages bathymétriques (figure 2.15). Les dragages sont réalisés fréquemment en périodes de forts envasements dans le Kourou, alors qu'en période calme (faible houle), ceux-ci sont occasionnels.

Les sondages bathymétriques dans le chenal du fleuve sont réalisés depuis 2002 par la Société Atlantique Dragage afin d'évaluer l'état du fond et donc les conditions d'accès au port de Pariacabo (figure 2.15). Ces relevés sont réalisés à l'aide d'un échosondeur bathymétrique à chaque point kilométrique délimitant le chenal de navigation, le long du chenal d'accès au port. Cependant, les faisceaux du sondeur ne peuvent pénétrer la vase, et les données obtenues nous renseignent sur la profondeur au-dessus de la couche vaseuse présente sur le fond marin. Parallèlement au levé bathymétrique, des mesures de la profondeur sont réalisées à l'aide d'un fil à plomb (qui traverse la vase fluide) à chaque point kilométrique. La différence obtenue entre la profondeur du fil à plomb et celle du sondeur bathymétrique correspond à l'épaisseur de la lentille de vase fluide présente dans le chenal de navigation du Kourou. La nature du fond vaseux (vase molle à fluide et vase consolidée) nous est renseignée.

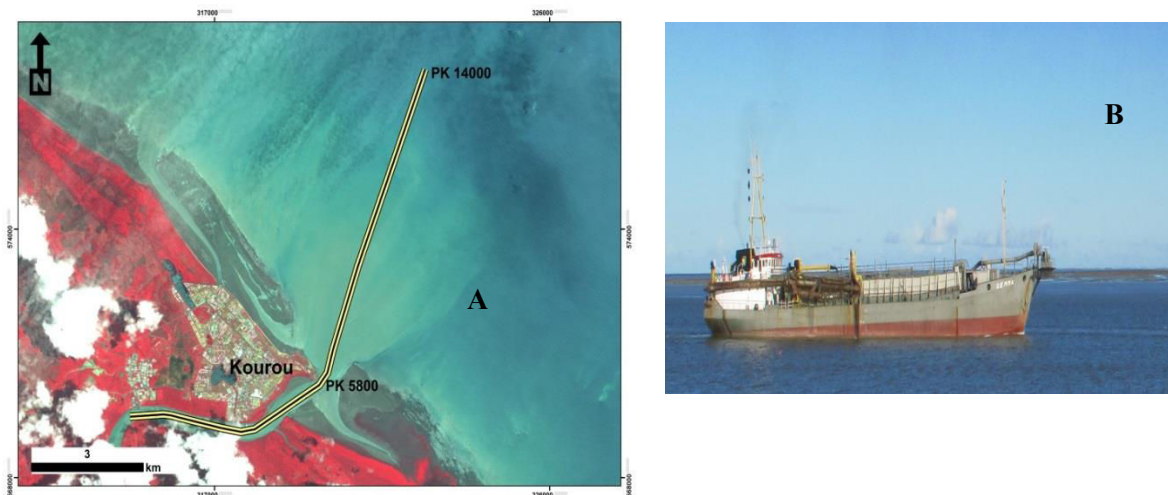


Figure 2.15: (A) Localisation du chenal de navigation du fleuve Kourou où les dragages et sondages bathymétriques ont été effectués et (B) Photographie de la drague.

PARTIE 3. LA TELEDETECTION

Le manque de mesures *in-situ* à long terme sur le littoral guyanais rend difficile l'amélioration des connaissances des processus côtiers. L'utilisation de données de télédétection est un bon moyen pour pallier au déficit des données *in-situ* sur cette côte vaseuse. L'accès à ces données permet de travailler à différentes échelles spatio-temporelles permettant ainsi la réalisation d'analyse diachronique de l'évolution du trait de côte et rend compte de la migration des bancs de vase. L'imagerie spatiale utilisée dans notre étude issue des capteurs SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) et Landsat apporte des données hautes résolutions spatiales permettant de couvrir tout le littoral guyanais. Afin d'évaluer la dynamique de ce littoral sur une très longue période, différentes sources de données ont été utilisées.

1. Imagerie spatiale

L'analyse diachronique des deux sites d'études a été réalisée à l'aide de l'imagerie satellitaire. Le type d'image utilisé diffère en raison de l'accessibilité des données sur les deux sites d'études. L'accès à des images issues du capteur SPOT entre 2006 et 2011 sur le site de Kourou a été facilité par l'intégration de cette zone dans le projet Infolittoral-1 dans lequel le LOG était partenaire. Alors que l'Ouest guyanais, n'étant pas inclus dans ces projets, n'a pu bénéficier de telle donnée récente de haute résolution. Les images Landsat 5 et Landsat 7 ont été utilisées pour compléter les images SPOT. Ces deux derniers types d'images sont accessibles gratuitement sur le site de l'United States Geological Survey (USGS) à une haute fréquence (mensuelle pour Landsat 5 et hebdomadaire pour les Landsat 7).

2. Photographies aériennes

Pour le suivi sur l'Ouest guyanais, nous sommes remontés jusqu'en 1950 par des clichés aériens réalisés par l'IGN. Avant toute exploitation de ces photographies, la première étape consiste à rectifier et à géo-référencer correctement les images, puisque celles-ci sont au départ des photographies verticales. Le travail d'ortho-rectification consiste donc à rectifier les coordonnées d'un maximum de points d'amers (point fixe dans le temps) en latitude et longitude. Le choix des amers est rendu difficile sur le secteur de l'Ouest guyanais dû à la faible anthropisation de cette bordure côtière. Généralement, les infrastructures routières permettent d'ortho-rectifier certaines images. Cependant ces infrastructures n'étaient pas développées avant 1976 et le nombre de point est donc limité ce qui implique des précisions grossières.

Le géoréférencement des images aériennes et notamment les plus anciennes datant de 1950 et 1955 ont été complexes en raison du faible nombre de points d'amers sur la côte. Le pointage avec précision des amers est difficile et une simple erreur de pixel entraîne au minimum deux mètres d'erreur dans la réalité. De plus, la justesse du géoréférencement a été estimée en comparant les images une par une et était d'environ $E_g=10$ m.

3. Analyse diachronique dans l'Ouest guyanais

Une analyse diachronique a été réalisée à partir d'une série de dix-sept images issues d'imagerie aérienne (pour les dates les plus anciennes de 1950 à 1982) et complétée d'imagerie satellitaire. Ces images ont donné lieu à une quantification des taux de variations du trait de côte dans l'Ouest guyanais entre 1950 et 2012. La zone d'étude s'étendant de l'embouchure du fleuve Maroni à la zone côtière de Mana (figure 2.16).

Dans un premier temps, une ligne de référence (sable, végétation, limite de la ligne d'eau) a dû être choisie avant de débiter l'analyse (Boak & Turner, 2005). Ce choix a été difficile, compte-tenu du peu de données disponibles et du fait de la non-prise en compte de la hauteur de marée lors de l'acquisition des images. Habituellement, dans de telles analyses le choix de la limite de basse mer est privilégiée, mais n'était donc pas possible dans cette étude. La série d'images a été acquises à différentes hauteurs d'eau ce qui implique des modifications morphologiques (par exemple les plages sont plus larges à marée basse qu'à pleine mer). Afin d'ajuster au mieux notre étude de la dynamique du trait de côte, notre choix s'est porté sur la limite de végétation de la bordure littorale. Cette limite de végétation pouvant être de plusieurs types (limite entre l'eau et la mangrove et limite de la végétation supra-tidale et le sable) a été considérée comme la limite du trait de côte.



Figure 2.16: Emprise de l'analyse diachronique et localisation des transects 1, 50, 70, 105, 208, et 270.

Dans un second temps, nous avons déterminé les erreurs de digitalisation du trait de côte. Appuyées de plusieurs études (Crowell *et al.* 1999; Moore, 2000; Faye, 2010), nous avons identifié plusieurs erreurs à prendre en compte dont: l'erreur liée au géoréférencement (E_g) (uniquement pour les photos aériennes), l'erreur liée au pixel (E_p) et l'erreur liée à la digitalisation (E_d). L'erreur de pixel, liée à la taille de pixel sur l'image, dépend de la résolution spatiale des images et variait de 2 à 30 m (tableau 2.7).

La précision de digitalisation du trait de côte (E_d), est approximative et dépend de la photo-interprétation faite par l'opérateur, l'erreur est estimée comme étant l'écart type des différences entre plusieurs digitalisations.

La précision du trait de côte peut être estimée par : $A = \sqrt{(E_p^2 + E_g^2 + E_d^2)}$

Tableau 2.7: Récapitulatif des données utilisées pour l'analyse diachronique

Date	Type de données	Res.(m)= E_p	E_g	E_d	A
29/08/1950	Photographies aériennes	2	10	0,56	10,21
1955	Photographies aériennes	2	10	0,65	10,22
17/08/1976	Photographies aériennes	2	10	0,7	10,22
05/09/1982	Photographies aériennes	2	10	0,63	10,22
23/07/1987	Landsat 5	30		1,49	30,04
22/09/1992	Landsat 5	20		1,42	20,05
03/08/1997	Landsat 5	28,5		1,07	28,52
26/11/1999	Spot 4	20		1,3	20,04
23/09/2001	Orthophoto ,IGN	2,5		0,59	2,57
30/08/2004	Landsat 7	30		1,2	30,02
18/09/2005	Orthophoto,IGN	2,5		0,75	30,01
08/09/2007	Landsat 7	30		1,1	30,02
12/10/2008	Landsat 7 TM	30		1,1	30,02
08/12/2009	Landsat 7 TM	30		1,4	30,03
03/11/2010	Landsat 7 TM	30		1,19	30,02
03/09/2011	Landsat 7 TM	30		1,2	30,02
2012	Orthophoto, IGN	2,5		0,61	2,57

L'analyse des positions des différents traits de côte digitalisés sous ArcGis a été réalisée par l'extension DSAS (Digital Shoreline Analysis Software) de l'USGS (Thieler et *al.*, 2009). Cette extension d'ArcGis permet la réalisation de transects tracés perpendiculairement à une ligne de base située en retrait des traits de côte (onshore ou offshore) (figure 2.17). Par la suite, pour chaque transect, la distance entre les traits de côte successifs a été calculée puis exportée sous forme de tableur. Habituellement, l'évolution du trait de côte se calcule sous forme de rythme moyen annuel. Les fluctuations du trait de côte le long des côtes de Guyane limitent ces critères de calcul puisque ces fluctuations sont dépendantes de la position des bancs, nous avons donc analysés les fluctuations d'une année à l'autre (soit entre deux images).

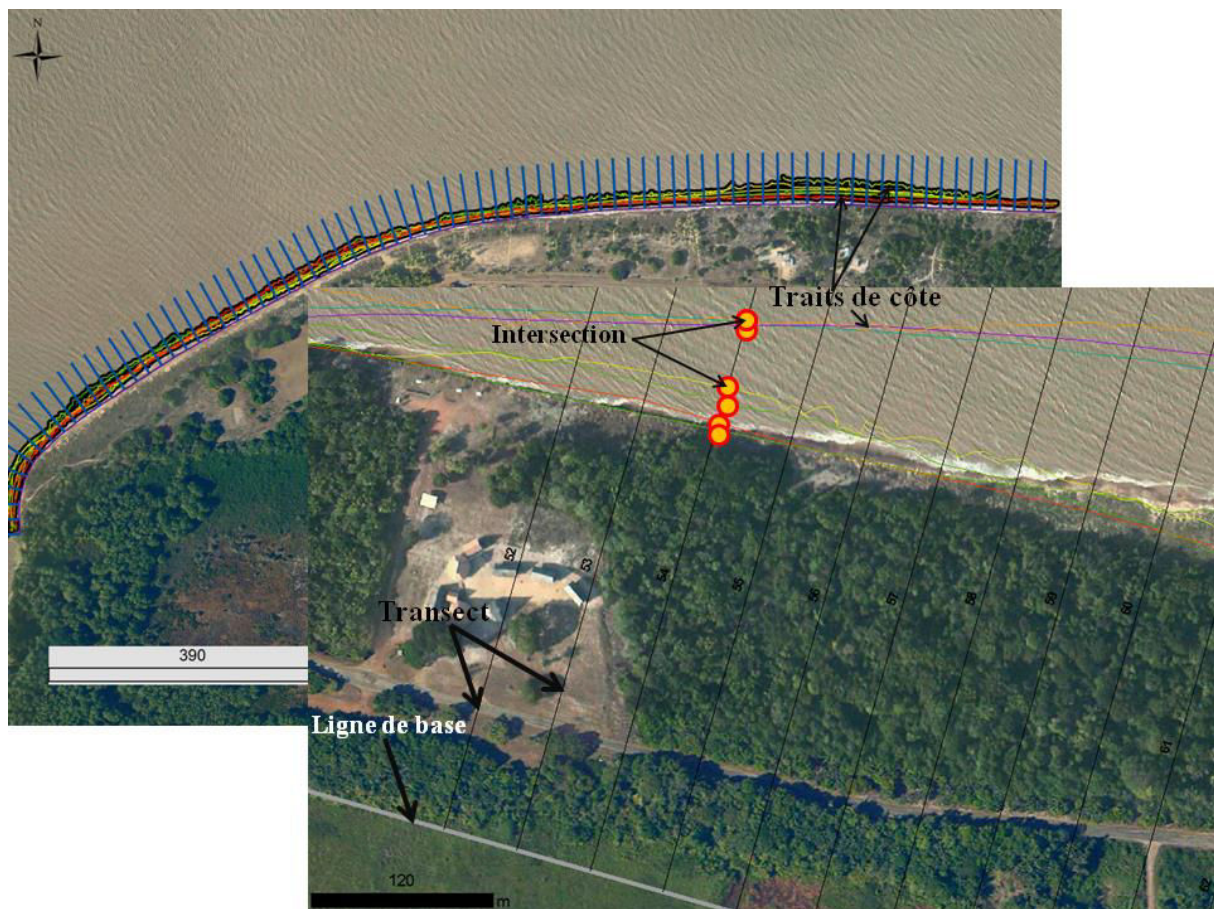


Figure 2.17: Principe du système DSAS avec localisation de la ligne de base, des transects, des intersections des transects avec les traits de côte

4. Détection de la limite subtidale des bancs de vase

L'extension offshore des bancs de vase peut être identifiée par mesures *in-situ* (Gensac, 2012). Mais, en l'absence d'instrumentation adaptée, l'utilisation d'une méthode intermédiaire de détection de cette limite est donc nécessaire. De nombreuses études ont montré un amortissement important de la houle sur un fond de vase fluide, lié à la présence du banc de vase dans ces secteurs (Wells et Kemp, 1986; Sheremet et Stone, 2003; Winterwerp et *al.*, 2007, 2012). Les houles ne sont visibles que sur des

images présentant une bonne visibilité (dépourvue de nuages) et avec une résolution assez fine (résolution maximale de 10m). La détection des houles reste limitée aux images SPOT et permet l'extraction d'une pseudo-limite proche de l'extension subtidale des bancs de vase (figure 2.18).

L'analyse diachronique sur le littoral de Kourou a été menée en utilisant neuf images SPOT datant du 20/10/1986, 14/10/2001, 02/11/2002, 15/09/2003, 25/09/2006, 24/09/2007, 02/07/2008, 16/10/2010, 26/10/2011. Après, l'extraction de l'extension offshore du banc de vase, l'application DSAS a été lancée sur ces limites pour évaluer les taux de migration du banc.

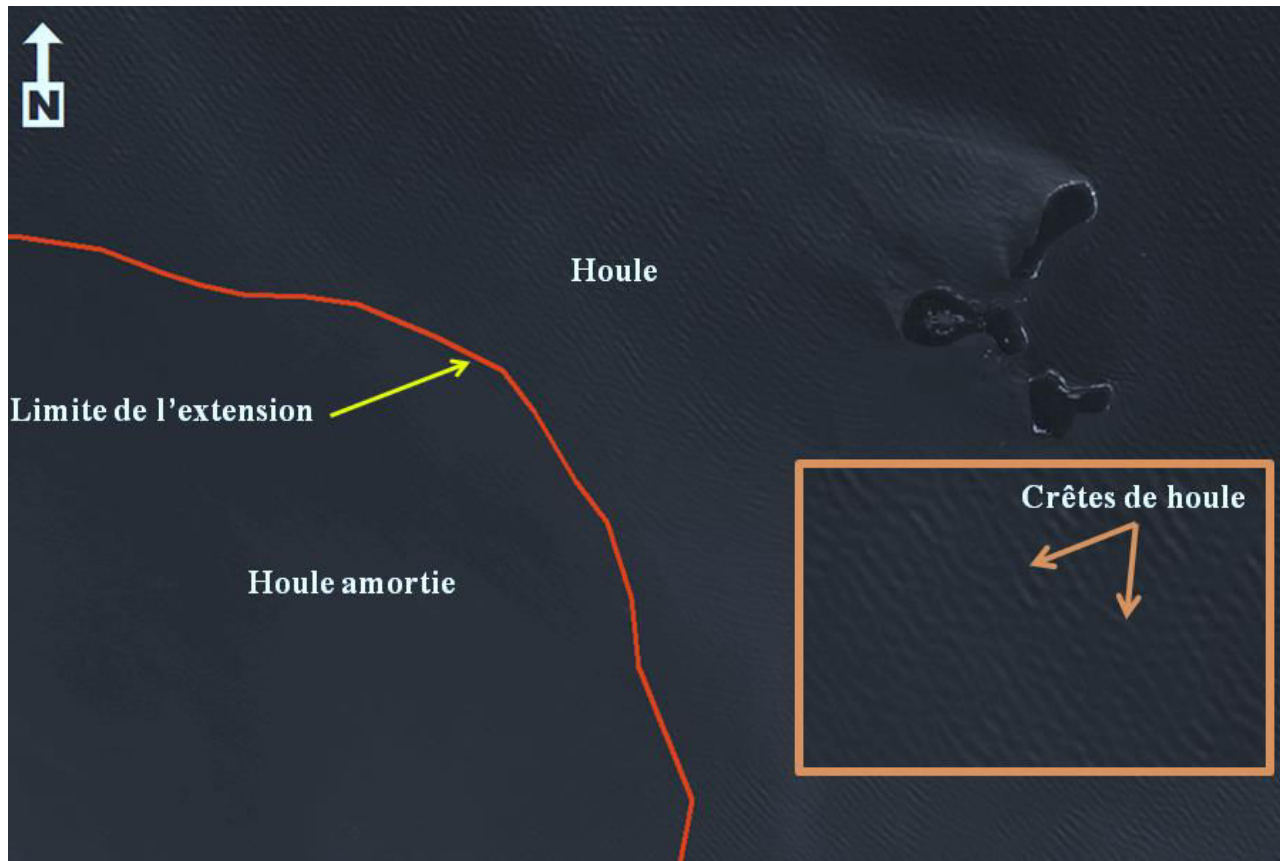


Figure 2.18: Principe de détection des houles sur une image SPOT avec la limite de l'extension subtidale du banc de vase et détection des crêtes de houle.

PARTIE 4. SEDIMENTOLOGIE

Des échantillons sédimentaires ont été prélevés pour obtenir la granulométrie de la plage de Yalimapo. En 2011, près de 60 échantillons ont ainsi été extraits, localisés le long des profils topographiques. En 2012, 40 échantillons ont été prélevés: 20 échantillons à proximité des nids de tortues vertes et 20 échantillons au niveau des nids de tortues luth. En 2013, une trentaine d'échantillons ont été extraits (figure 2.19). Une série d'échantillons de sable a été prélevée le long de la plage d'Awala-Yalimapo, afin d'apprécier les éventuels changements granulométriques sur l'estran

sableux, depuis l'embouchure du Maroni (site Vigie) jusqu'au banc de vase. Pour ce faire, quinze transects ont été sélectionnés pour des extractions sédimentaires à bas et mi- estran.

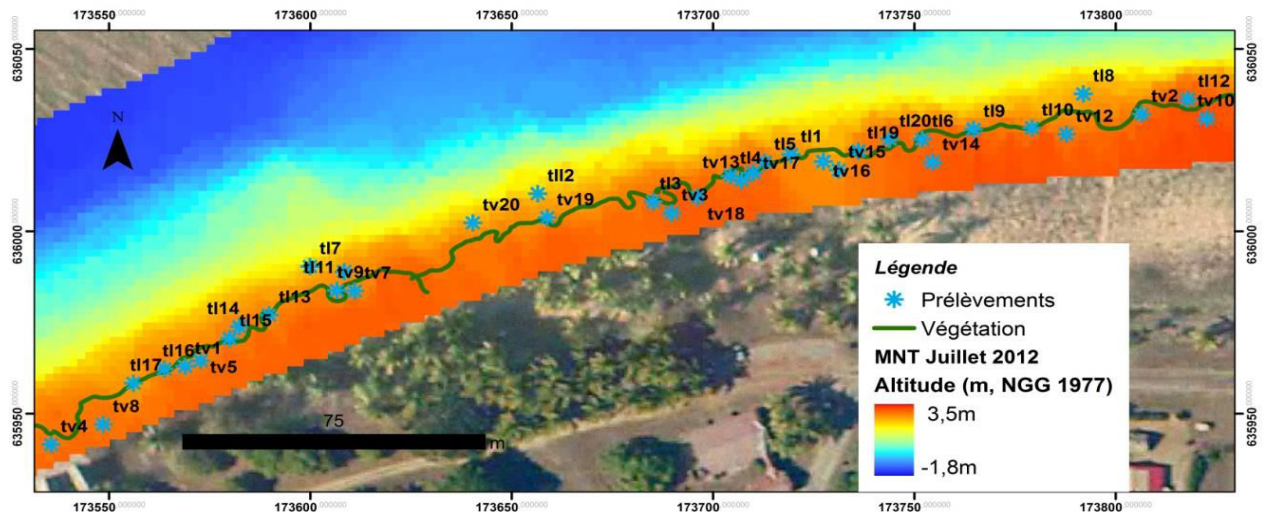


Figure 2.19: Localisation des emplacements des prélèvements sédimentaires sur les nids de tortues vertes (tv) et luth (tl) en juillet 2012.

Chacun des échantillons prélevés ont été analysés avec deux répliqués (~ 500 g) en les triant par analyse granulométrique composée de 15 tamis de mailles différentes (5 mm, 4 mm, 2,8 mm, 2 mm, 1,4 mm, 1 mm, 710 μ m, 500 μ m, 355 μ m, 250 μ m, 200 μ m, 125 μ m, 90 μ m, 63 μ m, 50 μ m) (figure 2.20).

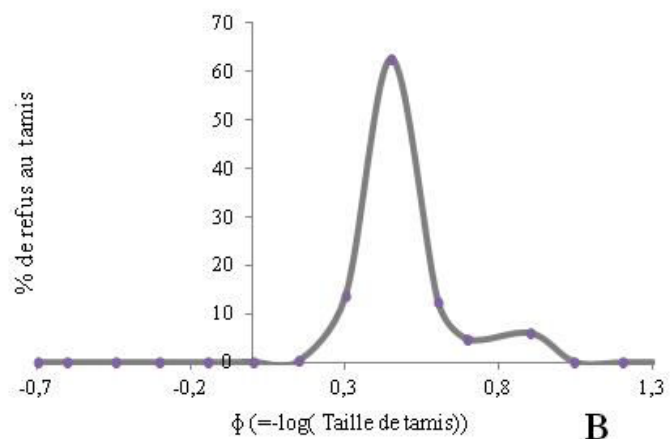


Figure 2.20: A/ Colonne granulométrique, B/ Exemple de résultats de pourcentage de refus au tamis pour un échantillon

Le passage des échantillons dans la colonne granulométrique en ressort la proportion sédimentaire de refus au tamis pour chaque gamme de maille des échantillons analysés. L'analyse sédimentaire permet donc d'établir la granulométrie des secteurs. La médiane «D50» des échantillons indique la répartition moyenne principale des échantillons; ce qui permet de donner une taille de grains moyens des échantillons. Le sédiment est classifié selon la classification de Wentworth (1924) (tableau 2.8).

Tableau 2.8: Classification granulométrique de Wentworth (1924)

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (ϕ)	Wentworth size class
4096		-12.0	Boulder
256		-8.0	Cobble
64		-6.0	Pebble
4		-2.0	Granule
2.00		-1.0	Very coarse sand
1.00		0.0	Coarse sand
1/2	500	1.0	Medium sand
1/4	250	2.0	Fine sand
1/8	125	3.0	Very fine sand
1/16	63	4.0	Coarse silt
1/32	31	5.0	Medium silt
1/64	15.6	6.0	Fine silt
1/128	7.8	7.0	Very fine silt
1/256	3.9	8.0	Clay
0.00006	0.06	14.0	

PARTIE 5. LES TORTUES MARINES

L'effort de ponte chez les tortues marines est évalué annuellement sur la plage d'Awala-Yalimapo par l'équipe de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (CNRS-IPHC) qui effectue des patrouilles nocturnes dans le but d'évaluer de manière exhaustive l'activité de ponte sur ce site de ponte.

1. Suivi démographique à terre des tortues marines

Le protocole s'applique aux 4 espèces de tortues nidifiant en Guyane, et il est basé sur le principe de Capture-Marquage-Recapture (CMR) destiné à consolider le suivi démographique des tortues marines en Guyane. Tout au long des périodes de ponte spécifiques (tortue verte : février-mai ; tortue luth : mars-juillet ; tortue olivâtre : avril à juillet ; tortue imbriquée : juin à septembre), des patrouilles nocturnes quotidiennes sont menées par deux binôme (1 binôme par zone) sur un tronçon de 3 km, divisé en 2 zones (zone 1 à l'Ouest, zone 2 à l'Est, allant des lieux dits « Vigie » à « bout du monde »

(figure 2.21)). Chacune d'elles représentent des repères visuels établis afin de faciliter la localisation des nids. Pour recenser et identifier de manière exhaustive les individus montés à terre entre 18h00 et 08h00. C'est le temps de suivi quotidien au cours duquel deux cycles de marée haute peuvent avoir lieu.

Pour chaque tortue nouvellement rencontrée, l'individu est équipé d'un transpondeur PIT (Passive Integrated Transponder) de type ID-100 BC (TROVAN ®) placé dans le triceps droit pour les tortues à écailles et dans les deux épaules pour les tortues luth. La présence du transpondeur nouvellement injecté est vérifiée à l'aide d'un lecteur manuel de type GR- 250 (TROVAN ®). Dans le cadre des analyses biométriques, les individus sont mesurés grâce à un mètre ruban souple (la longueur et la largeur curviligne pour les quatre espèces de tortues, la circonférence seulement pour la tortue luth, ± 1 cm). Pour chaque individu, il est noté sur son carnet papier ou électronique (Pocket PC Juno 3B (Trimble ®) : la zone, la date, l'heure, l'espèce, le numéro de PIT, le comportement (montée, premier balayage, creusement, ponte, rebouchage, deuxième balayage ou demi-tour), la position sur la plage (sable, bas de talus, haut de talus, végétation, eau), la position GPS et le stade. Toutes ces manipulations sont réalisées durant la ponte de l'individu afin de le déranger le moins possible notamment pour les tortues vertes qui sont particulièrement sensibles aux perturbations extérieures. Pour chaque tortue, la trace laissée sur le sable lors de la montée est barrée pour éviter de « revenir » sur un animal déjà identifié et limiter le dérangement. Le suivi CMR des tortues vertes a commencé en 2012, ce qui explique l'absence de données sur cette espèce en 2011.



Figure 2.21: Localisation des lieux dits et des zones sur la plage d'Awala-Yalimapo (fond de carte, Orthophoto 2012, IGN ©)

2. Géolocalisation des nids et identification des habitats

En sus du suivi démographique, chaque nid de tortues a été localisé à l'aide du GPS du Pocket PC Juno 3B (Trimble®) et l'habitat identifié (sable, végétation, limite sable/végétation, bas de talus, haut de talus, mer). La position de chaque nid a été mis en relation avec les données environnementales correspondantes (tableau 2.9) telles que la phase tidale (marée montante « F » ou marée descendante « J », la hauteur du plan d'eau (à partir des données du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, nous n'avons pas pris en compte le décalage temporel), le marnage, le débit du fleuve, le cycle de marée (morte eau « ME » ou vive eau « VE »), et la phase lunaire. La phase lunaire est divisée en quatre catégories (pleine lune, nouvelle lune, premier quartier, troisième quartier) plus ou moins trois jours.

Toutes les identifications et/ou observations de tortues (observation directe ou traces), laissées sur la plage), permettent d'obtenir une bonne estimation de l'effort de ponte puisque la majorité des traces des tortues non-lu sont comptabilisées.

Tableau 2.9: Extrait du tableur de données des tortues marines comportant les différents paramètres : année (saison), PIT, Espèce (tortue verte :TV ; tortue luth :TL ;tortue olivâtre : TO ; tortue imbriquée : TI), Date, nuit de la saison, F/J (tortue retrouvée à marée montante (F) ou marée descendante (J), Marnage, heure (heure de rencontre), ME/VE (ME :morte eau ; VE : vive-eau), zone sur laquelle la tortue a atterri (Z1 : zone 1 ; Z2 : zone 2), hauteur d'eau correspondant à l'heure de sortie), E (coordonnées Est), N (coordonnées N), comportement de l'animal, habitat

Année	PIT	Espèce	Date	DATE Ponte	F/J	Marnage	HEURE	ME/VE	Zone	Hteur	E	N
2011	"0006E95BD2"	TL	15/03/2011	14/3	J	1,23	03:14:50	ME	Z1	2,88	173275,283	635802,371
2011	"0006E8E4DE"	TL	16/03/2011	15/3	F	1,68	00:26:11	ME	Z1	3,06	173750,911	636016,899
2011	"0006E89AD4"	TL	17/03/2011	16/3	F	2,18	02:35:17	VE	Z1	3,60	173228,128	635761,656
2011	"000671C6DE"	TL	19/03/2011	18/3	F	2,98	03:10:28	VE	Z1	3,60	173626,472	635997,589
2011	"0006B888A0"	TL	20/03/2011	19/3	F	3,17	03:38:03	VE	Z1	3,50	173200,541	635743,008
2011	"0006B978C3"	TL	21/03/2011	21/3	J	2,82	18:50:42	VE	Z1	4,00	173251,902	635779,268
2011	"00061C0CF9"	TL	23/03/2011	23/3	J	2,09	20:33:58	VE	Z1	3,60	173597,582	635972,298
2011	"0006010E71"	TL	23/03/2011	23/3	J	2,09	22:51:56	VE	Z1	2,90	173130,366	635666,997
2011	"0006F2389C"	TL	24/03/2011	23/3	F	2,09	05:49:23	VE	Z1	3,00		
2011	"0006E94A26"	TL	24/03/2011	24/3	F	1,66	19:54:54	ME	Z1	3,30	173686,176	636011,691
2011	"00062F0FFD"	TL	24/03/2011	24/3	J	1,66	21:21:58	ME	Z1	3,40	173468,657	635903,24

Afin d'expliquer les modèles de distribution sur la plage, nous avons divisé la plage de la limite de l'eau à la végétation supralittorale en quatre zones distinctes répondant au faciès de plage rencontrés : sable, bas de talus, limite sable-végétation (typiquement la limite atteinte par les marées de vives

eaux), et végétation (figure 2.22). La localisation des nids en fonction des faciès rencontrés n'a été réalisée en intégralité qu'en 2012 et 2013.

Dans les analyses, les tortues rencontrées sur la zone 1 ont été classifiées en 14 sections de 100 m (coordonnées de [173100 à 174500] de long à partir de l'embouchure du Maroni (coordonnées Est 173100 à 174500)).

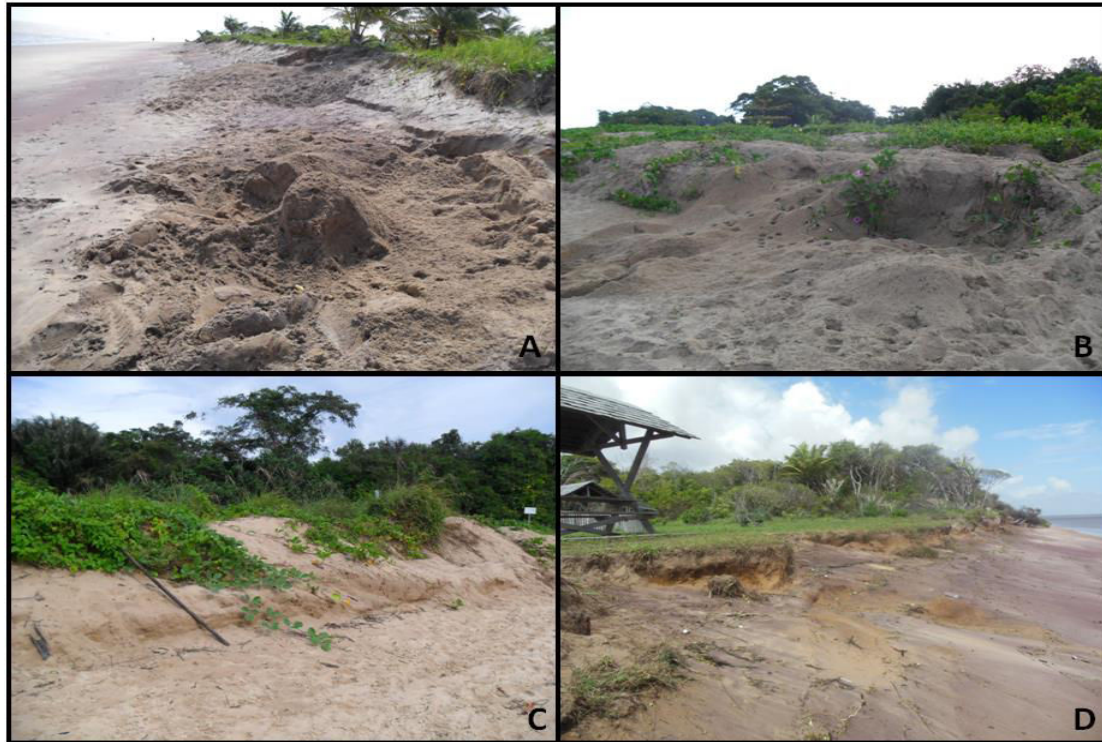


Figure 2.22: Différents faciès rencontrés sur la plage d'Awala-Yalimapo.

3. Equipement GPS des tortues

Parallèlement au suivi à terre, 26 tortues vertes et 15 tortues luth ont été équipées de GPS CatTrack® au cours de la saison 2013, dans l'objectif d'obtenir des données de déplacement inter-ponte afin d'identifier leurs trajectoires au départ de la plage et d'arrivée lors de la prochaine ponte mais aussi d'évaluer leur comportement en fonction de la bathymétrie de l'avant-plage et des conditions hydrodynamiques. La tortue luth ne possédant pas de carapace, le GPS ne peut être collé sur la dossière de l'animal, comme c'est le cas pour les tortues à écailles. Dans ce contexte, la pose du support accueillant le GPS nécessite de percer deux trous dans la carène centrale afin d'y faire passer les attaches. Le système de fixation permettrait de remplacer rapidement le GPS utilisé par un neuf, à chaque nouvelle rencontre avec un individu équipé, ce qui a permis de doubler le nombre de jours de suivi pour un même animal.

L'acquisition via GPS est rendue possible lorsque le GPS se retrouve en surface pour permettre la transmission avec les satellites. Le point GPS n'est acquis que si la durée de réception hors de l'eau est suffisamment longue. L'expérimentation a montré que ce système d'acquisition était peu efficace sur les tortues vertes, compte tenu du comportement des individus lorsqu'ils reviennent respirer à la

surface. En effet, à chaque respiration de la tortue verte, le GPS se trouve immergé et donc dans l'impossibilité de communiquer avec les satellites. Deux cas de figures apparaissent. La première hypothèse est que le corps de l'animal est à la verticale au moment où il vient respirer à la surface et seule la tête est hors de l'eau. La seconde hypothèse est que l'action (respiration) est trop furtive pour permettre au GPS d'émettre. A cela s'ajoute la destruction et/ou le décrochage des GPS au cours du coïte. Ainsi, seulement cinq trajectoires de tortues vertes exploitables ont été obtenues sur les 26 disposés. Les tortues luth quant à elles, sortent respirer à l'horizontal et une grande partie de leur dossière est à l'air libre permettant une meilleure transmission du signal GPS, et ainsi d'acquérir des données sur les déplacements de cinq individus.

4. Traitement des données

Les données obtenues ont été analysées et visualisées via différentes méthodes d'analyse et logiciels de traitement de données. Dans cette partie, nous décrivons les classifications réalisées sur les données, mais aussi les tests statistiques employés pour la description des données ainsi que les représentations cartographiques des données de tortues marines.

Dans la sous-partie « **Evolution de la plage et distribution des pontes** », l'ensemble des résultats n'a pas été utilisé dans les analyses. Dans un souci d'adéquation, la taille d'échantillon jugée acceptable a été convenue comme étant le nombre d'individus mensuels égaux à au moins 10 % de la taille de l'échantillon annuel. Afin d'éviter tout biais dans les résultats, seuls les mois d'avril, mai et juin ont été analysés pour les tortues luth. Pour les tortues vertes, les mois pris en compte sont de février à mai pour la saison 2012 et de mars à mai pour la saison 2013.

Tableau 2.10: Numéro de profil correspondant aux sept zones et distance par rapport à l'embouchure

N° section	Numéro de Profil	Zone (coordonnées Est)	Distance de l'embouchure (m)
A→B	1	173100-173150	50
B→C	2	173150-173400	300
C→D	3	173400-173600	500
D→E	4	173600-173800	700
E→F	5	173800-174100	900
F→G(luth)	6	174100-174300	1200
G→G'	7	174300-174400	1300
F→G(vertes)	6	174100-174300	1100
G→H	7	174300-174500	1300

Entre 2011 et 2013, les profils topographiques réalisés sur la zone 1 ont été levés régulièrement pendant les saisons de ponte et ont permis une classification de la plage en sept secteurs présentant chacune des caractéristiques de plage similaire suivant les profils de plage (coordonnées Est [173100 173150], [173150 173400], [173400 173600], [173600 173800], [173800 174100], [174100 174400]) (tableau 2.10 et figure 2.23). Les suivis pour les tortues luth se sont arrêtés au coordonnée E 174400 (modification du protocole pour la saison 2012), pour les vertes ce suivi est prolongé jusqu'à E 174500.



Figure 2.23: Carte de localisation des profils (P1 à P7) et des secteurs de plage (fond de carte, Orthophoto 2012, IGN©)

Une comparaison de la répartition mensuelle des pontes des tortues luth et vertes sur la plage permet d'évaluer si les fréquentations sont implicitement liées aux conditions morphologiques de la plage d'accueil. De précédentes études ont montré que la distribution des tortues pouvait être modifiée en réponse de la dynamique morphosédimentaire de la plage d'accueil (Lum, 2005 ; Maison et *al.*, 2010).

L'évolution du haut de plage traduit les phases d'érosion ou d'accrétion. Lorsque la végétation progresse, le secteur du haut de plage est stable ou en accrétion. En revanche, lorsque cette limite est en recul cela témoigne d'une érosion du substrat stabilisant les racines des ipomées *ipomea pes-caprae*. La limite de végétation peut donc être utilisée comme une approximation de l'état de la plage puisque les fluctuations de cette limite révèlent la dynamique de plage.

Dans la partie « **Impact de la dynamique de plage sur les nids** » (chapitre 5. Discussion), des modèles numériques de terrain (MNT) différentiels entre deux dates ont été utilisés pour comparer la dynamique sédimentaire de la plage et la viabilité des nids. La zone de plage concernée par cette analyse est la zone 1 puisque la topographie n'a été relevée que sur ce secteur. Ainsi, seuls les nids déposés sur cette zone sont évalués. L'épaisseur maximale de sable au-dessus de la chambre d'incubation des œufs est estimée à 50 cm. Les différences d'élévation altitudinales ont permis de

classifier en cinq catégories la dynamique de l'aire de ponte en correspondance avec la présence de nids (figure 2.24):

- **Nids en danger** pour une érosion supérieure à 50 cm : considéré alors comme un nid non viable
- **Nids potentiellement en danger** : érosion entre 10 et 50 cm
- **Secteurs stables** : stabilité pour les nids avec fluctuations altitudinales entre -10 et 10 cm
- **Secteurs en accrétion** inférieure à 50 cm
- **Secteurs en accrétion** supérieure à 50 cm

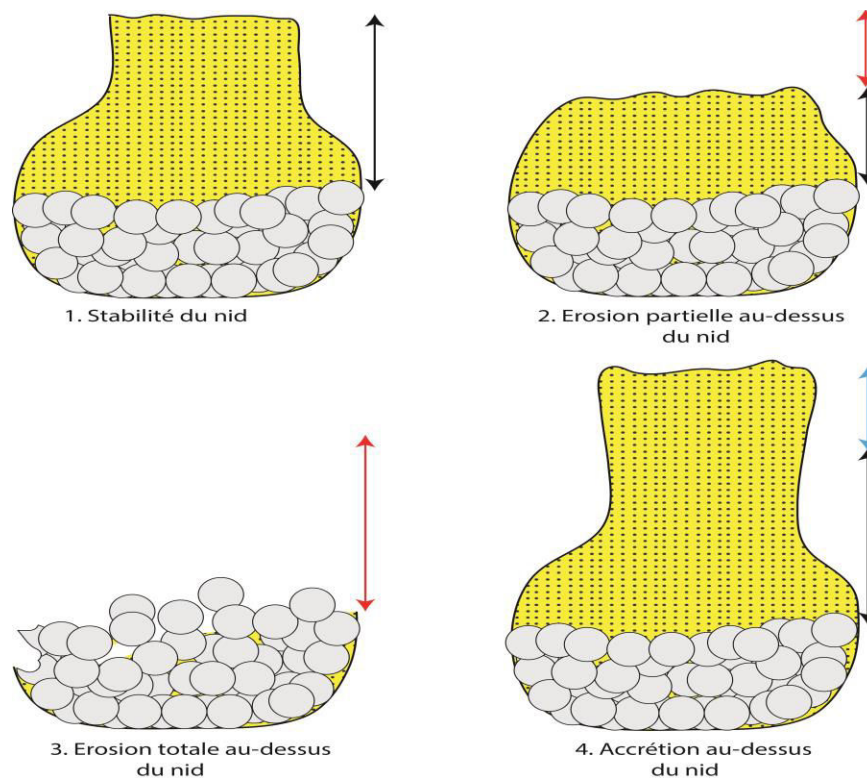


Figure 2.24: Schéma des quatre configurations possible de l'évolution de l'environnement d'un nid; 1. Le nid est déposé dans un secteur stable avec peu ou pas de variations topographiques; 2. Une érosion partielle au-dessus du nid apparaît (de 10 à 50 cm); 3. Le nid est totalement érodé et les œufs sont en contact direct avec la surface; 4. Du sable se dépose au-dessus du nid augmentant la profondeur d'incubation des œufs déposés.

La comparaison inter et intra-saison de ponte nous permet d'évaluer d'une part les zones constantes et les plus pérennes, garantes de la viabilité des nids, mais également la localisation des portions de plage les plus à risque pour l'accueil des nids nouvellement déposés. Le laps de temps entre deux MNT correspondant à environ deux mois en concordance avec une période d'incubation. Les fluctuations altitudinales au-dessus des nids est donc évalué sur une à deux périodes au cours de la saison de ponte. En 2011, l'impact de la dynamique sédimentaire sur le devenir des nids a été évalué sur deux périodes: mars à juin (13/03-16/06) et, juin à août (14/06 – 12/08). En 2012, les périodes analysées sont de mars

à mai (09/03 – 18/05) puis de mai à juillet 18/05 au 09/07), et enfin de mars à mai 2013 (24/03 au 30/05).

Les milliers de nids de tortues marines déposés sur la plage d'Awala-Yalimapo, suggèrent l'hypothèse d'une possible influence de la nidification intensive de ces animaux sur la plage. Des modèles numériques de terrain à fine échelle spatio-temporelles permettent d'illustrer les modifications de la plage soumises à une macro-bioturbation importante.

4.1. Tests statistiques

La significativité des résultats, au cours des trois saisons de ponte, a été évaluée à travers des tests statistiques. Pour tester la normalité des distributions des fréquences des données, le test de Shapiro-Wilk a été utilisé afin de définir le type de tests paramétriques ou non paramétriques à effectuer sur les données. Les données en écologie ne suivent que très rarement une loi normale, c'est pourquoi notre choix c'est porté sur des tests non-paramétriques.

Les comparaisons entre différents facteurs (flot, jusant, vive-eau, morte-eau, marnage, hauteur d'eau, débits) ont été évaluées via des tests non-paramétriques: comparaison de deux échantillons avec Kolmogorov-Smirnov, Mann-Whitney et la comparaison de plusieurs échantillons avec les tests de Kruskal-Wallis et Friedman. Les tests statistiques ont été réalisés par l'extension du logiciel XLSTAT avec un seuil de probabilité à 95%.

Des analyses exploratoires de type Analyse en Composante Principale (ACP) ont été conduites sur les données abiotiques (données hydrométéorologiques, nombre de tortues par nuit) préalablement standardisées ($\log n+1$). Les corrélations entre les variables sont ainsi détectées par la représentation graphique entre les variables.

Des analyses ont été accomplies par le logiciel PRIMER-E 6 avec l'extension PERMANOVA, l'utilisation de ces fonctions a permis de croiser l'influence de plusieurs paramètres sur la distribution des tortues sur leur plage de ponte en utilisant des PERMANOVA (Permutational ANOVA).

4.2. Représentation cartographique

Les cartes de densité des nids de tortues vertes et luth ont été réalisées à partir du logiciel ArcGIS 9.2. Les cartes de fréquentation des espèces sur la plage de ponte ont été réalisées via la méthode de calcul par Kernel.

PARTIE 6. SYNTHÈSE.

Au cours de ces travaux de recherches, deux sites ateliers ont été étudiés principalement (figure 2.25): *le secteur de Kourou et le site d'Awala Yalimapo*. Le littoral d'Awala Yalimapo a été le site majeur puisque 95% des données *in-situ* ont été recueillies sur ce site. Ce recueil important de données

a pu être réalisé grâce au soutien logistique et humain (8 personnes) de l'équipe de l'IPHC, présente chaque année durant la saison de ponte des tortues marines (février à juillet).

Des mesures *in-situ* ont été réalisés sur un dernier site *le chenier de la Malmanoury*, qui n'a été instrumenté qu'une seule fois en raison de sa difficile accessibilité. En effet, l'accès au site se fait après avoir descendu la crique Malmanoury en bateau (~2 heures). Une fois à l'embouchure, sur le chenier, le levé topographique doit être réalisé à basse mer.

Le site de Kourou n'a été expérimenté qu'en 2013, pour évaluer les processus hydrosédimentaires de reconstruction de la plage de Kourou au départ du banc de vase. L'acquisition des mesures a été facilitée par la mise en place d'un stage sur la problématique des interactions des milieux sablo-vaseux.

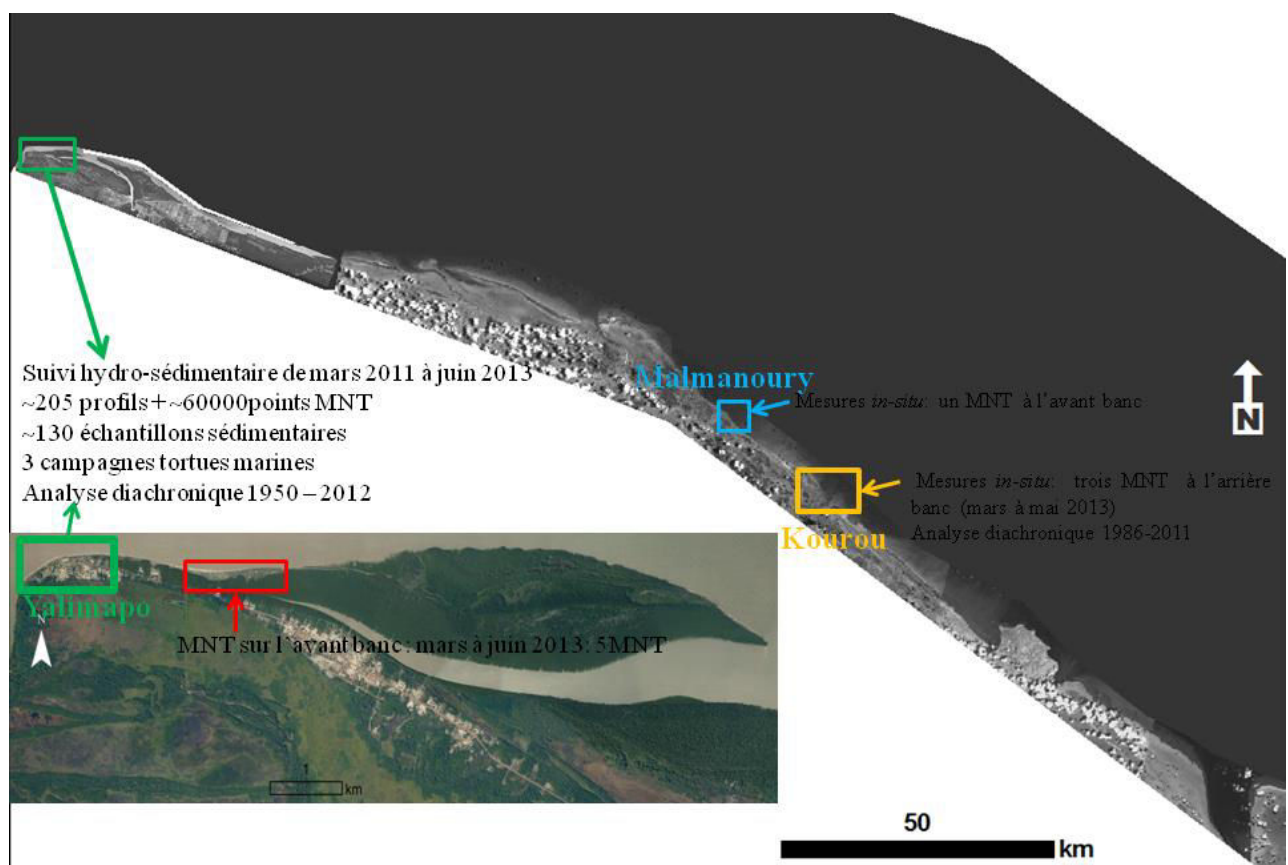


Figure 2.25: Récapitulatif des mesures effectuées au cours des 2ans ½ de récoltes de données.

Chapitre 3.

Morphodynamique du littoral : dynamique des plages sableuses et interactions sable/vase

Partie 1. Cadre dynamique : conditions hydrométéorologiques

Partie 2. Evolution morphodynamique à moyen terme du littoral

Partie 3. Variabilité morphosédimentaire de la plage d'Awala-Yalimapo

Partie 4. Dynamique des environnements hétérogènes : les interactions vase/sable

Partie 5. Synthèse



Le littoral de Guyane est soumis aux fluctuations du trait de côte et au déplacement d'immenses entités vaseuses d'origine amazonienne. L'alternance des phases d'envasement et d'érosion module la dynamique de cette côte si atypique. Son originalité en fait donc un modèle unique pour l'étude des répercussions géomorphologiques sur le littoral. Les recherches basées sur la compréhension des processus de migration des bancs de vase ont permis d'étayer les connaissances sur les échanges mis en jeu lors de leurs avancées le long de la côte. Le littoral guyanais reste peu urbanisé, et subit peu les pressions anthropiques exercées habituellement sur les zones côtières. La dynamique morphosédimentaire du littoral guyanais en fait un écosystème riche de nombreuses espèces animales (Poissons, delphinidés, lamantins, tortues marines). Les plages sableuses sont ainsi des hauts lieux de ponte pour des espèces emblématiques telles que les tortues marines.

La dynamique littorale en Guyane induit un changement de la qualité du substrat avec une alternance de sable et de vase, provoquant ainsi une modification de ces habitats de nidification. Ces transformations morphologiques créent des interactions complexes entre les différents éléments moteurs de ces variabilités telles que des interactions sable/vase ou houle/vase.

L'objectif de ce chapitre est d'apporter des éléments de réponse à la compréhension des processus qui entrent en jeu dans la morphodynamique des littoraux sableux interagissant avec les bancs de vase. Au cours de la durée de ces travaux, trois sites ateliers ont été étudiés. Le premier site est la plage pérenne d'Awala-Yalimapo (plage des Hattes), où nous avons évalué les répercussions de l'avancée d'un banc de vase sur la dynamique morphosédimentaire de cette plage. Le second est le site de Kourou où nous avons suivi le passage d'un banc de vase et les répercussions morphosédimentaires liées à son départ. Le site d'Awala-Yalimapo a donné lieu à une étude plus approfondie compte tenu des moyens logistiques et humains disponibles.

PARTIE 1. CADRE DYNAMIQUE: CONDITIONS HYDROMETEOROLOGIQUES

1. Forçages météorologiques

La figure 3.1 illustre les conditions météorologiques enregistrées par une station Météo-France sur la presqu'île de Cayenne. Le vent prend généralement une direction Nord-Ouest, mais peut présenter quelques épisodes venteux de direction Nord-Est. Les vents sont faibles et n'ont pas excédés 10 m.s^{-1} en 2012, pour une moyenne de $6,6 \pm 1,1 \text{ m.s}^{-1}$. On distingue clairement la saison sèche et la saison des pluies. En 2012, la saison des pluies perdure jusqu'en juillet, puis la saison sèche s'installe jusqu'en décembre.

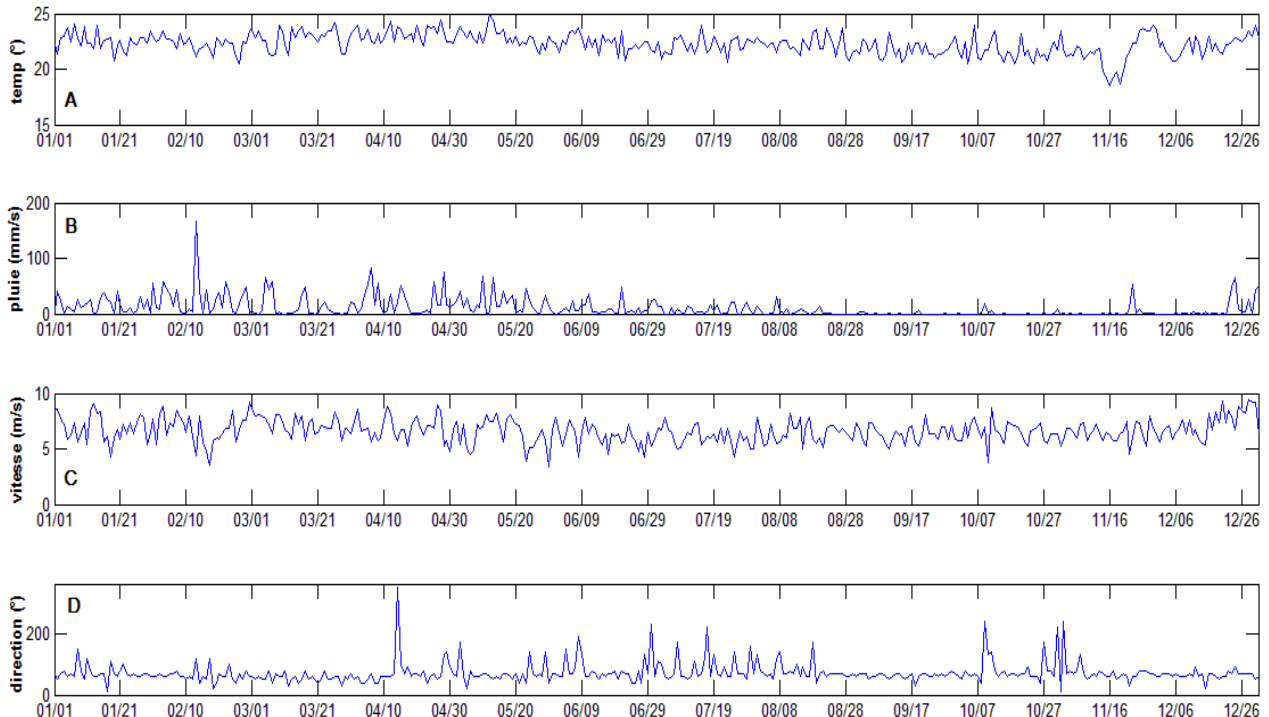


Figure 3.1: Conditions météorologiques enregistrées à la station Météo-France basée à Cayenne en 2012, A/ Température atmosphérique ; B/ Pluviométrie (mm.s-1) ; C/ Vitesse du vent (m.s-1) ; D/ Direction du vent (°).

2. Hydrologie sur la plage des Hattes et sur le littoral de Kourou

2.1. La plage des Hattes

2.1.1. Dynamique générale

La plage estuarienne de Yalimapo est sous régime tidale. La houle est fortement amortie à l'approche de la plage par l'action combinée de la vase fluide passant au large de celle-ci, et la présence d'un imposant banc de sable accolé à la plage.

La plage de Yalimapo, localisée à l'embouchure du fleuve Maroni, est influencée par son hydrologie. A proximité de la plage, le courant se dirige vers l'Ouest ($\sim 270\text{-}280^\circ$) à marée montante vers le fleuve. Puis à la renverse des courants, le courant de jusant s'oriente à l'Est ($\sim 80 - 90^\circ$; figure 3.2E). Les marées enregistrées, pendant une phase de déchet, présentent une courbe asymétrique avec une marée montante plus courte et une marée descendante plus progressive.

Le changement de direction et la renverse des courants se fait brusquement lors de l'étape de pleine mer avec une direction inverse (figure 3.2E). Au cours de l'étape, la vitesse du courant diminue jusqu'à devenir nulle à basse mer. Lorsque la marée descendante est amorcée, la vitesse du courant augmente, alors que la hauteur de houle diminue. La période de houle oscille entre 5 et 15 secondes et les vitesses du courant atteignent jusqu'à $0,9 \text{ m.s}^{-1}$.

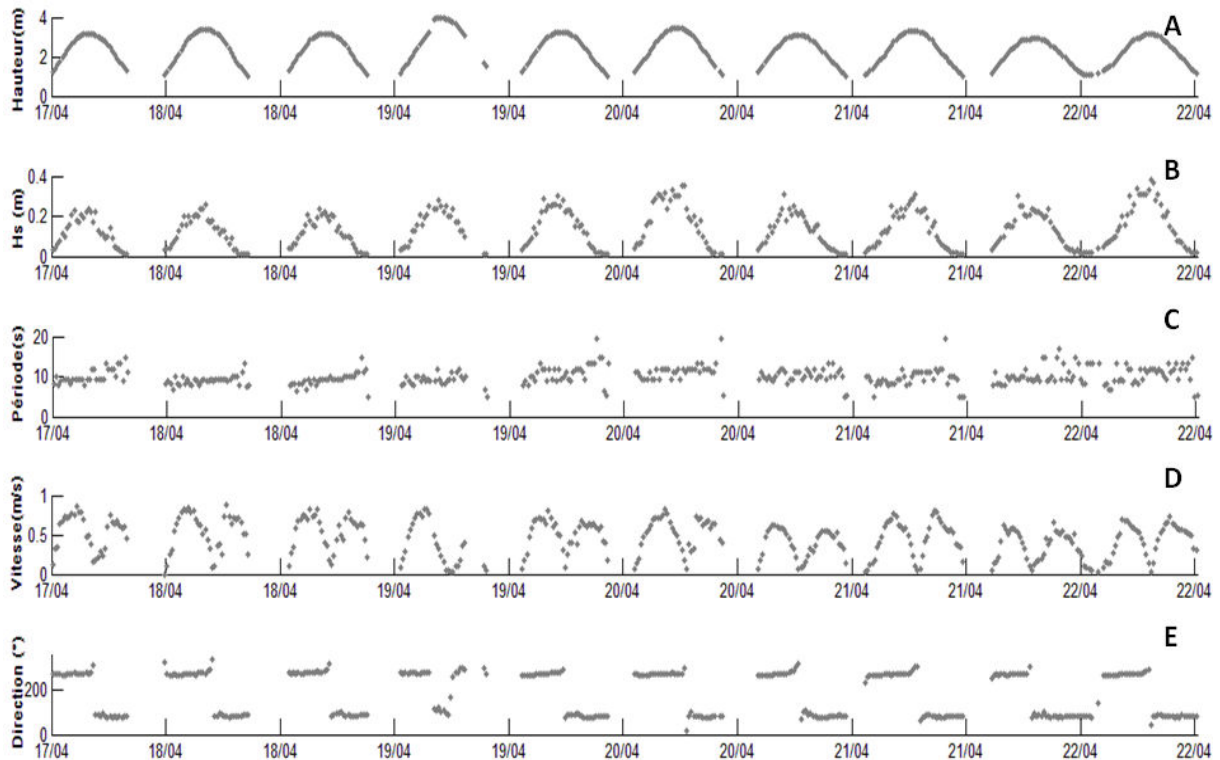


Figure 3.2: Données issues du courantmètre-houlographe déployé dans la zone proche subtidale du 17 au 22/04/2011 (A) hauteur d'eau par rapport au zéro hydrographique; (B) Hauteur significative des vagues (m); (C) Période des vagues (s) ; (D) Vitesse du courant (m.s-1); (E) Direction du courant (°).

Généralement, la houle est faible sur la plage de Yalimapo, avec une hauteur significative moyenne entre 10 et 40 cm pour des périodes dépassant rarement les 10 secondes comme indiquées sur la figure 3.3. Sporadiquement, pendant les mesures, la hauteur de houle a atteint au maximum 98 cm pendant de forts épisodes venteux. La houle sur la plage de Yalimapo répond à des variations quasi-similaires avec des fluctuations de hauteurs significatives des houles répondant aux fluctuations tidales.

En période de crue, le jusant est renforcé par le débit du Maroni qui peut atteindre jusqu'à $6000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (généralement pendant la grande saison des pluies de mars à juillet, figure 3.4). A l'inverse, au cours de la saison sèche, (où les périodes d'étiages sont récurrentes, débit $< 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), l'effet du débit du Maroni sur le jusant est presque inexistant. Ces modifications environnementales peuvent ainsi modifier la dynamique hydrosédimentaire saisonnière.

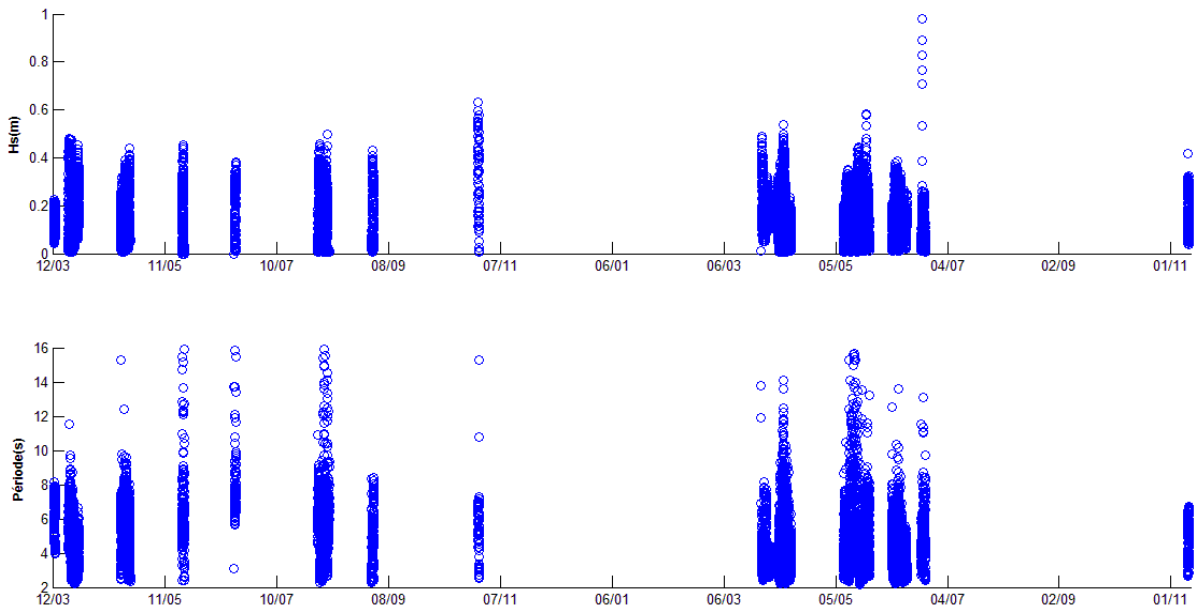


Figure 3.3: Hauteur significative des houles (mètres) et période (secondes) extraites des capteurs de pression déployés sur la plage de Yalimapo en 2011 et 2012.

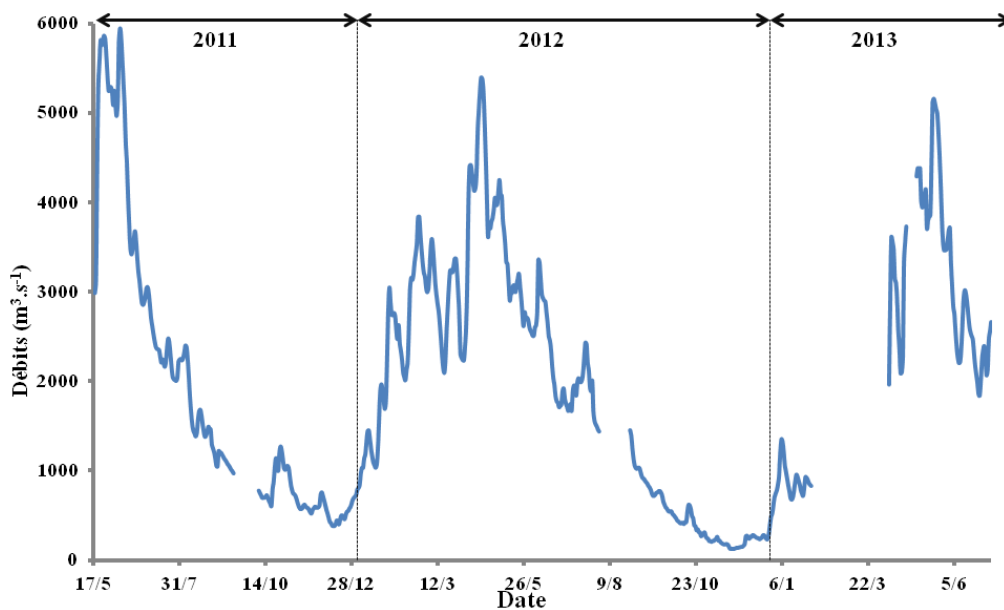


Figure 3.4: Débits enregistrés entre mai 2011 et juillet 2013 à la station Langa Tabiki, située à une centaine de kilomètres de l’embouchure du Maroni.

2.1.2. Evènements exceptionnels

Pendant la période d’expérimentation, deux dépressions ont engendré des perturbations du plan d’eau. Le premier dans la nuit du 13 au 14 mai, des vitesses de vent enregistrées ont atteint 53 km.hr^{-1} et une augmentation de la hauteur significative des vagues à la côte passant de 20 à 35 cm (figure 3.5 A à D). Le second a eu lieu dans la soirée du 20 juin 2012, en périodes de vives eaux, où des rafales de vents atteignant les $80,5 \text{ km.hr}^{-1}$ ont provoqué la détérioration de certaines infrastructures d’Awala-Yalimapo.

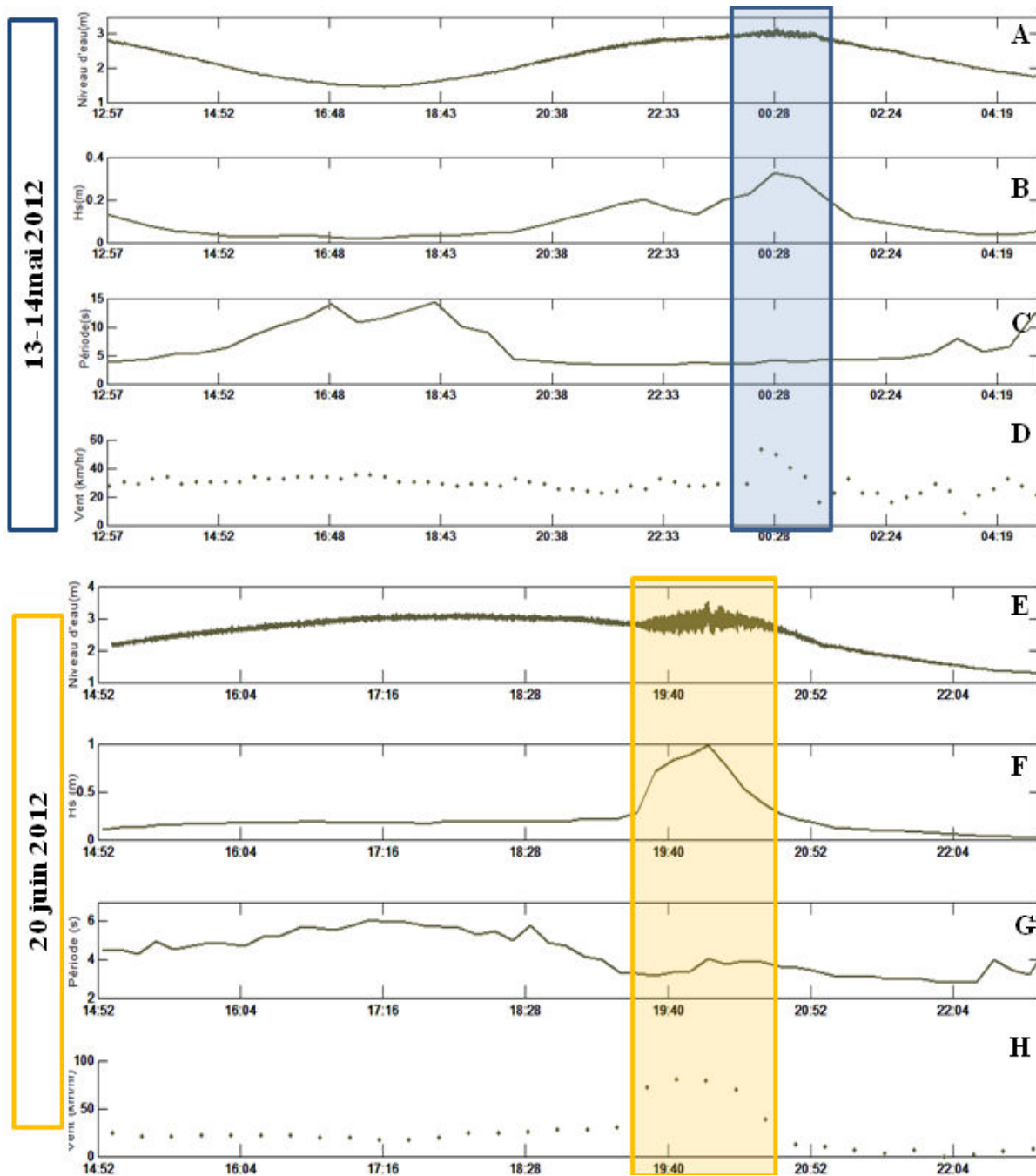


Figure 3.5: Conditions hydrométéorologiques sur la plage de Yalimapo le 13-14 mai (A à D) et le 20 juin 2012 (E à H). Les paramètres sont le niveau d'eau (A et E), la hauteur de houle (B et F), la période de houle (C et G) et la vitesse du vent (D et H).

2.1.3. Circulation des masses d'eaux

La situation de la plage des Hattes à la sortie de l'estuaire du Maroni induit des conditions hydrodynamiques étroitement liées à celle du fleuve. Trois trajectoires différentes ont été observées (figure 3.6), probablement liés à la zone de largage des instruments. La première bouée (la bouée A), lâchée près de la racine du banc de sable, a pris une trajectoire en cloche ne s'éloignant pas plus de 250 m. Sa vitesse diminue ($1,5 \text{ m.s}^{-1}$ à l'embouchure contre $< 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ en fin de parcours), et termine

sa course près de Simili. La deuxième bouée (la bouée B), larguée dans l'estuaire à 400 m de l'estran a progressé à vitesse constante ($0,8$ à $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) vers le Nord-Nord-Est en longeant le banc de sable. La bouée C a été placée au plus proche de l'estran et a montré une trajectoire courte en longeant la plage à faible distance ($\sim 100 \text{ m}$).

Un nouveau déploiement de quatre bouées en marée de vive-eau a été réalisé du 09 au 11 juin. Trois d'entre elles avaient pour point d'origine, la racine de la flèche sableuse (Bouée 1 à 3), alors que la bouée 4 a, été larguée 400 m plus loin, près de la « dépression » située à proximité du banc de sable. Les bouées 1, 2 et 4 ont emprunté une trajectoire similaire vers l'Est en perdant de l'intensité ($< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), puis se sont réorientées vers le large entre 1,5 à 2 km de l'embouchure et ont légèrement augmenté leur vitesse ($> 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). La bouée 3, s'est dirigée vers le large plus rapidement.

Les courants associés à la marée descendante sont fortement marqués par le passage en marée de vive-eau. En se rapprochant du centre de l'estuaire, le courant est orienté vers le Nord-Nord-Est et s'intensifie sous l'influence du débit du fleuve (le jour de l'expérience $Q > 4400 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Les courants localisés à proximité de l'estran, semblent être insuffisants pour permettre un transport vers le large en morte-eau. Au contraire, en marées de vives eaux, le courant de marée descendante est plus marqué (avec des vitesses légèrement plus importante) et ce même pendant la saison sèche où le débit diminue ($Q \sim 2000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) (figure 3.6 C/D). De plus, les courants de surface s'orientent plus au large au fur et à mesure qu'ils se rapprochent du banc de vase (figure 3.6B).

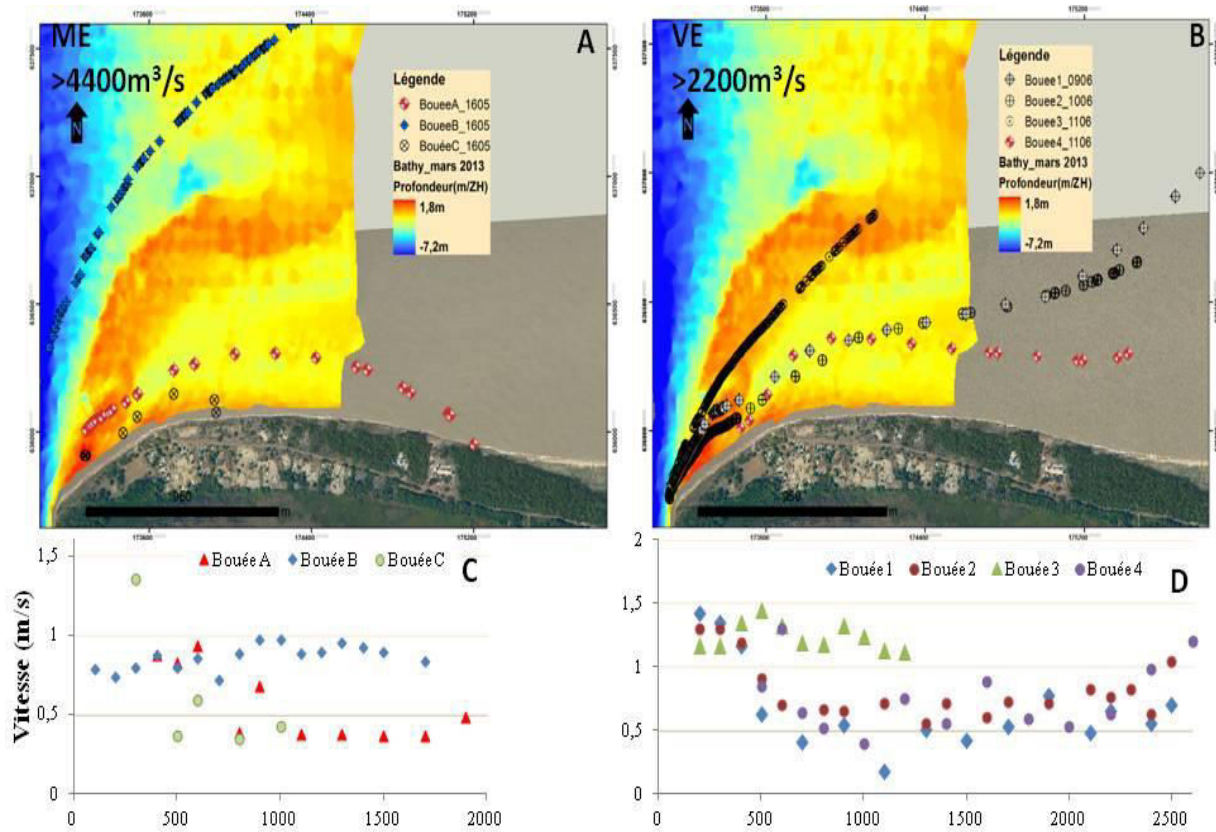


Figure 3.6: (A/B) Trajectographie des bouées déployées à l'embouchure de l'estuaire du Maroni et (C/D) vitesse de déplacement des bouées.

2.2. Le littoral de Kourou

L'hydrodynamique des côtes en situation de bancs a été peu mesurée, une campagne réalisée en octobre 2010 a donc comblé cette absence. Un premier courantmètre déployé à la côte (figure 3.7) montre une augmentation des vitesses du courant avec la marée montante avec $0,33 \pm 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pour un maximum de $0,63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ au pic d'intensité. Au sein de la colonne d'eau, les vitesses sont minimales au fond ($0,23 \pm 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), puis augmentent avec, au milieu des vitesses de $0,38 \pm 0,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pour atteindre des maximales à la surface de $0,44 \pm 0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A marée descendante, les courants sont légèrement supérieurs $0,37 \pm 0,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et les maximales sont atteintes à la surface avec $0,64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A cette localisation, les courants s'orientent Nord-Ouest au jusant ($295 \pm 118^\circ$) et au Nord-Nord-Ouest ($325 \pm 31^\circ$) au flot.

L'ADCP déployé à 8 m de profondeur, indique des vitesses de courants supérieures à marée descendante avec $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ contre $0,78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ au flot à la surface. Les vitesses enregistrées sont également inférieures au fond avec $0,23 \pm 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, de $0,36 \pm 0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ au milieu et de $0,51 \pm 0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à la surface. Ce courantmètre, présente un flot dirigé vers Ouest-Nord-Ouest ($316 \pm 15,8^\circ$) et un jusant Nord-Nord-Ouest ($335 \pm 31,2^\circ$), les variations de direction au cours du cycle de marée sont faibles et ils s'orientent selon une direction dans le sens du courant des Guyanes.

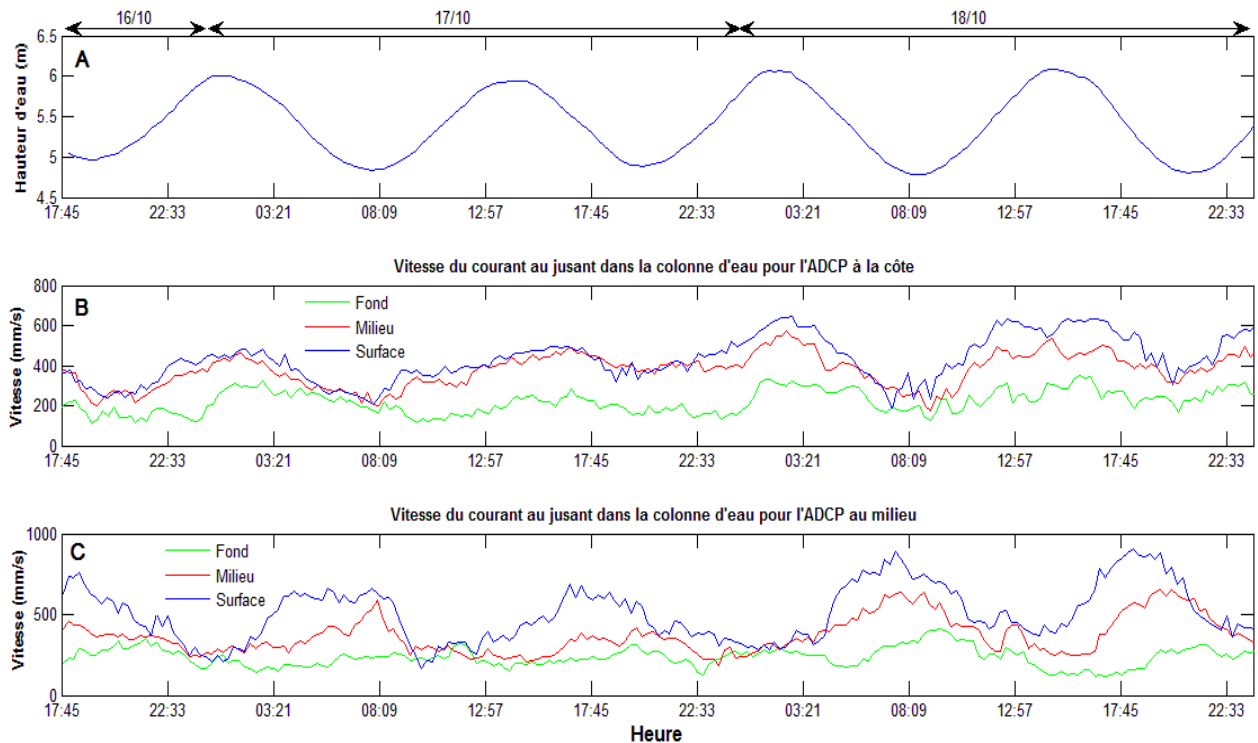


Figure 3.7: A/Hauteur d'eau (m); (B) Vitesse du courant à la côte (5m de côte, $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$); (C) Vitesse du courant au milieu (8m de fond).

Nous retiendrons de la partie hydrodynamique :

- ➔ Sur la plage estuarienne d'Awala-Yalimapo **en situation inter-banc**, les conditions hydrodynamiques sont faibles ($H_s \leq 40$ cm) mais quelques évènements plus énergétiques associés à des coups de vent violents viennent augmenter la hauteur de houle ($H_s \leq 90$ cm)
- ➔ La plage d'Awala-Yalimapo est soumise à un courant de jusant puissant en vive-eau (vitesse $\leq 1,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) mais plus faible en morte-eau (vitesse $\leq 1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- ➔ **En situation de banc**, les courants de jusant sont dominants et au plus proche de la côte ils sont inférieures ($\leq 0,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) à ceux rencontrés au large ($\leq 0,9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Les courants prennent une orientation Ouest-Nord-Ouest au flot et Nord-Nord-Ouest au jusant en suivant la même direction que le courant des Guyanes.

Nous venons de décrire les conditions hydrodynamiques sur nos sites d'études. Le prochain point traitera des répercussions géomorphologiques du passage des bancs de vase sur le littoral.

PARTIE 2. EVOLUTION MORPHOLOGIQUE A MOYEN TERME DU LITTORAL

Les fluctuations le long du trait de côte sont soumises aux répercussions de la migration des bancs de vase. La dynamique du littoral des côtes guyanaises impose un suivi à long terme du trait de côte afin d'identifier les zones les plus modulables au cours du temps. Dans ce contexte, nous avons étudié les conséquences de l'installation des bancs de vase et leur déplacement le long de la côte, à partir d'analyses diachroniques des fluctuations du trait de côte de l'Ouest guyanais ainsi que du littoral de Kourou.

1. Historique du trait de côte de l'Ouest guyanais

D'anciennes cartes de la côte du Suriname et de l'Ouest guyanais laissent entrevoir des formations vaseuses sur ce littoral. Les cartes réalisées par le service de la marine néerlandaise, évoquent la présence de bancs de vase accolés à la plage d'Awala-Yalimapo et sur la pointe vaseuse de l'estuaire de la Mana de 1880 à 1930. La carte de 1930 fait apparaître une progradation de cette protubérance entre 1880 et 1930 (figure 3.8).

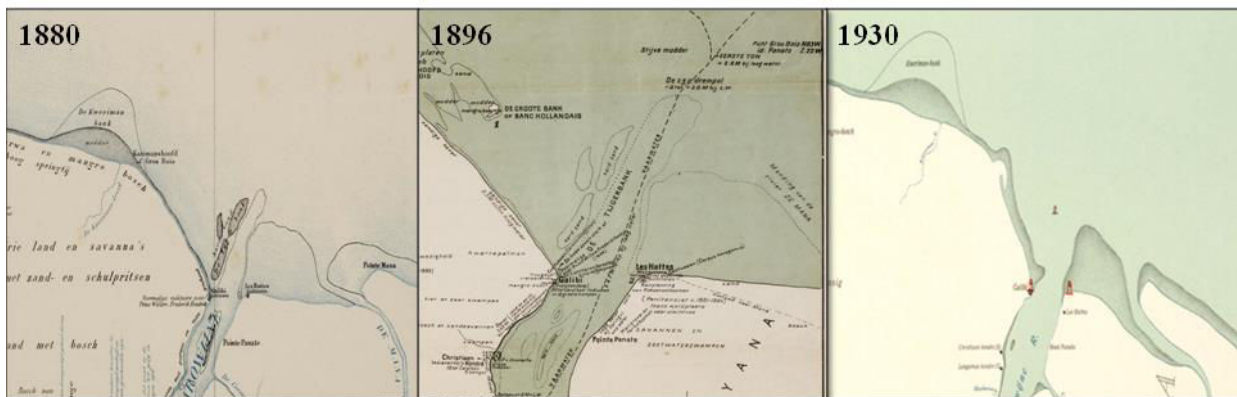


Figure 3.8: Cartographies de l'Ouest guyanais et l'Est surinamais extraites de carte maritime, (A) vers 1880 Cateau van Roosevelt; (B) 1896 Van Pannhuys; (C) 1930 Bakhuis et Quant.

Depuis le peuplement des villages d'Awala-Yalimapo au début des années 1950, de mémoire des habitants, l'installation d'un banc de vase sur ce littoral n'a pas été établie. L'absence de vase sur cette portion de l'extrême Ouest de la Guyane a donc permis un maintien des plages sableuses. La cinétique des modifications morphologiques de cette côte a été évaluée depuis 1950 pour comprendre les fluctuations du trait de côte le long de ce secteur.

1.1. Evolution globale du trait de côte depuis 1950

L'enveloppe, englobant les différents traits de côte, définie à partir d'une série de photographies aériennes combinées aux récentes données satellitaires, montre des fluctuations plus ou moins

importantes sur l'ensemble du secteur de l'Ouest guyanais depuis une soixantaine d'années. Les plus grandes fluctuations apparaissent dans la partie orientale de cette côte. A l'Ouest, le long du village de Yalimapo, le trait de côte est beaucoup moins fluctuant avec des taux moyens situés dans la limite de la marge d'erreur (~ 50 m, figure 3.9). On observe une progradation de la côte depuis 1955, entre les villages d'Awala et de Yalimapo (entre les transects 70 à 105). On observe une diminution de cette progradation depuis 1976 qui s'étale spatialement. Le secteur Est de la zone d'étude (à partir du transect 110), est en érosion progressive depuis 1955. Cependant, le recul de la côte diminue depuis 1987. L'instabilité de ce littoral se fragmente en plusieurs périodes: (1) 1950-1955; (2) 1955-1982; (3) 1987-1999; (4) 2001-2012.

1.2. Evolution entre 1950 et 1955 : Installation d'un banc de vase

Cette période de six ans a été marquée par une avancée moyenne du trait de côte de 400 m.an^{-1} . Cette avancée de la bordure côtière correspond à une colonisation par la mangrove du banc de vase établi en 1950 sur la Pointe Isère (figure 3.10). Si aucun envasement massif n'est constaté sur le littoral d'Awala-Yalimapo, un prisme vaseux de forme triangulaire semble s'être formé à la confluence de la Mana et du courant de jusant influencé par le Maroni. Dans la partie orientale, l'arrière du banc de vase, exposé à la houle, s'est érodé ($< 100 \text{ m.an}^{-1}$) (figure 3.10).

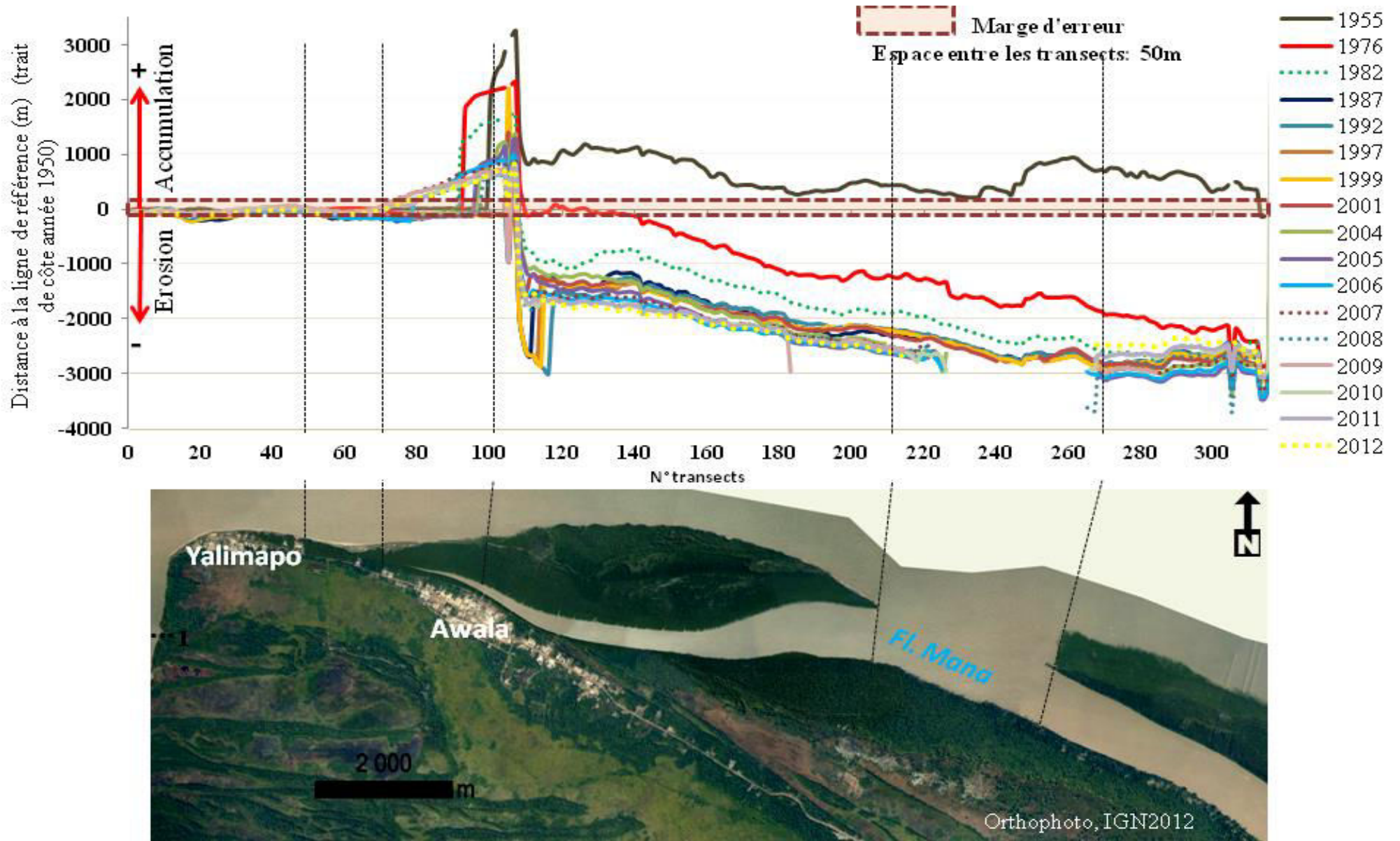


Figure 3.9: Fluctuations du trait de côte de l'Ouest guyanais de 1955 à 2012 (par rapport à l'année de référence 1950) (Orthophoto 2012, IGN ©)

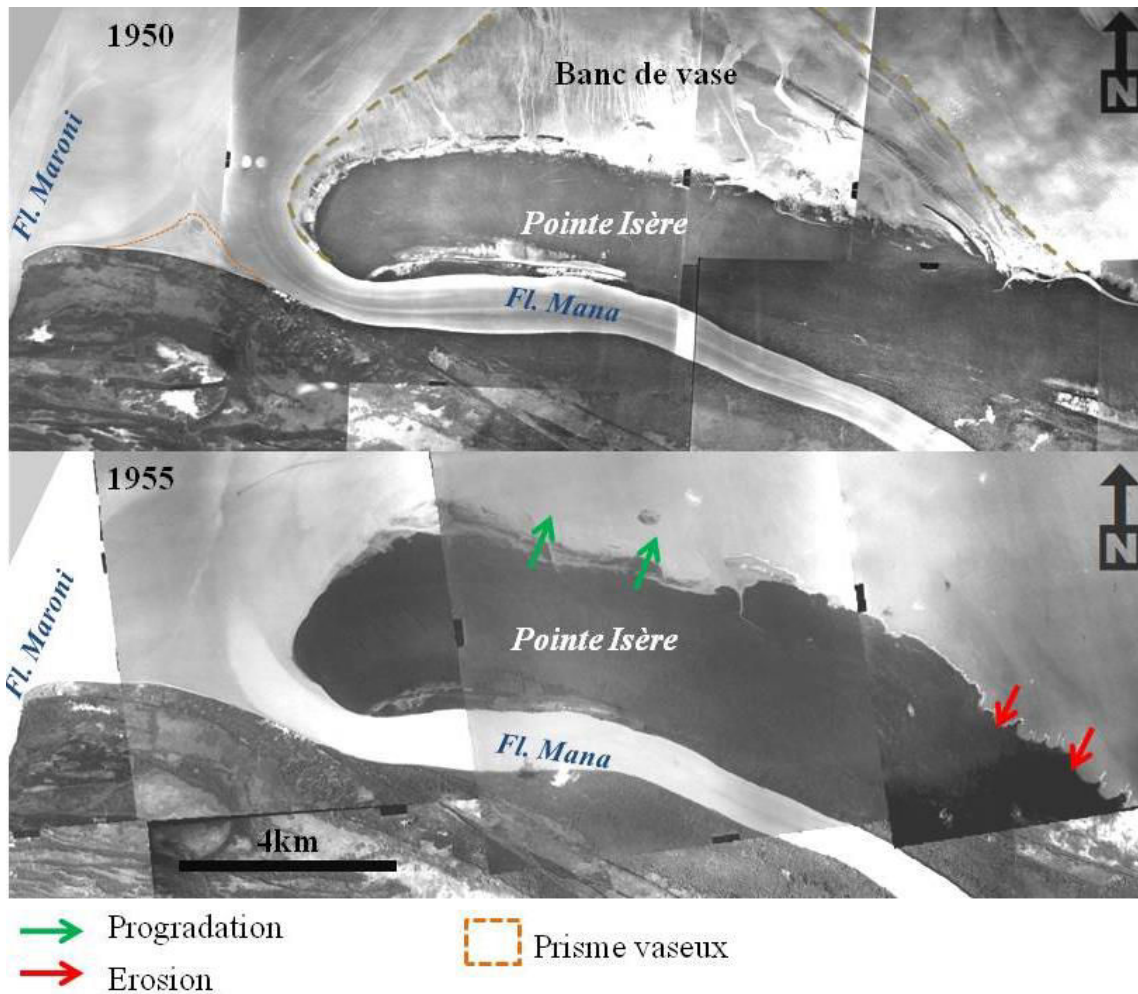


Figure 3.10: Mosaïques de photographies aériennes de l'estuaire de la Mana et du village d'Awala-Yalimapo en 1950 et 1955 (Photographies aériennes de l'IGN).

1.3. Evolution entre 1955 et 1982 : Passage d'un banc de vase et érosion conséquente

L'érosion progressive du secteur est de la zone, résulte certainement, du départ du banc de vase précédemment installé. Le trait de côte se retrouvant en situation d'inter-banc et n'étant donc plus protégé par la partie subtidale du banc, le trait de côte a connu un fort recul qui a évolué d'Est en Ouest avec la migration du banc (figure 3.11). L'érosion de la portion centrale de Pointe Isère n'a cessé d'augmenter. La distance cross-shore entre le front de mer et la rive droite de la Mana est passée de 3,5 km en 1955 à 300 m en 1982. Un nouveau banc de vase s'est positionné en 1982 à l'extrême Est de la zone d'étude (figure 3.11C). A la sortie de la Mana, à l'extrémité de la Pointe Isère, une flèche sableuse s'est formée entre 1955 et 1976 suite aux apports sableux probablement issus de l'érosion des cheniers érodés en amont dérivent par la dérive littorale.

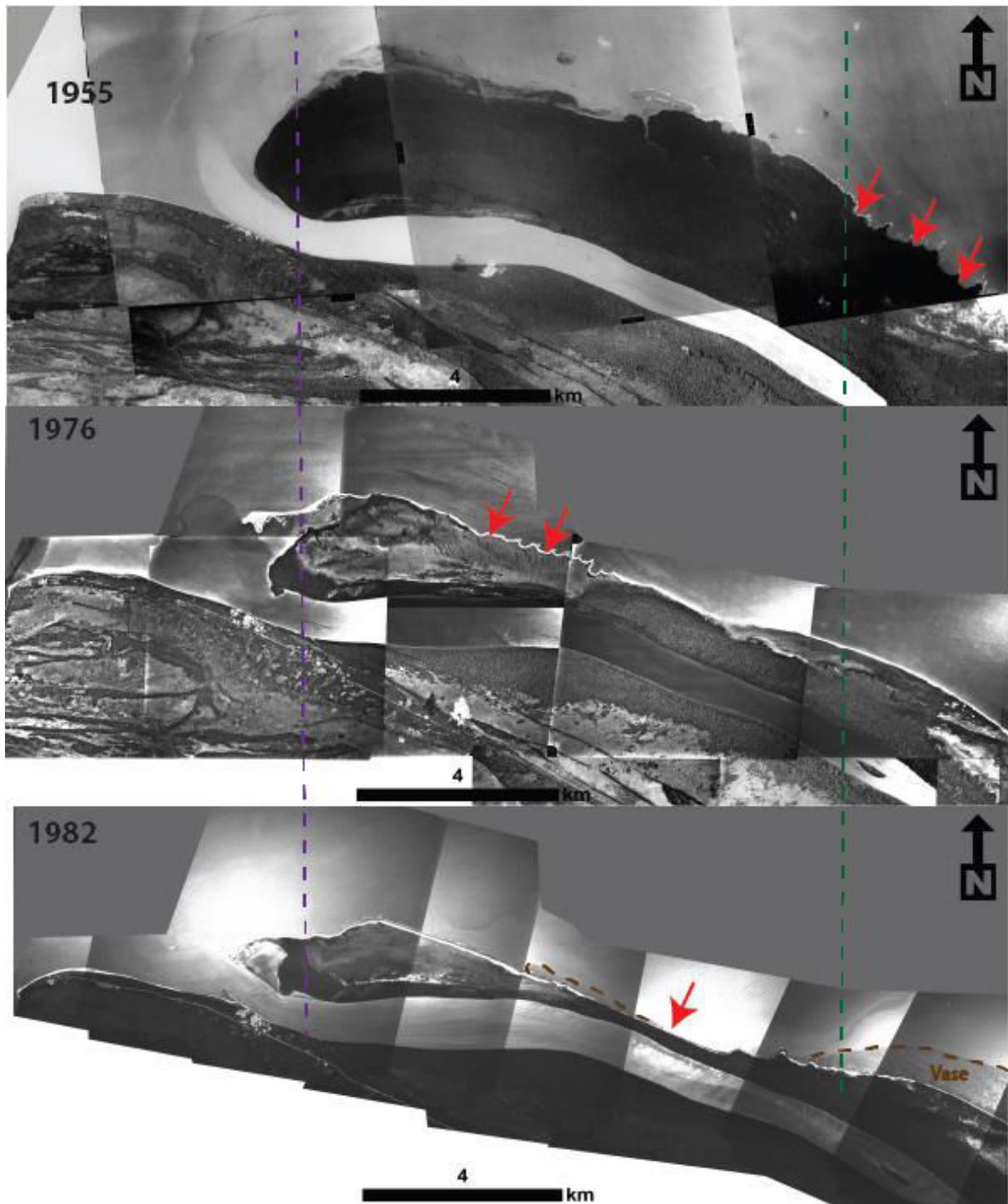


Figure 3.11 : Mosaïques de photographies aériennes de l'estuaire de la Mana et du village d'Awala-Yalimapo en 1955, 1976 et 1982

1.4. Entre 1987 et 1999: ouverture d'une brèche à l'estuaire de la Mana

L'arrivée d'un nouveau banc de vase sur la zone amincie, de la partie centrale de la Pointe Isère, entre 1982 à 1987 a permis d'atténuer l'érosion ce secteur. Ce banc de vase n'a pas été colonisé par la mangrove et sa migration entre 1987 et 1997, a exposé le secteur déjà fragilisé à l'action de la houle. En 1997, l'épaisseur de la mangrove est inférieure à 100 m (figure 3.12B). L'amincissement continu de

ce secteur a conduit à l'ouverture d'une brèche en 1998, baptisée "passe Panama" (figure 3.12 D). L'action combinée de la houle et du débit de la Mana, a contribué à élargir la brèche qui devient alors la nouvelle embouchure du fleuve. Au cours de ce créneau temporel, l'extension sableuse de Pointe Isère n'est plus visible; ce qui est probablement lié à la fossilisation de ce sable au moment du passage de banc sur cette portion.

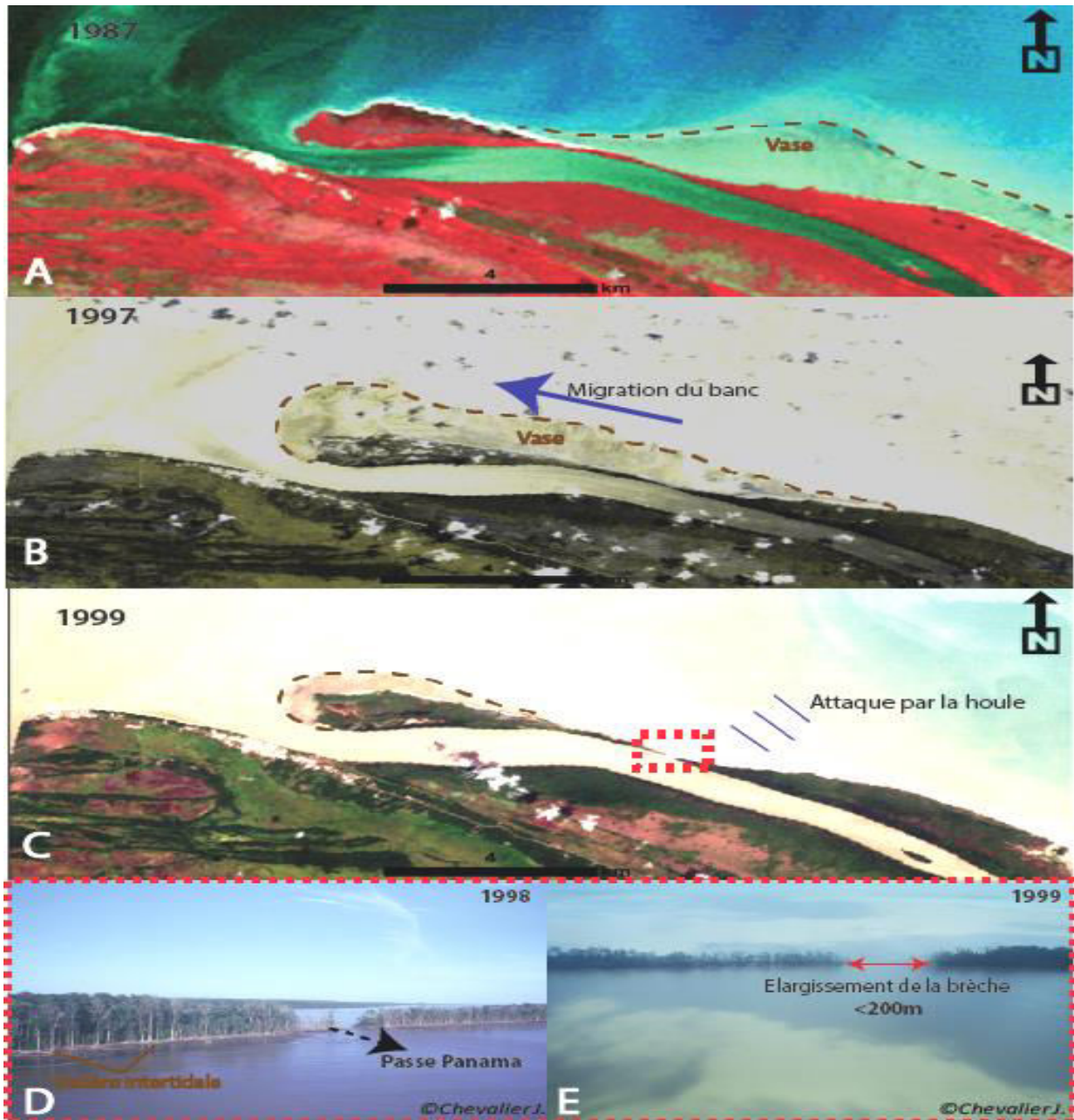


Figure 3.12: Images satellites de l'Ouest guyanais en (A) 1987, (B) 1997 et (C) 1999, et photographies de la passe Panama en (D) 1998 et (E) 1999 (crédit photos © Chevalier).

1.5. Evolution entre 2001 et 2012: Fortes interactions sable/vase

De 2001 à 2012, c'est à l'Ouest de la zone d'étude qu'ont eu lieu les modifications morphologiques les plus remarquables. Au début des années 2000, une nouvelle flèche sableuse s'est développée à

l'extrémité de la Pointe Isère. La chronologie de migration de cette flèche est illustrée sur les figures 3.13 et 3.14. En l'espace d'une dizaine d'années, la flèche a été extrêmement mobile puisqu'elle a migré de plusieurs kilomètres. En effet, depuis le passage du banc de vase au-delà de la Mana, tout ce secteur de côte est en position inter-banc. L'extension de la seconde embouchure de la Mana au niveau de la passe Panama a certainement induit un ralentissement du débit au niveau de la première embouchure. Cette perte d'énergie a favorisé l'expansion de la flèche sableuse de pointe Isère vers le littoral d'Awala-Yalimapo. La situation en période inter-banc a contribué à des apports graduels de sédiments sableux par la dérive littorale. Sur les images de 2005, on observe la présence de crochets sableux qui suggèrent un apport sédimentaire conséquent permettant de créer, par développement successif de ces crochets, une flèche sableuse (figure 3.13F). De par sa localisation, cette flèche pourrait être le fruit d'une contribution conjointe entre des apports fluviaux apportés par le fleuve de la Mana et des sédiments charriés par la dérive littorale.

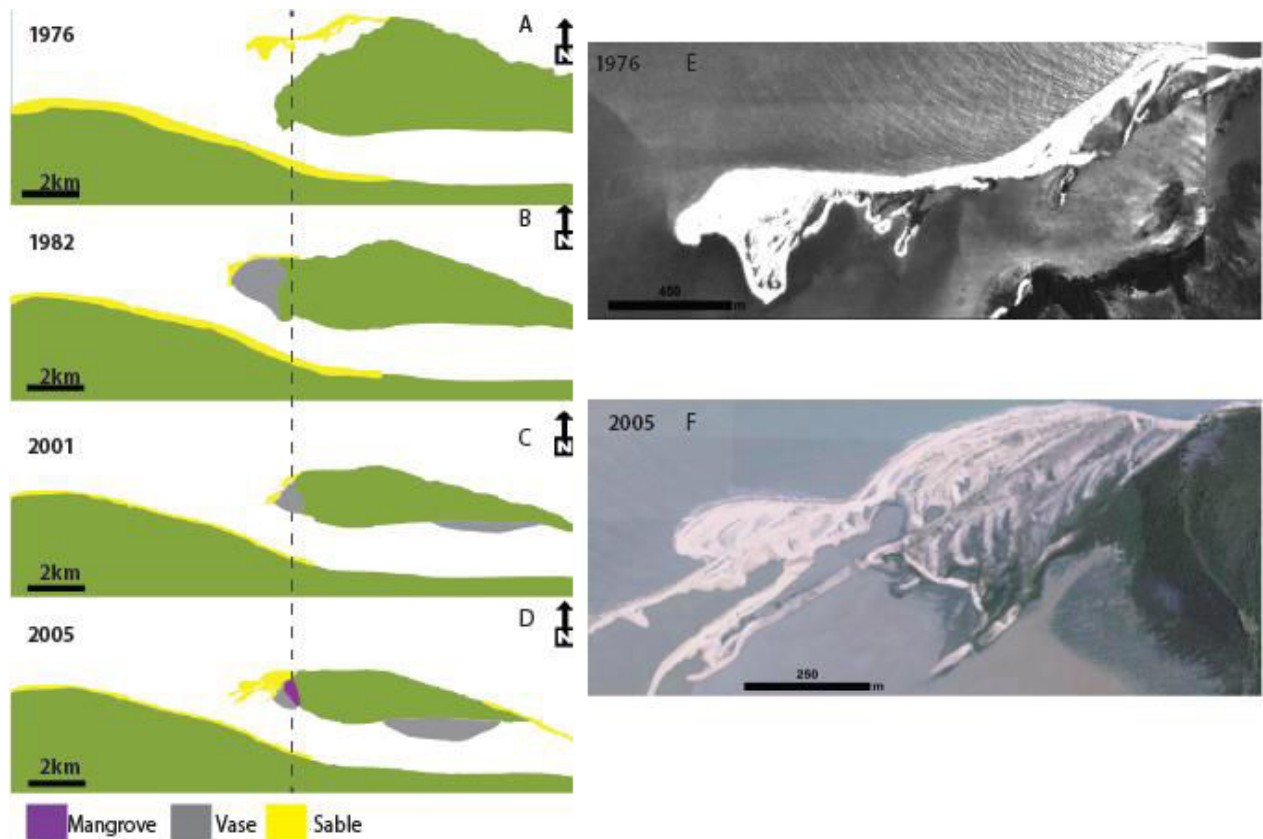


Figure 3.13: Chronologie de la migration du cordon sableux en 1976 (A), 1982 (B), 2001 (C) et 2005 (D) et zoom sur la morphologie de la flèche sableuse en 1976 (E) et 2005 (F)

La pointe mobile de la flèche sableuse progresse en direction du littoral d'Awala-Yalimapo entre 2005 et 2006. En 2007, celle-ci se situe à moins d'une centaine de mètres de la plage d'Awala et atteindra cette dernière en 2008 (figure 3.14 B, C, F, G, H, I) pour ne former qu'une étendue conjointe avec la plage (figure 3.14 C, I). Cet accollement provoque la fermeture définitive de la première embouchure

de la Mana la même année. A l'arrière de ce cordon sableux, les arrivées de vases graduelles, accumulées depuis le début des années 2000, se sont compactées sur le bras mort de la Mana jusqu'à consolidation, permettant à la mangrove de s'y développer, dès 2005, sur la face interne (ou fluviale) de pointe Isère. La flèche sableuse se retrouve confinée à l'arrière par la vase accumulée dans le lit du fleuve de la Mana, à proximité de la première embouchure.

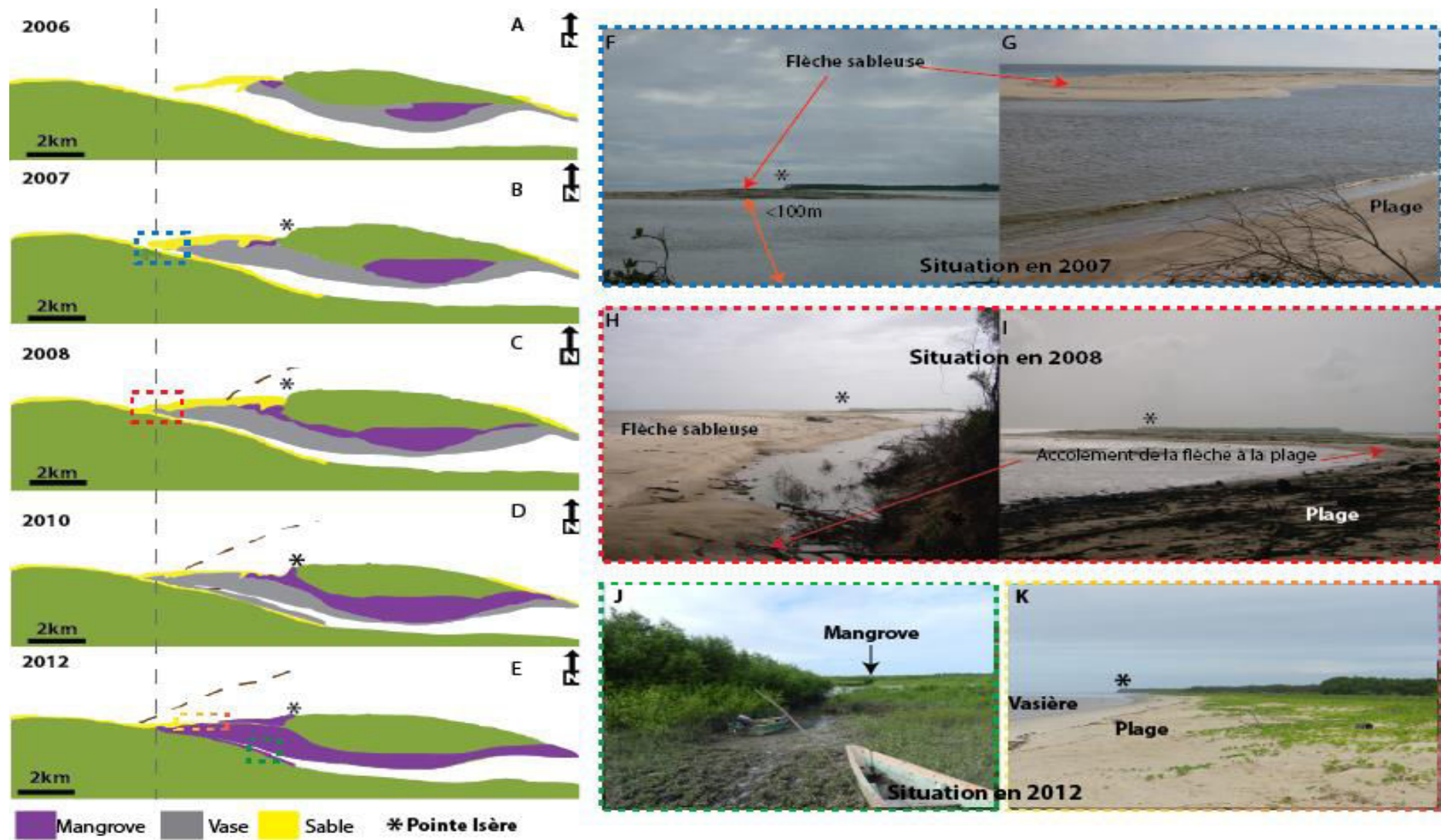


Figure 3.14: Chronologie de la migration du cordon sableux entre 2006 et 2012: (A) 2006, (B) 2007,(C)2008,(D),(E) 2010, (F)2012; crédit photo F,G,H, I © Wongpawisaro; J,K ©Péron.

La flèche constitue à présent une plage sableuse. La migration du banc de vase est venue confiner cette étendue sableuse sur les secteurs avant et arrière de la flèche contribuant à un maintien de la fermeture de l'ancienne embouchure de la Mana.

Outre l'aspect morphologique de ce changement de configuration de côte, le long du village d'Awala-Yalimapo, cette forte dynamique a eu des répercussions sur le mode de vie des populations locales. La progradation de ce littoral, allant de 300 m (Est du village d'Awala) à 1,5 km (secteurs Ouest), a privé les habitants d'un accès à la mer (figure 3.15), ce qui compromet les activités de subsistance alimentaire (la pêche) ou de loisirs (accès à la plage). Les plages d'Awala, anciennement des sites de nidification pour les tortues marines, ne sont désormais plus accessibles pour ces animaux.

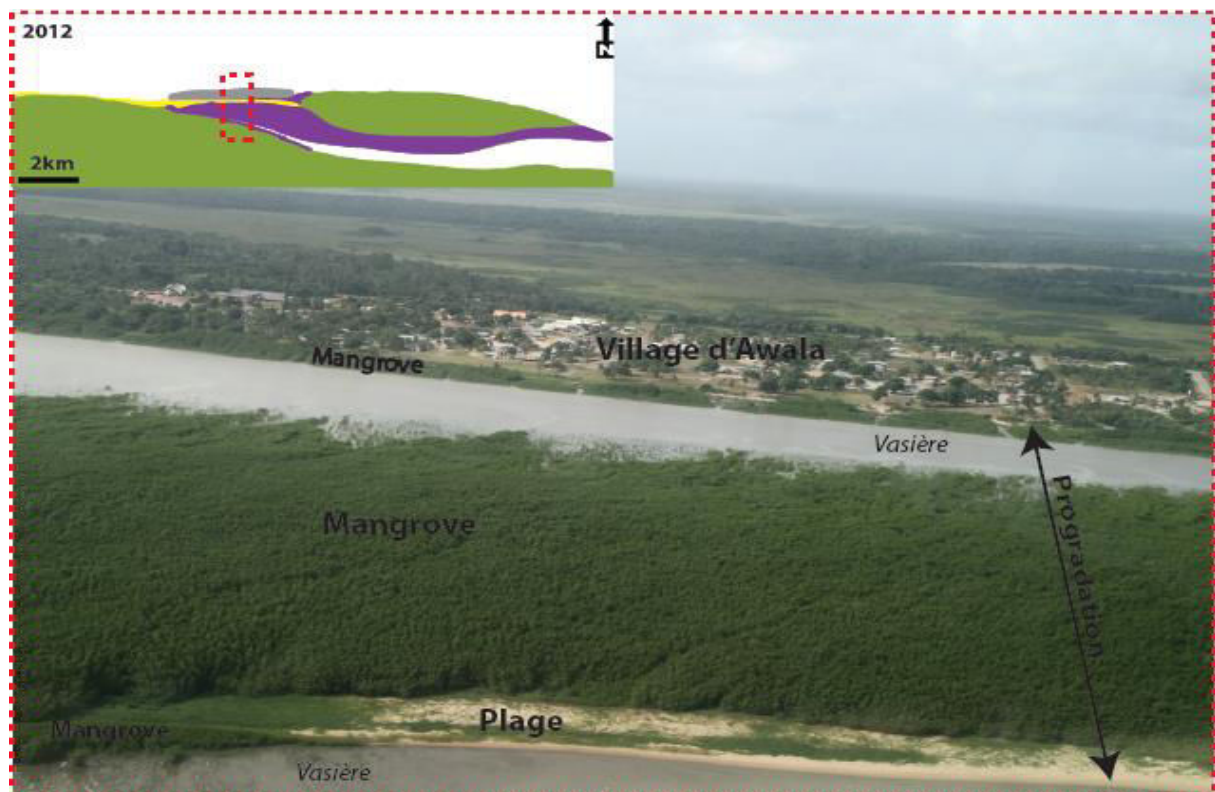


Figure 3.15: Situation du littoral du village d'Awala depuis 2010 (crédit photo Avril 2011 © Berzins, ONCFS)

Après avoir évalué sur une soixantaine d'années, les répercussions géomorphologiques sur le littoral de l'Ouest guyanais du passage de différents bancs de vase, nous nous intéressons à présent au suivi de la migration d'un banc de vase sur le littoral de Kourou et les impacts des phases d'envasement le long de celui-ci.

2. Cinétique de migration d'un banc sur le littoral de Kourou

Les travaux entamés dans le début des années 2000 par Gardel et Gratiot (2005, 2006), et poursuivis par la suite, dans le cadre de la thèse d'Erwan Gensac (2012) se sont attachés à suivre la

progression d'un banc de vase à partir d'images satellitaires depuis les années 90. Ces auteurs ont ainsi pu quantifier les vitesses de migration de la zone intertidale de ce banc. Au cours de ces travaux de thèse, Gensac (2012) a exploré des méthodes d'études de l'extension subtidale du banc (la plus grosse partie du banc) par mesures sismiques et d'imageries satellitaires.

Ce travail s'attache à étudier le comportement (forme, vitesses de migration) du banc de vase lors de sa migration le long du littoral de Kourou. Le banc de vase est considéré ici pour la première fois dans son intégralité (partie subtidale et intertidale). Les résultats originaux obtenus, à la lumière des résultats antérieurs, permettent d'éclairer de nouvelles connaissances importantes pour la compréhension du phénomène de migration des bancs, du rôle des estuaires dans cette migration. Ces éléments constituent des apports scientifiques significatifs en vue d'une meilleure gestion de l'espace littoral et notamment des actions de dragage dans les chenaux de navigation.

2.1. Morphologie des bancs

Tout au long de sa migration, un banc de vase va adopter diverses morphologies en réponse aux contraintes rencontrées. Dans la littérature, les bancs de vase guyanais sont décrits comme étant plus compacts alors qu'ils semblent s'étirer au fur et à mesure de leur migration sur les côtes du Suriname et du Guyana. La morphologie des bancs, que ce soit la surface subtidale ou intertidale, est modulée par la configuration des linéaires côtiers (orientation de la côte, présence de fleuves) (Gensac, 2012).

D'une manière générale, l'extension de la limite subtidale présente une forme de lobe avec une plus grande extension vers l'avant. Sur une côte rectiligne dépourvue d'obstacle, l'étirement du banc (ici intertidale) est favorisé puisqu'il n'est pas soumis à des contraintes et migre librement vers le Nord-Ouest. Ainsi dès que le banc n°2 franchit la rivière de Cayenne, le processus de migration est amorcé et la vase progresse rapidement sur le littoral entre 2003 et 2006 (figure 3.16). La migration de la vase fluide et l'installation des vasières intertidales sont facilitées par l'absence de contrainte physique le long de la côte. Cette configuration morphologique a été retrouvée pour le banc 1 depuis la fin des années 2000 (figure 3.16 A/B).

Jusqu'en 2006, la surface intertidale du banc 1 sur la rive droite de l'embouchure du fleuve Kourou s'élargit mais ne s'est pas encore reformée sur le littoral en aval dérive alors que la partie subtidale a franchi l'estuaire depuis au moins 2003 (figure 3.16B).

Il semblerait donc que la partie subtidale d'un banc après avoir franchi un estuaire, ne favorise pas la formation rapide d'une vasière intertidale puisqu'un délai de plusieurs années (ici au moins 5 ans) est observé. Une fois initiée, la formation des vasières et leur progression le long de la côte est rapide (entre 2006 et 2008).

Le Kourou est un fleuve de faible débit qui repose sur un lit rocheux. Cette dernière caractéristique lui permet de conserver la configuration de son embouchure et ainsi être préservé des modifications

morphologiques de son estuaire comme cela a été le cas pour les fleuves Sinnamary et Mana (Gensac, 2012 ; Allison *et al.*, 2004).

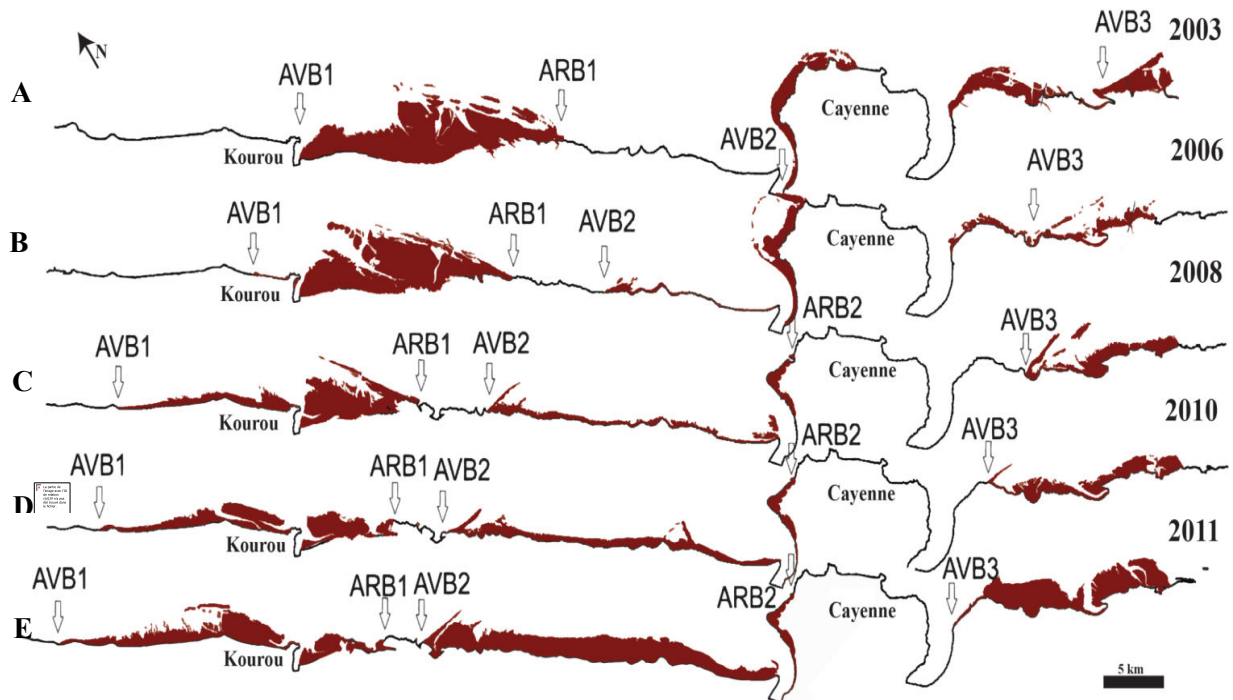


Figure 3.16: Représentation schématique de la localisation de la vasière intertidale des bancs sur le littoral de Kourou à Kaw entre 2003 et 2011 (A à E respectivement). Trois bancs de vase sont présents pendant cette période. (AVB1: Avant banc du banc 1; ARB1: Arrière-banc du banc 1; AVB2: Avant banc du banc 2 ; ARB2: Arrière banc du banc 2 ; AVB3: Avant banc du banc 3 ; ARB3: Arrière banc du banc 3). Les limites d'avant banc représentent les zones frontales des surfaces intertidales.

2.2. Cinétique de migration des bancs sur le littoral de Kourou

La dynamique des parties intertidales et subtidales sont étroitement liées. La surface subtidale s'alimente par l'érosion des parties intertidales situées à l'arrière-banc, et l'action des houles sur la vase subtidale conduit à la formation des vasières intertidales et des barres vaseuses. La figure 3.17 illustre la migration du banc sur le littoral de Kourou entre 2003 et 2011. Jusqu'en 2006, les vasières intertidales se localisaient à hauteur de la rive droite du fleuve. Les vitesses de migration des surfaces intertidales sont d'ailleurs relativement faibles 600 m.an^{-1} . En revanche, trois ans plus tard, le banc de vase (parties intertidale et subtidale) se situe majoritairement sur la rive gauche du littoral de Kourou et sa vitesse de migration augmente. Comme souligné dans la littérature (Anthony *et al.*, 2012, Gensac, 2012), le fleuve du Kourou agit en tant qu'épi hydraulique (ce qui devrait freiner les courants et limiter le déplacement sédimentaire) qui ralentit la progression du banc.

Les deux unités du banc ne sont pas en interactions constantes tout au long de leur migration. Les surfaces subtidales et intertidales ont donc chacune des vitesses de migration différentes, et peuvent ainsi être déconnectées l'une de l'autre, selon l'avancée du banc (figure 3.17). Il existe un décalage

spatial entre les surfaces intertidales et les surfaces subtidales. La vitesse de migration des surfaces subtidales est en diminution ces dernières années avec une vitesse de progression de $1,6 \text{ km.an}^{-1}$ contre $3,9 \text{ km.an}^{-1}$ pour les surfaces intertidales. Après avoir migré rapidement entre 2006 et 2009, avec des vitesses atteignant 5 km.an^{-1} , la partie subtidale semble ralentir. Une fois que le banc franchi le fleuve, sa vitesse de progression est ralentie par l'installation des vasières intertidales sur l'étendue de côte libre. Les causes de ces variabilités ne sont pas connues mais sont probablement multiples. En effet, la variabilité des forçages météo-marin, la présence de haut fond rocheux (battures) sur le littoral du CSG sont autant de paramètres pouvant influencer sur la vitesse de migration des bancs.

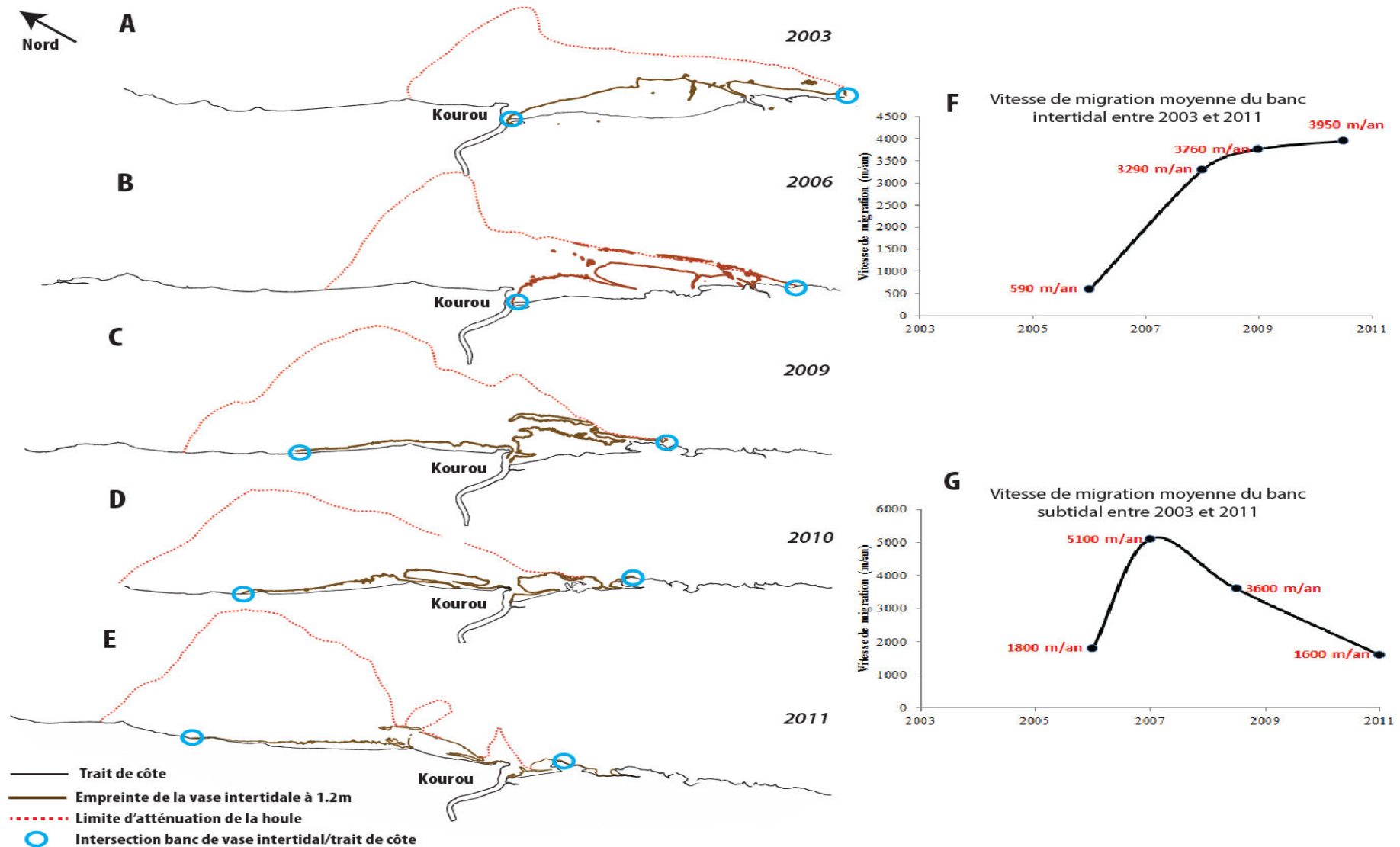


Figure 3.17: (A à E) Localisation du banc 1 (vasière intertidale et limite d'atténuation de la houle (= proxy de l'extension subtidale)) sur le littoral de Kourou entre 2003 et 2011 et localisation de l'avant et de l'arrière-banc (cercle bleu) et (F, G) vitesse de migration correspondante.

2.3. Comportement du banc lors du franchissement de l'estuaire

Dans ce travail nous avons cherché à mettre en relation la bathymétrie mesurée dans le chenal d'accès au port de Pariacabo (données acquises par la société de dragage Atlantique Dragage) et les positions et morphologies du banc de vase (extraction des limites de déformation de la houle sur images SPOT) au cours de son passage sur la période 2001-2011.

Le suivi simultané de l'envasement du chenal et de la position de la partie subtidale du banc de vase montre une interconnexion bien marquée entre les arrivées de vase fluide dans le chenal et l'avancée du banc (figure 3.18). Ces arrivées se traduisent par une augmentation de l'épaisseur de vase dans le chenal ($0,35 \pm 1,2$ m).

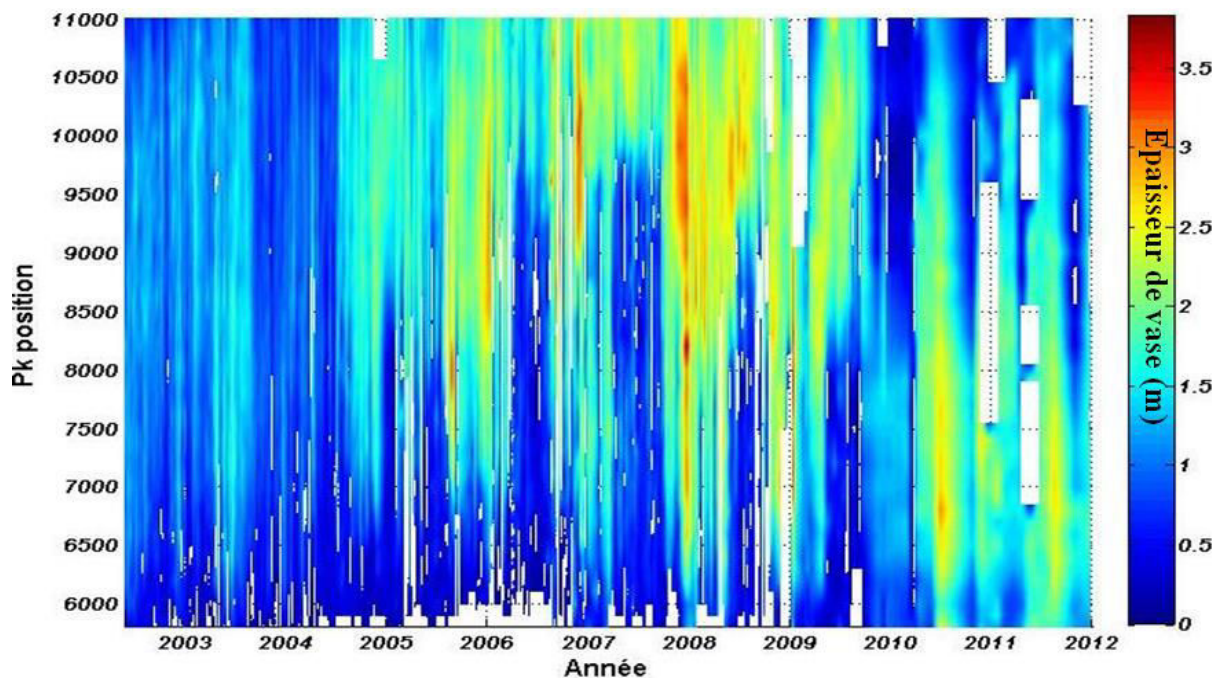


Figure 3.18: Matrice représentant l'épaisseur de la lentille de vase (m) dans le chenal de navigation du Kourou entre les points kilométriques 5800 et 11000 entre juin 2002 et janvier 2012.

Les premiers relevés bathymétriques indiquent que de faibles quantités de vase franchissent le fleuve au début des années 2000 (épaisseur de la lentille de vase $< 1,5$ m). Ces résultats sont en adéquation avec la position de la surface subtidale du banc qui se situe encore en grande majorité sur la portion orientale de ce littoral. Dès 2005, les arrivées de vase fluide sont plus conséquentes avec l'avancée du banc de vase et peuvent atteindre près de 2,5 m d'épaisseur au milieu du chenal (\sim PK 8000) (figure 3.18 et 3.19).

Ces figures sont très intéressantes car elles semblent montrer que l'avant banc subtidal est moins épais. En effet, en 2001-2003, les entrées de vase dans le chenal sont faibles (< 2 m) alors que l'extension maximale de la surface subtidale est localisée à proximité du chenal (figure 3.18). Le banc subtidal poursuit sa migration, et vers 2005 c'est la partie médiane du banc qui est localisé à proximité de

l'estuaire. Les épaisseurs de vase retrouvées dans le chenal sont d'ailleurs les plus importantes ($> 2,5$ m et ponctuellement en 2007 et 2008, l'épaisseur peut être supérieure à 3 m), probablement dû à la proximité du milieu du banc. Quand l'arrière-banc traverse, le Kourou, les épaisseurs sont plus fines dans le chenal extérieur ($< 1,5$ m) et peuvent atteindre plus de 2 m dans le chenal interne. Ces résultats peuvent être reliés à ceux trouvés par Gensac (2012), qui avait observé une accumulation de vase dans la partie subtidale plus conséquente au milieu du banc. On peut supposer que le milieu du banc subtidal connaît plus d'apports sédimentaires par la houle qui n'est plus amortie au large et permet un transport dans ces secteurs.

La morphologie subtidale n'est donc pas uniforme et présente donc un avant-banc plus fin, un banc médian avec une zone en accumulation avec un dôme vaseux et un arrière-banc moins épais.

En arrivant à proximité du fleuve, une faible partie des sédiments cohésifs est expulsée au large par le jusant. Cette vase est alors reprise par les houles et les courants, puis transportée et rabattue sur la rive gauche du chenal. La vase fluide, constituant la surface subtidale, va s'accumuler sur la rive droite. Quand la partie frontale du banc n'a pas franchi le fleuve, son envasement reste limité et seuls quelques épisodes d'envasements massifs sont observés.

A la fin des années 2000, la majorité du banc a passé le fleuve et est localisée entre Kourou et Sinnamary. Entre 2006 et 2010, la portion externe du chenal est fortement envasée, atteignant plus de 3,5 m (figure 3.18 et 3.19). Lors de la migration de la partie médiane du banc, la vase transportée par les courants est expulsée vers le large lorsqu'elle arrive à proximité du fleuve ce qui favorise l'envasement du chenal extérieur. A partir de 2010, les reliquats de l'arrière-banc franchissent le fleuve, et viennent envaser majoritairement cette fois-ci l'intérieur du chenal ($< \text{PK } 8000$).

Des arrivées sporadiques de plus grosses épaisseurs de vase fluide dans le chenal, sont observées quelques jours après des conditions hydrodynamiques plus agitées comme observées par Gratiot et *al.* (2007). En effet, lorsque la hauteur des vagues excède généralement 1m, les entrées de vase fluide dans le chenal augmentent et peuvent atteindre près de 3 m (figure 3.20).

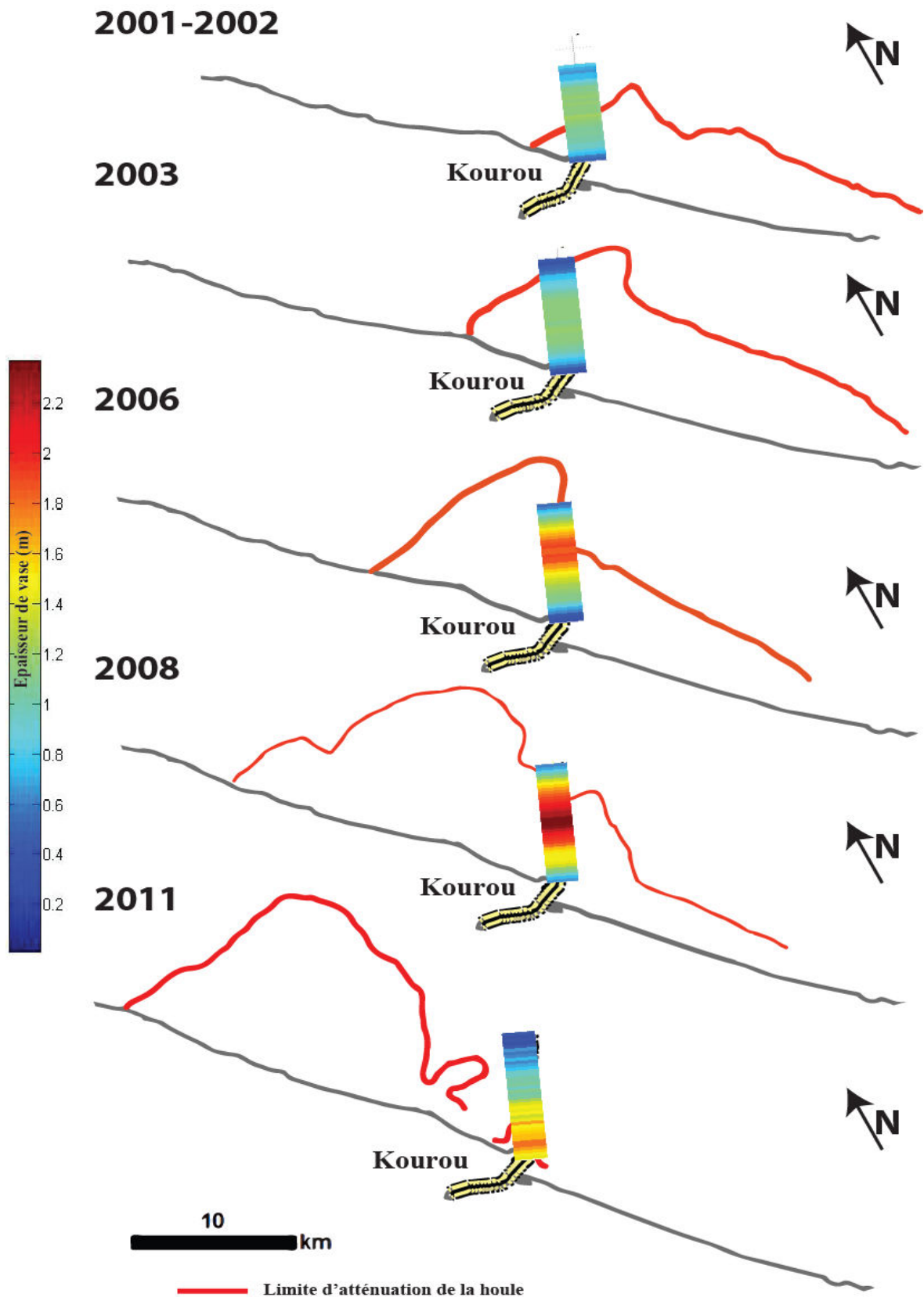


Figure 3.19: Superposition de l'épaisseur de la lentille de vase (moyennes annuelles) dans le chenal pour les points kilométriques de PK 5800 à PK 13800 (tous les 200 m) avec la localisation des limites d'atténuation de la houle entre 2001 et 2011.

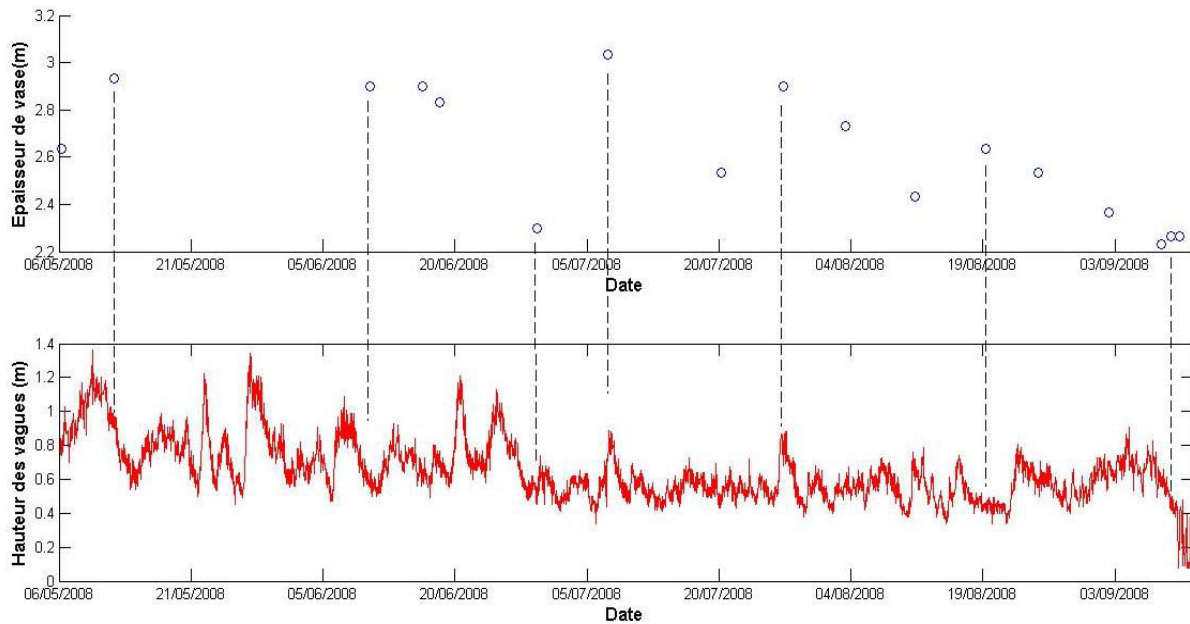


Figure 3.20: Comparaison de l'épaisseur de vase dans le chenal du Kourou et les hauteurs de vagues mesurées à la sortie du Mahury (données Candhis /CETMEF).

2.4. Scénarios prédictifs

Une dizaine de kilomètres séparent le banc que nous avons suivi d'un autre banc à l'approche, plus à l'Est. Le suivi complet de la migration du premier banc de vase, depuis le milieu des années 80, permet de se rendre compte des répercussions géomorphologiques engendrées sur la côte suite aux différentes phases de migration. Toutefois, les causes de la variabilité de la migration des bancs ne sont pas encore très bien connues et notre modèle conceptuel est basé sur le scénario de migration du premier banc, pour nous permettre d'estimer les scénarios de migration du banc en approche pour les années futures.

Si en 2011, le banc n°1 a franchi presque intégralement le fleuve, la migration complète entre l'estuaire de la Rivière de Cayenne et le fleuve Kourou aura pris plus de deux décennies. Le banc en approche (banc n°2) est localisé à proximité de Macouria en 2011 et le premier étant lui-même situé dans cette zone en 1994.

En supposant des vitesses de migration similaires entre les deux bancs, on peut estimer l'arrivée du 2nd banc sur le littoral de Kourou. Hypothétiquement, la position du banc n°2 en 2015 sera la même qu'en 1998 pour le précédent banc (figure 3.21). Entre 2015 et 2020, la partie frontale de la portion subtidale aura franchi le fleuve, mais la vasière intertidale sur la rive droite continuera de se développer. Une grande quantité de vase va s'accumuler sur la pointe Guatemala jusqu'au milieu des années 2020, puis la majorité du banc va se localiser sur l'autre rive du littoral. On estime qu'au début des années 2030, la quasi-totalité du banc de vase aura migré sur le littoral de Kourou.

En suivant ce même modèle de migration, l'envasement du fleuve devrait être plus soutenu au début 2020, pour une durée de 3 à 4 ans avec un envasement plus important vers le large. En revanche, à la

fin de cette décennie, le banc ayant presque entièrement migré, l'envasement du chenal se fait au plus au plus proche de l'embouchure.

Les processus de migration des bancs ont été décrits dans ces précédentes parties. Nous nous intéressons dans la prochaine partie, aux répercussions géomorphologiques du passage des bancs de vase sur les littoraux sableux.

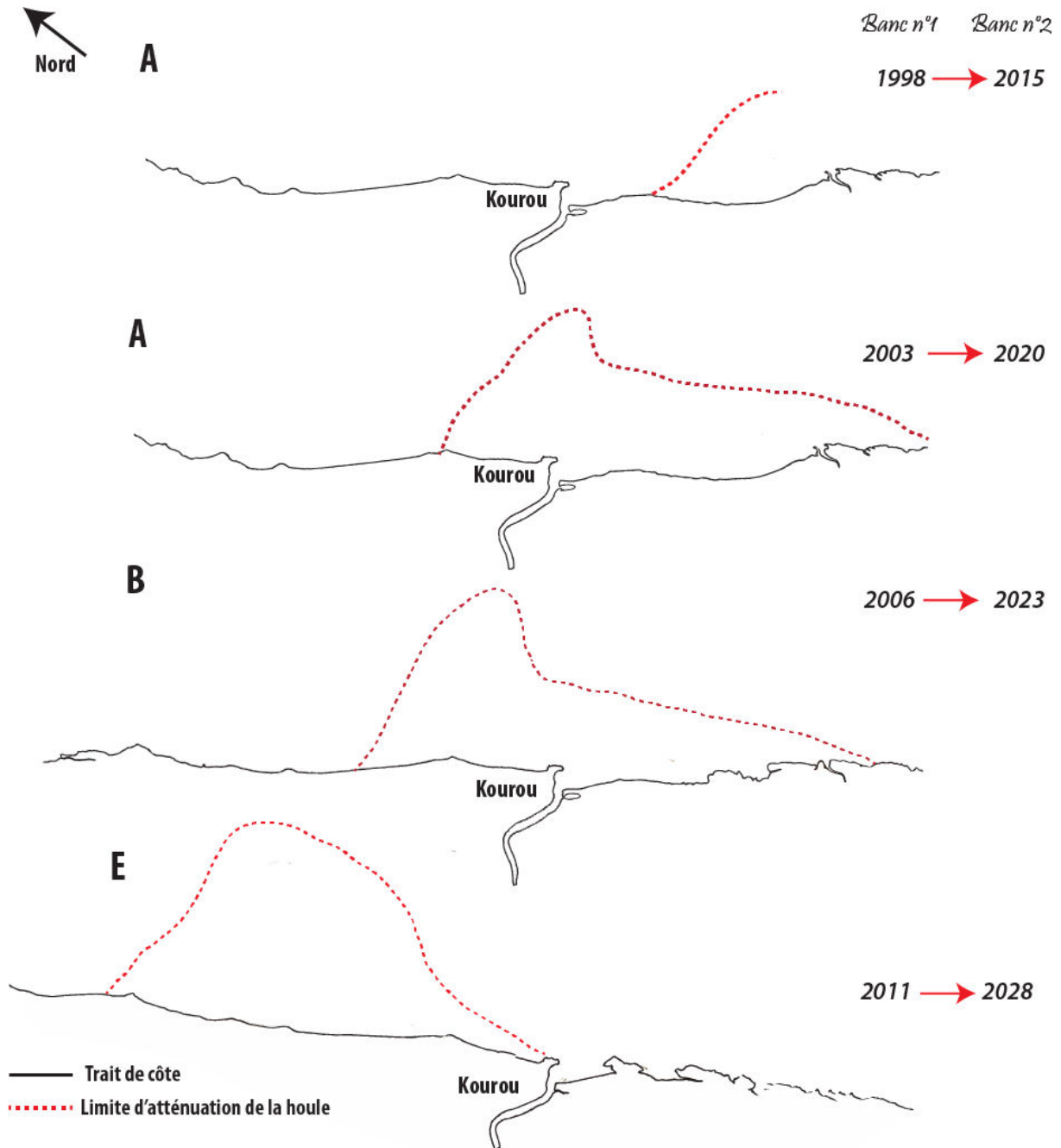


Figure 3.21: Localisation prédictive du banc n°2 par rapport à la migration du banc n°1 sur le littoral de Kourou pour les années futures.

Nous retiendrons de cette partie:

- ➔ Fluctuations du trait de côte sur l'Ouest guyanais contrastées avec un secteur oriental en recul de plusieurs kilomètres en réponse au passage de banc de vase, tandis que la plage d'Awala-Yalimapo est plutôt stable ;
- ➔ Déflexion d'embouchure du fleuve Mana ;
- ➔ Les fleuves de faible débits sont impactés par le passage d'un banc de vase avec des fluctuations bathymétriques dans le lit du fleuve ;
- ➔ Vitesse de migration différentes des parties intertidale et subtidale du banc de vase
- ➔ Morphologie subtidale du banc est différente selon la localisation (plus épaisse dans la partie médiane)

PARTIE 3. VARIABILITE MORPHOSEDIMENTAIRE DE LA PLAGE D'AWALA-YALIMAPO

La plage d'Awala-Yalimapo est pérenne depuis plusieurs décennies, illustrée par une absence d'envasement ayant préservé cette plage estuarienne. Les résultats présentés dans cette partie sont issus du suivi *in-situ* de cette plage entre mars 2011 et juin 2013. Cette partie du chapitre se concentre sur une évolution morphosédimentaire de la plage, à différentes échelles temporelles allant de l'échelle de la marée à l'échelle pluriannuelle en passant par les échelles tidales, saisonnières et annuelles.

1. Evolution sédimentaire à très court-terme

La première série des piquets de swash a été effectuée le 17/06/2011 de 11h50 à 18h20 (figure 3.22), correspondant à une marée de vive-eau, permettant d'évaluer la réponse de la plage face à de telles conditions hydrodynamiques. La zone choisie est composée de sable grossier à fin.

En dessous du piquet 3, soit pour les piquets 4 à 7, le profil est en légère érosion d'environ 1cm au cours de la marée montante. Cependant, ces piquets se sont montrés très vite inaccessibles, ce qui a entraîné un arrêt des mesures: à 15h10, 15h34, 15h55 et 16h29 pour les piquets 7, 6, 5, et 4 respectivement. A l'inverse, les variations sédimentaires maximales (15,2 à 3,8 cm) sont observées sur les piquets 1 à 3 localisés au-dessus de la limite de marée basse, où une oscillation de l'élévation est constatée à partir de 15h30 (soit 4 heures après le début de la marée montante).

L'oscillation mesurée au niveau du piquet 2, d'une amplitude altimétrique d'environ 15 cm semble se déplacer vers le piquet 1. En effet, lorsque l'érosion au niveau du piquet 2 se fait ressentir vers 17h15, le piquet 1 à l'inverse reçoit des apports sédimentaires. Ces oscillations topographiques, semblent se décaler dans le temps et dans l'espace, du 3^{ème} au 1^{er} piquet, avec la marée montante. Le déplacement vers le haut de plage de la zone de swash induit la création d'une marche à partir du piquet 4, provoquée par le déferlement des vagues sur la plage qui se déplace avec la marée. Degryse-Kulkarni (2003) et Jeanson (2009) évoquent la formation d'une telle marche à la limite offshore de la zone de

swash. Ce déplacement sédimentaire provoque une accrétion du haut de plage liée au processus de swash.

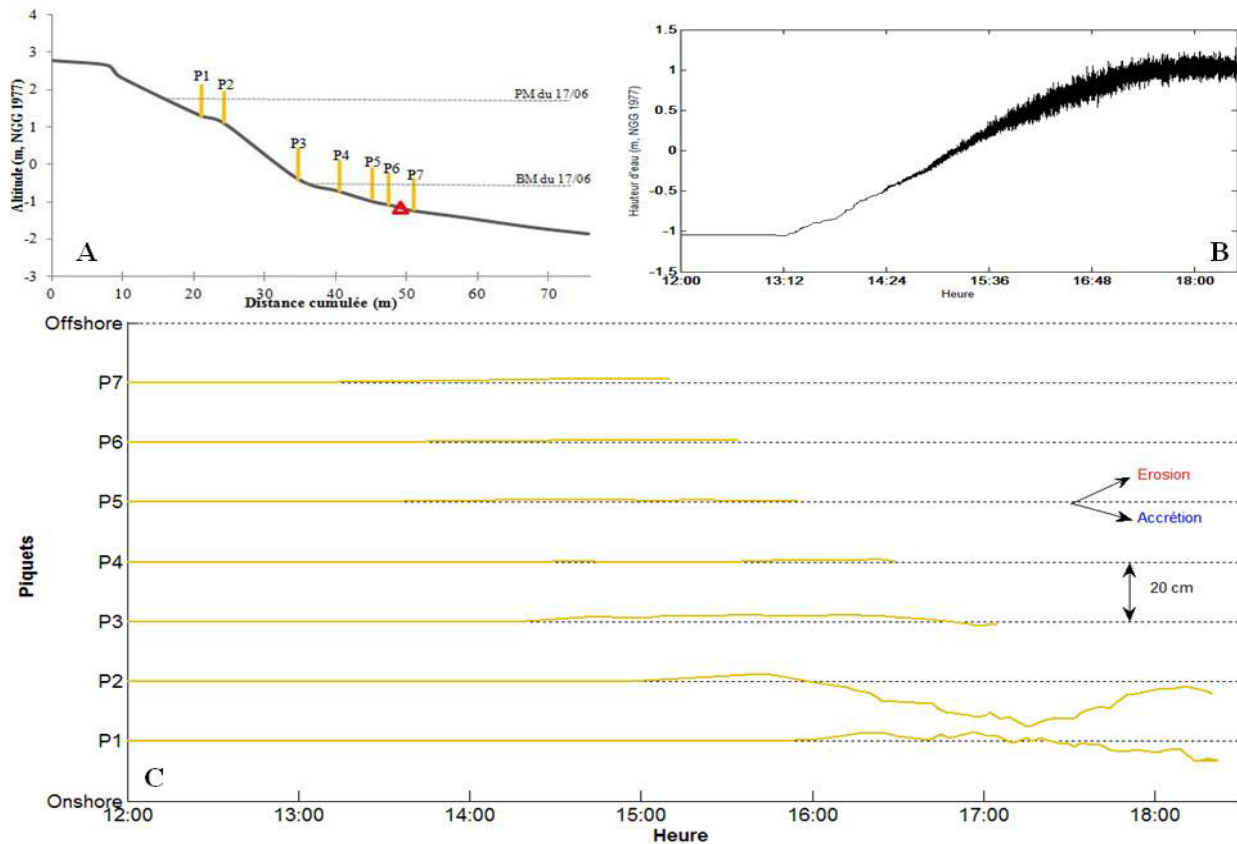


Figure 3.22 : A/ Profil topographique de la section de plage où les mesures à très court terme ont été réalisées le 17 juin 2011 avec emplacement des piquets (P1 à P7) et localisation du capteur de pression (triangle rouge); B/ Fluctuations du plan d'eau au moment de de l'expérience; C/ Variations topographiques mesurées sur les piquets 1 à 7 (P1 à P7), les lignes jaunes représentent les fluctuations sédimentaires érosive vers le haut, et en accrétion vers le bas.

Une seconde série de mesures effectuées le 15 mai 2012 de 8h à 12h a permis de caractériser la dynamique cross-shore le long d'un profil lors de période de morte-eau (figure 3.23).

Les quatre piquets (piquets 6 à 9) situés en bas de plage, présentent des faibles fluctuations oscillant entre -1,20 cm à +1 cm ($0,37 \pm 0,73$ cm). Ces quatre piquets localisés en dehors de la limite offshore de la zone de swash, ne semblent pas être impactés par la dynamique sédimentaire générée dans cette zone de déferlement. En revanche, au niveau du piquet n°5, l'érosion s'opère jusqu'aux environs de 11h15. Il y a, par la suite une redistribution sédimentaire favorable pour ce piquet. Sous le piquet 4, l'accrétion augmente alors qu'une érosion a lieu au niveau du piquet 3, situé plus haut sur la plage. Les piquets localisés en haute plage à la limite de la pleine mer du jour présentent peu de fluctuations pour le piquet 2, et semblent ne pas avoir même atteint le premier piquet.

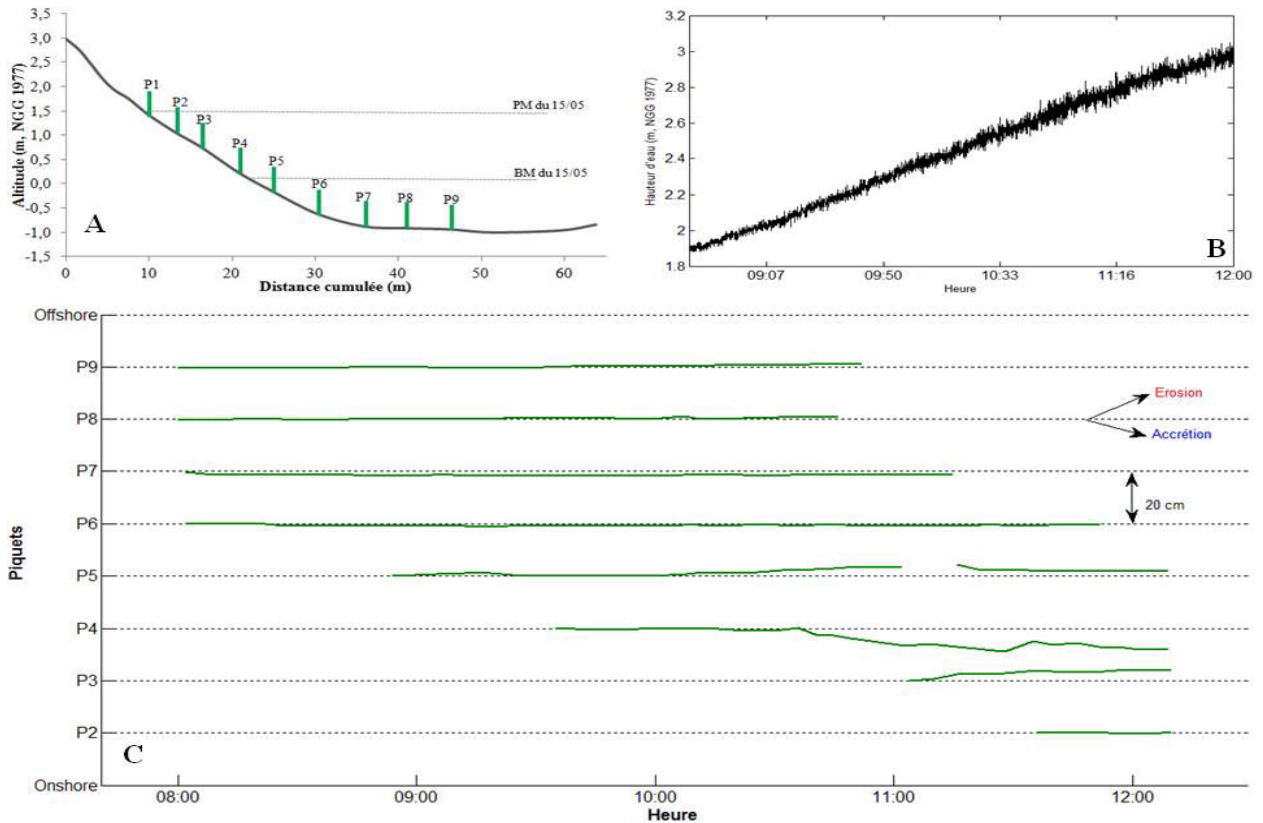


Figure 3.23: A/ Profil topographique de la section de plage où les mesures à très court terme ont été réalisées le 15 mai 2012 avec emplacement des piquets (P1 à P9); B/ Fluctuations du plan d'eau au moment de l'expérience ; C/ Variations topographiques mesurées sur les piquets 1 à 7 (P1 à P7), les lignes vertes représentent les fluctuations sédimentaires érosive vers le haut, et en accrétion vers le bas.

Les variations topographiques sont dépendantes de la localisation sur le profil de plage et sont liées aux fluctuations de la zone de swash. Les oscillations topographiques les plus importantes ont lieu en fin de marée montante et lors des marées de vives eaux, lorsque les courants associés sont relativement faibles et l'énergie des vagues n'est pas suffisante pour permettre un transport sédimentaire le long du profil de plage. Les autres expériences de piquets de swash ne nous apportent pas d'autres éléments. Dans la zone de swash, les mesures réalisées dans cette étude, ont montré que la plage de Yalimapo a un fonctionnement non différent des autres plages avec une dynamique sédimentaire influencée par le cycle tidal.

2. Dynamique sédimentaire à l'échelle saisonnière

L'objectif de ce travail est de vérifier si les variabilités saisonnières associées au régime climatique en Guyane rythment une dynamique morphosédimentaire saisonnière bien marquée. Les trois périodes associées aux variations saisonnières sont :

- (A) Saison des pluies : mars à juin 2011, mars à mai 2012 et 2013
- (B) Fin de la saison des pluies : juin à août 2011 et mai à juillet 2012
- (C) Saison sèche : août à octobre 2011 et juillet à novembre 2012

2.1. Dynamique morphosédimentaire en saison des pluies

Les résultats obtenus montrent une érosion majoritaire de la plage (figure 3.24). Cependant, la perte sédimentaire apparaît plus importante sur le bas de plage (~50 cm à 1 m) en 2011 (Figure 3.24A), où les débits recensés sont d'ailleurs les plus élevés. En 2011, l'estran présente des conditions favorables à une sédimentation au contraire de la zone proche subtidale, cependant le bilan volumique indique une perte de 10000 m³ de sable. En 2012, le bilan volumique est négatif (~ - 4800 m³), et l'érosion concerne le haut de plage et la zone du banc de sable avec jusqu'à 1 m d'altitude en moins. On peut observer également, à proximité de la zone de contact du banc de sable [E 173200 173400], on observe des apports sableux sur la face interne du banc de l'ordre de 25 à 100 cm (figure 3.24B). La localisation des apports [E 173200 173400] indique un transfert sédimentaire de l'extérieur vers l'intérieur du banc, soulignant l'influence de la marée descendante dans la distribution des sédiments. En 2013, la perte sédimentaire est inférieure à 5000 m³ et touche plus particulièrement le haut de plage, occasionnant un recul du front du talus d'érosion. Cette érosion concerne également la face externe du banc de sable et seules quelques zones de plage isolées sont en accrétion (par exemple l'extrême Est des MNT [E 174400 174500]).

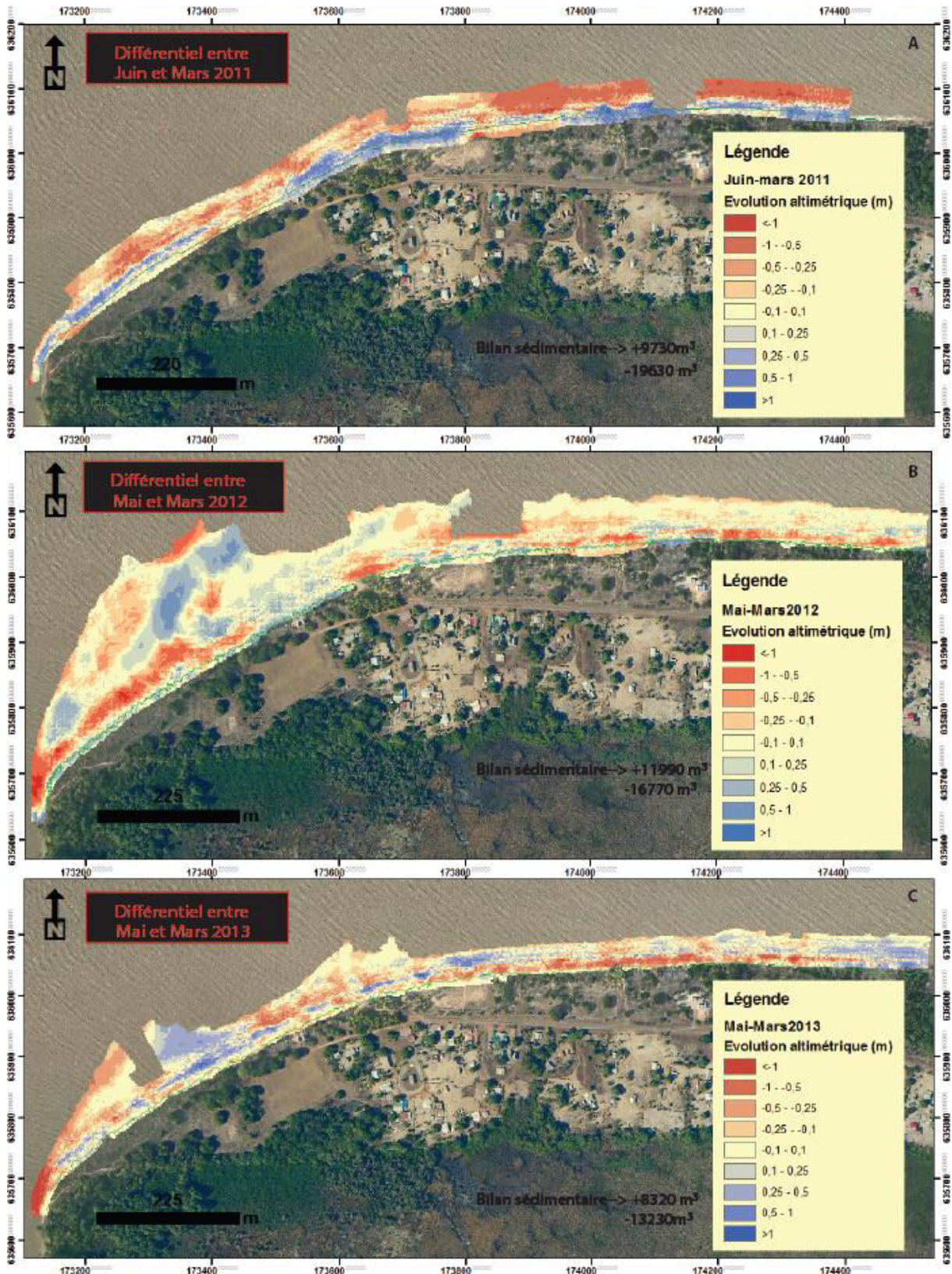


Figure 3.24: Modèles numériques de terrains différentiels de la zone de plage, suivie sur la plage de Yalimapo, entre mars 2011 et mai 2013 au cours de la saison des pluies, (A) entre mars et juin 2011, (B) entre mars et mai 2012 et (C) entre mars et mai 2013. La limite entre la végétation et la plage est représentée par une isoligne de couleur verte sur les MNT.

La deuxième série (classe B) ne présente pas d'évolution morphosédimentaire saisonnière (figure 3.25). En effet, en 2011 (figure 3.25A), l'érosion de la plage s'est intensifiée au cours de cette période atteignant jusqu'à 16000 m³ de sable en moins (bilan volumique total) (figure 3.25A). A l'inverse, entre les mois de mai à juillet 2012 (figure 3.25B), la plage s'est engraisée (+ 6000 m³) et le secteur Est n'est donc plus en proie à l'érosion sévère qu'il subissait au cours de la précédente période, et celui-ci bénéficie d'apports de sable (< 50 cm). Le secteur de plage protégé par le banc de sable s'est engraisé de même que la face interne du banc de sable [E 173200 173400].

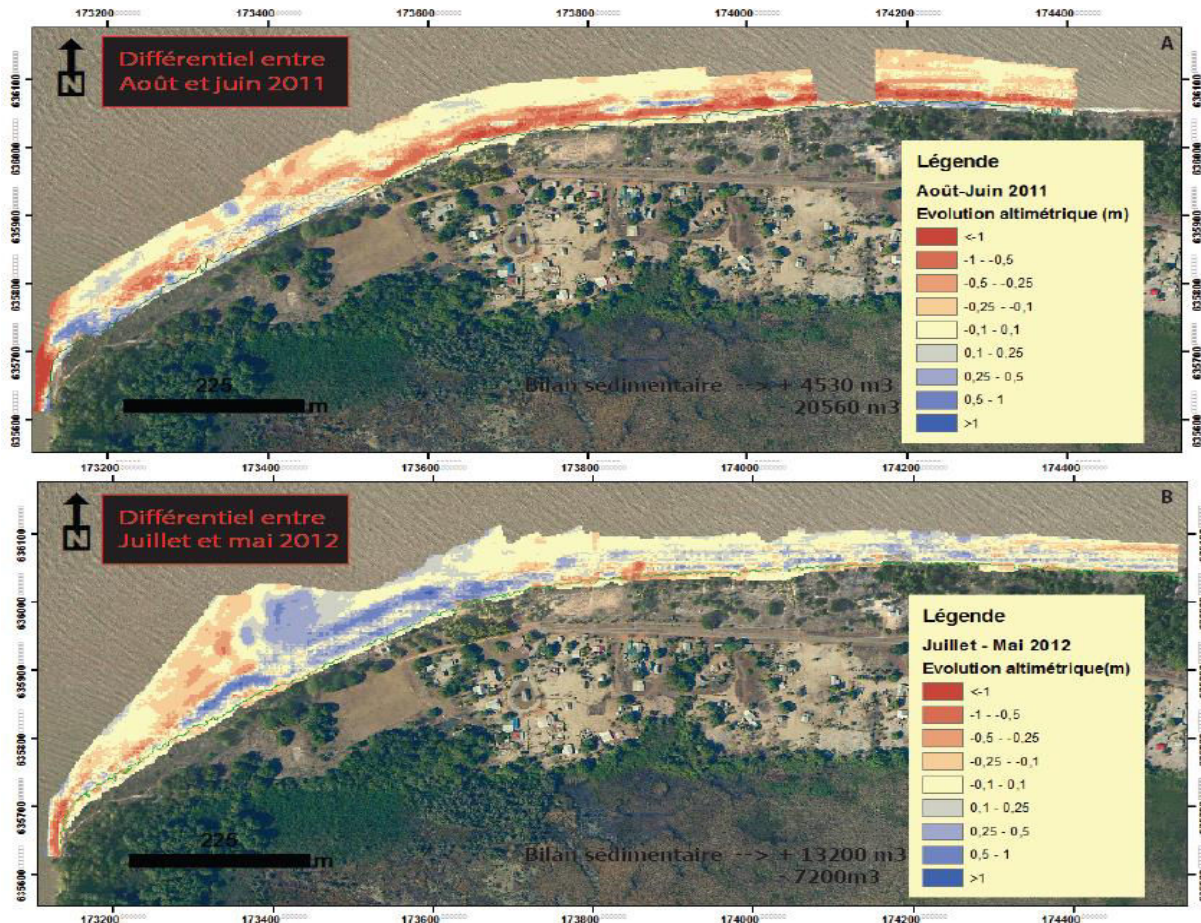


Figure 3.25: Modèles numériques de terrains différentiels de la zone de plage suivie sur la plage de Yalimapo, entre juin 2011 et mai 2012 pour la saison des pluies, (A) entre juin et août 2011, (B) entre mai et juillet 2012. La limite entre la végétation et la plage est représentée par une isoligne de couleur verte sur les MNT.

2.2. Dynamique morphosédimentaire en saison sèche

En saison sèche, la plage ne présente pas de modèle saisonnier particulier, sa dynamique sédimentaire est ainsi contrastée (figure 3.26). Entre les mois d'août et octobre 2011, l'érosion est dominante sur la plage (-13000 m³) avec toutefois un secteur oriental toujours plus érodé (jusqu'à 1 m de pertes altitudinales). Le secteur occidental de la plage est plus stable voir même en accrétion sur quelques secteurs (figure 3.26A).

En revanche, entre juillet et novembre 2012, la sédimentation est active sur la plage. Des apports de sable se généralisent (bilan sédimentaire positif: 12450 m³). L'Est de la plage est toujours en érosion mais de façon moins prononcée (figure 3.26B).

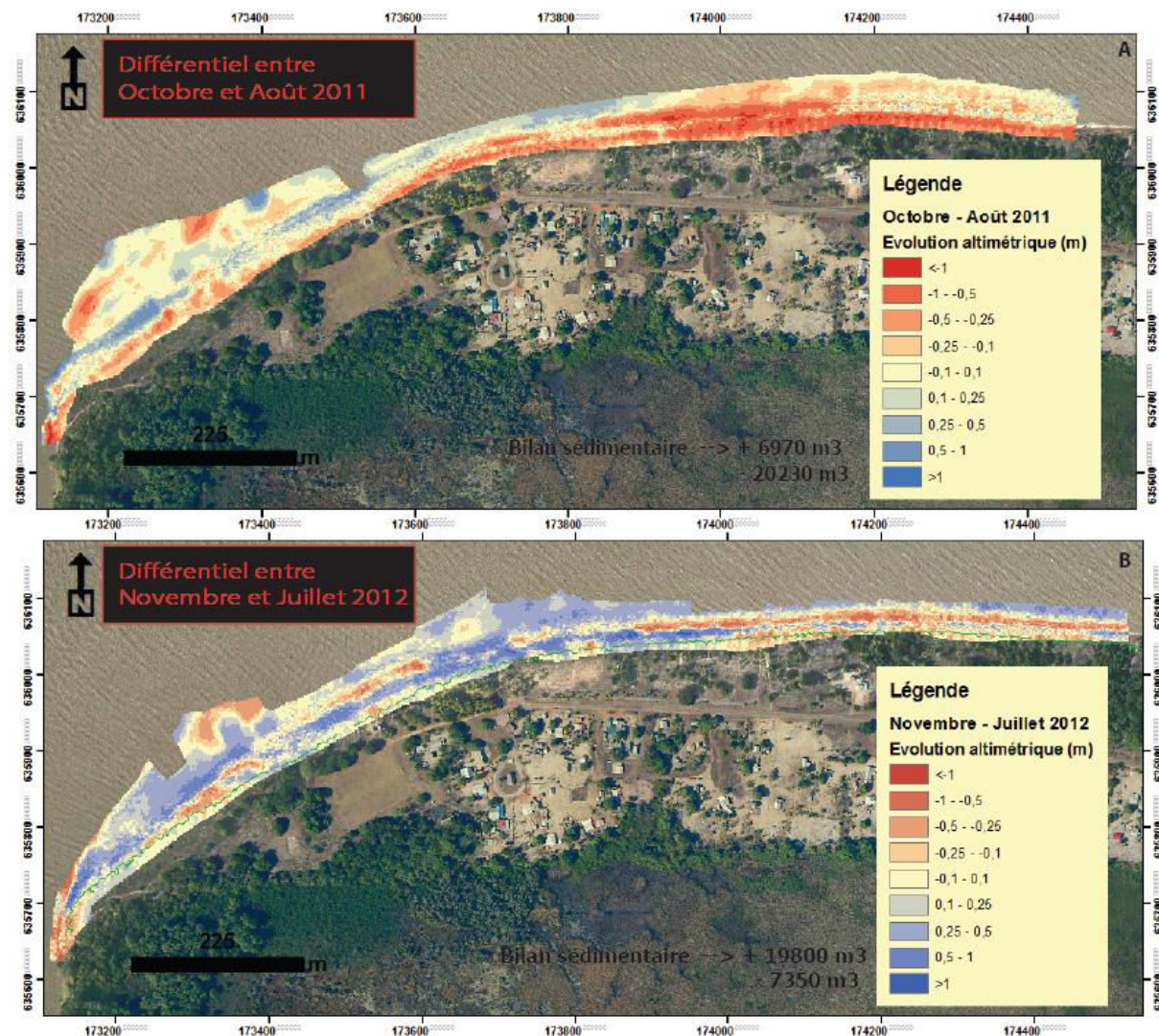


Figure 3.26: Modèles numériques de terrains différentiels de la zone de plage suivie sur la plage de Yalimapo entre août 2011 et novembre 2012, pour la saison sèche, (A) entre août et octobre 2011, et (B) entre juillet et novembre 2012. La limite entre la végétation et la plage est représentée par une isoligne de couleur verte sur les MNT.

3. Dynamique sédimentaire à l'échelle intra-annuelle

Nous avons montré dans la partie précédente que le secteur oriental de la plage est caractérisé par une érosion constante depuis les premiers relevés. L'évolution des profils de plage étudiés, représentés sur les figures 3.27 à 3.30, montrent une succession de morphotypes dont l'allure générale est de type concave, typique des profils en érosion (Sonu & James, 1973).

Le profil 1 localisé à l'extrémité de la plage (Vigie), est sujet à une dynamique fluctuante qui peut être caractérisée par d'importants apports sédimentaires modulant l'allure du profil de concave à convexe, et à l'inverse du sédiment peut être érodé en accentuant la concavité du profil (figure 3.27). La

première année, entre le 21/03 et le 14/06/2011, la plage s'érode à partir 24 m (distance cumulée) au fur et à mesure des mois avec une perte volumique estimée à 20 m^3 . Les mesures réalisées le 02/07/2011 indiquent un recul du haut de plage de 3m entre le 14/06 et le 02/07/2011, un important remaniement sédimentaire intervient donc dans cette période en fin de cycle de vive-eau suivi d'une période de déchet puis d'une ré-augmentation des coefficients de marée. Si le bas de plage (à partir de 28 m de distance cumulée) a peu évolué entre le 02/07/2011 et le 11/03/2012, le haut de plage s'est érodé avec un recul de près de 9 m et la présence d'un talus d'érosion de 60 cm le 11/03/2012.

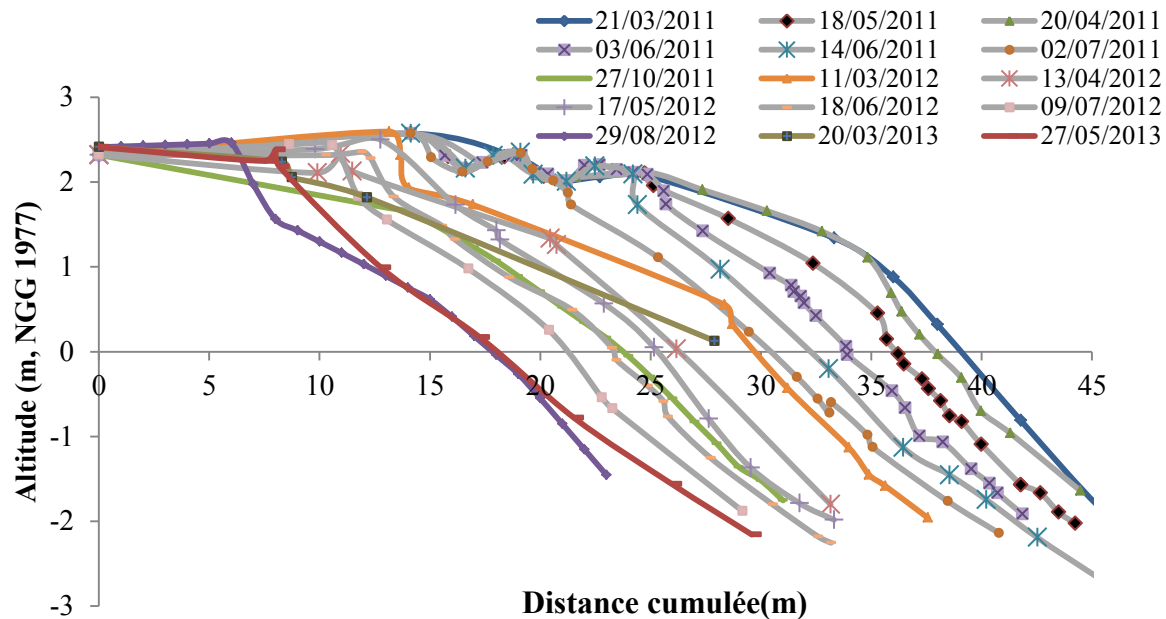


Figure 3.27: Profils topographiques du profil n°1 (Vigie) à l'Ouest de la plage

Néanmoins, le profil intermédiaire réalisé le 27/10/2011 ne laisse pas paraître de talus de haut de plage, le profil est en effet lissé, une perte volumétrique de -28 m^3 (jusqu'à 30 m) entre le 02/07 et le 27/10/2011 y est mesurée, le profil s'est donc par la suite engraisser $+ 21 \text{ m}^3$ (entre le 27/10/2011 et le 11/03/2012). Les levés suivants montrent un recul progressif du haut de plage avec une érosion de la plage. Le profil le plus érodé correspond à celui du 29/08/2011 et nous indique un talus d'une hauteur de 90 cm. Les derniers profils semblent correspondre à des profils de plage de type dissipative présentant une pente abrupte.

On observe très peu de variations altitudinales sur l'estran du profil 2 en 2011 ($\pm 5 \text{ m}^3$) (figure 3.28 B). Entre le 27/10/2011 et le 11/03/2012, correspondant, à une période de saison sèche puis de saison des pluies, on observe une accrétion supérieure à 10 m^3 le long du profil (figure 3.28 A).

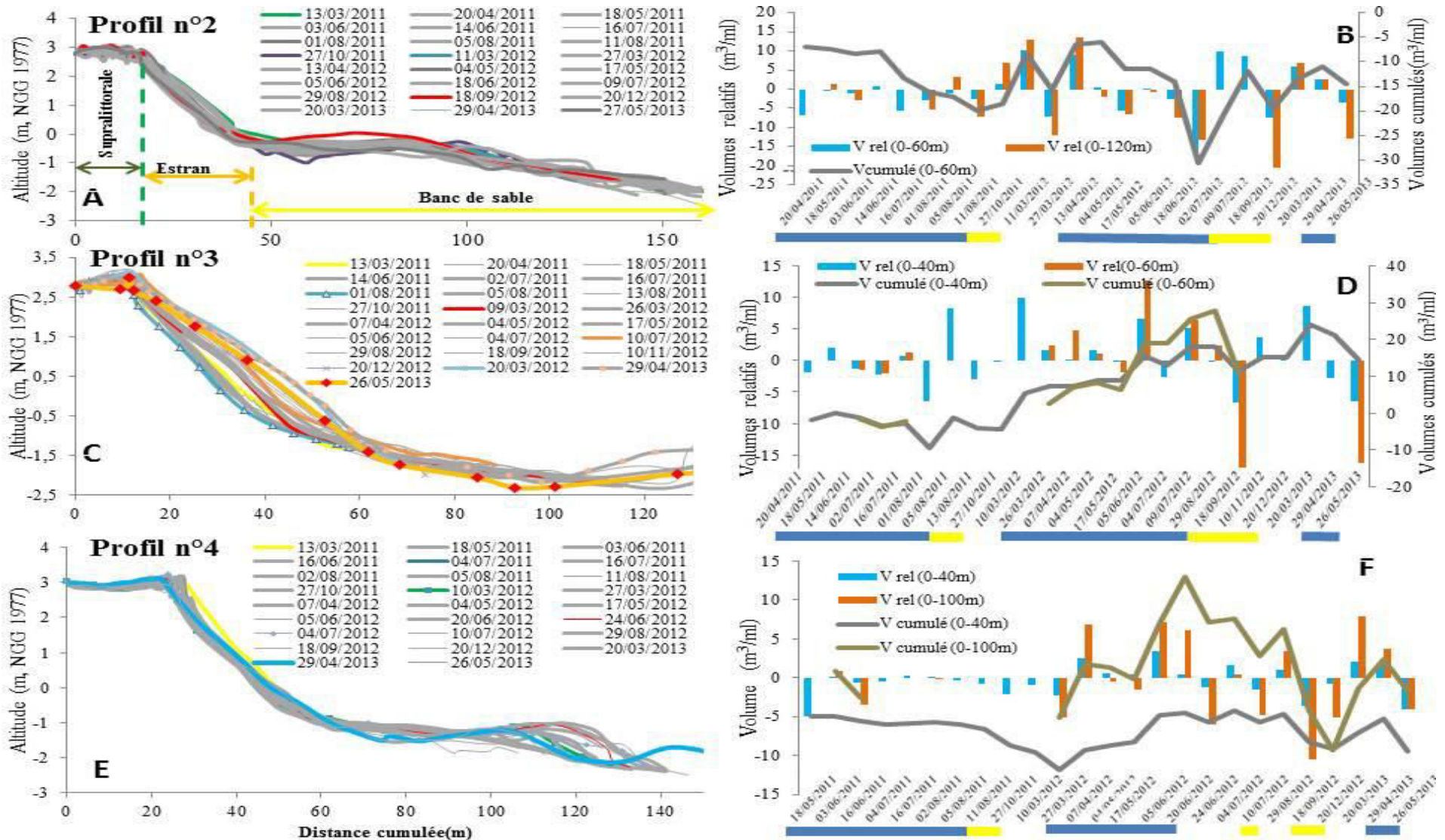


Figure 3.28: Profils topographiques à l'Ouest de la plage (A) profil 2, (C) profil 3, (E) profil 4 et bilans sédimentaires volumiques associés (B) pour le profil 2, (D) pour le profil 3, (F) pour le profil 4. Les barres bleu et jaune au bas des graphiques de volumes représentent les saisons des pluies et saison sèche respectivement.

Le profil 3 est localisé dans à l'Est de la racine du banc de sable où le bas de l'estran se situe dans une dépression ce qui explique un profil plus pentu que le profil 2. Le prolongement du profil 3 à partir de 100 m, présente des successions d'amas sableux correspondant à la présence du banc de sable. L'estran était concave en 2011, il s'est progressivement engraisé pour devenir convexe en 2013 (+ 0,5 à 1 m) (figure 3.28 C & D).

Les fluctuations morphologiques au sein du profil n°4 sont quasi nulles de mars à octobre 2011 (figure 3.28E et 3.29). Entre octobre 2011 et mars 2012, un dépôt sableux en bas de plage vient s'y accoler (distance cumulée de 100 à 140 m). On observe un recul de 5 m Le haut de plage est en érosion, oscillant entre -5 à -10 m³, entraînant un recul du talus d'érosion de 5 m depuis 2011. On observe également un aplanissement de ce talus d'érosion au fur et à mesure du temps. Cet accolement d'une portion du banc de sable sur ce secteur depuis mars 2012 perdue, jusqu'à la fin de la série de levés topographiques le 26/05/2013.

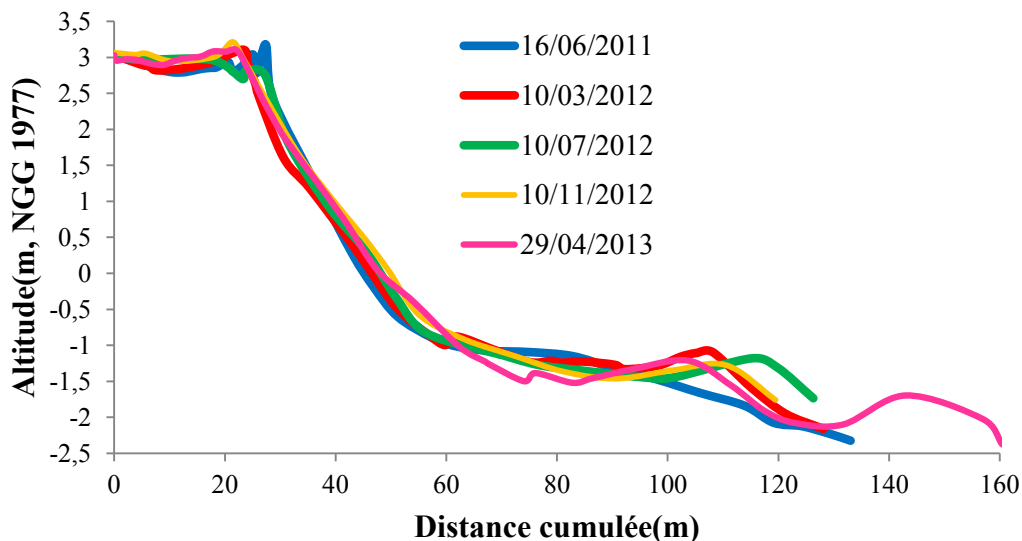


Figure 3.29: Profils topographiques à l'Ouest de la plage (A) profil 2, (C) profil 3, (E) profil 4 et bilans sédimentaires volumiques associés (B) pour le profil 2, (D) pour le profil 3, (F) pour le profil 4.

L'Est de la plage est plus marqué par une phase érosive avec un recul conséquent du haut de plage. Sur les profils 5 et 6, une première phase érosive intervient au cours de la saison sèche entre août et octobre 2011 (figure 3.30 A et C), tandis que la période d'avril à août 2011, correspond à une période plus ou moins stable ($\sim -5 \text{ m}^3$). Le recul s'accroît légèrement sur le profil progressivement, atteignant jusqu'à -11 m sur les derniers relevés. Le haut de plage a reculé de 15 à 17 m entre mars 2011 à mai 2013. Le profil se creuse et devient de plus en plus concave.

Le profil 7 subit également deux phases d'érosion (figure 3.30). La première s'étend d'avril à mai 2011, avec une perte volumétrique de près de 10 m^3 ainsi qu'un recul de la crête de haute plage de plus de 3 m. Une stabilisation du profil est à noter pendant la saison des pluies (entre mai à août 2011), suivie par une érosion du secteur (jusqu'à -10 m^3) correspondant, d'ailleurs, à un début de saison sèche

où les houles sont plus marquées. La période d'octobre 2011 à mars 2012 est propice à une légère accrétion sur la partie extrême de la zone d'étude puis reste plus ou moins stable ($\pm 5 \text{ m}^3$) en 2012. Les deux derniers mois de suivi, sont marqués par des fluctuations volumétriques plus importantes. Après cette période nous avons observé des érosions du secteur telles, qu'entraînant le recul des talus de plusieurs mètres.

Dans les secteurs en érosion, à l'Est de la plage, des dynamiques saisonnières semblent ressortir. En effet, la saison sèche semble synonyme d'érosion marquée alors que la saison des pluies est plutôt synonyme de stabilité. Le stock sédimentaire n'est pas renouvelé puisque l'érosion est continue sur la période.

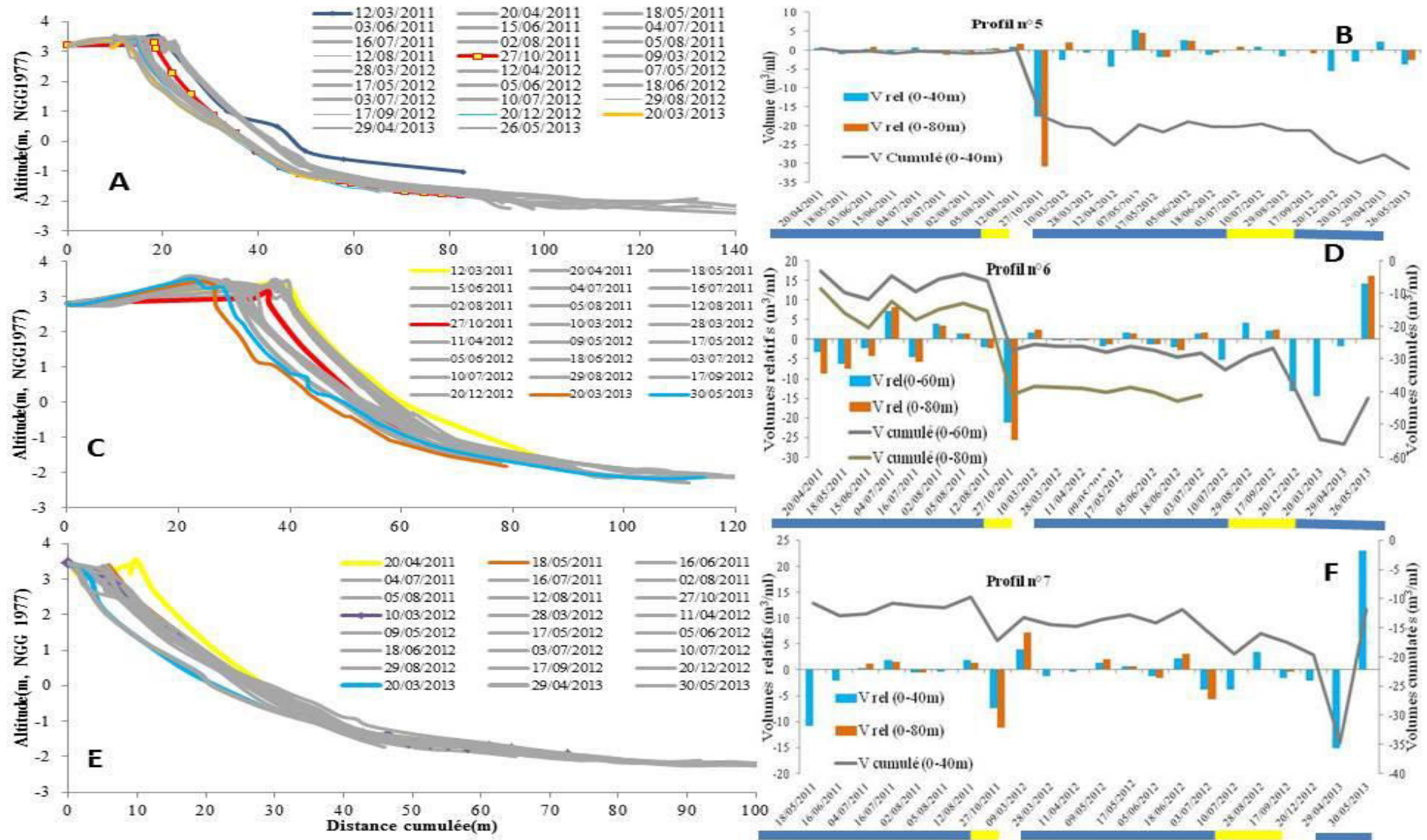


Figure 3.30: Profils topographiques à l'Est de la plage (A) profil 5, (C) profil 6, (F) profil 7 et bilans sédimentaires volumiques associés (B) pour le profil 5, (D) pour le profil 6, (E) pour le profil 7. Les barres bleu et jaune au bas des graphiques de volumes représentent les saisons des pluies et saison sèche respectivement.

4. Dynamique morphosédimentaire de l'avant plage des Hattes

Les échanges sédimentaires entre les avant plages (dans les petits fonds), les estrans et les hauts de plage sont importants et permettent de comprendre les dynamique morphosédimentaire des plages à différentes échelles temporelles. Les levés bathymétriques de l'avant plage illustrent les variations du stock sédimentaire devant la plage de Yalimapo entre 2011 et 2013. Le banc de sable s'allonge vers l'Est, ce qui indique une domination du jusant renforcé par le débit du Maroni. En deux ans, ce banc s'est développé et engraisé. L'avant-plage présente une accrétion de plus de $1,31.10^6 \text{ m}^3$ (figure 3.31C). Ces apports sédimentaires induisent des modifications des profils cross-shore, avec peu de variations à l'Ouest (sur la partie la plus proche de la plage jusqu'à 650 m, a et b sur la figure 3.31D) alors que le banc de sable s'élargit de près de 150 m vers le large (apports de 1 à 2,5 m). Un profil pris à l'Est (c et d sur la figure 3.31E), montre un dépôt généralisé pouvant atteindre 1 m d'épaisseur.

L'extrémité Nord-Est du banc est caractérisée par une morphologie en crochet (orienté Est-Ouest). Ce crochet, amorcé en 2011, s'est significativement développé en 2013. La formation de ce crochet est sans doute le résultat d'une remobilisation de l'extrémité du banc par la houle et une reprise par la dérive littorale. Bien que la dérive littorale contribue au transport sédimentaire au gré du flot, le sédiment transporté avec la dérive ne semble pas franchir une certaine distance. La non dispersion des sédiments vers le centre de l'estuaire est lié à l'intensité du jusant qui chasse quant à lui ce sable vers l'Est, modelant ainsi la forme du banc de sable. L'augmentation du stock sableux entre 2011 et 2013 ($+1,31.10^6 \text{ m}^3$), montre des conditions d'apports importants alimentant le banc de sable accolé à la plage des Hattes.

Le MNT différentiel réalisé entre août 2011 et mars 2013 (figure 3.32) est très intéressant car il fait mention que le stock sédimentaire de la plage présente une quasi-stabilité. En effet, le bilan volumique montre finalement un bilan positif pour l'ensemble de la zone d'étude ($+ 550 \text{ m}^3$). L'érosion excessive observée aux extrémités Est et Ouest de la plage (Vigie) en recul de plus de 15 m pour des pertes altitudinales de plus de 2 m au maximum, est compensée par l'accrétion de la partie centrale de la plage.

En reliant, la dynamique morphosédimentaire de l'avant plage des Hattes à sa dynamique de plage (haut de plage, estran et proche subtidale), des hypothèses de transport sédimentaire peuvent être faites. En effet, si le secteur Ouest de plage est en accrétion, la plage subtidale est stable où en légère accrétion, ce qui n'indique pas d'échange entre le domaine subtidal et l'estran. A l'Est, on observe une érosion intensive au niveau du haut de plage plus particulièrement à hauteur du talus d'érosion tandis que l'avant plage au plus proche de la plage est en accrétion. Cette dynamique à l'Est de la plage semble montrer un fort transport sédimentaire transversal.

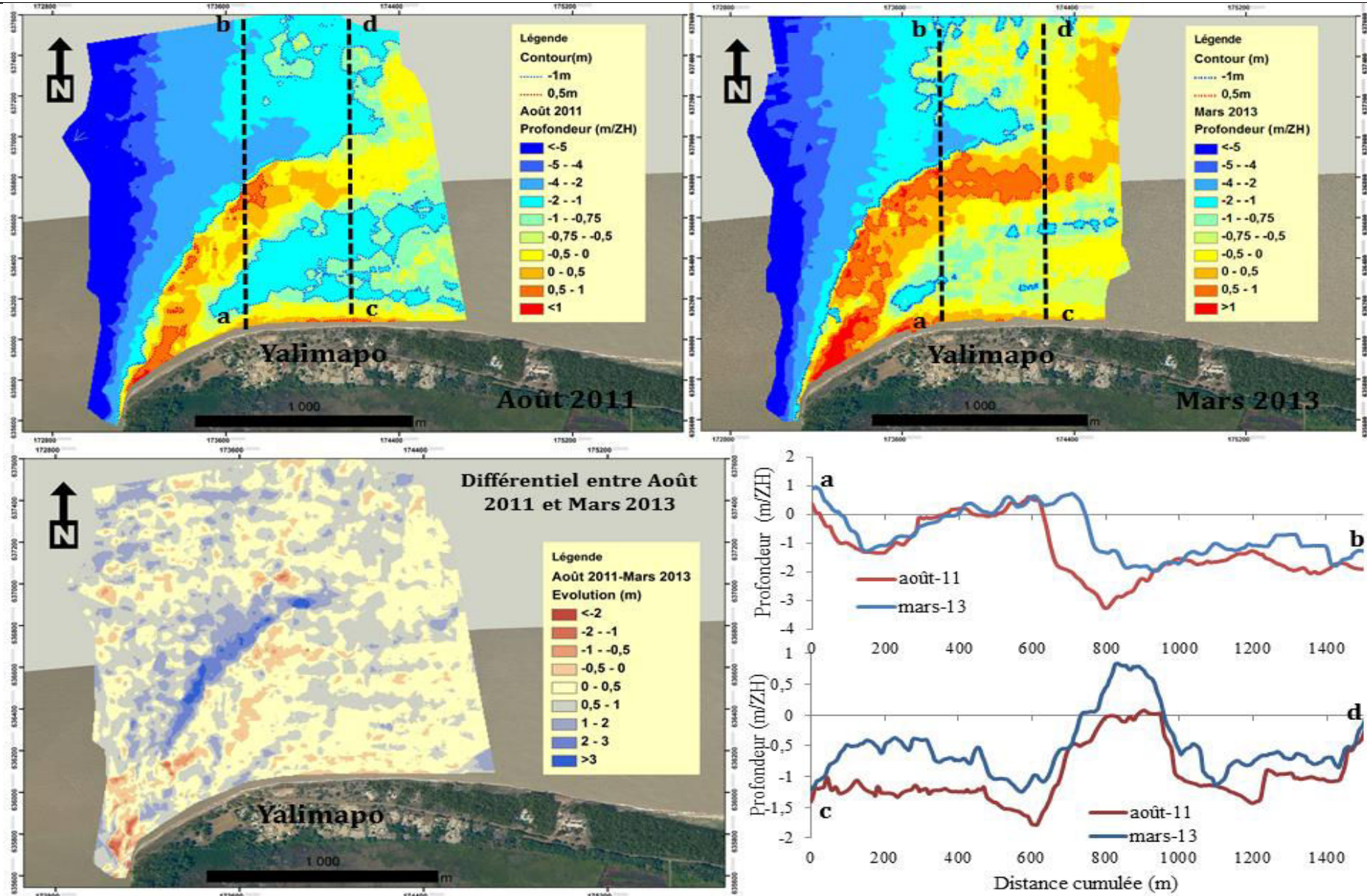


Figure 3.31: Cartes bathymétriques de l'avant-plage de la plage des Hattes en Août 2011 (A), Mars 2013 (B) et le différentiel entre les deux dates (C), ainsi que deux profils cross-shore sur le banc (D) et (E).

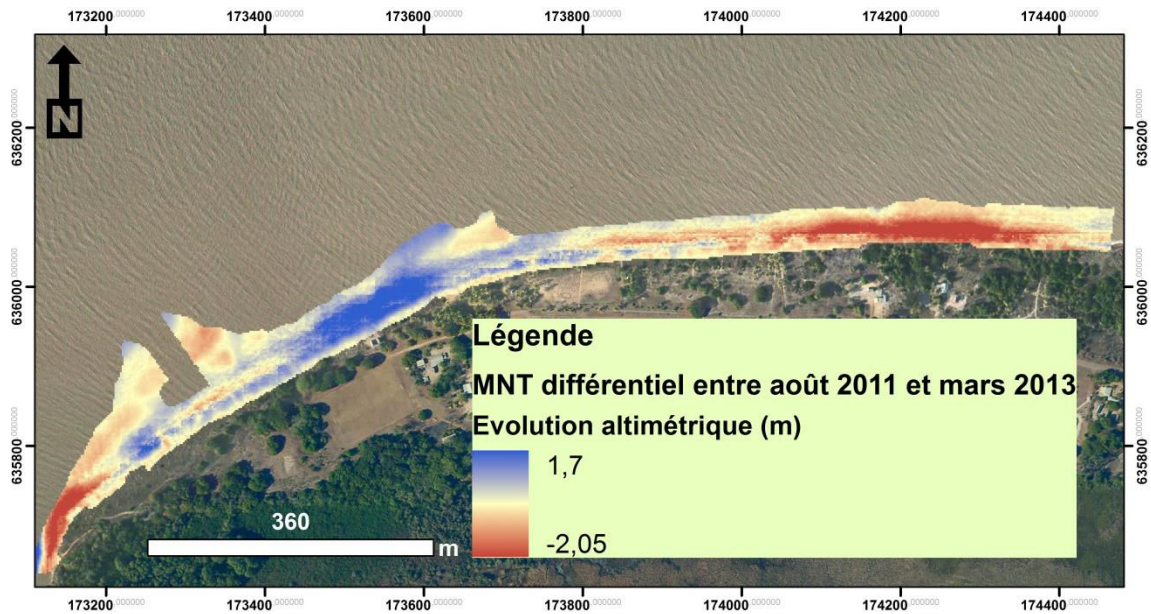


Figure 3.32: MNT différentiel entre août 2011 et mars 2013 sur la plage des Hattes (fond de carte, Orthophoto 2012, IGN©).

L'étude des variabilités morphosédimentaire de la plage d'Awala –Yalimapo peut être résumée ci-dessous :

- ➔ En vive-eau, le déplacement sédimentaire est plus important
- ➔ La plage des Hattes peut être divisée en deux unités :
 - Un secteur Ouest plutôt stable voir en accrétion
 - Un secteur Est en sévère érosion (recul du haut de plage $\leq 15\text{m}$)
- ➔ La saison sèche est propice à l'érosion : le stock sableux n'est pas renouvelé
- ➔ L'avant-plage est en forte accrétion ($1,31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), il semble exister un transport cross-shore entre la plage et l'avant-plage à l'Est
- ➔ Le stock sédimentaire sur la plage des Hattes a été stable entre août 2011 et mars 2013, les pertes à l'Est sont compensés par l'accrétion à l'Ouest : transport sédimentaire longshore par la dérive littorale ?

PARTIE 4. DYNAMIQUE DES ENVIRONNEMENTS HETEROGENES : LES INTERACTIONS VASE/SABLE

La réponse des plages aux mouvements de vase, a été peu étudiée jusqu'à présent. Les recherches s'étant limitées aux plages de Cayenne (Anthony et Dolique, 2004 ; Dolique et Anthony, 2005). Il s'agit dans cette partie d'étudier, sur les autres types de plages rencontrées en Guyane, les répercussions morphosédimentaires de la migration d'un banc. Ces interactions sable/vase ont été étudiées à l'avant et à l'arrière d'un banc de vase afin de comprendre les répercussions lorsqu'un banc arrive et lorsqu'il part. Dans les deux cas, ces secteurs sont exposés à la houle ce qui implique des mouvements sédimentaires importants.

1. Interactions vase/sable à l'avant banc

Les interactions vase/sable dans des secteurs avant-banc ont été étudiées sur deux sites ateliers, celui de l'avant banc d'Awala dans l'Ouest guyanais et celui-ci de l'avant banc accolé au chenier de la Malmanoury, sur le littoral entre Kourou et Sinnamary.

1.1. Le cas d'Awala-Yalimapo

Depuis 2008, la flèche sableuse a rejoint la plage de Yalimapo et ne constitue depuis, qu'un seul et même ensemble. L'arrivée d'un banc de vase a confiné le stock sableux de la flèche. Les façades marines et fluviales de cette langue de sable se sont retrouvées piégées par des arrivées de vase d'un banc à proximité. Cette portion sableuse est donc en retrait des principaux échanges sédimentaires engendrés par la dérive littorale.

La figure 3.33C présente un modèle numérique de terrain de tout le secteur avant-banc levé sur près de 2 km. D'Est en Ouest, les vases passent de l'état de vase consolidée ($C > 500 \text{ g.L}^{-1}$) (figure 3.33D), à vase fluide ($C < 350 \text{ g.L}^{-1}$) (figure 3.33F). Un profil longshore, long d'1,5 km, montre une topographie relativement plane (altitude de 0,9 à 0,6 m) sur le secteur consolidé alors qu'en s'éloignant des zones en colonisation, cette altitude diminue (altitude de 0,6 à -0,9 m) (figure 3.33B). L'avant-banc se divise en trois domaines aux caractéristiques sédimentaires particulières: (1) une vasière consolidée en voie de colonisation par la mangrove, (2) une vasière en voie de consolidation où les arrivées de vase fluide viennent augmenter progressivement l'altitude du secteur, et (3) un lac de vase.

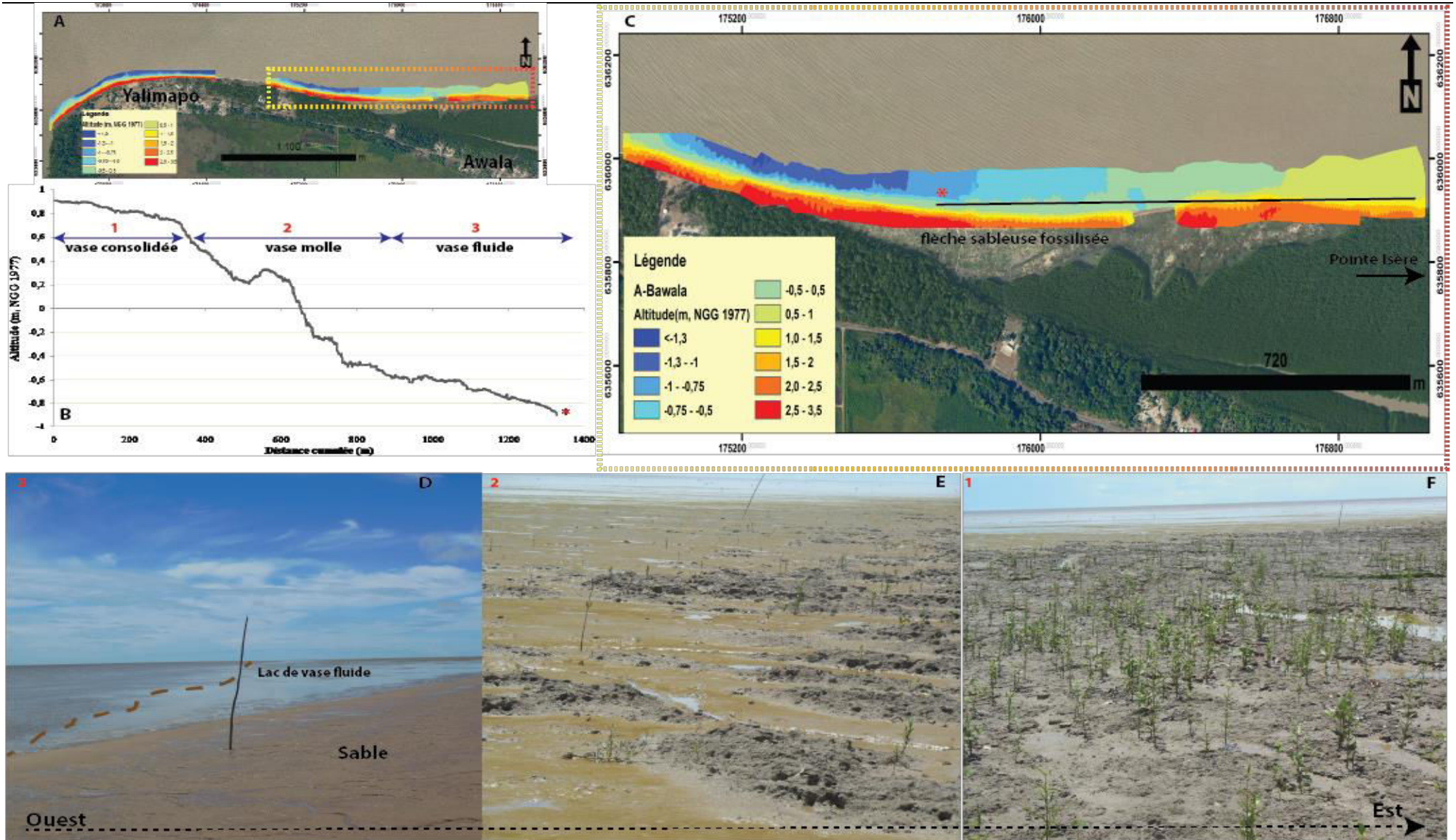


Figure 3.33: Morphologie de l'avant banc de vase localisée devant le village d'Awala fin mai 2013, (A) localisation du secteur, (B) Modèle numérique de terrain de l'avant banc; (C) profil longshore extrait (position sur le B), Photographies des différents faciès rencontrés sur l'avant banc de vase; (D) banc consolidé, (E) vase molle, (F) vase fluide.

1.1.1. Contexte hydrodynamique du secteur

Le premier capteur (C1) (figure 3.34A) a enregistré des hauteurs significatives de houle de 53 cm à marée montante, contre seulement 5 cm à marée basse ; ce qui correspond certainement au clapot. Le deuxième capteur (C2), localisé dans de la vase molle à moins de deux kilomètres de C1, a mesuré des hauteurs de vagues moindre pour un maximum de 37 cm. L'atténuation de la houle sur les deux sites est de $79,2 \pm 21,5\%$ pour C1 et C2 et $98 \pm 4,7\%$ entre C2 et le dernier capteur (C3). L'atténuation semble être dépendantes du cycle de marée, en effet, les atténuations maximales (100%) apparaissent avant et après la pleine mer mais sont minimales à l'étalement de pleine mer. Le dernier capteur situé sur l'estran de vase consolidée n'a été que très peu atteint par l'eau au cours de la marée haute (≤ 15 cm) et le signal de houle a donc été quasi-nul sur ce secteur entraînant une atténuation maximale tout le long du cycle de marée.

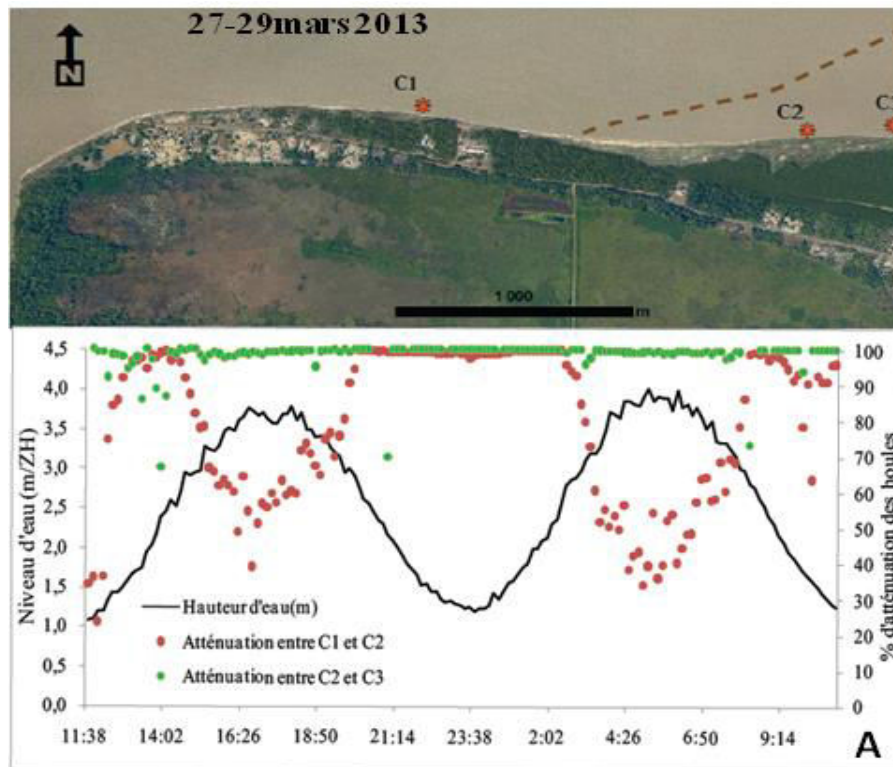


Figure 3.34: Localisation des capteurs de pression sur les transects et atténuation de la houle correspondante en longshore (A)

La figure 3.35 illustre les variations de vitesse et de direction du courant selon la hauteur de marée pour les trois courantomètres le 15 et 16 mai 2013. Malheureusement, le déploiement des trois courantomètres ne nous a pas permis d'obtenir une série très exhaustive des variations des conditions énergétiques sur les trois sites pendant l'intégralité du déploiement, en raison de défaillance des systèmes d'acquisition.

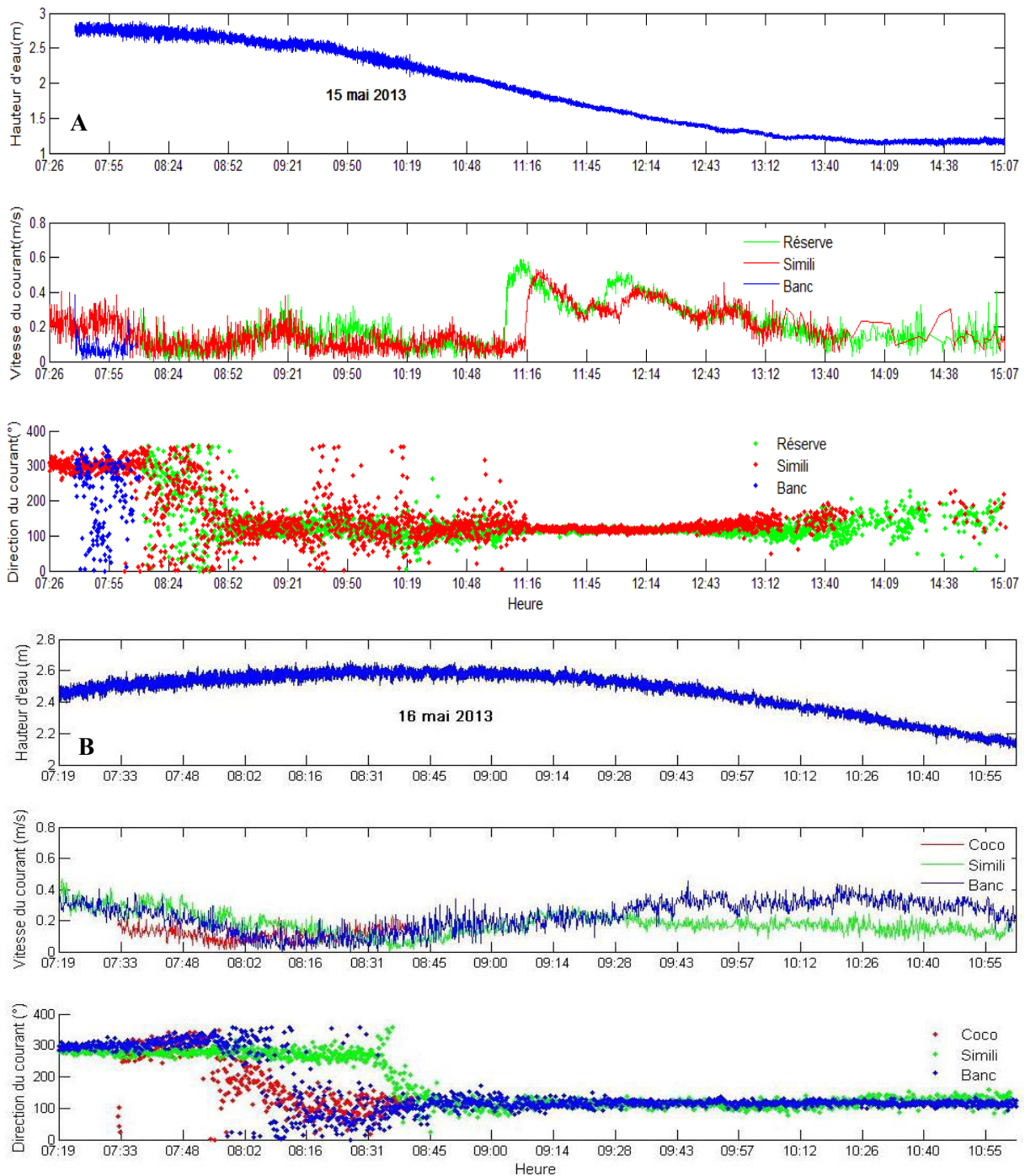


Figure 3.35: Résultats du déploiement des courantomètres: (A) la journée du 15/05 avec la hauteur d'eau (m), la vitesse du courant ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et la direction du courant ($^{\circ}$); (B) la journée du 16/05 avec la hauteur d'eau (m), la vitesse du courant ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et la direction du courant ($^{\circ}$).

Le courant prend deux directions bien distinctes sur les trois zones, en lien avec la phase de marée correspondante. Le courant prend une orientation à l'Est, au cours du jusant et à l'Ouest au flot. La vitesse du courant augmente avec la marée montante pour atteindre $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Cette dernière est quasiment nulle à l'étale de pleine mer $0,1 \pm 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, augmente avec la marée descendante (jusqu'à $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) puis rechute au cours de l'étale de basse mer. Le 15/05, le courant prend une direction très contrastée

entre la marée montante (orientation $\sim 270^\circ$) et la marée descendante (orientation $\sim 120^\circ$). Le 16/05 sur le secteur de Simili, l'orientation du courant apparaît plus diffuse à marée descendante (orientation $176 \pm 96^\circ$), associé au courant dans la zone, bien que la vitesse du courant soit minimale probablement impacté par le vent ($0,07 \pm 0,04 \text{ m.s}^{-1}$). En effet, lors du changement de direction du courant pendant l'étale de pleine mer, la figure 3.35B indique un décalage temporel d'une vingtaine de minutes entre le secteur « coco » et Simili. Lorsqu'intervient la renverse de marée, un front de salinité (marquant la séparation entre les eaux douce du fleuve et les eaux marine) se déplace le long de la plage et peut expliquer ce décalage temporel. Ce décalage temporel est d'ailleurs retrouvé pour les deux dates. A marée descendante, la vitesse du courant est supérieure sur la zone du banc de vase que sur les autres secteurs pour atteindre $0,4 \text{ m.s}^{-1}$.

1.1.2. Dynamique morphosédimentaire à l'avant-banc

1.1.2.1. Gradient granulométrique

On observe une différenciation entre les échantillons à mi et bas estran (figure 3.36A et B). Si la médiane des tailles de grains appartient à la gamme de sable moyen (~ 250 à $355 \mu\text{m}$) sur le mi- estran le long de la plage, cette répartition n'est pas retrouvée sur le bas de plage. En effet, les échantillons prélevés au niveau de la maison de la Réserve et du banc de vase, sont composés à près de 53% de sédiments grossiers ($> 500 \mu\text{m}$). Les courbes granulométriques mettent en évidence une augmentation de la taille des grains depuis l'embouchure du Maroni jusqu'à la maison de la Réserve naturelle de l'Amana, témoignant d'une augmentation d'énergie entre les deux sites. Cette hypothèse semble se confirmer avec la courantologie observée le long d'un gradient longshore à l'Est de la plage (figure 3.6 et 3.36). De la maison de la Réserve au début de la zone d'accolement de la flèche sableuse la taille des grains diminue. Cette portion sableuse est accolée à l'avant banc qui est constituée de vase fluide. L'amortissement de la houle étant importante dans ces secteurs, les conditions énergétiques sont diminuées. Ainsi, les apports sédimentaires ne sont uniquement constitués que de sédiment fin. En revanche, en se rapprochant du banc de vase (à partir de la zone d'accolement de la flèche), les sédiments du mi- estran et du bas estran sont plus grossiers. Le sable contenu dans cette zone correspond à un sable intertidal fossilisé par la présence de la vasière intertidale semi-consolidée. D'après les observations, il semblerait que la zone sableuse, à l'arrière du banc de vase, reçoive essentiellement des apports sableux grossiers mobilisés pendant des périodes énergétiques plus importantes.

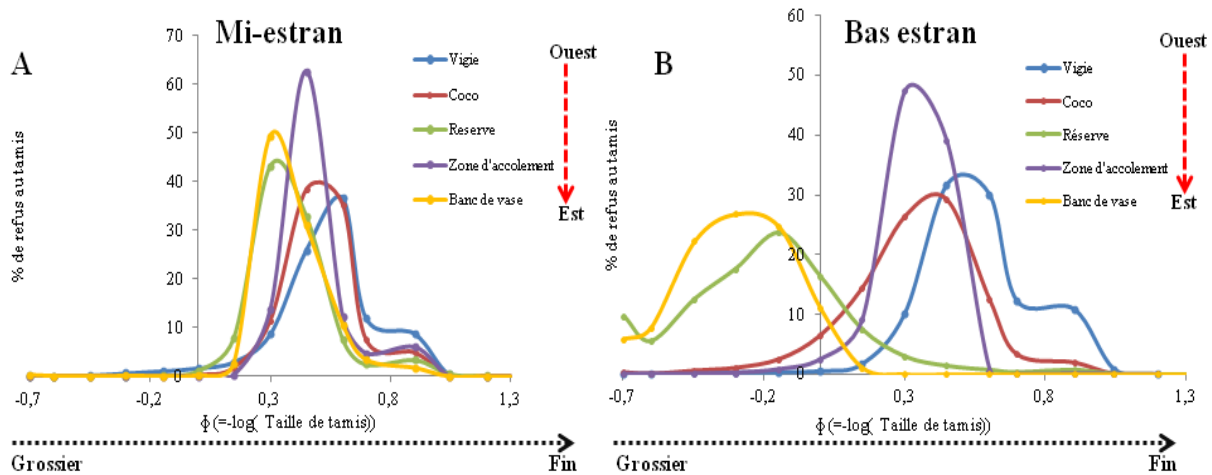


Figure 3.36: Courbe granulométrique de pourcentages de refus de tamis en fonction de la taille des grains, (A) échantillons à mi- estran, (B) échantillons à bas estran.

1.1.2.2. Evolution sédimentaire de l'avant banc à moyen terme

Deux profils à proximité du secteur avant banc ont été sporadiquement suivis depuis 2012, pour connaître les répercussions de l'avancée du banc de vase sur la dynamique sédimentaire sableuse du milieu. Le profil 8 localisé aux abords de l'auberge de jeunesse de Simili, montre un recul progressif du talus d'érosion du haut de plage (figure 3.37.). L'estran sableux connaît une dynamique érosive progressive avec une perte de près d'un mètre d'altitude (entre avril 2012 et juin 2013), traduisant l'absence d'apport sableux dans ce secteur à proximité de l'avant-banc de vase.

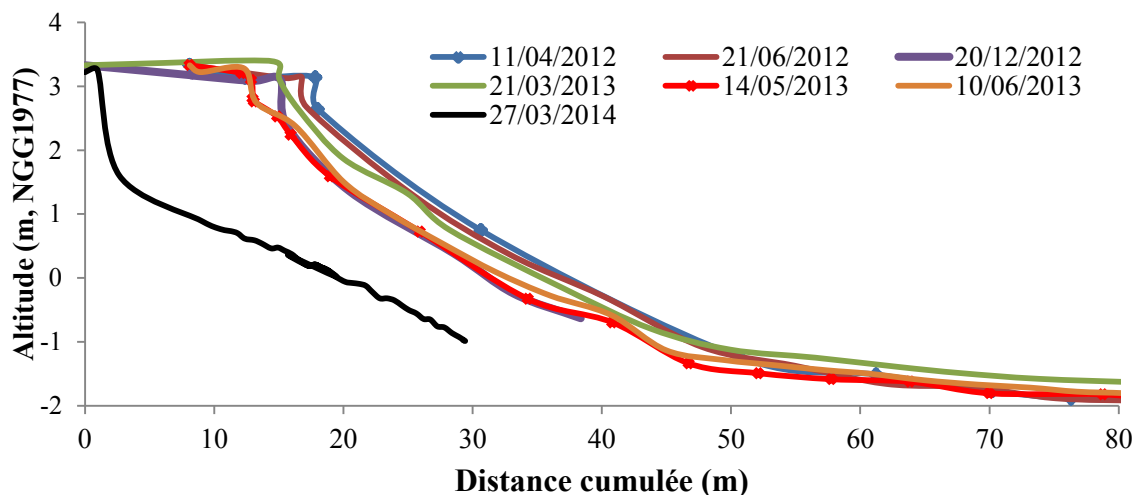


Figure 3.37: Profils topographiques de l'estran pour le profil n°8 (avant banc) localisé à proximité du lieu Simili entre avril 2012 et mars 2014

Entre avril 2012 et juin 2013, le haut de plage a reculé de plus de 5 mètres sur le secteur de Simili, provoquant la mise à nu des dalles de béton de petits kiosques antérieurement implantés sur celui-ci (figure 3.37). Le bas de plage est moins dynamique et peu de fluctuations interviennent (à partir de 40 m).

Un MNT réalisé en mars 2014 permet de caractériser l'évolution de ce secteur avant-banc depuis mai 2013. La tendance érosive à proximité de Simili est ainsi révélée et montre une accentuation de l'érosion de l'estran et du haut de plage plus on s'éloigne vers l'Ouest. Des pertes altitudinales de plus de 3 m sont ainsi mesurées en l'espace de 10 mois (figure 3.37) se traduisant également par un recul conséquent du haut de plage avec des reculs dans ces secteurs de près de 10 m. Sur les clichés photographiques illustrés en figure 3.38, il est possible de voir le recul du haut de plage avec le déchaussement des blocs de bétons des anciens kiosques de détente.



Figure 3.38: Photographies du site de Simili entre août 2013 et février 2014

Si le secteur de Simili est fortement érodée, le MNT différentiel de la figure 3.39 illustre la dynamique sédimentaire contrastée sur ce secteur avant banc, avec à l'Est la présence d'une zone stable où en légère accrétion (< 1 m) correspondant à la zone de contact avec la vasière de l'avant banc. Cette portion se localise dans un secteur à faible énergie de houle et est donc peu perturbé.

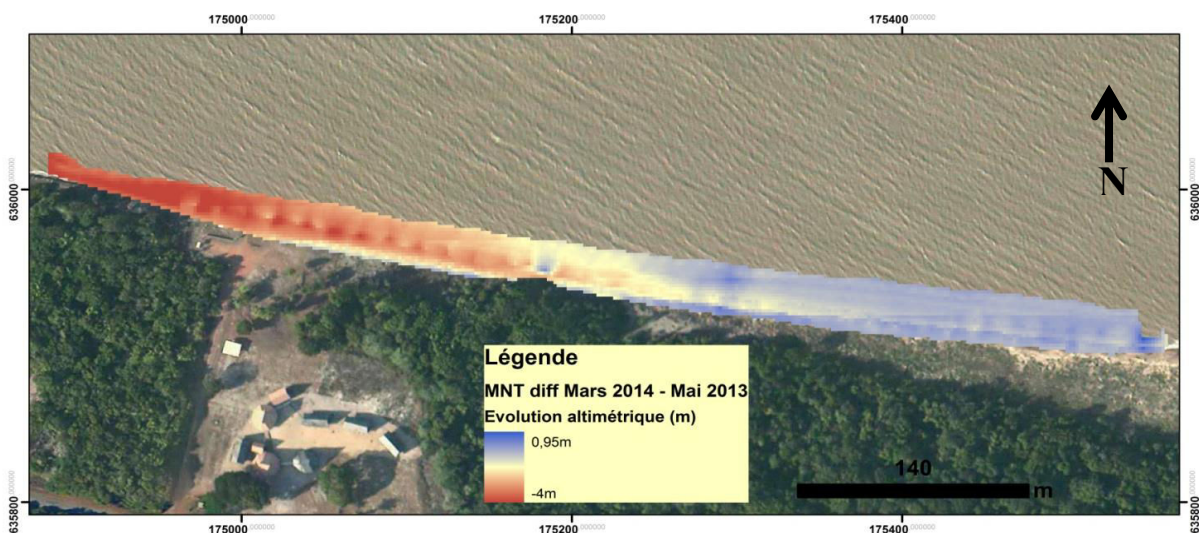


Figure 3.39: Modèle numérique de terrain différentiel entre mai 2013 et mars 2014 sur la zone à l'avant banc

Le profil n°9 montre des variations d'altitudes entre 1 et 1,5 m au maximum sur l'estran sableux entre 11/04/2012 et 30/05/2013 (figure 3.40). A partir de 50-55 m, apparait la vasière intertidale de l'avant-

banc de topographie très plane. Finalement, la confrontation des profils ne nous montre que peu de variations finales de l'enveloppe du profil entre cette période. Les échanges sédimentaires au niveau de ce profil semblent être perturbés par la présence de la vase intertidale.

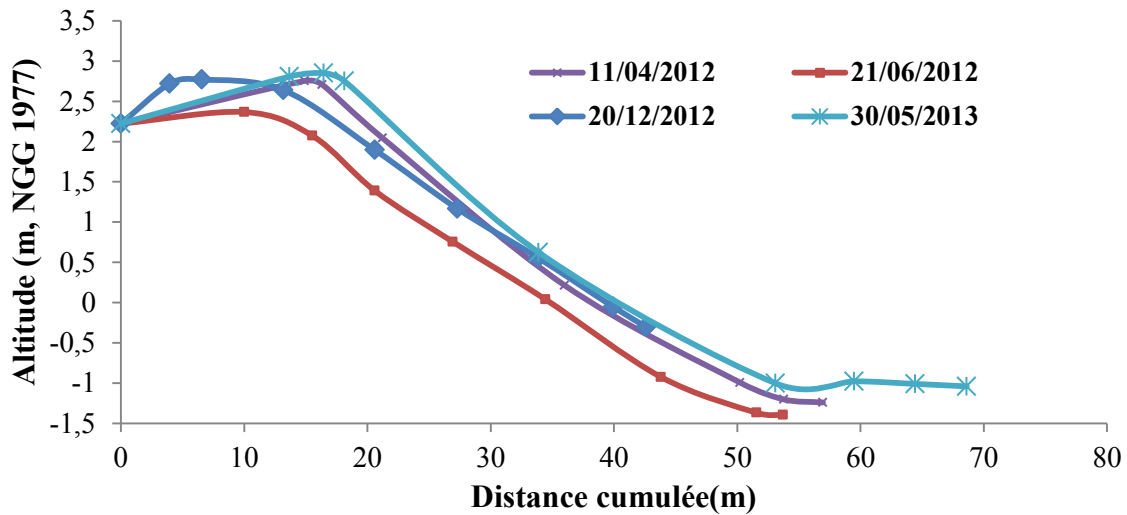


Figure 3.40: Profils topographiques de l'estran de la plage banc pour le profil 9

1.1.2.3. Interactions entre le haut et le bas de plage

Pour étayer les hypothèses quant aux échanges sédimentaires entre le haut et le bas de plage, deux carottes sédimentaires ont été prélevées au niveau de l'interface sable/vase sur le bas estran dans le secteur «vase molle» du banc. Cette section est en effet moins élevée en altitude, et est atteinte plus fréquemment par le jet de rive et donc susceptible d'avoir des échanges sédimentaires multi directionnels.

La première carotte illustrée sur la figure 3.41, présente deux grands ensembles sédimentaires bien distincts l'un de l'autre :

- les premiers 20 cm sont du sable grossier, composé de petits graviers et de débris coquillers ;
- suivis d'environ 5 cm de vase homogène sans structure apparente ;
- Le fond est composé d'environ 20 cm de vase homogène sans structure, non stratifiée et sans biofilm. La base de la carotte présente une remontée de sable moyen à fin qui semble s'être produite par aspiration du sédiment sous-jacent lors du prélèvement.

La disposition de cette carotte suggère une arrivée d'une vingtaine de centimètres de vase sur un substrat sableux de granulométrie fine à moyenne. Cette vase est recouverte par la suite d'un mélange substrat sablo-vaseux fin (~ 5 cm). Puis, une arrivée de 5 cm de vase homogène est observée. Pour finir, un événement énergétique a permis un transport de sable grossier sur ce secteur.

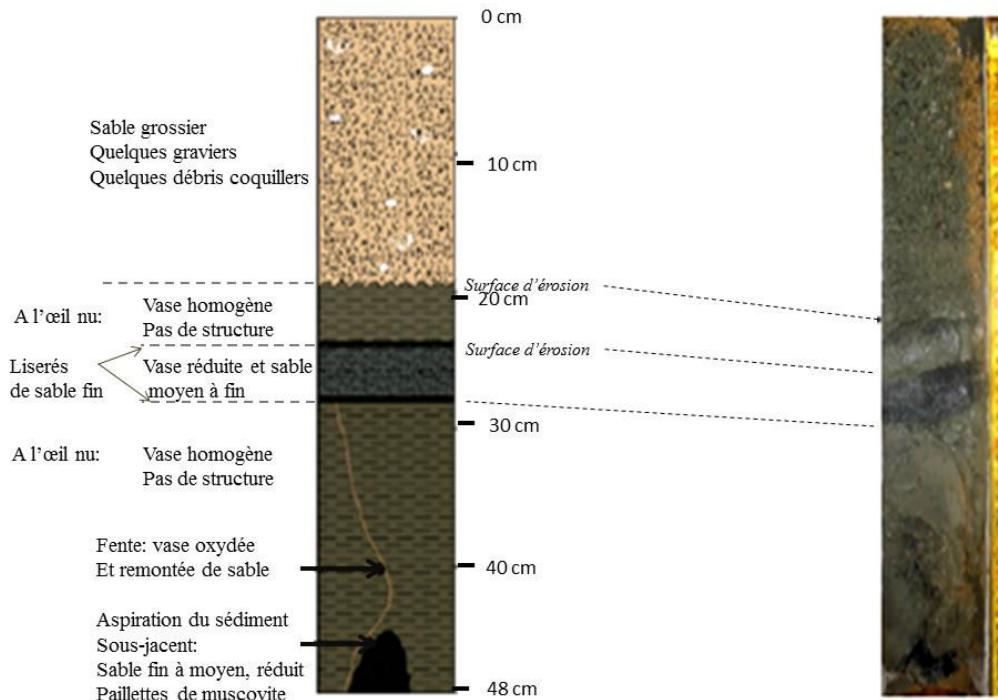


Figure 3.41: Carotte sédimentaire extraite du bas de plage à la limite de l'estran vaseux et de la plage sableuse

La seconde carotte ne présente majoritairement que des faciès sableux (figure 3.42). Cependant, trois grands ensembles se distinguent:

- Le haut de la carotte présente du sable très grossier avec des cailloutis et débris coquillers avec également une accumulation de sable fin à moyen ;
- Suivi de 10 cm d'un mélange sable moyen à grossier et de vase avec quelques débris coquillers et un galet mou de vase ;
- 10 cm de sable moyen à fin bien trié de type «sable de plage».

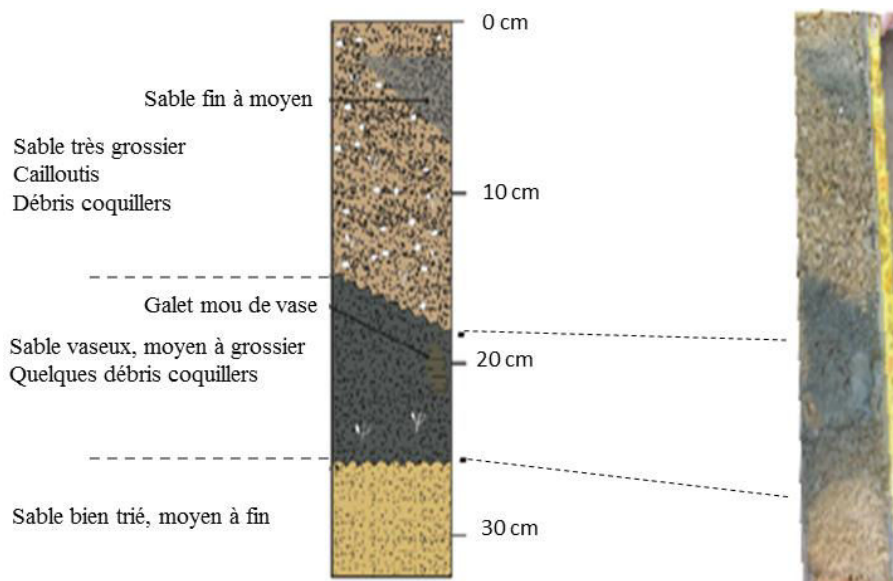


Figure 3.42: Carotte sédimentaire extraite du bas de plage à la limite de l'estran vaseux et de la plage sableuse.

L'analyse des carottes courtes indique une dynamique sédimentaire hétérogène de bas de plage avec des interactions entre substrat sableux et vaseux (figure 3.41 et 3.42). Le bas de plage est composé de sable bien trié de fin à moyen. Des arrivées de vase se déposent au-dessus de la plage sableuse. Cette vase se mélange par la suite, au sable présent à ce niveau, ou à des apports de sable provenant du haut de plage. Une arrivée de vase de plusieurs centimètres peut se produire quand les conditions d'apports sédimentaires le permettent. Enfin, lors d'agitations plus énergétiques, des sédiments grossiers et des débris coquillers peuvent être déposés sur le bas de plage (figure 3.41, 3.42 et 3.43).

Les interactions sable/vase rencontrées sur le littoral d'Awala-Yalimapo sont spécifiques à cette plage estuarienne, à la sortie du plus important fleuve de Guyane. La dynamique morphosédimentaire d'un avant-banc sur le secteur de la Malmanoury, localisé sur une portion de côte ouverte, sans influence d'un fleuve à proximité, offre la comparaison des répercussions géomorphologiques sur deux avant-bancs, en deux lieux sous des conditions non similaires.



Figure 3.43: Photographies prises sur la plage fossilisée d'Awala montrant les interactions des substrats sableux et vaseux (A et B) et des patterns de sédiments grossiers, cailloux et débris coquillers (C).

1.2. L'avant-banc de la Malmanoury

Le banc de vase ayant franchi le fleuve Kourou, celui-ci a poursuivi sa migration le long du littoral. En 2011, l'avant-banc se situe à proximité des battures, au-devant du chenier de la Malmanoury. Le 09 août 2011, une mission a été conduite sur ce secteur sableux afin de caractériser la morphologie de ce secteur avant-banc. Le haut de plage était fortement encombré par des troncs et seul l'estran a pu être suivi. L'estran était composé essentiellement de sable mais de fines particules argileuses se mélangent au substrat sableux. Le bas de plage (proche subtidale) présentait des plaquettes de vase semi-consolidée, signe d'un début d'envasement du secteur.

Le levé topographique réalisé en août 2011, présente un petit système de barre-baïne (ou barre-bâche) à l'altitude 0,2 à 0 m entre 12 et 15 m du talus de haut de plage. La morphologie du système illustrée correspond à un état de barre à chenal transverse ou « Transverse Bar and Beach » (TBR) selon la classification de Wright & Short (1984) (figure 3.44 C, D, E). D'Ouest en Est, le cordon sableux présente des altitudes plus importantes. L'Est du site est situé à proximité de la crique de la Malmanoury. Ce secteur semble avoir été plus protégé par l'érosion et présente un bourrelet sableux au niveau de l'estran (altitude ≥ -1 m).

Les conditions d'agitations augmentent avec la marée montante passant de moins de 20 cm à près de 40 cm en deux heures. La période des vagues arrivant à la côte est courte (4 à 6 s). Celles-ci sont amorties au large par la vase fluide s'accumulant à l'avant-banc.

Le cordon sableux de la Malmanoury est localisé entre un secteur avant-banc et un arrière-banc. La dérive littorale est bloquée sur ce secteur par la présence des entités vaseuses en amont dérive du chenier. Lorsque les houles s'approchent, celles-ci se déforment autour du banc sur le fond vaseux. Sur le système de plages de poches de Cayenne, Anthony et Dolique (2004, 2005) ont montré un basculement du stock de sable le long des plages selon la situation (phase de banc, avant-banc, arrière-banc et phase inter-banc). Sur le chenier de la Malmanoury, il semble y avoir une réfraction de la houle provoquant une contre-dérive contribuant ainsi à un transport sédimentaire vers le Sud-Est du chenier.

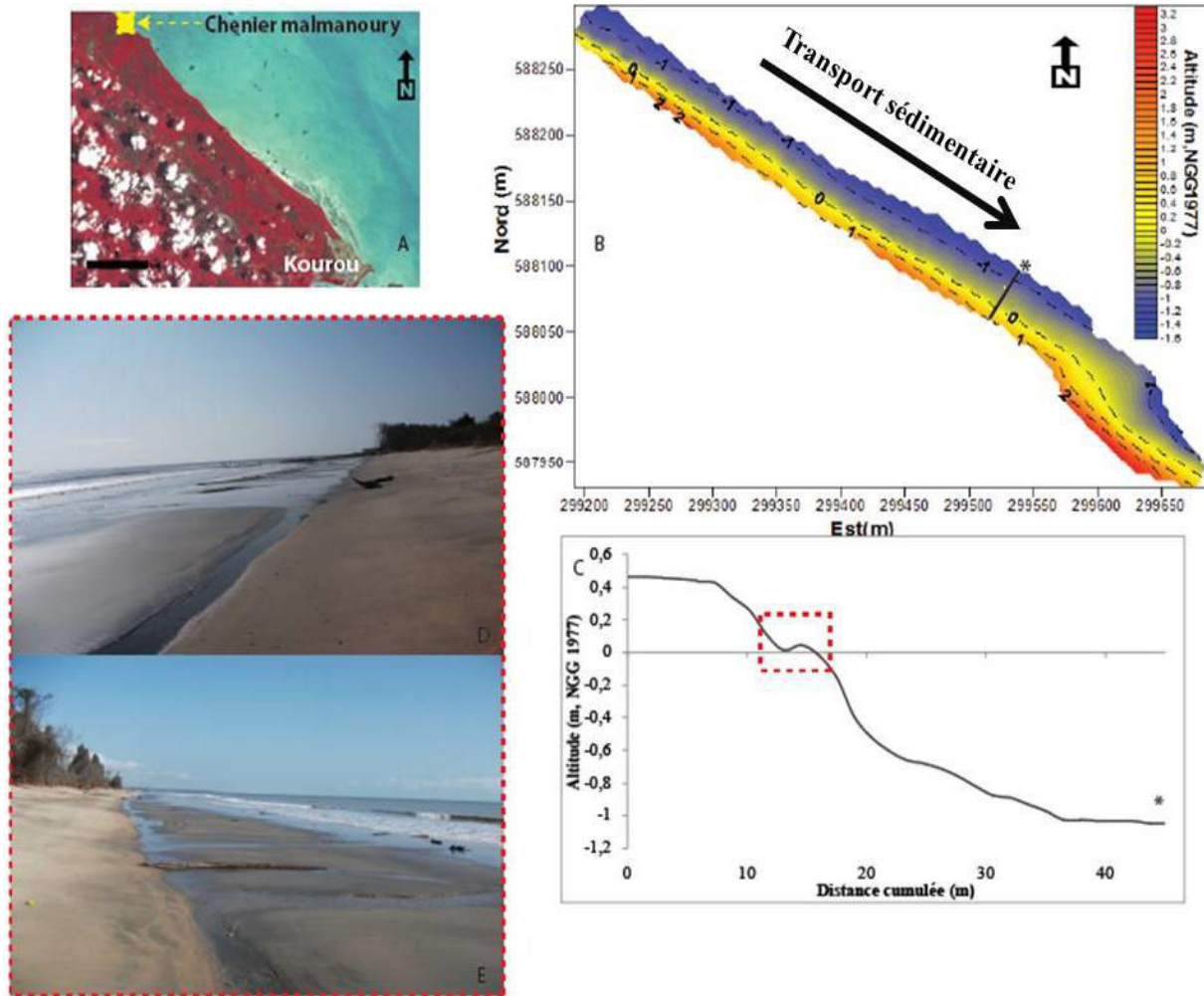


Figure 3.44: (A) Localisation du site atelier par rapport à Kourou; (B) Modèle numérique de terrain réalisé sur le chenier de la Malmanoury le 09/08/2011; (C) Profil extrait (référence sur le MNT) du MNT ; (D) et (E) photographies de la plage correspondant à l'encadré rouge de la figure C (crédit photos, Péron©).

2. Dynamique morphosédimentaire au départ d'un banc à Kourou

Le banc de vase de Kourou a continué sa migration et l'arrière banc se situe en 2013, à l'extrémité Ouest de la ville de Kourou. Cet arrière banc a fait l'objet d'un suivi hydro-topographique entre mars et mai 2013, pour caractériser le départ du substrat vaseux et le réagencement du stock sableux jusqu'alors figé par la vase.

Un MNT différentiel entre le 26 mars et le 26 avril montre un apport sableux important au niveau de la plage sur tout le secteur d'étude, atteignant plus d'un mètre (figure 3.45). Les apports sont plus conséquents en bas de plage avec au maximum 1,3 m contre moins de 50 cm pour le haut de plage. Le modèle numérique différentiel entre les deux derniers MNT (26 avril et 28 mai) montre, quant à lui, une érosion du secteur Ouest (≤ -1 m) alors que l'Est poursuit son engraissement sableux (< 70 cm).

Une synthèse des positions des isocontours entre mars et mai 2013, montre le développement d'un prisme sédimentaire sableux par-dessus la vasière (figure 3.45). L'arrière du banc de vase n'est plus

protégé de la houle et participe donc aux processus sédimentaires apportés par la dérive littorale. L'apport de sable constaté entre ces trois mois, indique une reformation de la plage sableuse de Kourou en arrière du banc de vase. Le banc de vase a migré plus au Nord-Ouest et le sable confiné avec le banc de vase, est de nouveau disponible pour les transports sédimentaires aussi bien cross-shore que longshore. La direction du prisme sédimentaire illustrée sur la figure 3.45, correspond au sens de la dérive littorale. La dérive littorale étant précédemment bloquée par la présence du banc de vase, au départ de celui-ci, il semblerait que la dérive Nord-Ouest reprenne et vienne contribuer à la reformation de la plage de Kourou.

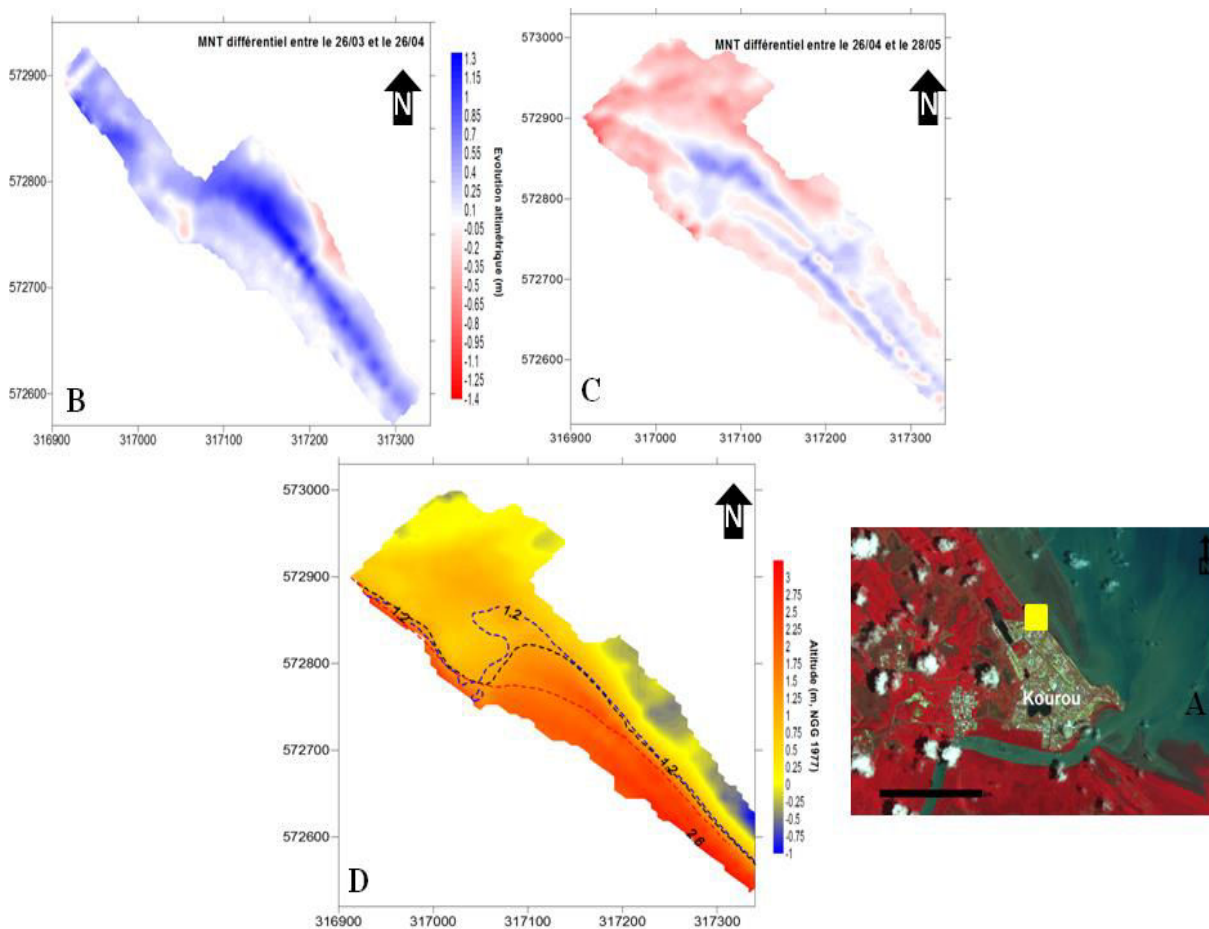


Figure 3.45: Modèles numériques de terrain sur le secteur (B/C) de l'arrière-banc du Kourou entre le 26/03/2013 et le 28/05/2013 et modèle numérique de terrain avec la localisation de l'isocontour 1.2m.

Nos travaux portant sur la dynamique morphosédimentaire des environnements hétérogènes ont permis de dégager quelques caractéristiques clés :

- Mise en évidence d'un amortissement de la houle en se rapprochant de l'avant-banc
- Sur la plage d'Awala-Yalimapo, il n'y a plus d'apport sédimentaire sur le secteur en amont de l'avant banc (reculs de 15m sur 2ans)
- Sur le secteur avant-banc, la plage fossilisée est peu mobile mais il existe des échanges sédimentaires transversaux entre haut et bas de plage
- **Sur une plage estuarienne (Awala-Yalimapo)**, pas de contre-dérive
- **Sur une côte libre (Malmanoury)**, transport sédimentaire au Sud-Est par la contre-dérive
- **Dynamique morphosédimentaire à l'arrière-banc** : au départ du banc, la dérive littorale accentue la migration des sédiments au Nord-Ouest

PARTIE 5. SYNTHÈSE

L'étude de la dynamique morphosédimentaire des littoraux sableux guyanais ne pas être réalisé qu'en intégrant la dynamique du littoral guyanais dans son ensemble. En effet, les interactions sablo-vaseuses, liés à la migration des bancs, rend complexe la compréhension des échanges sédimentaires sur les plages sableuses. Bien que rythmé par une dynamique érosive depuis près de 60ans, le littoral de l'Ouest guyanais, présente une plage relativement stable à une échelle pluri-décennale. Cependant, nos travaux ont montré que la plage d'Awala-Yalimapo, subissait une érosion intensive de sa portion orientale se traduisant par un recul du trait de côte ($\leq 15\text{m}$ entre 2011 et 2014). La proximité d'un banc de vase accolé à la plage d'Awala-Yalimapo depuis ces quelques années, semble accélérer les processus d'érosion de la plage. Au contraire, la portion de plage à l'arrière du banc de vase est peu soumise aux interactions sédimentaires et reste fossilisée.

Chapitre 4

Intervention des paramètres environnementaux dans la sélection des sites de ponte des tortues marines

Partie 1. Activité de ponte des tortues marines sur le littoral guyanais

Partie 2. Activité de ponte sur la plage d'Awala-Yalimapo

Partie 3. Synthèse



Nous avons montré dans le chapitre 1 que la sélection des sites de ponte chez les tortues marines intervenait à trois échelles, 1) lors de la sélection de la plage d'accueil, 2) lors de l'atterrissage des femelles et 3) lors de la sélection finale du site de ponte. En effet, les tortues marines semblent être tributaires de certains paramètres environnementaux (paramètres météorologiques, courants de marée, configuration de la plage), au moment de la décision d'atterrissage sur les plages. Une fois arrivées à terre, le choix de l'emplacement de leur future aire de ponte va également être influencé par des déterminants propres à la plage d'accueil, tels que la morphologie ou la dynamique sédimentaire.

L'objectif de ce chapitre est d'apporter des éléments de réponse à la compréhension du comportement des tortues marines lors de l'oviposition. Les travaux concernant cette thématique sur les tortues marines fréquentant les plages de Guyane sont quasi inexistantes. Or une meilleure connaissance de la dynamique sédimentaire des plages d'accueil d'un point de vue qualité de l'habitat de ponte, pourrait permettre une protection de ces secteurs de plage afin d'augmenter la survie des espèces ce qui représente un enjeu majeur pour la conservation de ces espèces.

PARTIE 1. ACTIVITE DE PONTE DES TORTUES MARINES SUR LE LITTORAL GUYANAIS

Dans les chapitres précédents, nous faisons état de l'extrême variabilité des côtes guyanaises d'une année à l'autre, en réponse à la migration des bancs de vase. Cependant, les tortues marines sont dépendantes de la présence de secteurs sableux pour nidifier. Elles sont donc dans la nécessité de s'adapter à la disparition de leur plage d'accueil, ainsi qu'à l'apparition de nouvelles plages de ponte. Afin d'évaluer l'influence de la dynamique du littoral sur l'évolution du nombre de pontes de tortues marines en Guyane, il est essentiel de travailler à l'échelle des côtes guyanaises et de ne pas se focaliser sur la dynamique de population sur un site unique. L'effort de comptage des pontes, le long du littoral des Guyanes, dépend d'une part des moyens humains mis en place, mais également de l'accessibilité à certains lieux de ponte. Si l'effort de comptage a une influence sur la qualité des séries de données, il permet néanmoins d'établir la capacité d'accueil de certains sites par rapport à d'autres.

1. Cas des tortues luth

Le nombre de pontes répertorié, est fluctuant d'une année à l'autre et dépend de l'effort de suivi (nombre de jours de suivis) sur les différents sites de ponte. L'analyse des données issues du suivi d'une trentaine d'années de l'activité de ponte sur les plages de l'Ouest guyanais et Est surinamais, montre un déclin de la fréquentation par les tortues luth (Chevalier et *al.*, 1998) (figure 4.1). Diverses hypothèses permettent de justifier cette diminution, dont deux majeures: 1) un taux de mortalité important en raison d'un pillage massif des nids, provoquant une diminution du renouvellement du stock des tortues marines ou 2) une mortalité élevée des adultes liée à la prise dans les filets de pêche,

qui, dans la majorité des cas, est une issue fatale pour ces animaux. Sur la plage des Hattes, 25% des individus présentent des traces de filets (Chevallier, 2012).

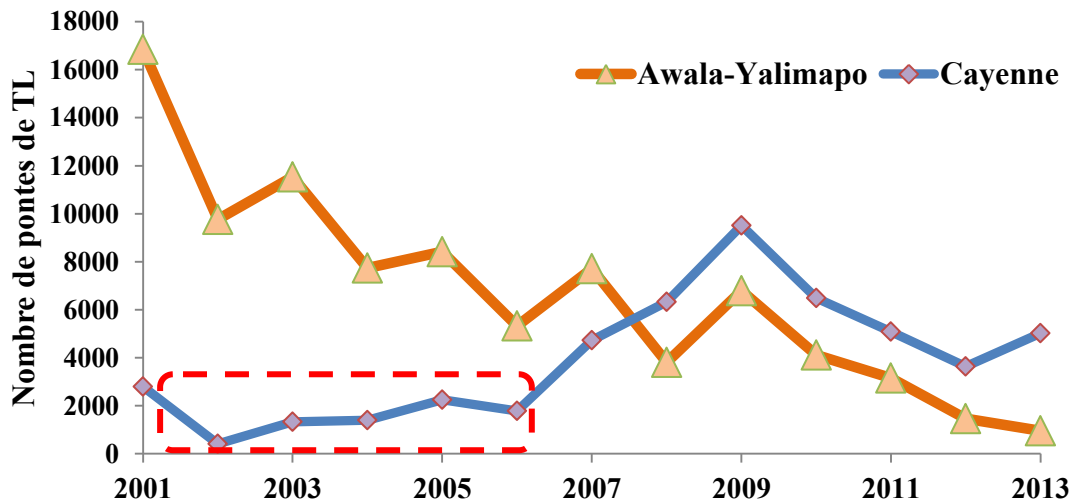


Figure 4.1: Nombre de pontes de tortues luth sur les plages d'Awala-Yalimapo et Cayenne entre 2001 et 2013 (encadré rouge correspondant à la présence du banc de vase sur les plages de Cayenne).

En l'espace de quelques années, le littoral de l'Ouest guyanais a subi d'importantes modifications. Jusqu'en 2008, les plages de l'Ouest se distinguaient entre plages d'Awala-Yalimapo, Pointe Isère et quelques sites isolés si ajoutant Farez (2001, 2002), Irakompapi (2002, 2006, 2008). La migration d'une flèche sableuse à l'apex occidental de Pointe Isère, a conduit à un accolement de la pointe à la plage de Yalimapo, ne formant indistinctement qu'une même étendue sableuse (figure 4.2). Avec la présence d'un banc de vase à proximité, les plages d'Awala ont été peu à peu envasées et ne peuvent plus désormais accueillir de ponte. Depuis 2008, seule la continuité de la plage de Yalimapo et la flèche sableuse constituent un des secteurs de ponte. En 2013, les plages de l'île de Cayenne représentent les plus importants sites de ponte sur le littoral guyanais.

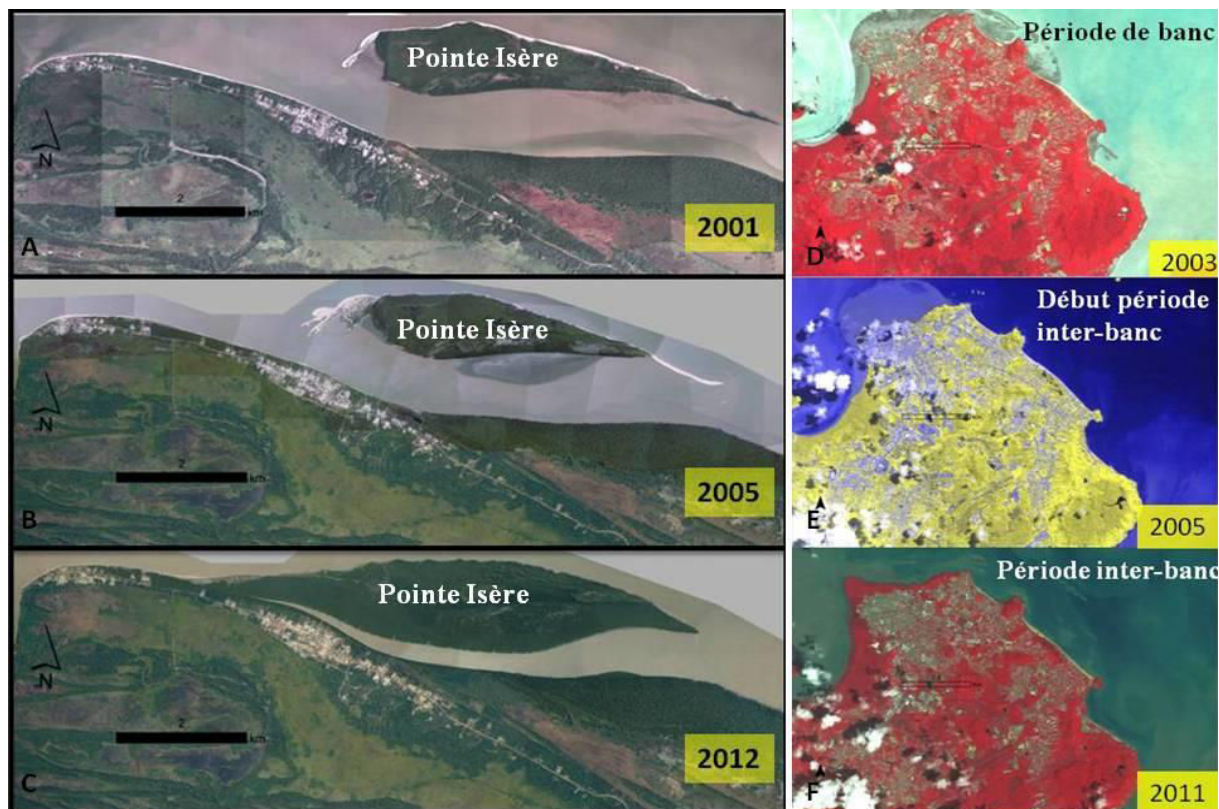


Figure 4.2: Images satellites de l'Ouest guyanais (2001 (a); 2005 (b); 2012 (c)) et de l'île de Cayenne (2003(d); 2005(e); 2011 (f)).

Malgré un suivi exhaustif sur les plages de Kourou, celles-ci se sont révélées être peu attractives et l'activité de ponte sur ces plages représente moins d'1 % du nombre total de pontes de tortues luth recensé sur le littoral guyanais. Toutefois, il faut signaler qu'au cours de la période 2001 à 2011, le littoral de Kourou était en situation de banc avec un envasement massif des plages.

2. Cas des tortues vertes

La fréquentation des tortues vertes sur le littoral guyanais, n'est que très peu documentée, car les recherches précédentes se sont principalement focalisées sur l'écologie des tortues luth. Les effectifs comptabilisés ces dernières années ont démontré que les plages d'Awala-Yalimapo, continuent un site de ponte majeur pour les tortues vertes en Guyane (+ de 80% des pontes). En revanche, les plages de Cayenne sont peu attractives pour cette espèce (< 100 pontes). Bien que nouvellement créés et accessibles, les cheniers éphémères, semblent être des sites attrayants pour les tortues vertes qui ne montrent pas de fidélité à leur site de ponte (+ de 55% des pontes en 2012).

La synthèse de cette première partie est :

- Diminution de l'activité de ponte des tortues luth sur l'Ouest guyanais alors que sur les plages de Cayenne il y a une augmentation
- Attractivité des cheniers pour les tortues vertes

PARTIE 2. L'ACTIVITE DE PONTE SUR LA PLAGE D'AWALA-YALIMAPO

Sur la plage d'Awala-Yalimapo, la période de nidification des tortues luth et vertes est décalée. Si les tortues vertes pondent dès le mois de février jusqu'à mi-juin, les tortues luth nidifient de mars à juillet (figure 4.3).

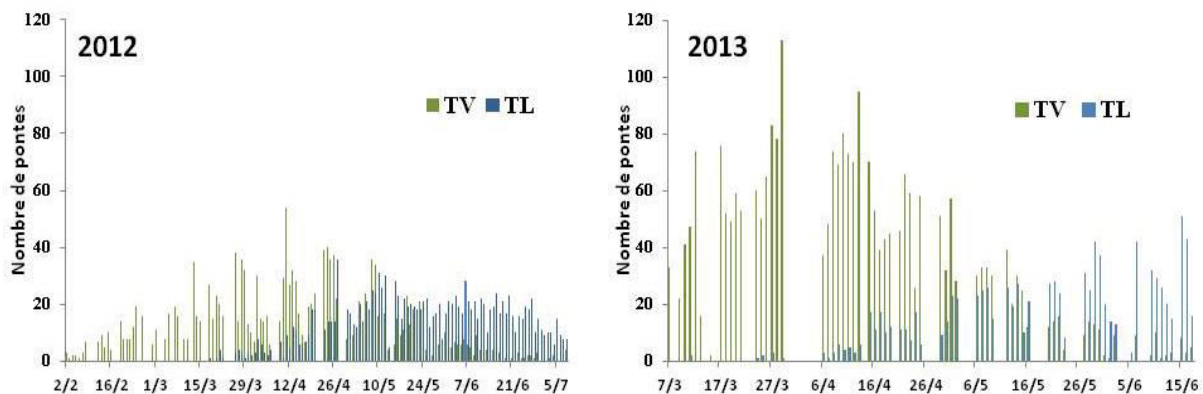


Figure 4.3: Répartition temporelle des pontes de tortues vertes (vert) et tortues luth (bleu) sur la plage des Hattes au cours des saisons 2012 et 2013 (nombre de pontes par jour) (données IPHC-CNRS Strasbourg).

1. Distribution spatio-temporelle des atterrissages

La sélection du site de ponte des tortues marines sur la plage des Hattes s'effectue à plusieurs échelles. A l'approche du littoral de Yalimapo, les tortues ont le choix d'atterrir sur plus de 4 km de plage. Il s'agit de vérifier si le choix du site d'atterrissage puis la ponte sur une section spécifique de la plage peut être gouverné par les conditions environnementales (climatiques, hydrodynamique, etc.).

1.1. Influence de l'activité tidale et lunaire

Nous essaierons d'expliquer les fluctuations journalières du nombre de tortues observées durant la saison de ponte. Dans cette sous-partie, nous nous focalisons sur l'influence des forçages tidaux et de l'activité lunaire sur la fréquentation de la plage par les tortues marines. Les fluctuations des arrivées au cours des saisons de ponte, ont ainsi été associées à ces deux paramètres.

1.1.1. Cas des tortues luth

Le marnage peut être un élément important lors de l'atterrissage des tortues sur la plage. Il est toutefois difficile de se rendre compte de son influence sur la fréquentation du site de ponte en l'absence d'un suivi exhaustif. La distribution des tortues luth vis-à-vis du marnage est homogène au cours des trois années (Test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Le nombre d'atterrissage de cette espèce suit une régression non linéaire polynomiale (figure 4.4). Le pic de fréquentation est atteint pour un marnage de 2 m et oscille entre 1,5 m ($47,1 \pm 8,3\%$) et 2,5 m ($28,5 \pm 4,4\%$), soit durant de grandes

mortes eaux et des vives eaux. D'une manière générale, les tortues luth arborent une préférence de sortie au cours des marées de mortes eaux, avec près de $60,5 \pm 6,5\%$ des atterrissages évalués.

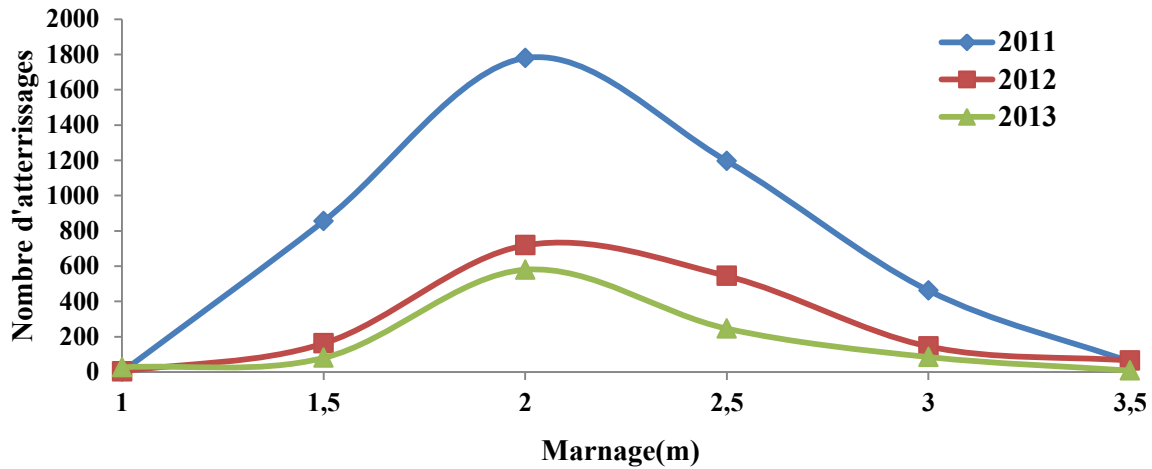


Figure 4.4: Nombre d'atterrissages de tortues luth réparties en fonction du marnage («<1m», «1-1,5m», «1,5-2m», «2-2,5m», «2,5-3m», «>3m»).

Les phases lunaires ne semblent pas influencer la venue des tortues luth sur la plage des Hattes, on recense ainsi une moyenne de $23,7 \pm 3,8 \%$ des atterrissages pour les quatre phases lunaires. Sur les trois saisons de ponte, l'arrivée des luth suit une même tendance (Test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

1.1.2. Cas des tortues vertes

La fréquentation de la plage par les tortues vertes augmente avec le marnage, cette tendance suit une régression non-linéaire polynomiale (figure 4.5). Le nombre d'atterrissages par rapport au marnage présentent une distribution statistiquement similaire (Test de Mann-Whitney, $p > 0,05$) pour les deux saisons. Le pic de montées diffère toutefois, entre 2012 et 2013 (marnages oscillant de 2 à 2,5 m en 2012 et 2,5 à 3 m en 2013). A l'échelle des cycles de marée, une légère préférence de sortie en marées de mortes eaux (51,3%) en 2012 est observée, à la différence de 2013, où les sorties ont lieu principalement au cours des vives eaux (60,4%). Les tortues vertes atterrissent sur la plage des Hattes en plus grand nombre, avec des marées de faible marnage et notamment pendant les phases de déchet (figure 4.5).

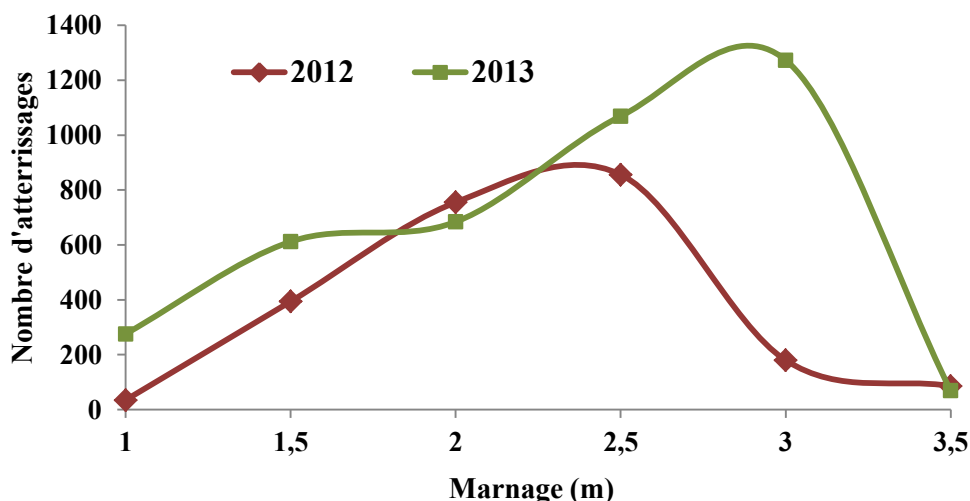


Figure 4.5: Nombre d'atterrissages de tortues vertes réparties en fonction du marnage («<1m », «1-1,5m», «1,5-2m», «2-2,5m», «2,5-3m», «>3m»).

La lune semble jouer un rôle sur l'atterrissage des tortues vertes en 2012 et 2013. En effet, ceux-ci sont plus importants les nuits de nouvelle lune avec $32,1 \pm 4,5\%$ contre $17,6 \pm 12,2\%$ pour les nuits de troisième quartier.

1.2. Répartition temporelle des atterrissages en fonction de la marée

Chez des espèces marines dont la dépense énergétique peut être importante au cours de la phase terrestre, le choix optimal de l'atterrissage (le moins coûteux en énergie) peut être déterminé par les conditions hydrodynamiques. Dans ce contexte, la contribution du flot et du jusant dans le choix du moment de sortie de l'eau a été évaluée (figure 4.6). Dans le chapitre 3, les caractéristiques hydrodynamiques de la plage (direction et vitesse des courants, signal de marée) ont été décrites et nous permettent de combiner ces conditions avec le comportement des tortues. Sur cette plage estuarienne, les courants de marée sont très marqués (vitesse jusqu'à $90 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$). À marée montante, le courant de marée est orienté vers l'Ouest, en direction de la plage. Au contraire à marée descendante, où celui-ci prend une direction vers l'Est, l'eau étant expulsée par le fleuve Maroni.

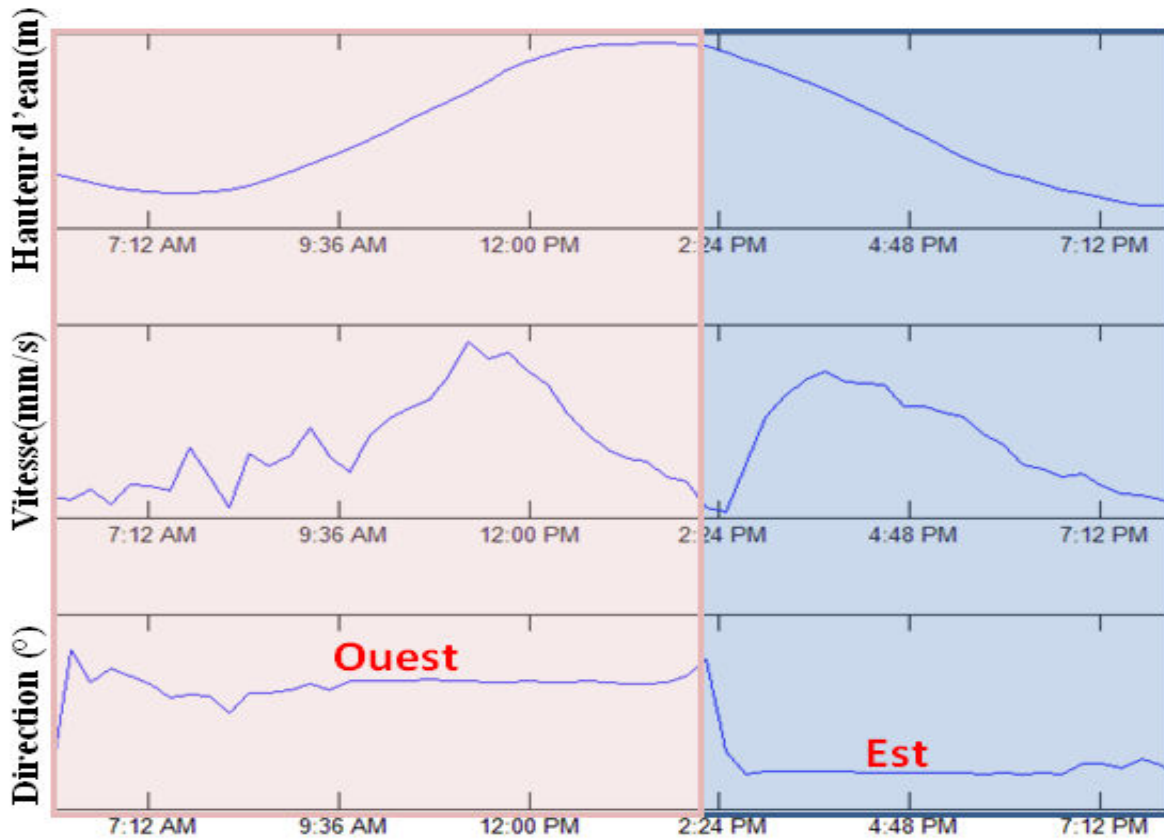


Figure 4.6: Graphiques présentant les conditions hydrodynamiques exercées sur la plage de Yalimapo avec la direction (°) et la vitesse ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$) du courant en fonction du cycle tidal (hauteur d'eau (m)). (en rose: la marée montante; en bleu: la marée descendante).

1.2.1. Cas des tortues luth

La distribution tidale des atterrissages de tortues luth est non homogène et ne suit pas une loi normale de distribution (Test de Shapiro-Wilk, $p < 0,05$). Certaines fenêtres horaires sont privilégiées pour les atterrissages (figure 4.7). Cette espèce pond majoritairement dans la fenêtre 4 heures avant (F-4) jusqu'à 2 heures après la pleine mer (J+2) (figure 4.7). Entre 2011 et 2013, $89,7 \pm 3\%$ des effectifs ont lieu en majorité dans le créneau de pleine mer ± 4 heures. Nous avons observé au cours des trois saisons (2011 à 2013) que cette espèce, atterrie majoritairement à marée montante ($61,7 \pm 3,9\%$ vs. $30,9 \pm 2,8\%$ à marée descendante (Test de Mann-Whitney, $P < 0,05$). La distribution suivant le signal tidal, montre qu'il n'y a pas de distribution horaire significativement différente entre 2011 et 2013 (Test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

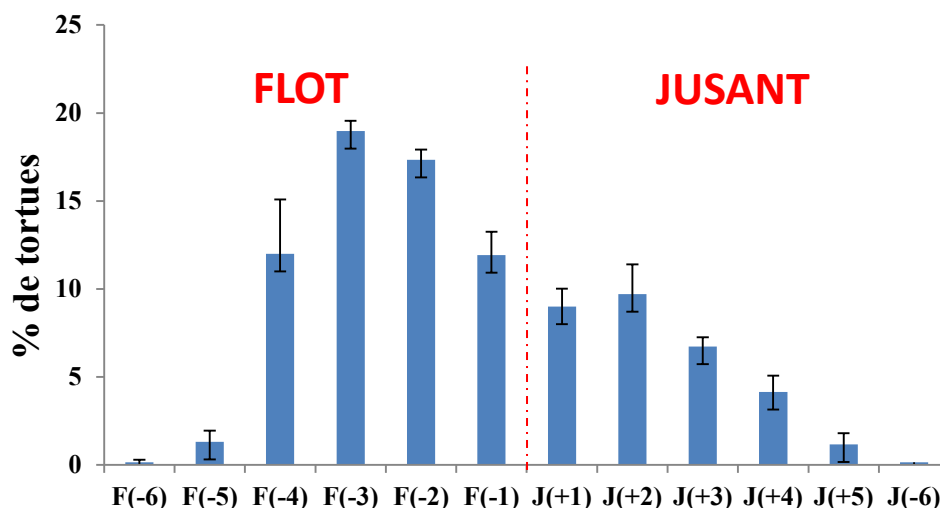


Figure 4.7: Distribution des tortues luth (en pourcentage par rapport au nombre total d'atterrissages) en fonction du cycle de marée (F (=Flot), J (=Jusant), exemple : F (-6) entre -6h et -5hr avant la pleine mer).

Les marées de vives eaux favorisent l'arrivée des luth durant le flot (Test de Mann-Whitney, $P < 0,05$) pour $40 \pm 3,4\%$ des atterrissages contre $27 \pm 6,7\%$ lors des marées de mortes eaux (Test de Mann-Whitney, $P < 0,05$).

1.2.2. Cas des tortues vertes

L'atterrissage des tortues vertes ne suit également pas une loi normale (Test de Shapiro-Wilk, $p < 0,05$) et n'a pas une distribution temporelle homogène (figure 4.8). Au cours des saisons 2012 et 2013, ces tortues ont atterri à $70,5 \pm 7,8\%$ pendant le créneau marée haute ± 4 heures, illustré par la figure 4.8. Tout comme les luth, les tortues vertes atterrissent en majorité à marée montante (40 % des atterrissages) (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les individus atterrissent majoritairement en dehors du créneau de marée haute ± 6 heures avec $25,1 \pm 5,5\%$ des atterrissages. Les deux ans de suivis, nous montrent que la distribution horaire des atterrissages des tortues vertes n'est pas significativement différentes (Test de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

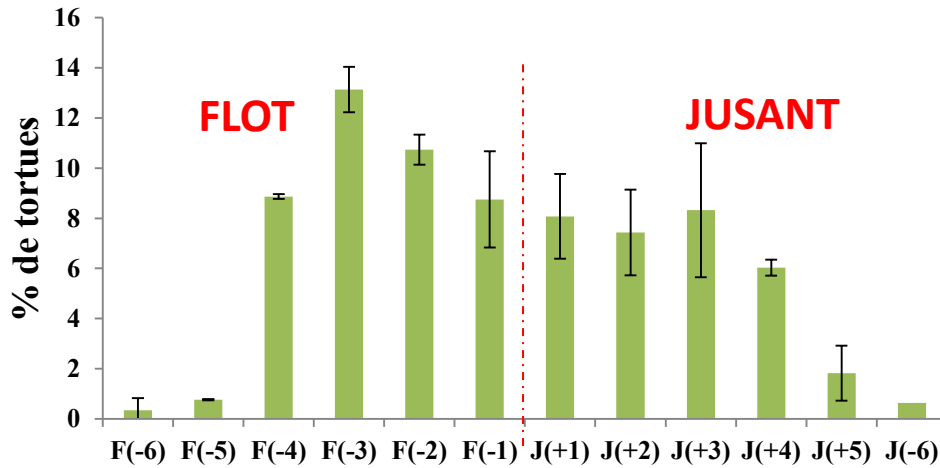


Figure 4.8: Distribution des tortues vertes (en pourcentage par rapport au nombre total de pontes) en fonction du cycle de marée (F (=Flot), J (=Jusant), exemple : F (-6) entre -6h et -5hr avant la pleine mer).

Pendant les vives eaux, les sorties des tortues vertes ont une répartition significativement différente entre les phases de marée montante et marée descendante (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$). Les sorties sont observées majoritairement à marée montante au cours des périodes de vives eaux ($42 \pm 14\%$) contre $16 \pm 8,6\%$ en marée de mortes eaux (Test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Les tortues vertes ne présente pas de créneaux horaires particulier au cours des marées de mortes eaux (Test de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

1.3. Distribution spatiale sur la plage

1.3.1. Cas des tortues luth

La distribution spatiale des tortues luth sur la plage ne suit pas une loi normale (Test Shapiro-Wilk, $p < 1$). La répartition interannuelle (2011 à 2013) des pontes de cette espèce sur la zone 1, montre une distribution similaire (Test de Friedman, $p > 0,05$) (tableau 4.1). Les pontes sont en augmentation sur la zone 1 et notamment le secteur de A à D qui devient très attractif avec un gain de près de 10% des effectifs. La fréquentation sur la zone 2 est en diminution constante passant de 55,3% des pontes recensées en 2011 à 41,1% en 2013.

Tableau 4.1: Distribution (en %) des tortues luth sur les zones 1 et 2 en 2011, 2012, 2013.

	Zone 1 (A à D)	Zone 1 (D à G)	Zone 2
2011	21,4	23,3	55,3
2012	31,4	25,8	42,8
2013	31,3	27,7	41,1

Les tortues ne se répartissent pas uniformément sur la plage et certains sites semblent être plus privilégiés que d'autres. Ces secteurs préférentiels sont localisés sur la portion de plage annexée au banc de sable (Ouest) puis sur la partie orientale de la zone 1. Cette préférence de ponte sur certains secteurs n'est cependant pas flagrante (~2 à 7 % de ponte par tranche de 100 m linéaire). Néanmoins, deux portions de plage sur le premier tronçon de la zone 1 (A à D) semblent être moins attractives pour les tortues luth ; la première localisée à l'embouchure [E 173100 173200] avec $2,9 \pm 0,4\%$ et le second secteur [E 173400 173500] avec $2,1 \pm 0,8\%$ des pontes (figure 4.9).

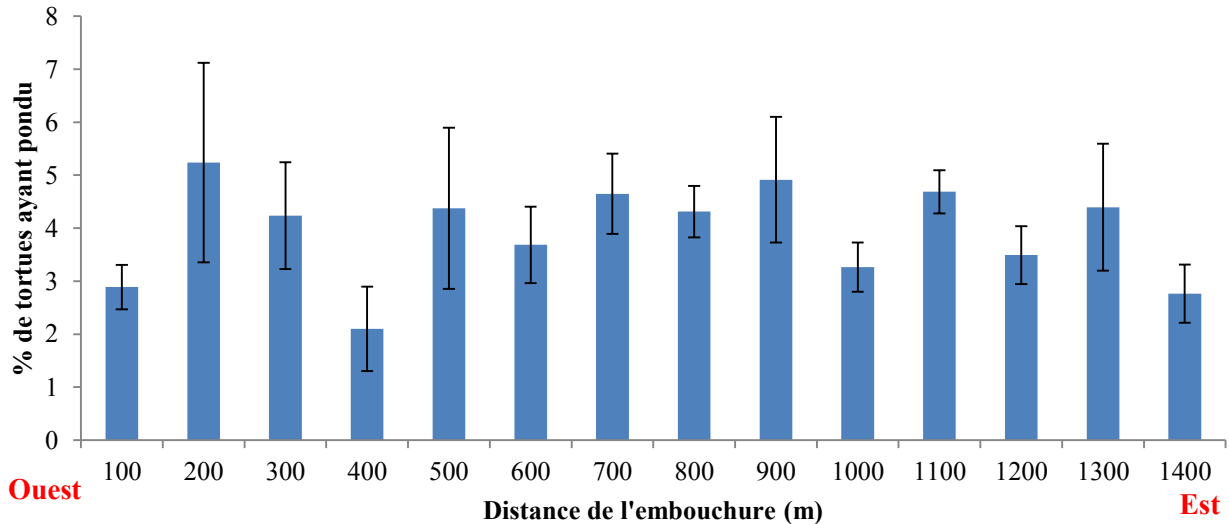


Figure 4.9: Distribution moyenne des tortues luth sur la zone 1 en fonction du nombre total de ponte (%)

Les cartes de la figure 4.10, illustrent la distribution des pontes durant les trois saisons. Les zones de ponte privilégiées évoluent spatialement entre 2011 et 2013. En 2011, les pontes ont lieu en majorité sur l'Est de la zone 1 (section D à H). A partir de 2012, certains secteurs sont moins fréquentés, alors que les atterrissages sur la zone du banc de sable sont en augmentation avec 7,35% des arrivées. On observe en 2013, une amplification de la désertion des secteurs orientaux de la zone 1 au profit des secteurs centraux de cette même zone. La zone Ouest de la plage, et plus particulièrement le secteur en connexion avec le banc de sable (à 200 m de l'embouchure, figures 4.9 et 4.10), perd de son attrait en 2013, au profit de secteurs environnants.

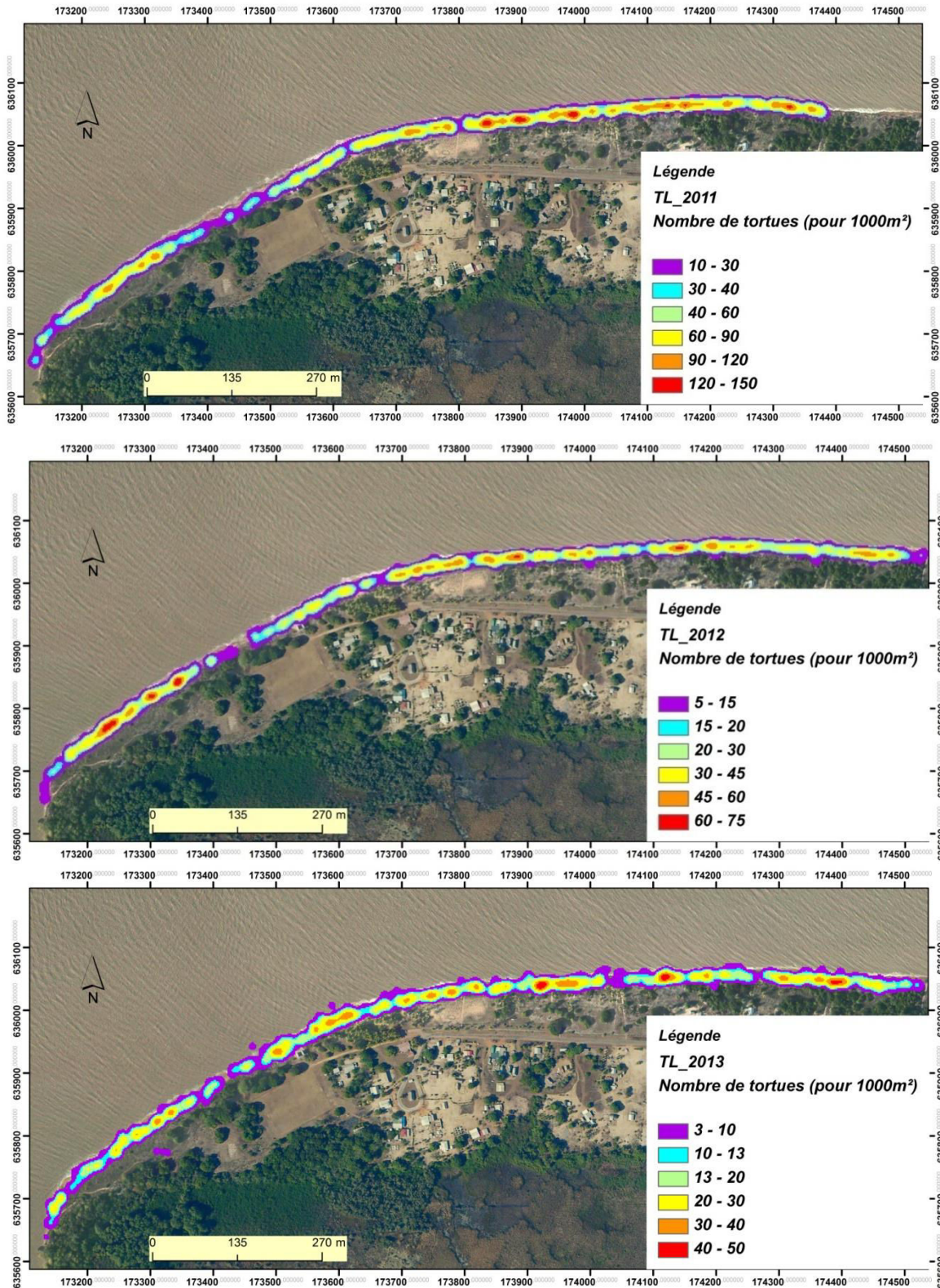


Figure 4.10: Carte de densité de distribution des nids de tortues luth sur la zone 1 de la plage de Yalimapo en 2011, 2012, 2013.

1.3.2. Cas des tortues vertes

Les pontes des tortues vertes sur la plage de Yalimapo suivent la même tendance spatiale que les luth. Une perte d'attractivité de la zone 2 apparaît en 2013 au profit de la partie occidentale de la plage (zone 1) (tableau 4.2). En effet, on recense une augmentation de 6% des pontes sur l'Ouest de la zone 1 (A à D).

Tableau 4.2: Distribution (en %) des tortues vertes sur les zones 1 et 2 en 2012, 2013.

	Zone 1 (A à D)	Zone 1 (D à G)	Zone 2
2012	24,1	22,9	53
2013	30,3	22,8	46,9

Le nombre de nids sur la zone 1 diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche de la partie centrale de la plage [zone 1: 173500 174100] (figure 4.11). Contrairement aux tortues luth, le secteur à l'embouchure du Maroni (Vigie) est le plus utilisé par les tortues vertes sur la zone 1 avec $5,9 \pm 0,9$ % des pontes.

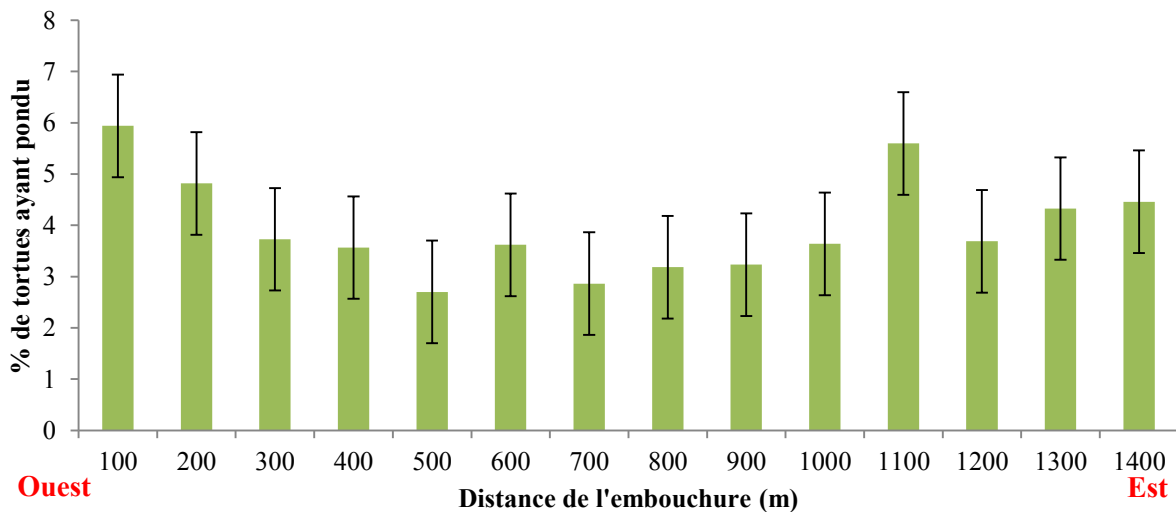


Figure 4.11: Distribution des tortues vertes sur la zone 1 en fonction du nombre total de pontes (%).

Les cartes de densité de la figure 4.12 illustrent une répartition plus étendue des pontes en 2013 sur l'ensemble de la zone 1. Cependant, des spots de plus fortes concentrations de ponte sont retrouvés à l'Ouest de la plage dans la zone de l'embouchure mais également dans les sections orientales de la plage. Des secteurs précédemment non attrayants en 2012, notamment entre [E 173100 173500] (soit à une distance de l'embouchure de 100 à 400 m) ont accueilli plus de nids en 2013. La zone 2 perd de son attrait, au profit de la zone 1, particulièrement [E 173700 173800] et [E 173400 173500] (figure 4.11).

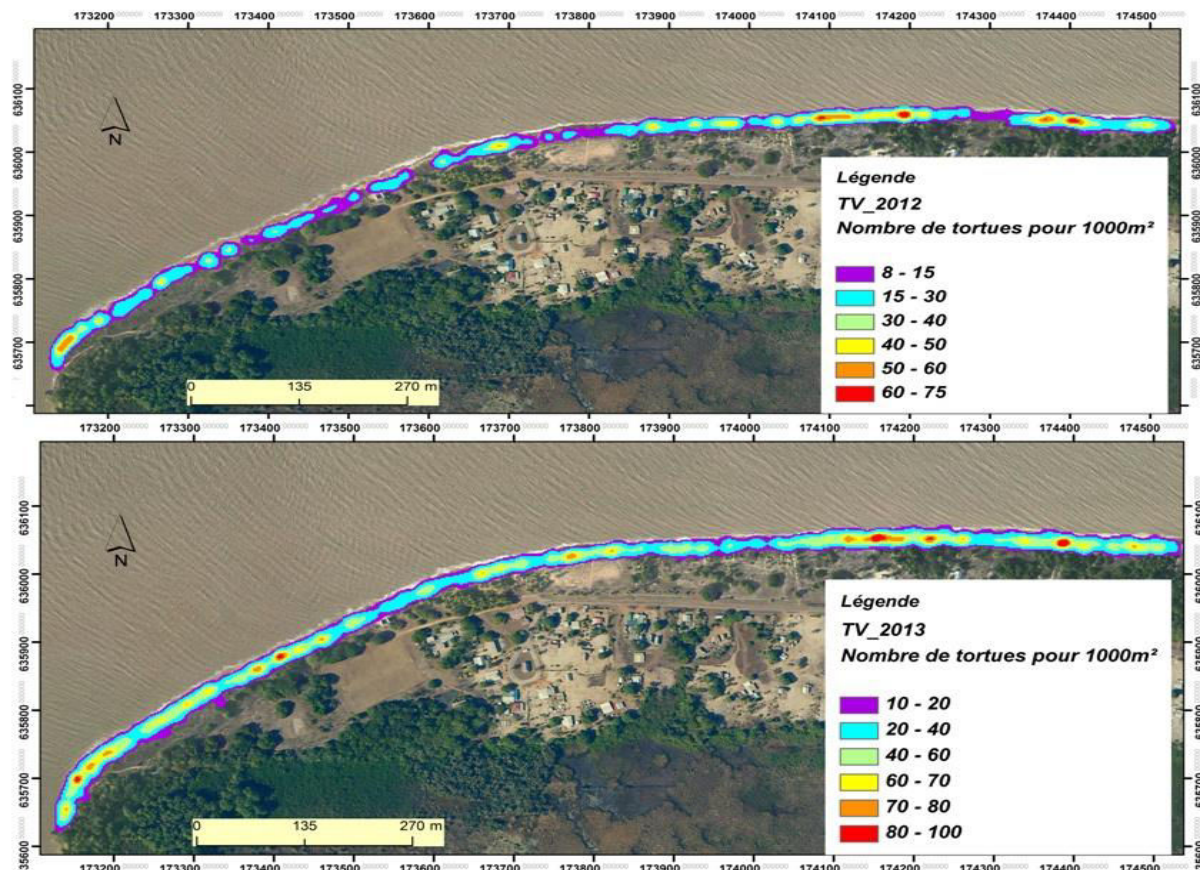


Figure 4.12: Carte de densité de distribution des pontes de tortues vertes sur la zone 1 de la plage de Yalimapo, au cours des saisons 2012 et 2013.

Nous pouvons retenir de cette sous-partie, les résultats principaux suivants :

- ➔ Peu d'influence des phases lunaires chez les tortues luth , mais les tortues vertes viennent pondre à $32 \pm 4,5\%$ pendant les nuits de nouvelle lune
- ➔ 60% des tortues luth sortent pendant des marées de mortes eaux
- ➔ 90% des tortues luth atterrissent au cours du créneaux ± 4 heures de la pleine mer contre 70% chez les tortues vertes
- ➔ Augmentation des pontes sur la zone 1 et plus particulièrement à l'Ouest de la zone (+10% pour les luth et +6% pour les vertes)
- ➔ Répartition des pontes non homogène sur la plage

2. Influence des déterminants environnementaux sur la distribution spatiale

Nous avons combiné les répartitions tidales et la distribution spatiale des tortues en vue de faire apparaître un éventuel lien.

2.1. Distribution en fonction du cycle tidal (Flot/Jusant)

2.1.1. Cas des tortues luth

Sur les trois saisons de ponte, on observe une affluence d’atterrissage et de ponte sur les secteurs Ouest de la plage à marée montante ($37,7 \pm 4,3\%$ d’arrivées au flot) contrairement à la zone 2 qui est privilégiée à marée descendante ($30,2 \pm 3,7\%$ d’arrivées au jusant) (figure 4.13). Au début de la marée montante, les tortues luth privilégient l’Est de la plage (zone 2) mais aussi la portion orientale de la zone 1 (D à G). Au fur et à mesure que l’on se rapproche de la pleine mer (flot -1hr/-2hr avant pleine mer), les montées des tortues à l’Ouest de la plage (zone 1 A à D), augmentent (figure 4.13). A l’inverse, au jusant (+2, +3, +4h), les arrivées des luth diminuent sur la portion A à B au profit des secteurs centraux et à orientaux de la zone 1. Les plus fortes fréquentations observées sur la zone 2 ont lieu en début de marée montante et en fin de marée descendante. Il y a donc un basculement d’Est en Ouest en réponse à la hauteur de la marée. La répartition des arrivées sur la plage est significativement différente au cours du flot entre les trois zones (PERMANOVA, $p < 0,05$), alors que pendant la phase de marée descendante la proportion d’atterrissages sur la zone 2 et 3 semblent similaire (PERMANOVA, $p > 0,05$).

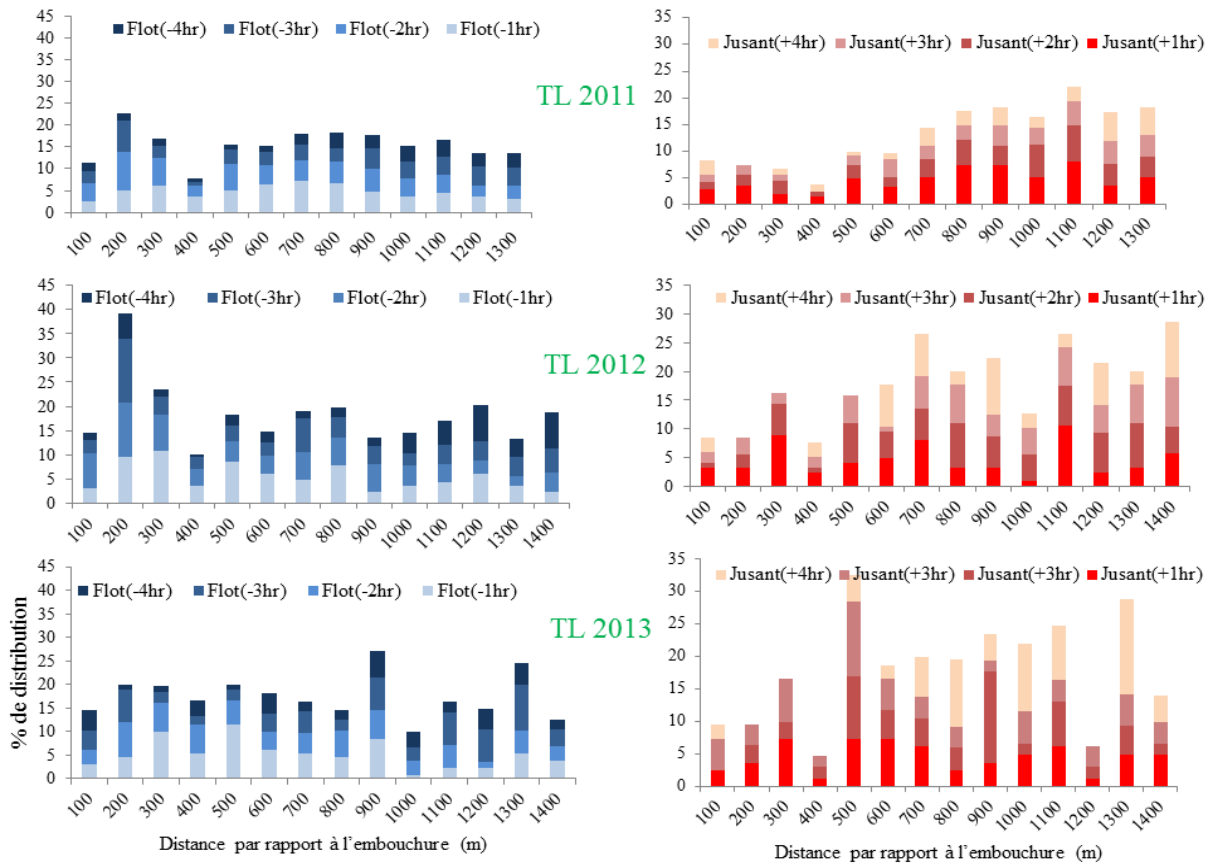


Figure 4.13: Répartition (%) des tortues luth sur la zone 1 en fonction du nombre total de montées sur la plage (zone 1+2) par tranche de 100m en fonction du cycle de marée au cours des saisons 2011, 2012 et 2013. Flot (-4hr): entre 3 et 4hr avant marée haute; Flot(-3hr): entre 2 et 3hr avant marée haute; Flot (-2hr) : entre 1hr et 2hr avant marée haute; Flot (-1hr): l’heure avant marée haute; Jusant (+1hr): de marée haute à 1hr après; Jusant (+2hr): entre 1hr et 2hr après marée haute; Jusant (+3hr): entre 2 et 3hr après marée haute; Jusant(+4hr): entre 3 et 4hr après marée haute.

2.1.2. Cas des tortues vertes

Chez les tortues vertes, la répartition spatiale est également rythmée par les phases de marée (figure 4.14). La zone 1 est préférentiellement utilisée au flot (31,4 ± 5,2 %), et à pleine mer. La zone orientale de la plage enregistre de plus fortes fréquentations au début de marée montante et au jusant. La distribution des tortues vertes avec le cycle de marée est significativement différente selon les saisons (au flot: Test de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$; au jusant: Test de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$). En 2013, les atterrissages sont plus fréquents sur la portion de plage située à proximité de l'embouchure du Maroni (distance < 400 m) à marée montante (figure 4.14). La répartition des arrivées sur la plage est significativement différente au cours du flot et du jusant entre la zone 1 et la zone 3 (PERMANOVA, $p < 0,05$). Pour les vertes, nous n'observons pas de différence de répartition entre la zone 1 et zone 2, et la zone 2 et zone 3 (PERMANOVA, $p > 0,05$).

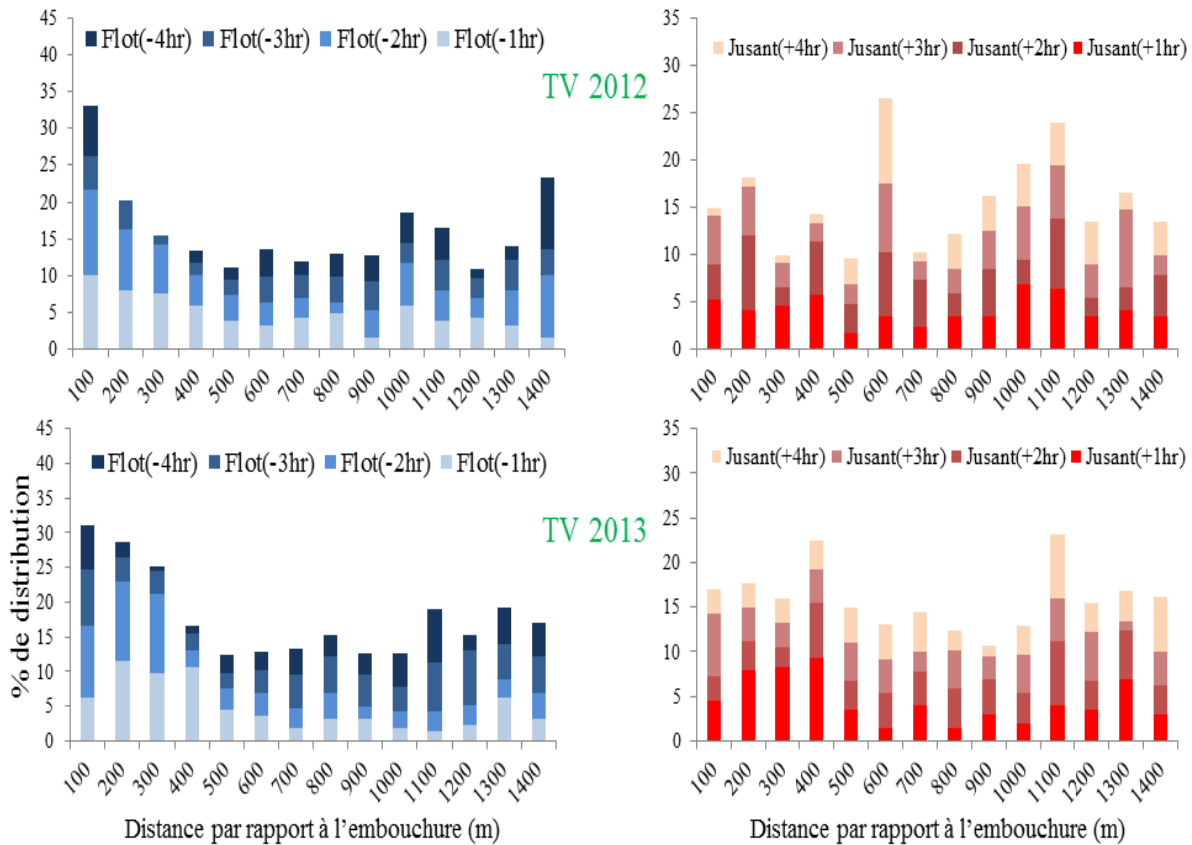


Figure 4.14: Répartition (%) des tortues vertes sur la zone 1 en fonction du nombre total de montées sur la plage (zone 1+2) par tranche de 100m en fonction du cycle de marée au cours des saisons 2012 et 2013. Flot (-4hr): entre 3 et 4hr avant marée haute; Flot(-3hr): entre 2 et 3hr avant marée haute; Flot (-2hr):entre 1hr et 2hr avant marée haute; Flot (-1hr): l'heure avant marée haute; Jusant (+1hr): de marée haute à 1hr après; Jusant (+2hr): entre 1hr et 2hr après marée haute; Jusant (+3hr) entre 2 et 3hr après marée haute; Jusant (+4hr): entre 3 et 4hr après marée haute.

2.2. Spatialisation des atterrissages selon les hauteurs d'eau

Le marnage mésotidal de la plage des Hattes conditionne la morphologie de la plage et encore la largeur de plage à gravir par les tortues marines venant pondre sur celle-ci. Dans cette sous-partie, nous évaluons l'influence de la hauteur d'eau sur la spatialisation des atterrissages.

2.2.1. Cas des tortues luth

Les atterrissages de tortues luth montrent un lien étroit entre la zone d'atterrissage et les hauteurs d'eau. En effet, on constate que pour des hauteurs d'eau inférieures à 2 m, $77,8 \pm 18\%$ des atterrissages se produisent sur la zone 2, mais en ayant une vision plus globale pendant les trois saisons il n'y a pas de différence entre les zones pour des hauteurs < 2 m puisque le nombre d'animaux qui y atterrissent sont peu nombreux (PERMANOVA, $p > 0,05$) (figure 4.15). Avec l'augmentation du niveau d'eau, les atterrissages sur la zone 1 (D à G) augmentent avec $33,8 \pm 6,9\%$. Pour des hauteurs d'eaux supérieures à 3 m, $26 \pm 3,8\%$ des tortues atterrissent sur la portion occidentale de la plage (Zone 1 (A à D)). Les tests nous montrent des différences d'atterrissages selon les hauteurs d'eau uniquement entre les zones 1 et 3 (PERMANOVA, $p < 0,05$).

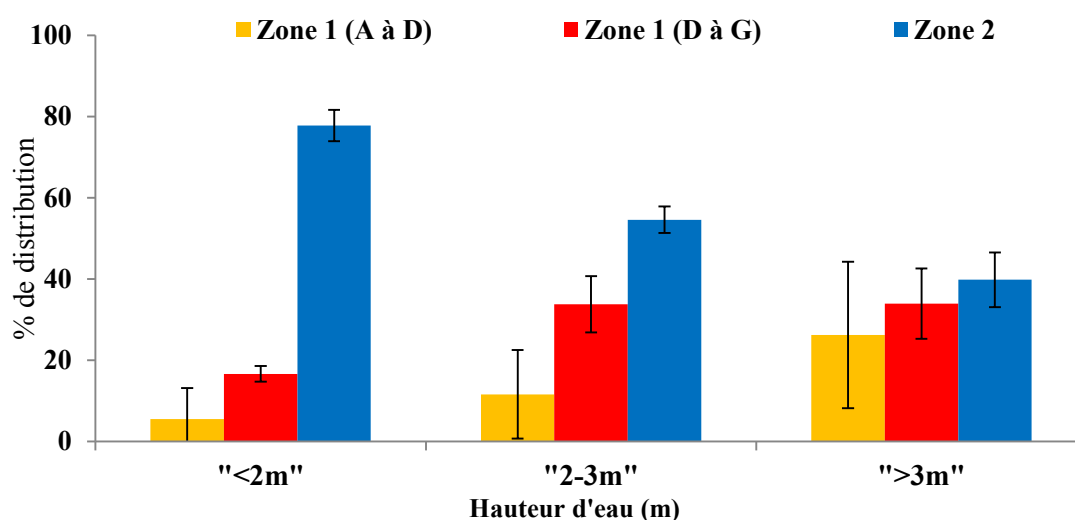


Figure 4.15: Pourcentage moyen de distribution des animaux selon les hauteurs d'eau de sortie des animaux sur les trois zones de plage sur les trois saisons

Pour des hauteurs d'eau inférieures à 3 m, les tortues n'ont pas une distribution homogène sur la zone 1 (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$) et les sorties se font en plus grand nombre à l'Est de la plage (zone 1 (D à H)). En revanche, les tortues s'orientent en plus grand nombre sur la zone Ouest (zone 1 (A à D)) lorsque les hauteurs d'eau excèdent 3m (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Sur l'ensemble des trois saisons, il existe une relation significative entre le marnage et les zones d'atterrissages (PERMANOVA, $p < 0,05$). Cette significativité n'est toutefois pas valable, pour l'ensemble des classes de marnage. En effet, la relation entre marnage et zones d'atterrissages est significative (PERMANOVA, $p < 0,05$) pour les marnages compris entre 1,5 et 2,5 m (figure 4.16).

Les tortues luth n'ont pas la même répartition spatiale en marée de vives eaux et de mortes eaux pour la saison 2011 (test de Kruskal-wallis, $p < 0,05$). En 2012 et 2013, les lieux d'atterrissages ne sont pas influencés par le marnage (Test de χ^2 , $p > 0,05$).

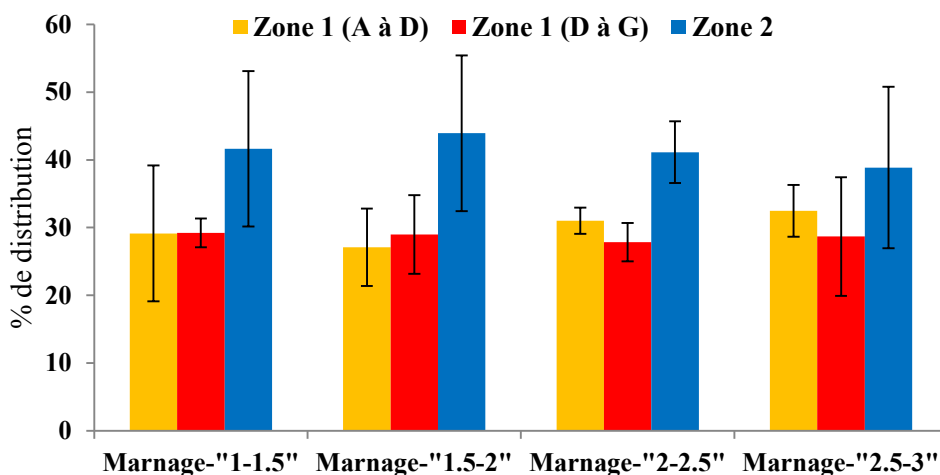


Figure 4.16: Pourcentage moyen d'atterrissages de tortues luth en fonction du marnage sur les trois saisons.

La portion Ouest de la zone 1 (A à D) présente donc un schéma de densités différentes selon le niveau d'eau ($<$ ou $>$ 3 m). Les atterrissages sur cette zone sont ainsi moins fréquents, lorsque la hauteur du plan d'eau est minimale ($<$ 3 m). Au flot, pendant les marées de vives et de mortes eaux, les lieux d'atterrissages dépendent des hauteurs d'eau (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

Lors de faibles marnages ($<$ 2m) et avec un niveau d'eau supérieur à 3m, les luth se répartissent sur l'ensemble de la plage, sans zone privilégiée (Test de Mann-Whitney, $p > 0,05$).

La figure 4.17, illustre les hauteurs d'eaux moyennes correspondant au moment de sortie de l'eau des tortues luth sur les 1500 m de la zone 1. Plus on s'éloigne de l'embouchure et plus les hauteurs d'eaux moyennes de sortie des animaux diminuent. Il y a donc une forte corrélation négative entre ces deux éléments (test de corrélation, $r^2 = -0,88$, $p < 0,05$).

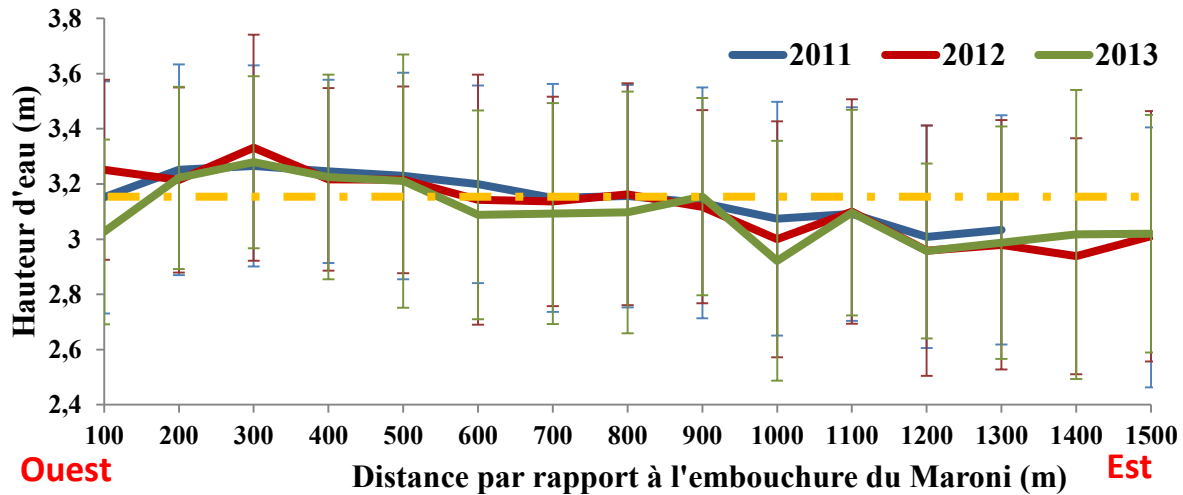


Figure 4.17: Hauteurs d’eau moyennes des sorties de tortues luth correspondant aux sections de plage depuis l’embouchure du Maroni par section de 100m

2.2.2. Cas des tortues vertes

Tout comme les tortues luth, les lieux d’atterrissages des tortues vertes semblent être conditionnées par les hauteurs du plan d’eau. Chez les tortues vertes, on observe une différence significative des lieux d’atterrissages au sein de la zone 1 elle-même (A à D et D à G) et entre la zone 1 et 3 (PERMANOVA, $p < 0,05$), mais pas de significativité entre la zone 1 (D à G) et la zone 3 (PERMANOVA, $p > 0,05$). Le niveau d’eau augmentant, les atterrissages sur la zone 1 (D à G) augmentent avec $33,8 \pm 5,0\%$, et lorsque ces hauteurs excèdent 3 m, on retrouve $25,1 \pm 11,3\%$ des tortues sur cette partie de la plage (Zone 1 (A à D)) (figure 4.18). Pour des hauteurs d’eau intermédiaires, c’est-à-dire entre 2 et 3m, les atterrissages au sein de la zone 1 sur les portions A à D et D à G sont non significatives (PERMANOVA, $p > 0,05$). Malgré une distribution plus contrastée sur la zone 1 entre 2012 et 2013, il y a une augmentation de l’abondance des individus sur la portion Ouest de cette zone pour des hauteurs d’eaux excédant 3 m (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

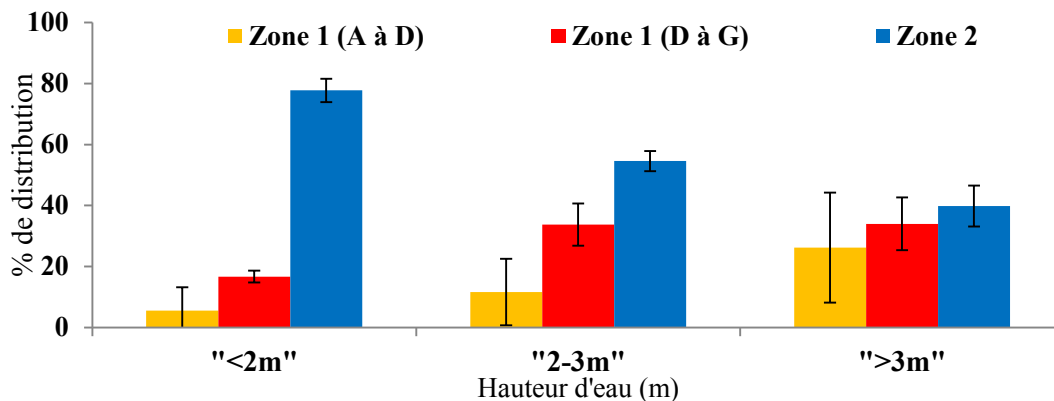


Figure 4.18: Pourcentage moyen de distribution des tortues vertes selon les hauteurs d’eau de sortie des animaux sur les trois zones de plage sur les trois saisons

Contrairement aux tortues luth, les tortues vertes ne montrent pas de préférence d'atterrissages sur les zones de plage en fonction du marnage (PERMANOVA, $p > 0,05$) (figure 4.19). Si en 2012, la zone 2 est privilégiée (Test de Mann-Whitney, $p < 0,05$), ce pattern n'est pas retrouvé en 2013, où la distribution se fait sur toute la plage.

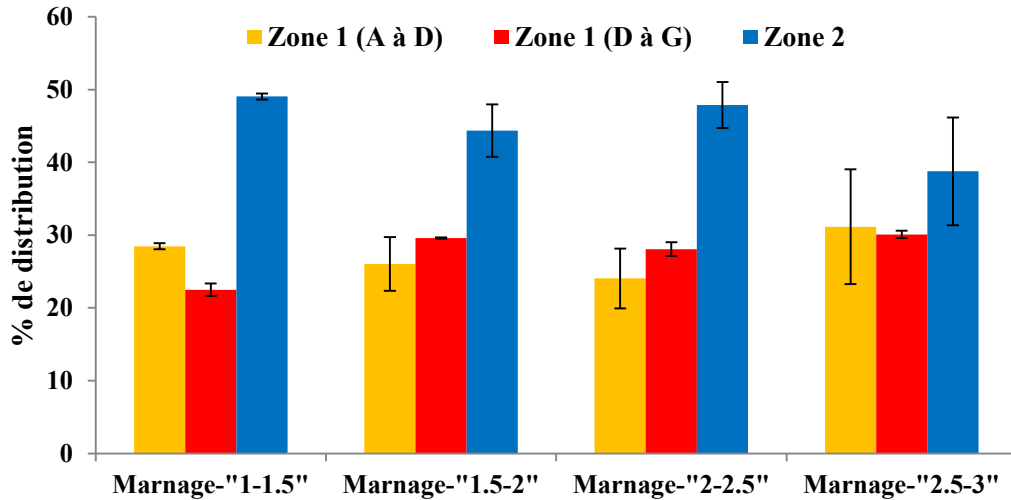


Figure 4.19: Pourcentage moyen d'atterrissages de tortues vertes en fonction du marnage sur les trois saisons.

La section localisée à une distance de 200 à 300 m de l'embouchure (coordonnées: 173200 E à 173300 E, zone 1) est la zone en contact avec le banc de sable. Les tortues vertes atterrissent dans ce secteur, quand les hauteurs d'eaux sont supérieures à 3,3 m en moyenne, zone où la largeur de plage est la plus importante (> 120 m). Plus on s'éloigne de l'embouchure du Maroni et moins les hauteurs moyennes de sorties des individus sont élevées (test de corrélation, $r^2 = -0,84$, $p < 0,05$, figure 4.20). On observe de plus, qu'entre 2012 et 2013, les hauteurs d'eau à la sortie des animaux ont diminué de près de 20 cm.

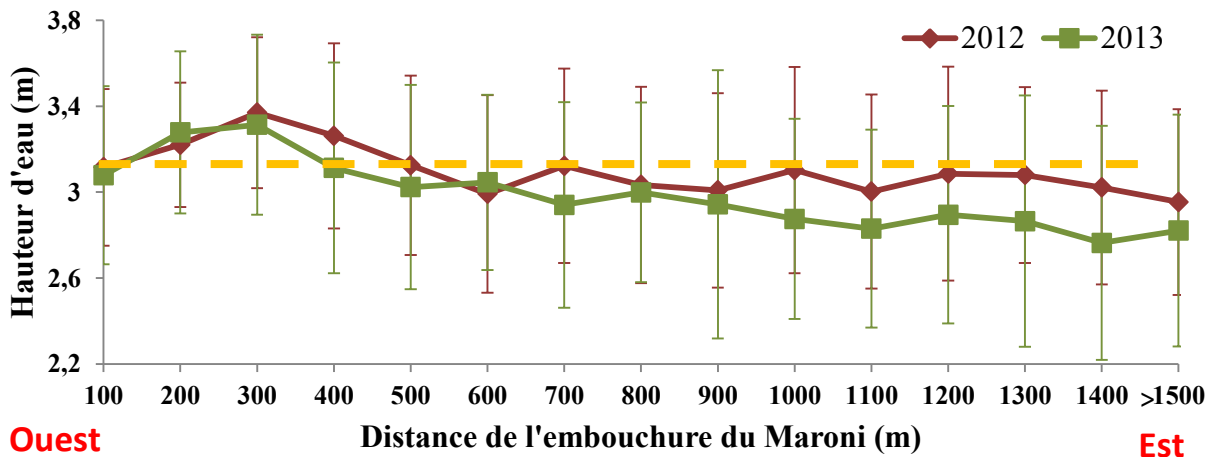


Figure 4.20: Hauteurs d'eaux moyennes de sorties des tortues vertes correspondant aux sections de plage depuis l'embouchure du Maroni.

2.3. Influence du forçage du fleuve

La plage d'Awala-Yalimapo se situe à l'embouchure du fleuve Maroni et subit donc les variations saisonnières du débit du fleuve. Les fluctuations météorologiques entraînent des fluctuations de débit du Maroni et peuvent donc jouer un rôle sur la répartition spatiale des atterrissages sur la plage à marée descendante (figure 4.21).

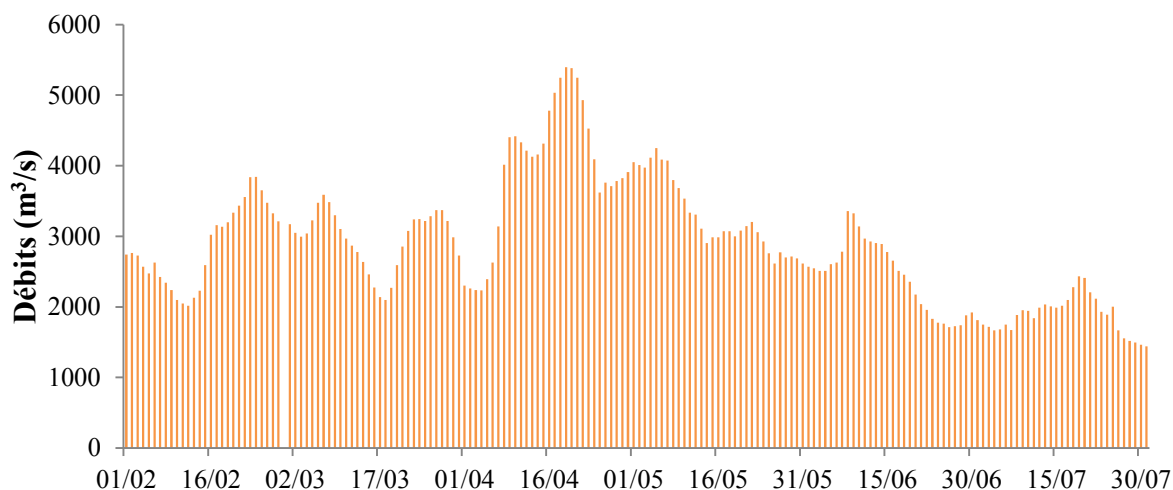


Figure 4.21: Débits moyens journaliers du fleuve Maroni à la station Langa Tabiki pendant la saison de ponte 2012.

2.3.1. Cas des tortues luth

Pour l'ensemble des années, chez les tortues luth, la relation entre la zone d'atterrissage et le débit du fleuve Maroni n'est pas significative ($r^2=0,003$, $p > 0,05$), mais la répartition des tortues nous indique que plus le débit est important et plus la fréquentation sur la zone 2 augmente.

La relation entre le débit du fleuve et la distribution des tortues luth en 2011 est significative (tests de χ^2 , $p < 0,05$). Au contraire en 2012 et 2013, cette relation ne semble pas exister et la répartition des tortues sur la plage est plus homogène (Test de χ^2 , $p > 0,05$). Pendant les marées de mortes eaux et avec l'augmentation du débit, les tortues luth se dirigent en plus grand nombre sur la zone 2 en désertant l'Ouest de la plage (zone 1) (figure 4.22). Lors de périodes de vives eaux, les différences de distribution sur la plage sont moins marquées. La fréquentation sur la zone 1 ($23,6 \pm 1,4\%$) reste plus ou moins stable. On observe une dynamique de la répartition des individus distincte entre les marées de vives et de mortes eaux. La significativité de ces tests pour les marées de mortes eaux (tests de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) montre que les distributions des populations de tortues fréquentant les différents espaces de la plage est différente. L'analyse des débits et la répartition des tortues en marées de mortes eaux montrent donc une redirection des tortues sur la zone 2 avec l'augmentation des débits ($r^2 = 0,914$, $p < 0,05$) et sur la zone à proximité (zone 1 (D à H)), $r^2=0,853$, $p < 0,05$.

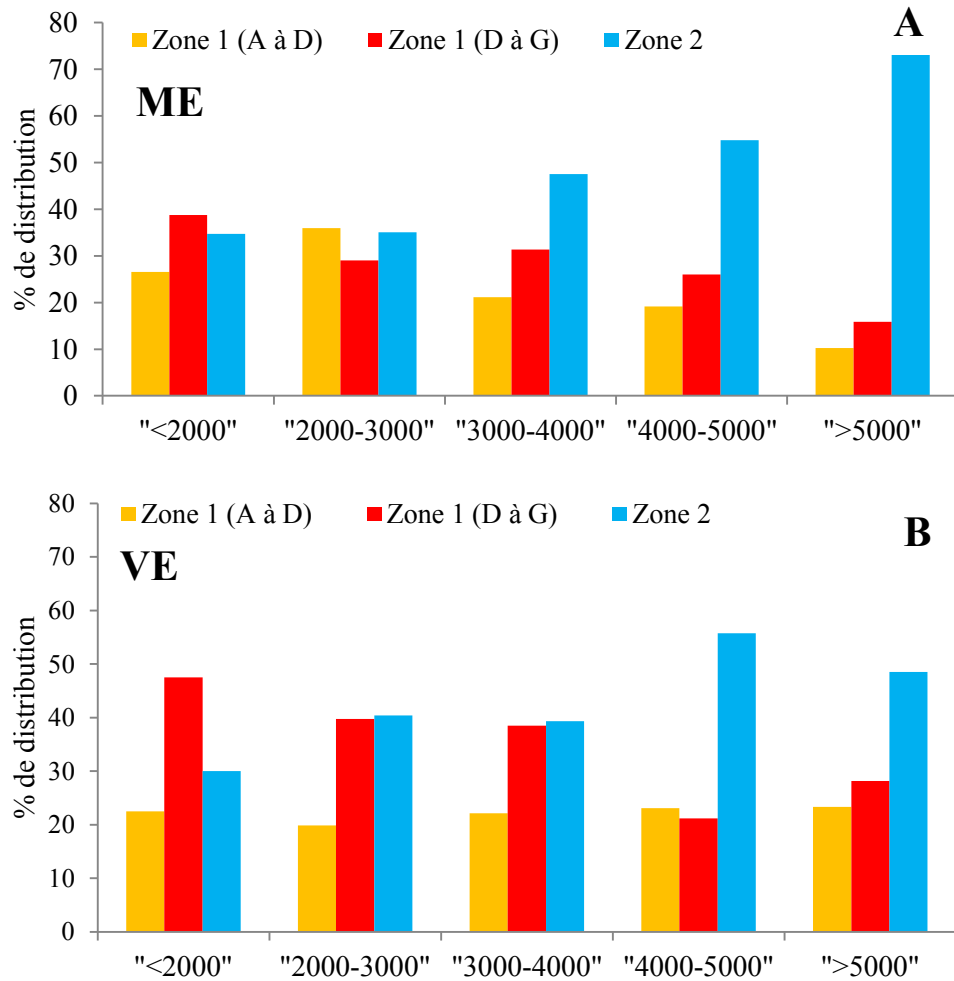


Figure 4.22: Répartition des tortues luth (%) à marée descendante durant (A) les marées de mortes eaux (ME) et (B) de vives eaux (VE) en fonction du débit du fleuve Maroni («<2000m³.s⁻¹», «2000-3000 m³.s⁻¹», «3000-4000 m³.s⁻¹», «4000-5000 m³.s⁻¹», «>5000 m³.s⁻¹»).

2.3.2. Cas des tortues vertes

Nous n'observons pas de relation entre les zones d'atterrissages et le débit du fleuve Maroni (Test de khi², $p > 0,05$). Le nombre d'atterrissages, sur la portion orientale de la plage, est plus important au cours des périodes de vives eaux et de faibles débits (entre 2000 et 3000 m³.s⁻¹) (figure 4.23). Un plus grand nombre de tortues vertes semble donc se diriger vers la zone 2. Pour ce type de condition tidale, sur les secteurs A à D de la zone 1, peu de tortues (8,2 %) atterrissent lors de faibles débits, en revanche 29% des atterrissages ont lieu sur cette portion en mortes eaux.

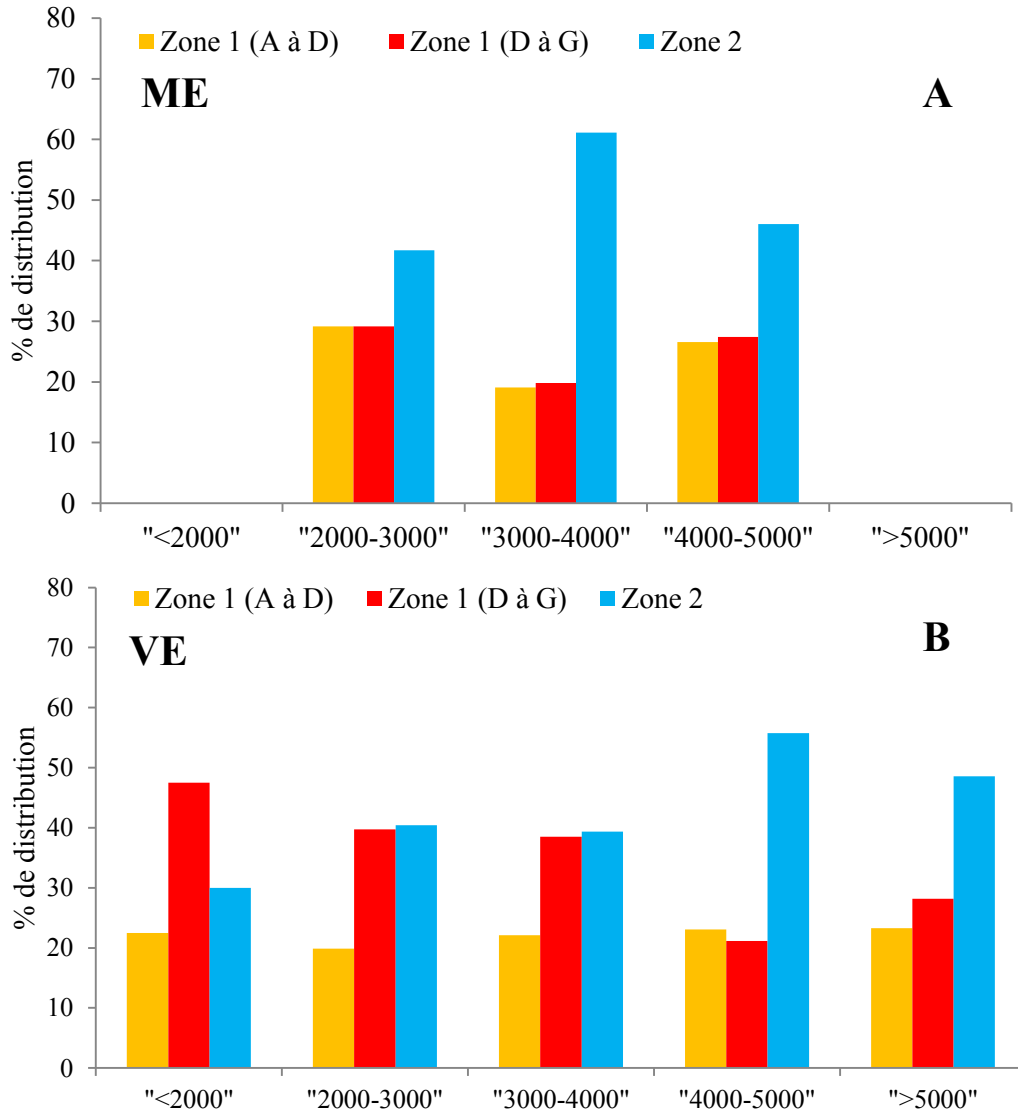


Figure 4.23: Répartition des tortues vertes (%) à marée descendante durant (A) les marées de mortes eaux (ME) et (B) de vives eaux (VE) en fonction du débit du fleuve Maroni («<2000m³.s⁻¹», «2000-3000 m³.s⁻¹», «3000-4000 m³.s⁻¹», «4000-5000 m³.s⁻¹», «>5000m³.s⁻¹»).

2.4. Dynamique morphosédimentaire et distribution spatiale des tortues

2.4.1. Distribution des pontes sur le profil de plage

Dans cette partie nous nous intéresserons à la distribution des pontes sur la zone 1 de la plage en fonction des faciès rencontrés sur le profil de plage (figure 4.24). Les différents faciès sur la plage vont moduler la répartition des tortues luth et vertes sur leur plage de ponte. Ces deux espèces ne suivent pas une même loi de distribution (Test de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$). La localisation des pontes entre les deux espèces est également différente et montre d'ailleurs une absence de corrélation ($r=0,016$, $p > 0,05$), en effet, les deux espèces partagent les mêmes habitats de ponte en ayant chacune leur préférence.

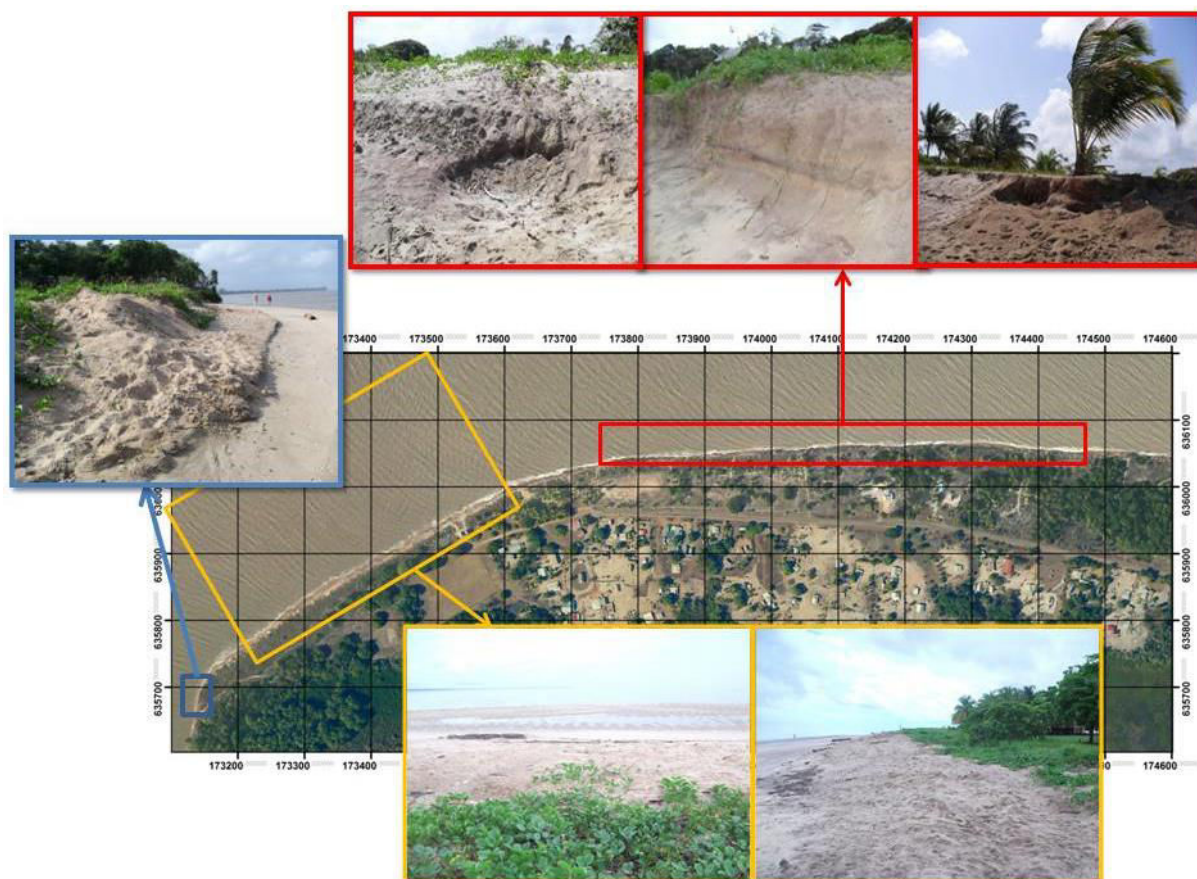


Figure 4.24: Les différents faciès de plage rencontrés sur la plage des Hattes: un secteur Ouest à l’embouchure du fleuve avec une façade érosive modulée par les fluctuations des conditions hydrodynamiques estuariennes du secteur ; suivi d’un secteur avec une plage large à pente douce sans talus avec un banc de sable accolé à la plage ; un secteur plus à l’est en érosion avec des talus d’érosion.

2.4.1.1. Cas des tortues luth

Les tortues luth se répartissent de façon non homogène sur le haut de plage (figure 4.25). Avec près de $62,5 \pm 7$ % des pontes sur la bande sableuse, le reste des pontes se distribuent sur le bas de talus ($15,4 \pm 6,6$ %), à la limite sable/végétation ($12,2 \pm 4,2$ %). L’habitat le moins attractif est la végétation ($9,8 \pm 7,9$ %). La distribution des pontes des tortues luth sur le haut de plage est donc hétérogène et varie selon le secteur en fonction de la morphologie de la plage.

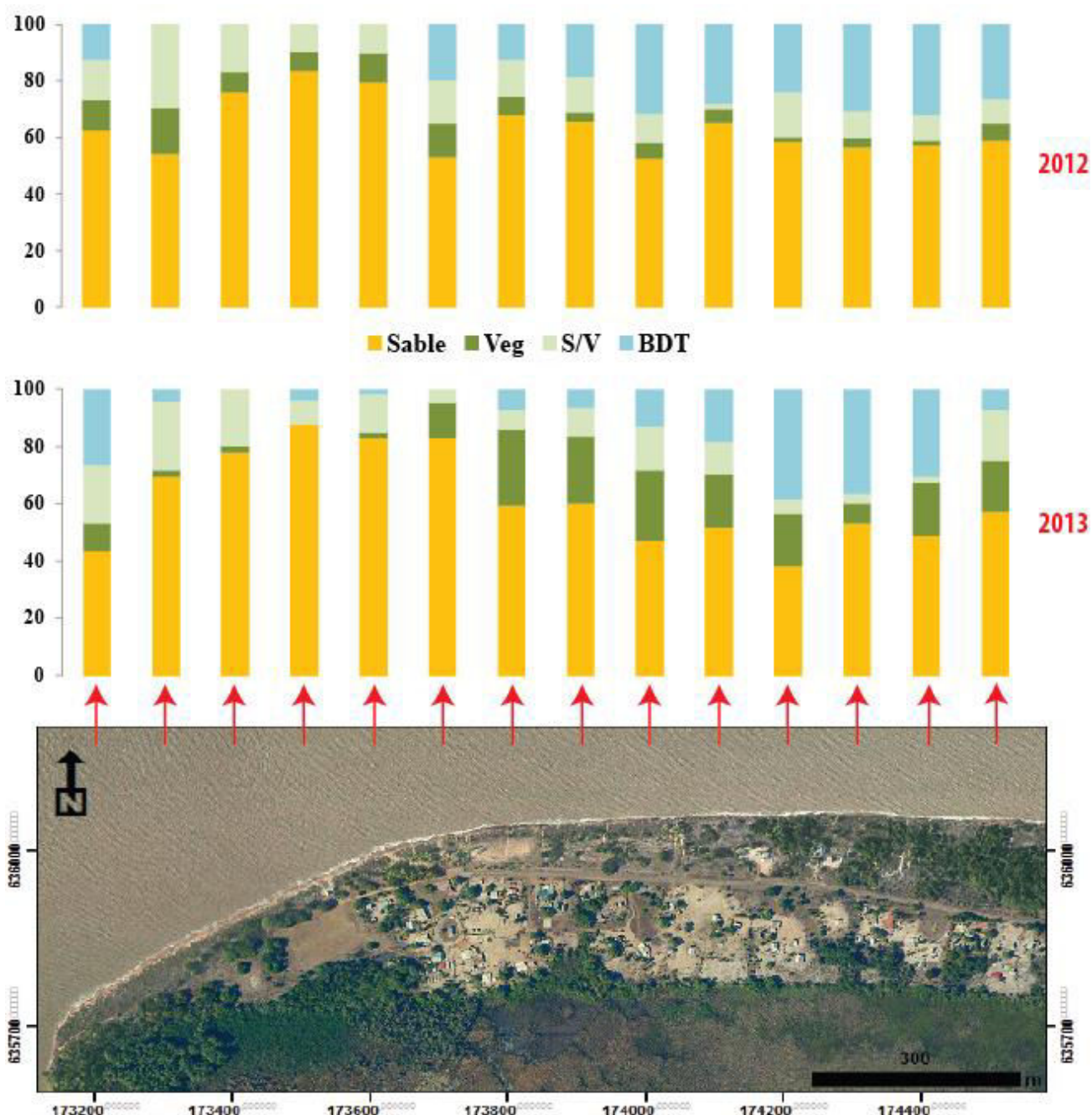


Figure 4.25: Répartition (%) des tortues luth en fonction du profil de plage (Bas de talus (bleu), limite sable/végétation (gris), végétation (vert) et sable (jaune)) sur la zone 1 en 2012 et 2013.

2.4.1.2. Cas des tortues vertes

Les tortues vertes n'ont pas les mêmes habitats de ponte que les tortues luth. Cette espèce se distribue en effet préférentiellement sur les zones végétalisées ($46 \pm 15,1$ %), puis dans le bas de talus ($18,7 \pm 8,4$ %), à la limite sable-végétation ($19,6 \pm 10,4$ %), et sur l'estran sableux ($15,6 \pm 4,4$ %) comme l'illustre la figure 4.26. Les pontes à l'Ouest de la plage sont plus nombreuses sur les habitats végétalisés en 2012 alors qu'en 2013, sur ce secteur les pontes étaient plus importantes sur les portions de plage à la limite sable-végétation. En 2013, dans la partie orientale, les pontes sont plus nombreuses

au sein du talus de haut de plage. On observe donc entre 2012 et 2013 une modification de l'aire de ponte, l'érosion de la plage a provoqué un recul du haut de plage. Cette dynamique a entraîné un rétrécissement de la bande végétalisée et donc une réduction de l'aire de ponte.

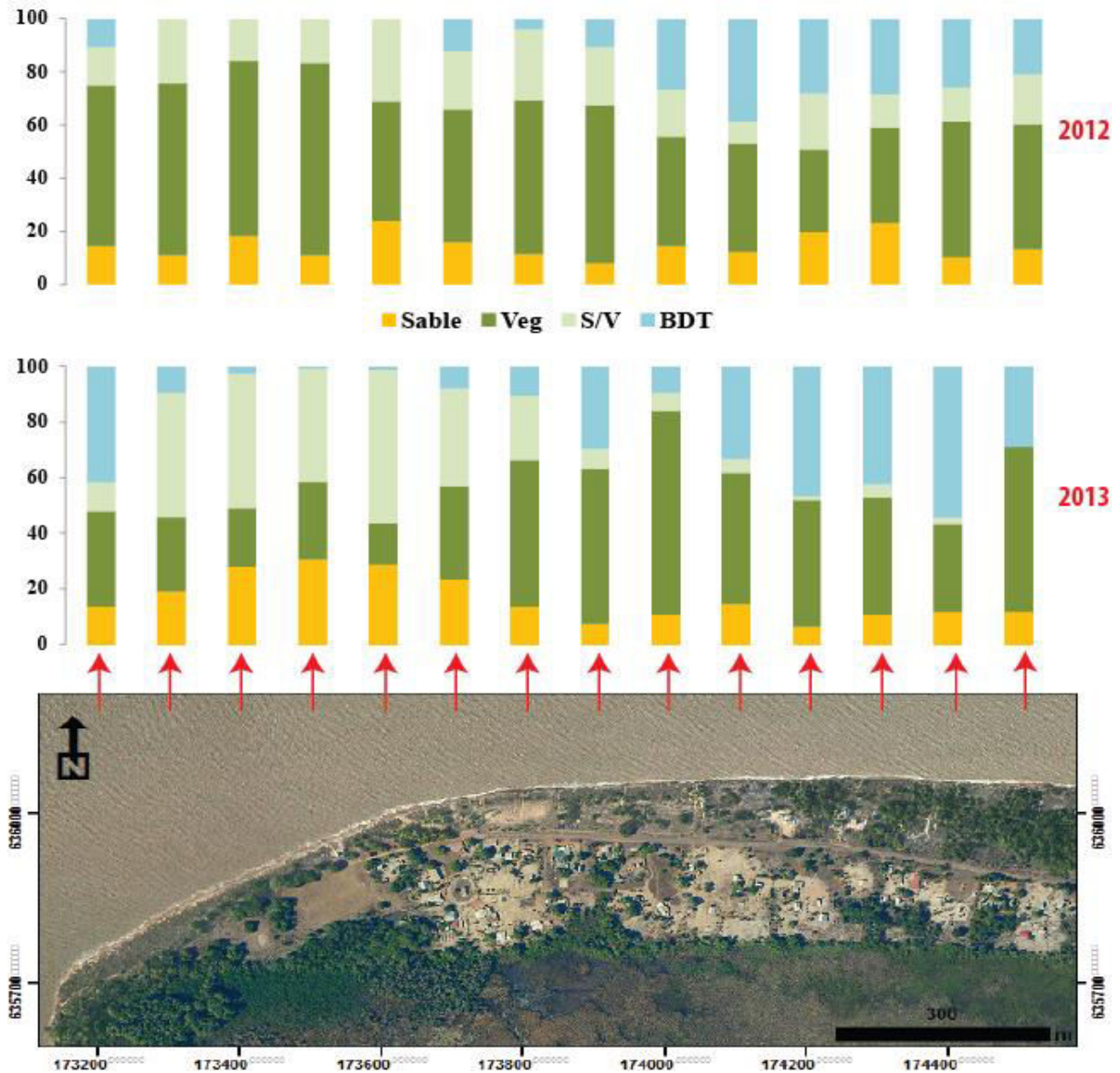


Figure 4.26: Répartition (%) des tortues vertes en fonction du profil de plage (Bas de talus (bleu), limite sable/végétation (gris), végétation (vert) et sable (jaune)) sur la zone 1 en 2012 et 2013.

2.4.2. Substrat de ponte

Les prélèvements réalisés en 2011, ont montré un gradient granulométrique sur la plage, avec des sédiments grossiers à très grossiers (755 μm à 2 mm) en bas de plage, et des sédiments moyens ($\sim 350 \mu\text{m}$) à fins (250 μm) sur le haut de plage. La plage de ponte d'Awala-Yalimapo est donc une plage composée de sable fin à grossier. Des particules d'argiles provenant du démantèlement du banc de vase à proximité de la plage fossilisée d'Awala sont aussi retrouvées sur l'estran.

Il existe une forte corrélation du gradient granulométrique pour la situation des nids de tortues luth et de tortues vertes ($r^2=0,98$, $p < 0,05$), en effet, les deux espèces pondent toutes les deux dans la gamme granulométrique de 355 à 200 μm . Cependant, la taille moyenne des grains va varier selon l'emplacement du nid. Plus le nid est localisé sur l'estran et plus la taille moyenne de grains est élevée (D50 sable moyen 500 à 355 μm). De la même façon, plus le nid est dans la végétation et plus la granulométrie est fine (sable fin (D50 entre 200-125 μm)) (figure 4.27).

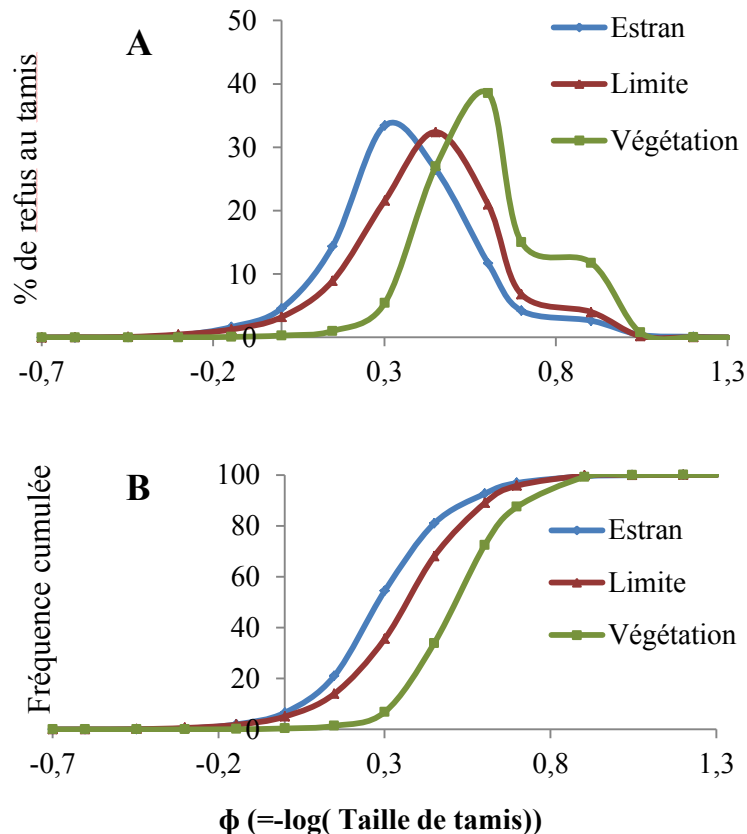


Figure 4.27: Résultats de l'analyse granulométrique, le pourcentage de refus au tamis (A) et les fréquences cumulées; (B) pour des échantillons type à mi- estran, à la limite de l'estran et de la végétation et au sein de la végétation supralittorale.

2.4.3. Evolution de la plage et distribution des pontes

Dans cette sous-partie, nous nous intéresserons à l'atterrissage des tortues sur la plage en fonction de l'environnement d'accueil. Si les atterrissages sur la plage sont tributaires des conditions hydrodynamiques et morphologiques, l'emplacement du site de ponte peut également être régi par la dynamique morphosédimentaire de la plage d'accueil.

2.4.3.1. Cas des tortues luth

La distribution spatiale des atterrissages sur la plage d'Awala-Yalimapo n'est pas homogène (figure 4.28). On observe une évolution spatiale des sites de ponte de l'Est vers l'Ouest de la plage entre 2011 (Z1: 22,35 %) et 2012 (Z1: 28,6 %) pour les tortues luth.

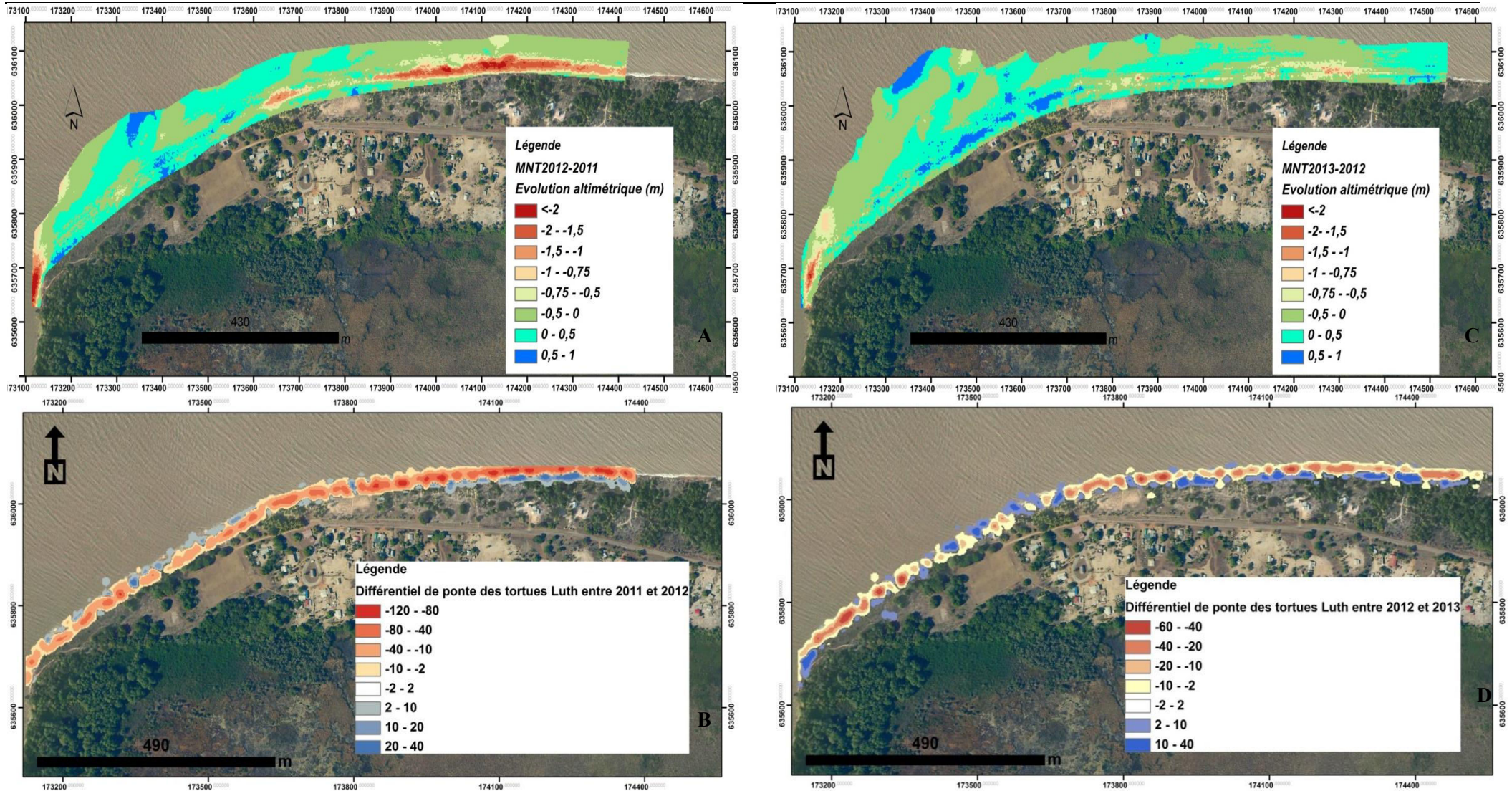


Figure 4.28: A/ MNT différentiel entre mars 2011 et mars 2012 sur la zone 1 ; B/ Carte de différentiel de pontage de tortues luth entre 2011 et 2012 ; C/ MNT différentiel entre mars 2013 et mars 2012 sur la zone 1 ; D/ Carte de différentiel de pontage de tortues luth entre 2012 et 2013.

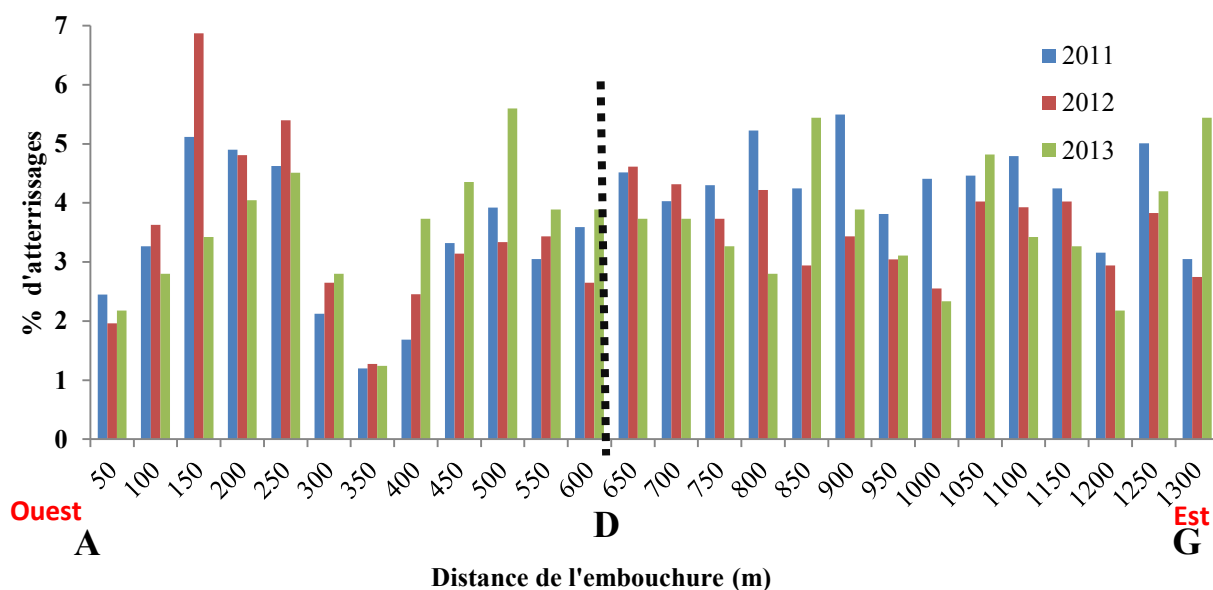


Figure 4.29: Distribution des atterrissages de tortues luth sur les zones 1 & 2 en 2011 et 2013 en fonction du nombre d'atterrissages uniquement sur la zone 1.

Les cartes différentielles de ponte (figure 4.28) et la figure 4.29 nous indiquent des modifications de comportement de lieux d'atterrissages et de pontes des tortues luth entre 2011 et 2013. En effet, on observe un recul des zones de pontes vers l'intérieur des terres chaque année comme l'indique la figure 4.28, ce comportement semble être valable pour la portion Est de la plage.

Tableau 4.3: Résumé de la distribution mensuel des lieux de ponte de tortues luth de 2011 à 2013 (% par mois)

N° section	Portion	2011			2012			2013		
		Avril	Mai	Juin	Avril	Mai	Juin	Avril	Mai	Juin
A→B	173100-173150	3	3	2	2	1	2	3	1	3
B→C	173150-173400	20	15	23	21	26	31	22	16	23
C→D	173400-173600	11	9	11	12	12	10	14	18	14
D→E	173600-173800	15	16	15	13	16	18	12	18	15
E→F	173800-174100	28	29	27	25	23	16	22	24	20
F→G	174100-174300	15	20	15	18	15	18	17	13	13
G→G'	174300-174400	8	10	8	9	7	6	11	9	11

En 2011, la distribution mensuelle des pontes sur les sept secteurs suit un même schéma de distribution ($p < 0,05$ et $r^2 = 0,71$ entre avril et mai ; $p < 0,05$ et $r^2 = 1$ pour mai et juin). La distribution est similaire en avril 2011 et avril 2013 ($p < 0,05$, $r^2 = 0,83$) sans pour autant avoir une configuration de plage similaire. En effet, depuis 2011, la plage s'est engraisée à l'Ouest tandis qu'à l'Est celle-ci s'est érodée, modifiant les profils de plage sur chacune des extrémités (chapitre 3).

La section A (extrémité Ouest de la zone 1) (tableau 4.3) reste la moins fréquentée par les tortues luth au cours des trois années de suivies ($\leq 3\%$). Ce secteur très dynamique se situe dans une zone en érosion constante. En effet, sa situation géographique (sortie de l'embouchure du fleuve Maroni) en fait un secteur hautement régité par des conditions d'agitation estuarienne. Il en résulte un profil de plage très escarpé avec une pente supérieure à 20° . Ce site ne semble pas posséder les caractéristiques morphologiques nécessaires à l'accueil des tortues luth pour la ponte compte tenue de la faible fréquentation.

Les pontes sur le secteur de B à C présentent une même dynamique pour les années 2011 et 2013, au cours desquelles on observe une baisse de la fréquentation entre avril et mai puis une hausse au cours du mois de juin. Les pontes en 2012 sur ce secteur ont augmenté de façon constante entre avril et juin (accroissement de la fréquentation de 10% entre avril et mai). Au cours de ce même laps de temps, le secteur est en accrétion en avril comptabilisant 21% des pontes contre 31% en juin. L'érosion au niveau du banc de sable à partir du mois de mai (saison des pluies) profite à l'augmentation des pontes recensées. En effet, une érosion dans le secteur du banc de sable modifie les hauteurs d'eau nécessaires pour franchir l'obstacle du banc de sable et augmente donc le laps de temps possible pour les atterrissages.

Les accrétions sur la section de C à D ont créées un profil convexe depuis 2011 qui semblent contribuer à une augmentation des pontes sur le secteur de C à D entre 2012 et 2013 ($11,3 \pm 1,1\%$ en 2012 contre $15,2 \pm 2,1\%$ en 2013).

La diminution des pontes (passant de $28 \pm 0,7\%$ à $21 \pm 4,8\%$) sur le secteur E à F entre 2011 et 2012 semble correspondre à une période d'érosion. En effet, ce secteur Est de plage subit une érosion intensive avec des pertes altitudinales atteignant -2 m (figure 4.28). Entre 2012 et 2013, l'érosion s'accroît avec près de 6 m de recul du haut de plage. Le recul du haut de plage est donc important contrairement au bas estran qui a peu évolué depuis 2011 (> 80 m de l'origine).

En 2011, l'Est de la zone 1 (secteur F à G) est un secteur prisé par les tortues luth mais présente également des fluctuations mensuelles d'arrivées de ces animaux. Malgré un recul important du secteur (profil topographique n°6) les pontes dans le secteur présentent peu de variations annuelles ($25,3 \pm 4\%$ en 2011, contre $24,7 \pm 3\%$ en 2013 (secteur F à G')). Cependant, au cours de la saison de ponte, on observe notamment en 2012 et 2013, une diminution de la fréquentation par rapport au premier mois de suivi (27% en avril 2012 contre 24% en juin 2012 et 28% en avril 2013 contre 24% en juin 2013).

Les secteurs localisés un peu plus à l'Est ont vu leur nombre d'atterrissages augmenter et notamment ceux localisés entre 400 et 500 m de l'embouchure (zone 1), puis sur le milieu de plage (850 m: zone1) et enfin sur les derniers 50 m de la zone 1. La comparaison interannuelle des modifications morphosédimentaire de la plage montre une érosion de la portion Est de la zone 1 (secteur D à G') entre 2011 et 2012 (figure 4.28), avec une diminution de la fréquentation des tortues luth sur cette portion, au profit de la portion Ouest de la zone ($\sim 8\%$).

2.4.3.2. Cas des tortues vertes

Chez les tortues vertes, la répartition spatiale des pontes varie également en réponse à la dynamique de plage. En faisant un bilan global, on observe un surcroît de fréquentation sur la zone 1 entre 2012 (Z1: 23,5 %) et 2013 (Z1: 26,55 %) pour les tortues vertes. On peut observer sur les figures 4.30, un recul de l'aire de ponte des tortues vertes à l'intérieur des terres entre 2012 et 2013, coïncidant d'ailleurs avec le recul de la limite de haut de plage.

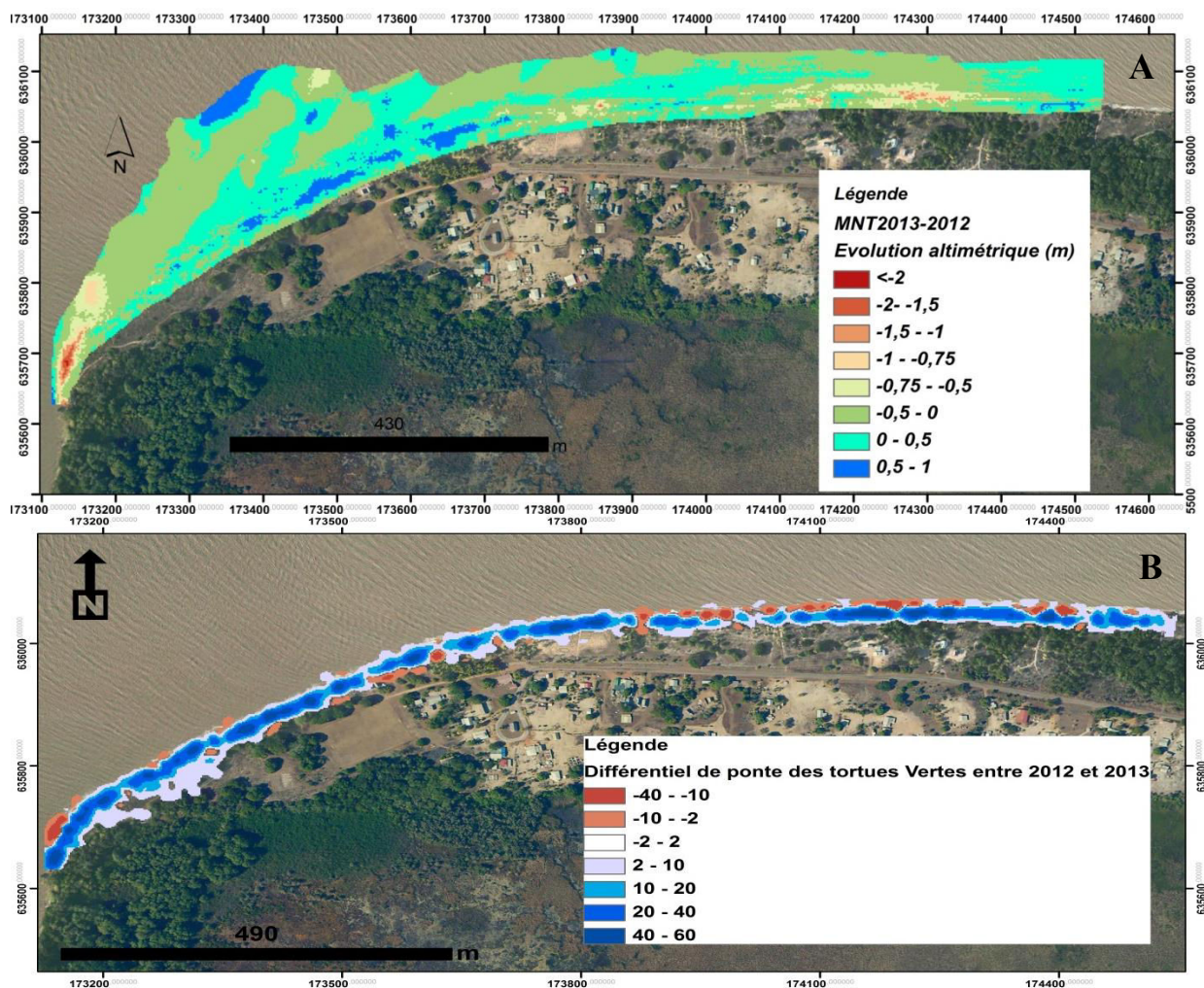


Figure 4.30: A/ MNT différentiel entre mars 2012 et mars 2013 sur la zone 1; B/ Différentiel de ponte des tortues vertes entre 2012 et 2013.

En 2012, les pontes se distribuent de façon très similaire entre février et avril ($p < 0,05$, $r^2 = 0,7$ entre février et mars ; $p < 0,05$, $r^2 = 0,71$ entre les mois de mars et avril). Au cours de la saison 2013, cette espèce suit un schéma de distribution très similaire entre avril et mai ($p < 0,05$, $r^2 = 0,81$). La section B à C est plus attractive pour les pontes de février à mai, avec près de 9 % de ponte en plus (figure 4.31). Le secteur C à D est situé en amont du banc de sable et il est possible que celui-ci possède des prédispositions atténuant la venue des tortues vertes dans ce secteur (tableau 4.4). Le secteur F est un secteur relativement stable sur le plan sédimentaire en 2012, et on observe une diminution des pontes

au fil de la saison (tableau 4.6). En 2013, l'augmentation des pontes d'avril à mai semble être corrélée à l'accrétion sur cette zone (figure 4.30 et tableau 4.4).

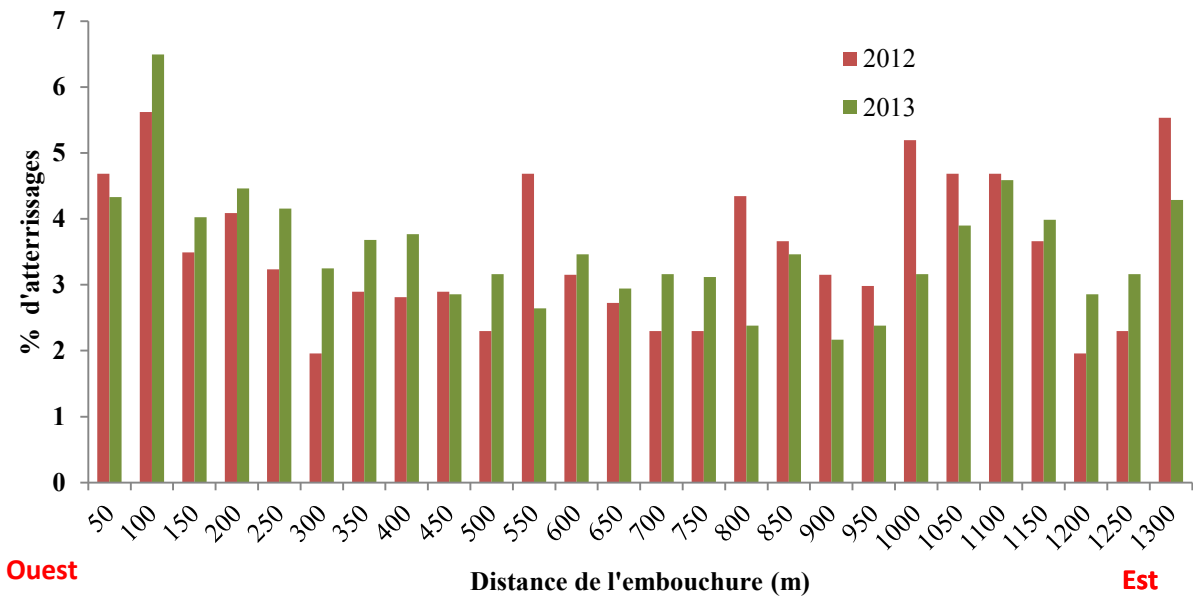


Figure 4.31: Distribution des atterrissages de tortues vertes sur les zones 1 & 2 en 2012 et 2013 en fonction du nombre d'atterrissages uniquement sur la zone 1

La distribution des atterrissages entre 2012 et 2013, montre une augmentation des pontes ($\leq 1\%$ par tranche de 50 m), à l'Ouest de la zone 1 (figure 4.31), alors que la portion orientale de la plage plus particulièrement entre 800 à 1100 m de l'embouchure montre une diminution des pontes ($\leq -2\%$ par tranche de 50 m). On recense une diminution de 6,2% de ponte sur la zone 2 entre 2012 et 2013.

Tableau 4.4: Résumé de la distribution des nids de tortues vertes au cours des saisons 2012 et 2013 (% par mois)

Section	Portion	2012			2013			
		Février	Mars	Avril	Mai	Mars	Avril	Mai
A→B	173100-173150	3	5	7	3	5	3	2
B→C	173150-173400	15	16	18	24	26	24	20
C→D	173400-173600	12	8	9	13	11	15	14
D→E	173600-173800	12	10	13	13	10	13	13
E→F	173800-174100	19	23	19	20	14	16	18
F→G	174100-174300	17	22	17	12	17	15	20
G→H	174300-174500	23	16	19	15	17	13	13

- *Cas d'un secteur faiblement fréquenté*

Malgré des fluctuations de fréquentation sur l'ensemble de la plage, le secteur situé à l'Ouest de la zone 1 ([E 173400 173500], soit à 300 à 400 m de l'embouchure du Maroni) se distingue par une faible attractivité à toute date. Cette section n'accueille que très peu de ponte pour les deux espèces et plus particulièrement pour les tortues luth avec moins de 2 % des pontes recensées (figure 4.28, 4.29, 4.30 et 4.31). Ce secteur est en accrétion depuis 2011 et le haut de plage est relativement plat (pente < 2 %) sans talus d'érosion. Le dit secteur est protégé par le banc de sable et est donc peu adapté pour l'atterrissage. La forme allongée du banc de sable agit comme une barrière naturelle, contraignant les animaux lors de leur approche de la plage des Hattes.

2.4.4. Evolution du haut de plage et distribution des pontes

Dans cette sous-partie, nous évaluons l'impact des fluctuations de la végétation sur la fréquentation des pontes. La distribution des pontes interannuelle a donc été comparée à l'évolution de la limite de végétation pour déterminer si les modifications de la plage interviennent dans la décision de sélection du site final de nidification.

2.4.4.1. Cas des tortues luth

Le différentiel de ponte entre les saisons 2011 et 2012 illustré sur la figure 4.32, montre un schéma de distribution répondant à l'évolution du haut de plage (test de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$), mais cette évolution de la végétation et le nombre de pontes en 2011-2012 sont toutefois faiblement corrélés ($p < 0,05$, $r^2 = 0,28$). En 2012, les secteurs bénéficiant d'une avancée de la végétation (secteur Ouest) sont plutôt stables ou en légère accrétion (figure 4.32 et 4.33) et ont été plus fréquentés par les tortues luth. La même année, on observe une diminution de la fréquentation, sur les secteurs en sévère érosion (recul > 5m), et notamment la portion Est de la zone 1. En 2013, la distribution des pontes, semble répondre à la dynamique morphosédimentaire. Cependant, les zones de plage où l'érosion a été plus importante (recul de la végétation de près de 5 m) ont montré une faible fluctuation des pontes. En revanche, la confrontation de l'évolution de la limite de végétation et la différence de fréquentation des tortues entre 2012 et 2013, ne montre pas de corrélation ($p > 0,05$, $r^2 = 0,006$) (figure 4.33).

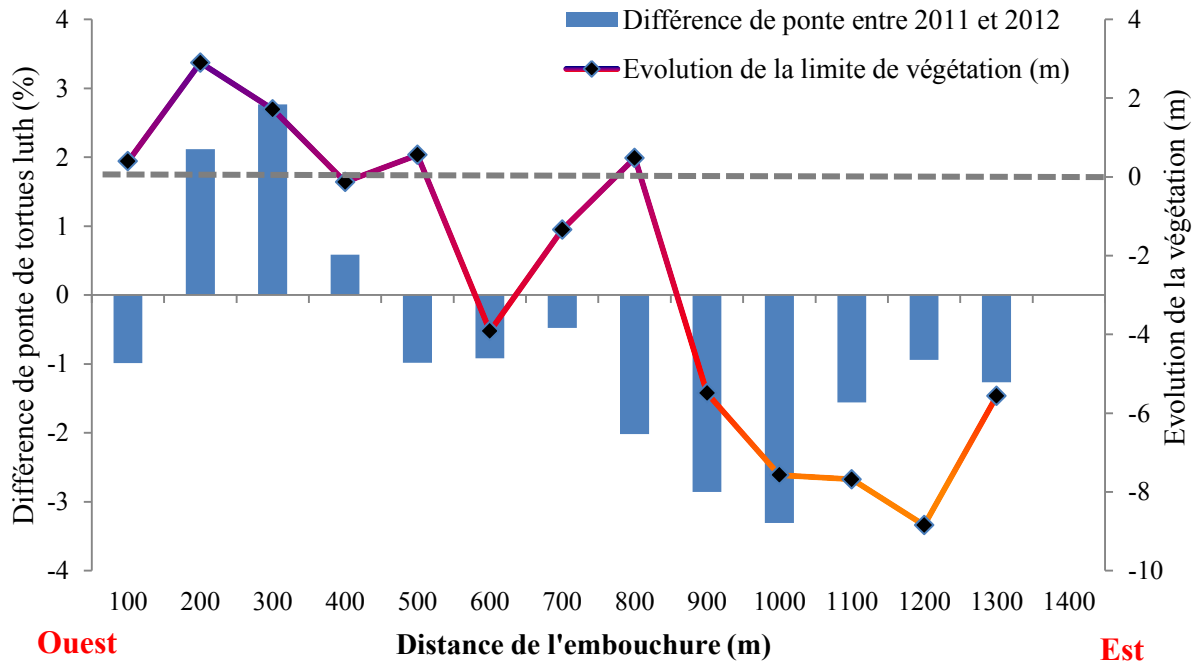


Figure 4.32: Différence de fréquentation (%) des tortues luth entre 2011 et 2012 confrontée à l'évolution de haut de plage représentée par la limite de végétation

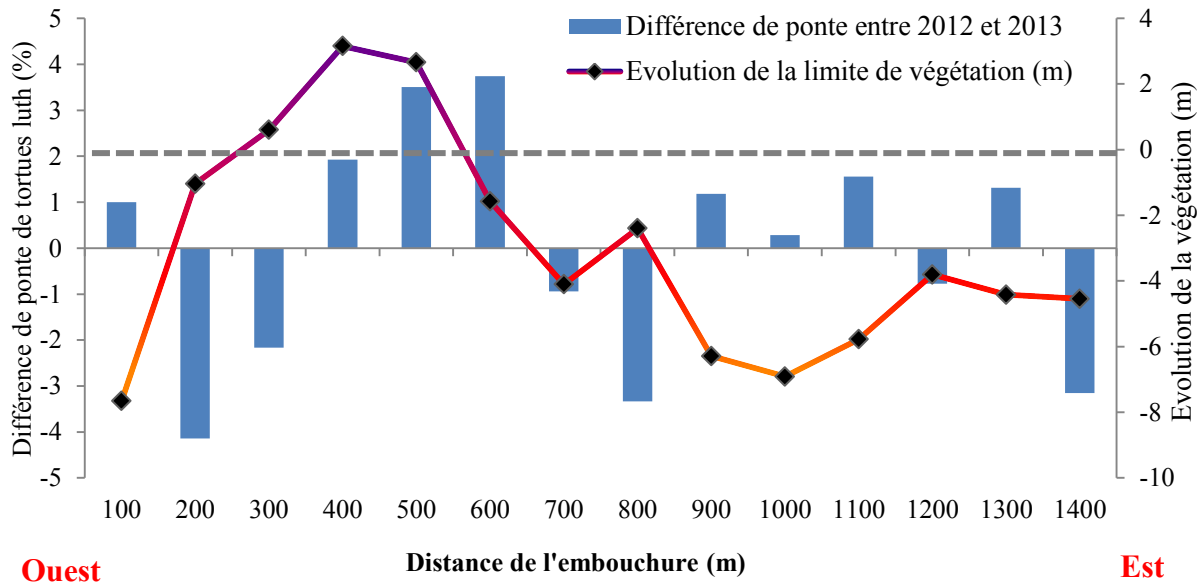


Figure 4.33: Différence de fréquentation (%) des tortues luth entre 2012 et 2013 confrontée à l'évolution de haut de plage représentée par la limite de végétation

2.4.4.2. Cas des tortues vertes

La distribution des tortues vertes (figure 4.34), montre un lien étroit avec la dynamique sédimentaire du haut de plage ($p < 0,05$, $r^2 = 0,536$). On observe une augmentation des pontes (jusqu'à 3 %) sur des zones de haut de plage stable ou en accrétion (200 à 500 m de l'embouchure). En revanche, on observe une diminution de pontes des tortues vertes sur les secteurs où le haut de plage est

en forte érosion (recul de plus de 5 m), notamment sur les secteurs situés entre 900 et 1400 m de l'embouchure.

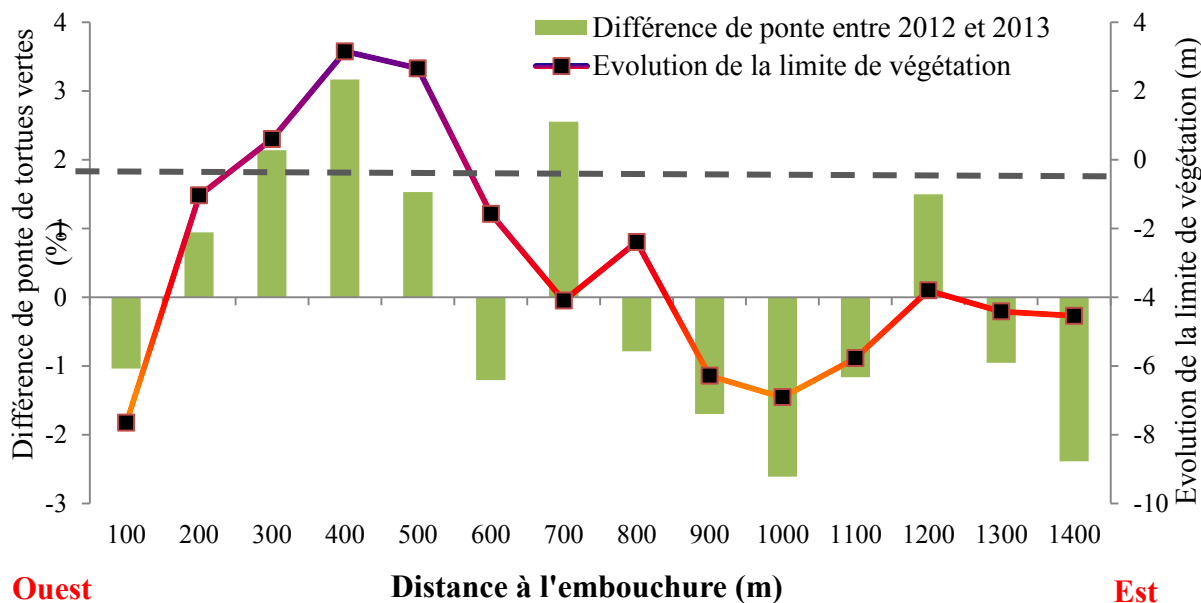


Figure 4.34: Différence de fréquentation (%) des tortues vertes entre 2012 et 2013 confrontée à l'évolution de haut de plage représentée par la limite de végétation

L'évolution de la limite de végétation semble être un bon indicateur de la dynamique de ponte. En effet, l'érosion de la plage entraîne une diminution de la fréquentation des tortues, à l'inverse les phases d'accrétion notamment à l'Ouest de la plage.

2.4.5. Impact de la dynamique de plage sur les nids

Dans cette partie, nous évaluons à partir de mesures topographiques les zones de plage susceptibles d'être non-viable pour la survie des œufs déposés par les tortues nidifiantes.

2.4.5.1. Cas des tortues luth

Des nids sont localisés sur des secteurs hautement dynamiques pouvant mettre en péril leur viabilité. Si l'on compare la dynamique sédimentaire de la plage entre les périodes de mars à juin 2011 et de juin à août 2011, on observe une similarité de préférences des lieux de ponte sur les différentes zones (Test de Mann-Whitney, $p > 0,05$). L'érosion entre juin et août 2011, illustrée sur la figure 4.35B a conduit à une perte potentielle des nids (nids déposés sur secteur avec une érosion > 50 cm).

Au début de la saison 2011, la plage présente une accrétion sur la partie végétalisée à l'Est puis dans la partie centrale. Sur les zones du banc de sable, le haut de plage est très peu marqué par l'érosion et présente une légère stabilité. En fin de saison, sur la zone 1 (entre D à H) le bas de plage est en sévère érosion, mais la majorité des pontes ayant lieu sur des portions stables, le nombre de nids détruits est ainsi réduit.

A l'Est de la zone 1 (section D à H), l'érosion marquée a accentué les hauteurs des microfalaises d'érosion sur le haut de plage, limitant l'accès à la zone supralittorale, contraignant ainsi les tortues luth à pondre au niveau du bas de talus. Le nombre de nids estimés perdu dans le secteur oriental de la plage est donc en hausse, en comparaison au secteur occidental. En 2012, les deux premiers mois de la saison de ponte (mars à mai), l'estran a été soumis à une érosion sévère (> 50 cm) accentuant la perte des nids sur le haut estran (11,2 %). Le haut de plage végétalisé est plus ou moins stable avec toutefois quelques zones en légère érosion (< 50 cm).

2.4.5.2. Les tortues vertes

Chez les tortues vertes, les nids concernés par d'importantes variations altitudinales sont localisés dans la végétation supralittorale au plus proche de la limite du trait de côte (crête de haut de plage) et au pied du bas de talus. Les nids déposés dans la végétation, bien que peu soumis aux échanges sédimentaires vers le bas de plage peuvent être soumis à l'érosion (11,5 % de mars à mai 2012, et 12,3 % de mai à juillet 2012).

Au cours de la seconde moitié de la saison de ponte (mai à juillet 2012), la plage est en accrétion et on observe une diminution des nids localisés dans des zones à érosion (> 50 cm).

Le début de la saison 2013 montre également une préférence de ponte de cette espèce sur des zones stables, voire en accrétion. A cette période, la plage de ponte présente un budget sédimentaire positif avec cependant quelques zones en érosion à l'Est de la plage (figure 4.35E). En fin de saison de ponte 2012 et au début 2013, la plage n'a été que peu érodée contribuant ainsi certainement à la stabilité des nids.

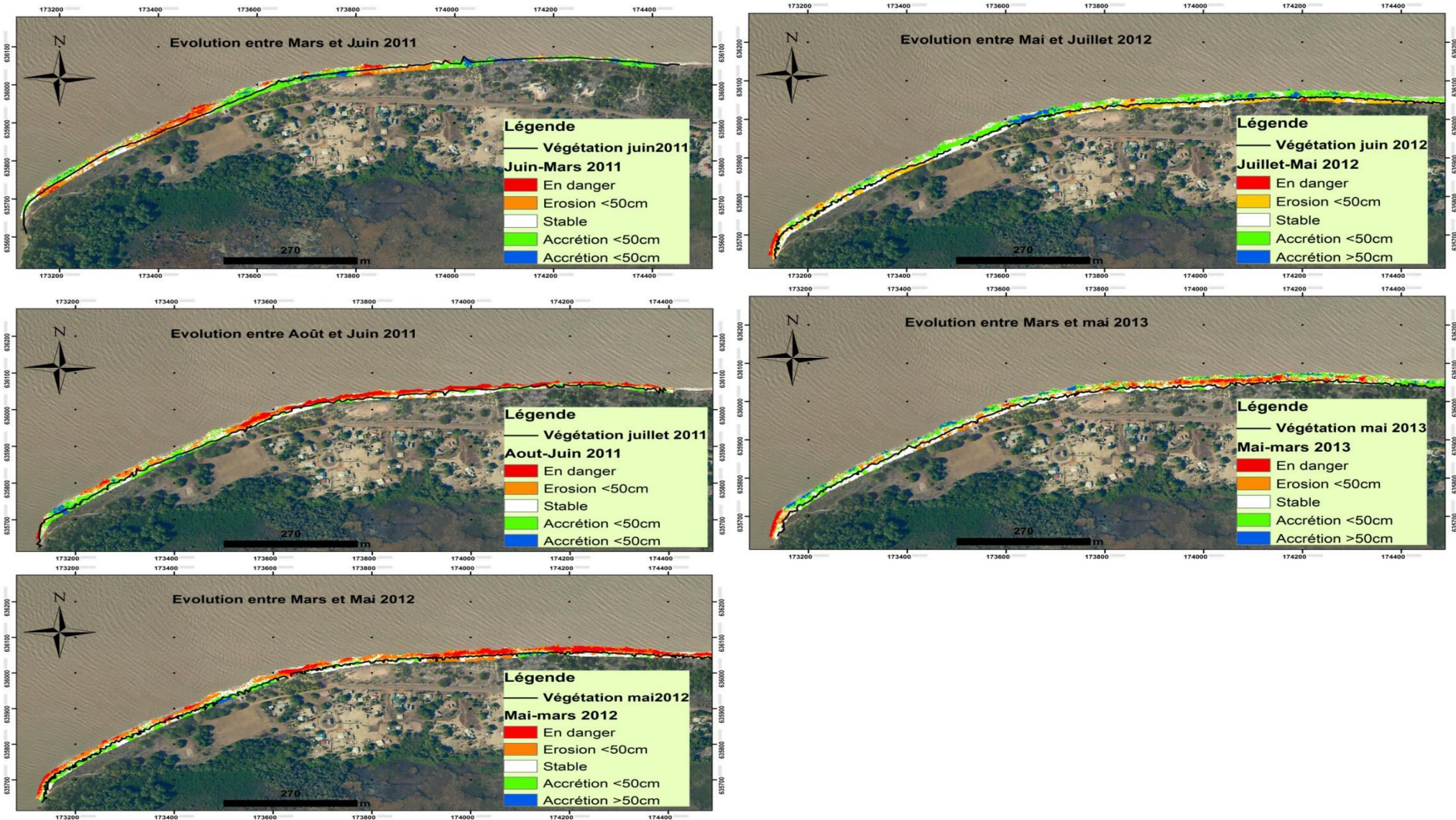


Figure 4.35: Classification des zones de pontes à partir des modèles numériques de terrain différentiel entre mars 2011 et mai 2013 : Zone en danger (érosion supérieure à 50cm), Erosion <50cm, zone stable et zone en accrétion.

2.5. Les demi-tours

Sur l'ensemble de la plage de Yalimapo, les tortues nidifiantes ne pondent pas systématiquement après l'atterrissage et peuvent regagner la mer avant de revenir pondre quelques minutes à quelques heures plus tard. On observe ainsi près de $7,1 \pm 3,2$ % de demi-tours chez les tortues luth contre plus d'un tiers chez les tortues vertes ($34 \pm 2,1$ %) avant l'oviposition.

2.5.1. Cas des tortues luth

Sur la plage d'Awala-Yalimapo, les nuits de pleine lune favorisent l'augmentation des demi-tours ($10,25 \pm 4,15$ %) contre ~ 6 % pour les autres phases lunaires. Sur la zone 1 de la plage, les taux de demi-tours varient entre 3 et 16 % suivant les secteurs. On observe de grandes variabilités interannuelles sur certains secteurs (jusqu'à 16 %) alors que d'autres ne varient quasiment pas ($SD < 1$ %) (figure 4.36).

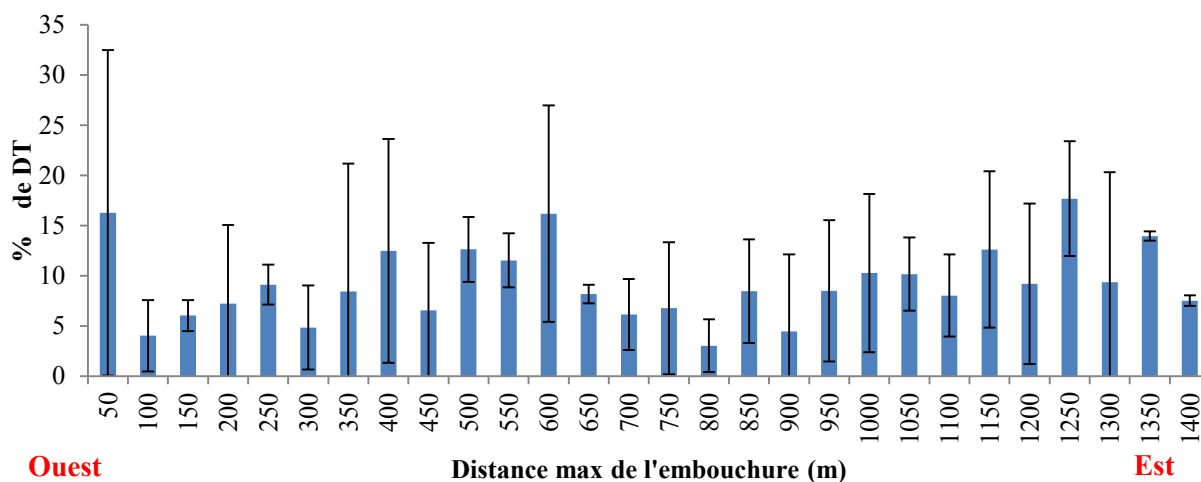


Figure 4.36: Répartition moyenne des demi-tours de tortues luth sur la zone 1 entre 2011 et 2013.

2.5.2. Cas des tortues vertes

Chez les tortues vertes, les demi-tours sont les plus nombreux avec la nouvelle lune ($36,25 \pm 6$ %) contre ~ 32 % pour les autres phases lunaires. Les demi-tours ne se distribuent pas de façon homogène sur la plage et varient entre 12 et 44 % suivant les secteurs sur la zone 1. Les taux de demi-tours les plus importants (35 à 44 %) sont localisés majoritairement à l'embouchure du Maroni (figure 4.37).

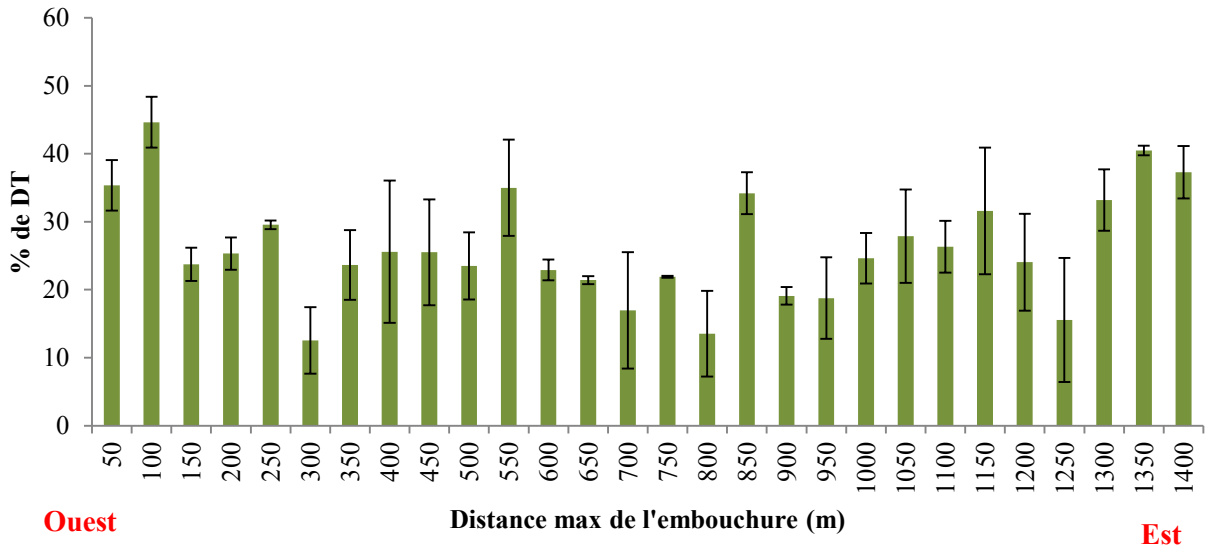


Figure 4.37: Répartition moyenne des demi-tours de tortues vertes sur la zone 1 entre 2012 et 2013

3. Trajectoire en mer

Dans cette partie, il s'agit d'évaluer le comportement des tortues en mer à leur départ et à leur arrivée sur la plage des Hattes, en fonction de la bathymétrie de l'avant-plage et des conditions hydrodynamiques.

3.1. Cas des tortues luth

Les suivis GPS des tortues luth n'ont donné lieu qu'à peu de résultats exploitables, concernant la trajectoire empruntée sur le banc de sable (figure 4.38A/B). Lors du passage de la TL n°1 sur le banc de sable, la marée commence à descendre et les hauteurs d'eau au-dessus du banc sont de l'ordre de 1,80m (figure 4.38C). La seconde tortue a été équipée d'un GPS dans la nuit du 06 au 07 juin puis est revenue pondre dans la nuit du 16 au 17 juin. Il semblerait que depuis le 15 juin, celle-ci se trouvait à moins de 5 km de la plage des Hattes. Les paramètres ayant influencé sa décision d'accoster sur la plage pour pondre, ne semblent pas se préciser puisque les conditions hydrodynamiques liées à la marée, étaient sensiblement les mêmes au cours des jours précédents la seconde ponte (marées de faible coefficient). La quatrième tortue luth équipée a fait un demi-tour après avoir atterri sur la plage le 15 juin puis est repartie au large. La nuit suivante, cette tortue est revenue pondre mais sa trajectoire entre le large et la plage n'est pas renseignée. Concernant la tortue n°5, seule la position sur la plage de ponte a pu être extraite à partir des données GPS sans renseignement sur le comportement de l'animal en mer.

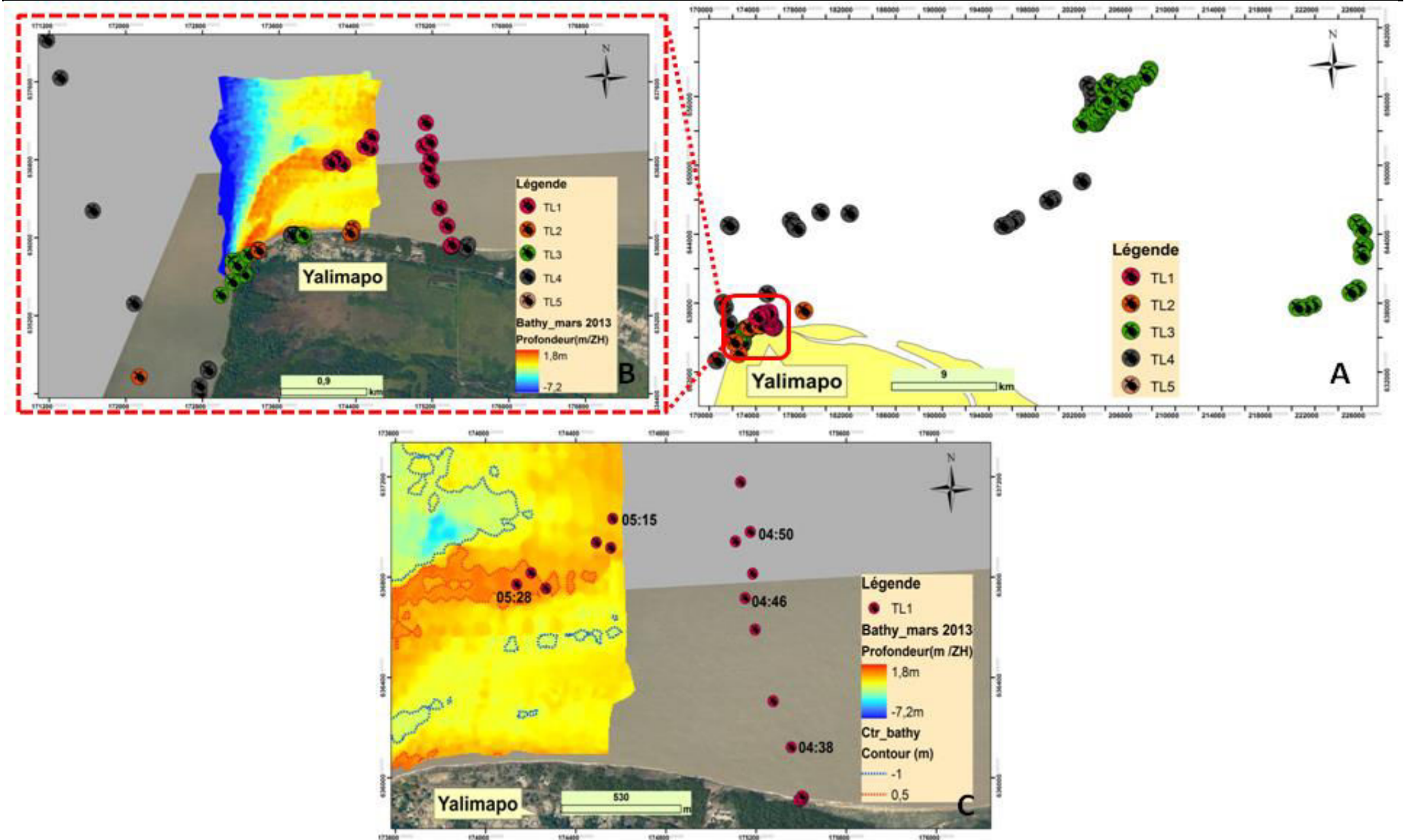


Figure 4.38: Trajectoires de cinq tortues luth équipées de GPS à leur départ (TL) et leur retour (TL2, TL4) de la plage des Hattes (Orthophoto 2012, IGN©).

3.2. Cas des tortues vertes

La tortue 1 a franchi le banc de sable à au moins deux reprises après son retour à l'eau. Le premier passage se déroule entre 04h30 et 05h05 puis le second entre 05h10 et 05h58 (figure 4.39B). Les hauteurs de marée lors de ces créneaux horaires sont supérieures à 3,70 m ; ce qui rend accessible la circulation des tortues au-dessus de la zone du banc de sable. La tortue 2 prend une trajectoire Est et semble longer l'extension orientale du banc de sable (figure 4.39C). Ce type de trajectoire avait déjà été observé, lors du déploiement de bouées équipées de ces mêmes GPS, sous le principe d'une dérive lagrangienne (Chapitre 3). La date d'arrivée de cette tortue (13/03) correspond à une période de vives eaux et à des conditions similaires lors du déploiement de la bouée. Lors du retour en mer de cet individu, la marée finissait de descendre ($h= 1,3$ m, par rapport au zéro hydrographique). La troisième tortue est restée à moins de 250 m de l'emplacement du nid pendant 1h15 après son retour à l'eau, témoignant de la difficulté de franchir le banc de sable pour regagner le large. La tortue verte équipée du GPS n°4 s'est dirigée au niveau du banc de sable. Entre 05h20 et 05h46, la hauteur d'eau est supérieure à 3,9 m; ce qui permet un passage aisé des tortues vertes sur le banc de sable (figure 4.40A).

La trajectoire de la cinquième tortue (GPS n°5) est déviée lors de son retour vers la plage de ponte. En effet, après s'être rapprochée de la plage, celle-ci a changé sa trajectoire à 2h53 en s'orientant vers l'intérieur du Maroni avec le renforcement du flot. Ce n'est qu'à 04h40 que la tortue s'est réorientée vers la plage, c'est à dire dans le même laps de temps correspondant au changement de direction du courant.

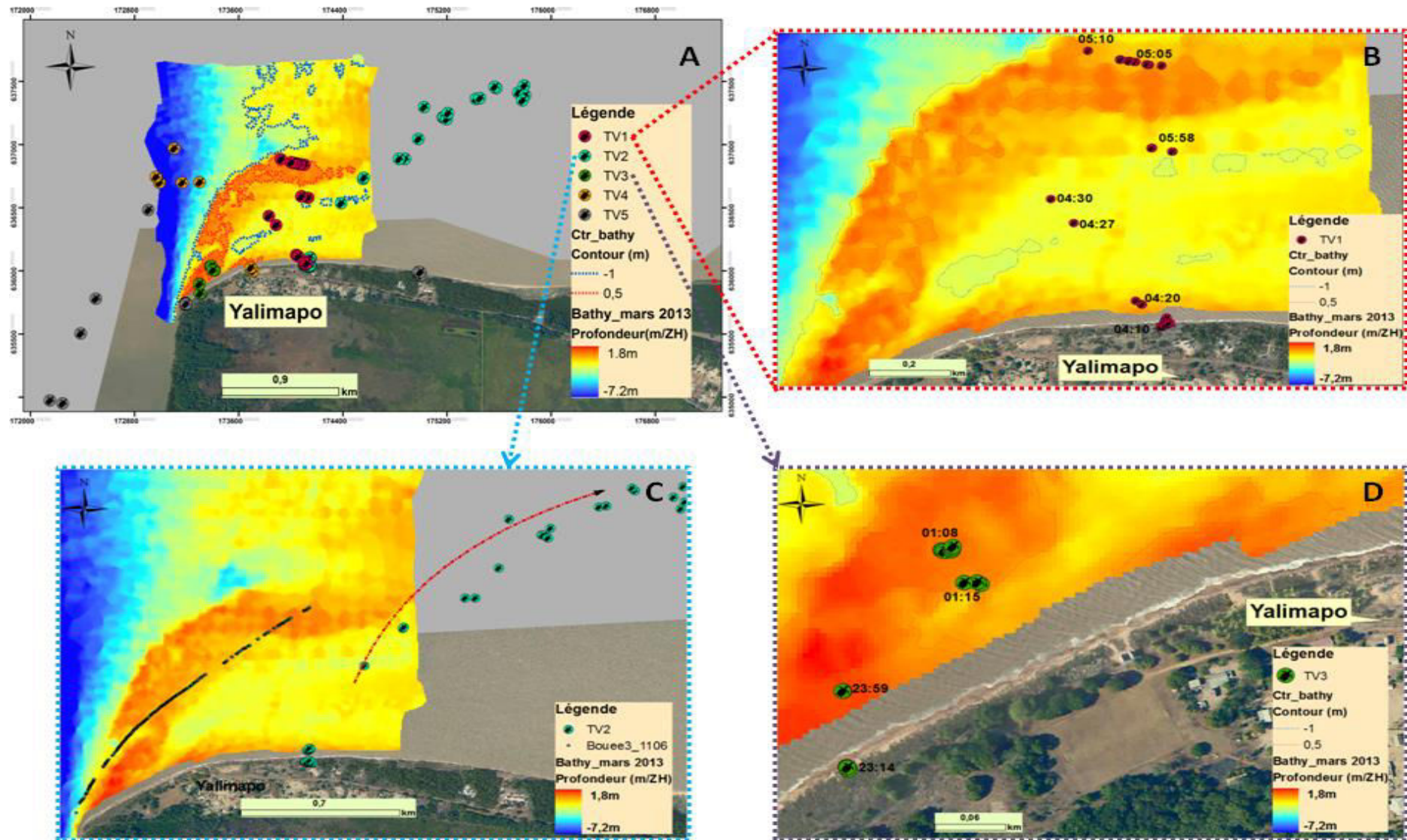


Figure 4.39: Trajectoires des cinq tortues vertes à leur départ et retour (TV1 et TV5) de la plage de ponté des Hattes (Orthophoto 2012, IGN©).

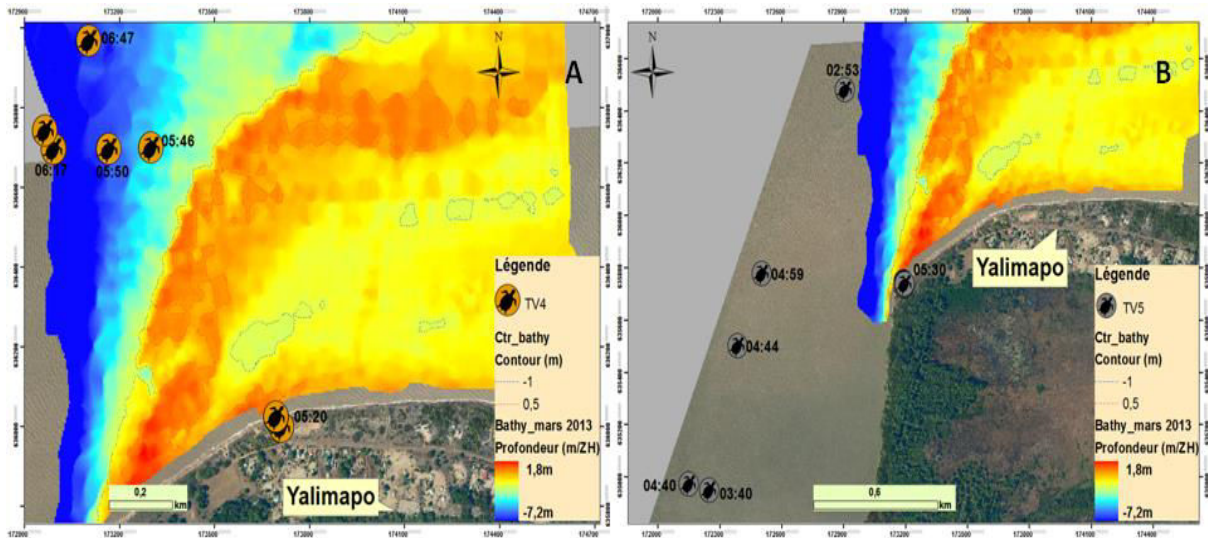


Figure 4.40: Trajectoires de tortues vertes équipées de GPS à leur départ (TV 4 (A) et retour (TV 5 (B)) de la plage des Hattes (Orthophoto 2012, IGN©).

PARTIE 3. SYNTHÈSE

Ce chapitre a mis en évidence le rôle des différents paramètres environnementaux utilisés par les tortues marines lors de leur venue sur la plage des Hattes. Leur arrivée sur cette plage est ainsi conditionnée par la hauteur du plan d'eau, qui va moduler d'une part la morphologie de la plage (modification de la bathymétrie mais aussi la largeur de l'estran), ce qui facilite ou restreint d'autre part la mobilité des tortues marines lors de leur venue ou leur départ de la plage de ponte. Nous avons également souligné l'importance des courants côtiers qui vont conditionner les zones d'atterrissage des animaux. Une fois atterri les tortues marines vont prendre la décision ou non de pondre sur leur plage d'accueil. Outre les gênes occasionnées par les prédateurs ou les actions anthropiques, la dynamique morphosédimentaire de la plage semble ainsi présenter un rôle majeur dans la décision de ponte. Ainsi, des sites en sévère recul ou en phase d'envasement sont moins fréquentés que des portions de plage avec une dynamique sédimentaire moins contraignante. Nous avons pu observer des spécificités inter-espèces, avec une préférence de ponte pour les tortues luth sur le haut estran sableux tandis que les tortues vertes pondent majoritairement dans le domaine supralittoral végétalisé. La forte dynamique sédimentaire de la plage des Hattes contraint les tortues marines à adapter leur stratégie de reproduction en pondant sur des sites non privilégiés (estran sableux pour les tortues vertes). Nos recherches ont permis de renforcer les connaissances sur la réponse comportementale des tortues luth et vertes face aux changements morphologiques de leur site de ponte.

Le tableau suivant récapitule l'influence des déterminants environnementaux sur la ponte des tortues luth et vertes :

	Avant leur sortie de l'eau	Sur la plage de ponte
Hauteur d'eau	Détermine les lieux d'atterrissages	Modifie la distance à parcourir sur la plage de ponte
Bathymétrie	Détermine les zones d'atterrissages	
Courant côtier	Détermine les zones d'atterrissages	
Morphologie de la plage		Détermine les lieux de pontes
Dynamique morphosédimentaire		Détermine les lieux de pontes Détermine la viabilité des nids

Chapitre 5.

Discussion

Partie 1. Nature et dynamique des sites de ponte

Partie 2. Influence des tortues sur leur plage de ponte

Partie 3. Les pontes sur la plage d'Awala-Yalimapo

Partie 4. Vulnérabilité des nids et enjeux de la conservation

Partie 5. Perspectives



L'alternance de substrat (sable et vase) sur le littoral guyanais induit un changement de la disponibilité et/ou de la qualité de l'habitat de ponte pour les espèces nidifiantes. Cette étude a permis d'une part d'améliorer les connaissances sur les processus sédimentaires associés aux répercussions géomorphologiques du passage des bancs de vase sur les littoraux sableux, utilisés comme site de ponte par les tortues marines et d'appréhender le comportement spatial de ces dernières lors de la nidification. L'étude des liens entre la dynamique littorale et la distribution et l'abondance des tortues marines, devrait permettre d'apporter des éléments clés pour une meilleure gestion de ces espèces vulnérables et de leur habitat. Nos travaux ont montré les capacités d'adaptation des tortues marines à leur environnement afin de limiter leur consommation énergétique, mais également pour sélectionner des sites de nidification optimaux.

Dans ce chapitre, nous discuterons tout d'abord de l'attractivité des sites de ponte guyanais en fonction de leur réponse au passage des bancs. Nous aborderons dans un deuxième temps l'influence des pontes de tortues marines sur la plage de ponte. Nous discuterons par la suite du cycle de vie terrestre des tortues marines et des déterminants environnementaux jouant un rôle dans la distribution des individus sur leur site de ponte. Une quatrième partie traitera de la vulnérabilité des nids et des enjeux de la conservation de ces espèces sur le littoral guyanais. Enfin, une dernière partie ciblera les perspectives de recherche à approfondir pour améliorer les connaissances sur 1) le succès reproducteur des tortues marines sur les sites de ponte guyanais et 2) sur l'influence des paramètres environnementaux sur le comportement des tortues marines sur différents sites de ponte (étude comparative simultanée).

PARTIE 1. NATURE ET DYNAMIQUE DES SITES DE PONTE

L'une des premières caractéristiques prise en compte lors de la sélection du site de ponte est la nature et à la qualité du substrat sur lequel vont atterrir les tortues lors de leurs premières venues (Mortimer, 1995). Les tortues marines, utilisatrices des environnements côtiers, sont des espèces extrêmement vulnérables aux modifications de leur aire de ponte. La qualité du substrat rentre donc en compte dans le choix du site de ponte chez ces animaux marins. Sur le littoral guyanais, nous avons vu que les tortues vertes et luth désertaient des sites de ponte, auparavant favorables, lorsque ceux-ci devenaient inappropriés.

Malgré la forte dynamique morphosédimentaire des plages guyanaises, celles-ci accueillent chaque année quelques milliers de ponte de tortues marines. La migration des bancs de vase implique une variabilité des environnements côtiers en fonction des phases de bancs et d'inter bancs, conduisant à la formation d'environnements hétérogènes, où substrat sableux et vaseux se succèdent. Le substrat de l'habitat de ponte est donc modulé par la position des bancs, provoquant un changement de la disponibilité et/ou de la qualité de l'habitat de ponte pour les espèces nidifiantes. La mixité des sédiments rencontrée résulte en des interactions complexes entre les milieux sableux et vaseux. Ces

interactions sablo-vaseuses modifient l'attractivité des plages. Les plages de Guyane peuvent donc se subdiviser en quatre groupes de plages, classés selon leur attractivité pour les tortues marines (du moins attractif au plus attractif): la plage de Kourou, les cheniers éphémères, les plages de l'île de Cayenne et, la plage d'Awala-Yalimapo.

1. Le littoral de Kourou

Les phases d'envasement et d'interbancs se succèdent sur la côte ouverte du littoral de Kourou en fonction de la migration des bancs de vase. Les diverses études réalisées à partir d'imageries satellitaires sur ce littoral depuis plus d'une dizaine d'années, nous donnent une vision globale de la cinétique de migration des bancs mais aussi des problématiques d'envasement, et des fluctuations du trait de côte. Cette vision sur une trentaine d'années permet d'avoir le recul nécessaire pour évaluer les répercussions géomorphologiques du passage d'un banc sur les habitats côtiers.

A la fin des années 90, une contre-dérive apparaît sur les plages de Kourou par combinaison de la réfraction des houles à l'arrière-banc localisé plus au Nord de la ville et de l'avant-banc localisé en amont du fleuve Kourou. La présence de ce banc en approche vient modifier le transport sédimentaire assuré normalement par la dérive littorale en situation d'interbanc et une contre-dérive majoritaire intervient donc. Cette contre-dérive augmente ainsi le stock sédimentaire de la plage sur la rive gauche. En 2003, lorsque le premier banc a totalement migré, la dispersion des sédiments se fait de façon plus homogène le long de la plage (figure 5.1). A l'approche d'un nouveau banc de vase, ces sédiments seront fossilisés avec l'installation d'une vasière intertidale (2003-2010). Dès 2010, l'érosion des vasières commence et les plages se retrouvent peu à peu désenvasées. Le transport sédimentaire semble se faire dans le sens de la dérive littorale comme le souligne les mesures réalisées en 2013, avec notamment le développement d'un prisme sableux dans la direction Nord-Ouest. La plage sableuse de Kourou se reconstruit et devrait redevenir un site d'accueil potentiel pour la ponte des tortues marines.

Le suivi de l'activité de ponte (~1998), ont montré que les plages de Kourou ont été peu attrayantes pour les tortues marines. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que ces dix dernières années, les plages de Kourou étaient envasées, les rendant ainsi moins attractives pour les tortues luth et vertes. L'arrière banc ayant été érodé, les plages de Kourou n'ont plus d'estran vaseux et sont de nouveaux accessibles. Dans ce contexte, il serait intéressant de réaliser un suivi de ces plages et de mener une étude approfondie de l'activité de ponte sur ces plages afin d'étudier les facteurs influençant leur « réoccupation » par les tortues marines.

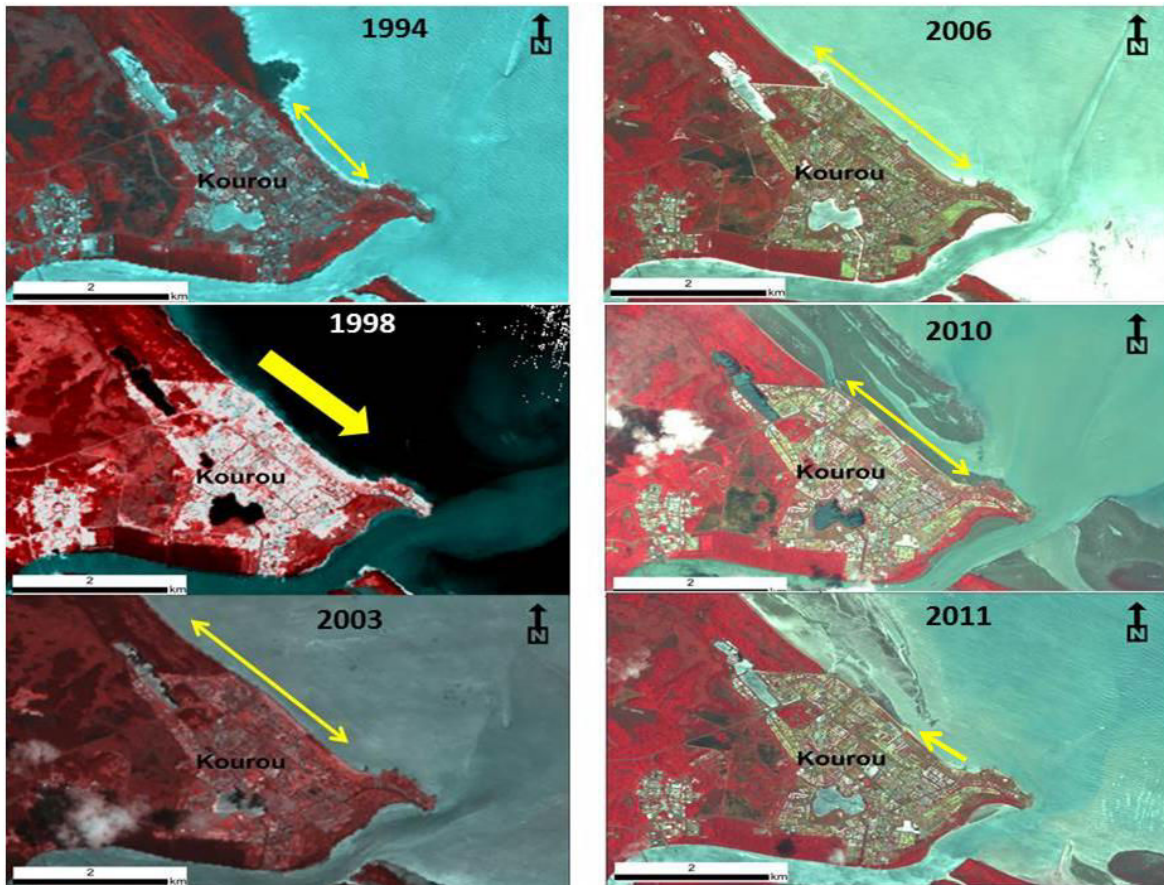


Figure 5.1: Images satellites (© SPOT, image) du littoral de Kourou de 1994 à 2011 et distribution du sédiment (flèche jaune)

2. Les plages éphémères où la formation de sites de ponte potentiels

Dans les espaces interbancs, les apports de sédiments, peuvent créer des secteurs sableux qui peuvent constituer de nouveaux sites de ponte potentiels pour les tortues marines. Les tortues marines se sont adaptées aux fluctuations des conditions environnementales du littoral guyanais: la disparition d'un site de ponte de style chenier, entraîne probablement une redirection des femelles gravides vers d'autres plages éphémères nouvellement créées ou vers des plages de ponte plus anciennes et plus stables.

Au cours de ces deux dernières décennies, le secteur situé au-devant du chenier de la Malmanoury s'est ensasé, et une mangrove est développée, sur une large surface. Ce n'est que depuis 2010, que le chenier s'est réactivé, après érosion de la mangrove. Sur le levé topographique réalisé en 2011, on observe un prisme sableux à l'Est de la plage. Une telle situation suggère une accumulation sableuse par un courant de contre-dérive, créé par réfraction des houles à l'avant banc, comme observé sur les plages de Cayenne (Anthony et Dolique, 2004).

Le remaniement de la côte, alternant phase d'érosion et de progradation, va créer un renouvellement continu des plages le long du littoral, et donc de sites de ponte potentiels pour les tortues marines.

Les cheniers permettent donc un renouvellement des littoraux sableux le long du littoral guyanais. Ces nouveaux littoraux sableux sont donc disponibles pour les tortues marines, ce qui explique l'activité de ponte recensée chaque année. La durée de vie des cheniers peut être très réduite en fonction de la position des bancs de vase mais peut toutefois satisfaire une à deux saisons de ponte. Dans l'Ouest guyanais, les apports sableux étant favorables, des cheniers peuvent se créer sur différents secteurs, ce qui permet un étalement spatial des pontes sur différents sites. On note toutefois que les tortues vertes montrent une préférence pour pondre sur les cheniers.

L'accessibilité des cheniers est souvent difficile (site d'Aztèque, Farez, Irakompapi, Malmanoury), limitant le suivi exhaustif de l'activité de ponte sur ces sites. Effectuer des missions de suivis sur de tels sites isolés, nécessite la mise en place d'importants moyens humains, financiers et techniques qui ne sont pas toujours compatibles avec la réalité du terrain. La fondation WWF, implantée en Guyane, se mobilise chaque année pour tenter d'évaluer l'activité de ponte sur les cheniers mais, pour les raisons évoquées ci-avant, ne peut intervenir que ponctuellement.

3. Les plages de poche de l'île de Cayenne : haut spot de ponte

Jusqu'à présent, les études géomorphologiques réalisées antérieurement à ces travaux de recherche se sont essentiellement intéressées à la dynamique des plages de poches de Cayenne (Anthony et *al.*, 2002 ; Anthony et Dolique, 2004; Dolique et Anthony, 2005; Anthony et Dolique, 2006 ; Anthony et *al.*, 2008 ; Anthony et *al.*, 2011). Sur ce type de plage, le balancement sédimentaire est rythmé en fonction de la localisation des bancs de vase puisque ceux-ci ont des répercussions sur l'orientation de la houle, et donc de la dérive littorale. Ainsi, lors de phase inter-banc, le transport sédimentaire suit une direction normale de dérive littorale (Sud-Est--> Nord-Ouest) avec une sédimentation favorable sur les secteurs Ouest des plages au détriment des secteurs orientaux (figure 5.2). A l'approche d'un banc de vase, la vase s'accumule à la côte et forme au fur et à mesure des vasières intertidales. La plage se fossilise lors de l'installation d'un banc et les processus sédimentaires semblent être bloqués par la vasière intertidale. En revanche, lorsque l'arrière-banc est à l'Ouest de la plage, une contre-dérive (Nord-Ouest -->Sud-Est) apparaît ce qui, favorise la sédimentation sur les secteurs orientaux. Quand le banc migre, le transport sédimentaire reprend le sens de la dérive au profit des secteurs occidentaux. Ces processus entraînent un basculement du stock sableux sur ces plages, ainsi selon la localisation des bancs, le transport sédimentaire le long de la plage va répondre à la modification de l'incidence des vagues. A l'arrière banc, les conditions hydrodynamiques sont plus énergétiques et le sable fossilisé au niveau de la plage peut de nouveau être réactivé.

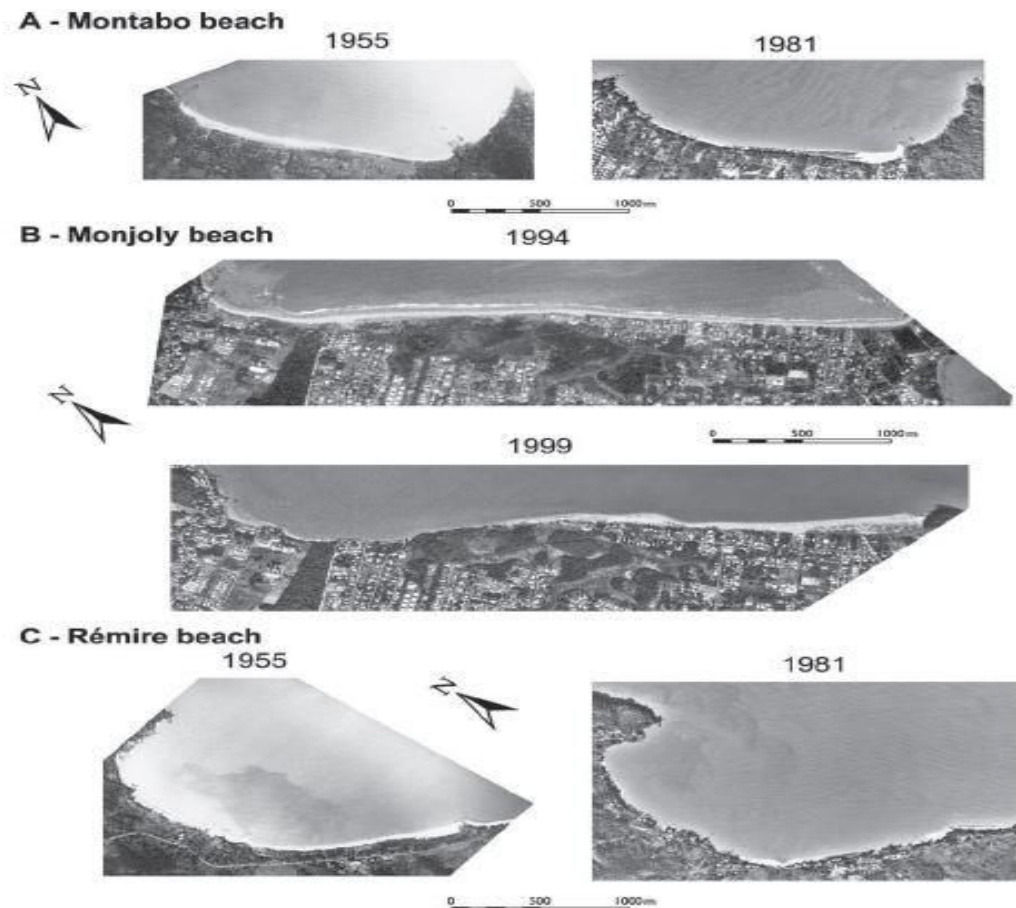


Figure 5.2: Evolution des plages de l'île de Cayenne (de Anthony et Dolique, 2004)

Le suivi des pontes sur les plages de Cayenne est réalisé depuis 2001, période au cours de laquelle une partie des plages (plage Nord-Ouest) était encore totalement envasée. Au début des suivis, on recense très peu de ponte (< 300 pontes), mais au fur et à mesure du départ des vasières intertidales, les plages de Cayenne sont de plus en plus fréquentées, jusqu'à devenir en 2013 le principal site de ponte pour les tortues luth et olivâtres sur l'ensemble du littoral guyanais. Nous n'avons donc pas le recul nécessaire (~13 ans) pour évaluer l'influence de l'envasement massif dans les années 90 sur l'état de la population des tortues luth fréquentant les plages de Cayenne. Il est possible que les tortues fréquentant actuellement les plages de Cayenne aient toujours nidifié sur ces plages avant 2001, mais lors de l'envasement massif, il pourrait y avoir eu abandon des sites au profit d'autres plages plus appropriées. Ainsi, au départ du banc, un regain d'attractivité de ces plages s'est produit, et les tortues luth ont regagnées leur plage de ponte d'origine. Pendant longtemps l'hypothèse d'une fréquentation aléatoire sur les plages de Cayenne et d'Awala-Yalimapo a été envisagée. Les résultats issus des techniques CMR par pose de bague métallique ou d'implantation de transpondeur (PIT) ont montré une fidélité des individus à leur site de ponte et de distinguer deux populations de tortues luth (population de l'Est guyanais et une population fréquentant les plages de l'Ouest). Les travaux de Molfetti et *al.* (2013) sont venus appuyer ces observations en montrant que les deux populations possèdent un patrimoine génétique distinct.

4. La plage d'Awala-Yalimapo: une plage « pérenne » sur un littoral instable

La plage d'Awala-Yalimapo est une plage atypique sur ce littoral guyanais, car celle-ci n'a pas depuis plus d'une soixantaine d'années (analyse diachronique depuis 1950 et dîres des populations) subi d'envasement majeur. De plus, l'activité de ponte des tortues luth fait l'objet de campagnes intensives annuelles depuis 1970, témoignant de l'attractivité de ce site de ponte par les tortues marines. Depuis ces dernières années, la fréquentation de la plage d'Awala-Yalimapo par les tortues luth est en diminution (figure 5.3) passant de 17000 pontes en 2001 à moins de 1000 en 2013, se pose donc la question de la cause de cette diminution. Au contraire, les tortues vertes très peu présente début 2000, viennent de plus en plus pondre sur la plage des Hattes (> 2000 pontes par an).

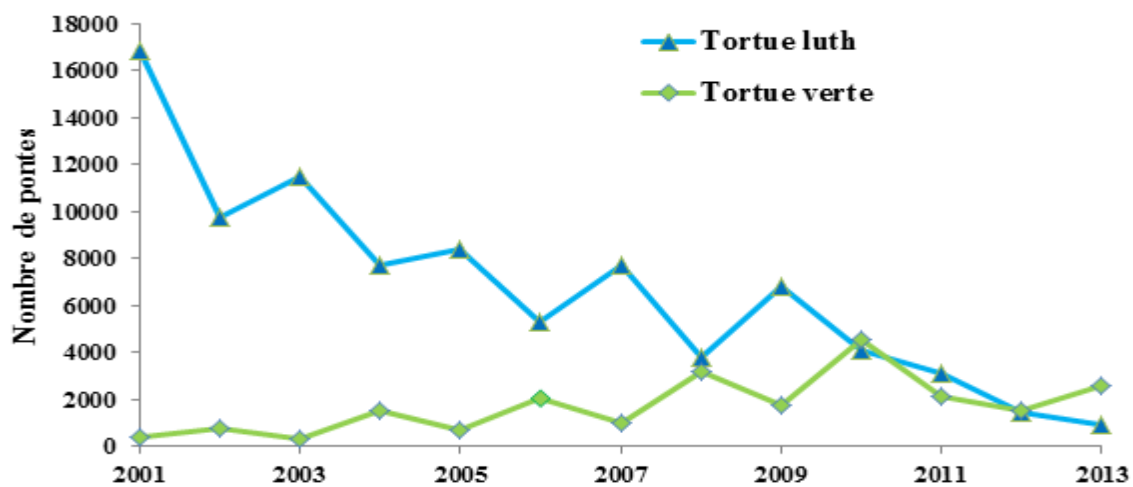


Figure 5.3: Evolution du nombre de ponte de tortues luth depuis 2001 sur la plage d'Awala-Yalimapo

La plage d'Awala-Yalimapo est donc d'une part l'une des rares plages pérennes en Guyane d'un point de vue morphosédimentaire, mais également pour la ponte des tortues marines. La pérennité de ce site pourrait être liée aux conditions hydrodynamiques à l'abord de cette plage. Si la dérive littorale est de direction Est-Ouest, ce qui correspond aussi à la direction du flot, nos travaux ont montré que le jusant était dominant avec une direction Ouest-Est. Pour la partie française, les masses d'eaux rejetées par le Maroni, sont évacuées selon diverses directions, l'une Ouest-Est, longeant la plage de Yalimapo et une autre plus au large en empruntant la direction du chenal du fleuve (direction contrastée lorsque les bouées ont été larguées en direction du centre de l'estuaire). Le jusant renforcé par le débit du Maroni va expulser les sédiments fins des bancs de vase plus au large. Ces sédiments seront par la suite transportés par les courants côtiers et évacués vers les côtes surinamaises (figure 5.4). Il y aurait donc une dislocation des bancs de vase avant leur possible installation sur la plage des Hattes.

Le fonctionnement de la plage estuarienne d'Awala-Yalimapo repose ainsi sur la présence d'un jusant renforcé par le débit du fleuve Maroni et sur un flot renforcé par la dérive littorale. Outre sa capacité à assurer le non envasement de la plage de Yalimapo, le fleuve Maroni contribue également à alimenter en sable le banc de sable situé à l'embouchure du Maroni et accolé à la plage des Hattes. On peut se

poser la part de chacun des intervenants dans l'approvisionnement en sable sur cette plage et notamment la part du Maroni, de la dérive littorale, les apports en amont des cheniers en érosion, les apports par les autres fleuves et rivières locaux.

Nos travaux ont mis en évidence une érosion majoritaire sur l'ensemble de la plage de Yalimapo, avec un recul du trait de côte moyen atteignant au maximum 20 m pour une perte altitudinale d'environ 40 cm entre mars 2011 et mai 2013 sur l'ensemble de la superficie de la zone d'étude (83600 m²) (figure 5.4). L'Est de la plage est la plus mobile et les pertes altitudinales peuvent atteindre plus de 2 m. L'impact écologique de cette érosion est important car il implique une diminution de la capacité d'accueil (qualité du substrat, largeur de la bande sableuse) de ce site pour les tortues marines. Ce processus peut mener à un abandon progressif de cette plage par celles-ci au profit d'autres secteurs sableux plus favorables, ce qui pourrait expliquer la diminution par cette espèce sur la plage des Hattes ces dernières décennies.

En 2013, la partie frontale du banc de vase se situe à moins de 2,5 km de l'embouchure du Maroni. Localisée en fin de parcours du transit sédimentaire de la dérive littorale guyanaise, la plage des Hattes ne semble pas bénéficier directement d'apport sableux. En effet, le banc de vase semble bloquer le transport sédimentaire par la dérive littorale. Le secteur à l'Ouest du banc de vase et jusqu'à l'estuaire du Maroni, est localisé dans une fenêtre inter-banc. Généralement, dans ces secteurs l'érosion est conséquente puisque ces portions de côte ne sont plus protégées, et la houle vient directement éroder le littoral. Depuis 2011, la plage de Yalimapo enregistre un recul du trait de côte de plus de 15 m pour les secteurs les plus à l'Est, à proximité du banc de vase (figure 5.5). En revanche, les portions de plage à proximité de la racine du banc de sable bénéficient d'une meilleure protection contre l'érosion. Dans ces secteurs, le recul est peu marqué (profil 2) une tendance à l'accrétion y est même observée. Ces secteurs sont donc protégés, et la houle est amortie par l'extension offshore du banc de sable qui s'étend jusqu'à 1,5 km au large.



Figure 5.5: Plage d'Awala-Yalimapo au niveau du secteur de Simili: Juillet 2013, Décembre 2013, et Février 2014, mettant en évidence l'érosion progressive.

La forte érosion observée sur la plage de Yalimapo ces dernières années est accentuée par sa situation d'inter-banc. Bien que protégée par l'extension du banc de sable accolée à la plage des Hattes, n'est pas en mesure d'apporter une protection suffisante à l'intégralité de la plage.

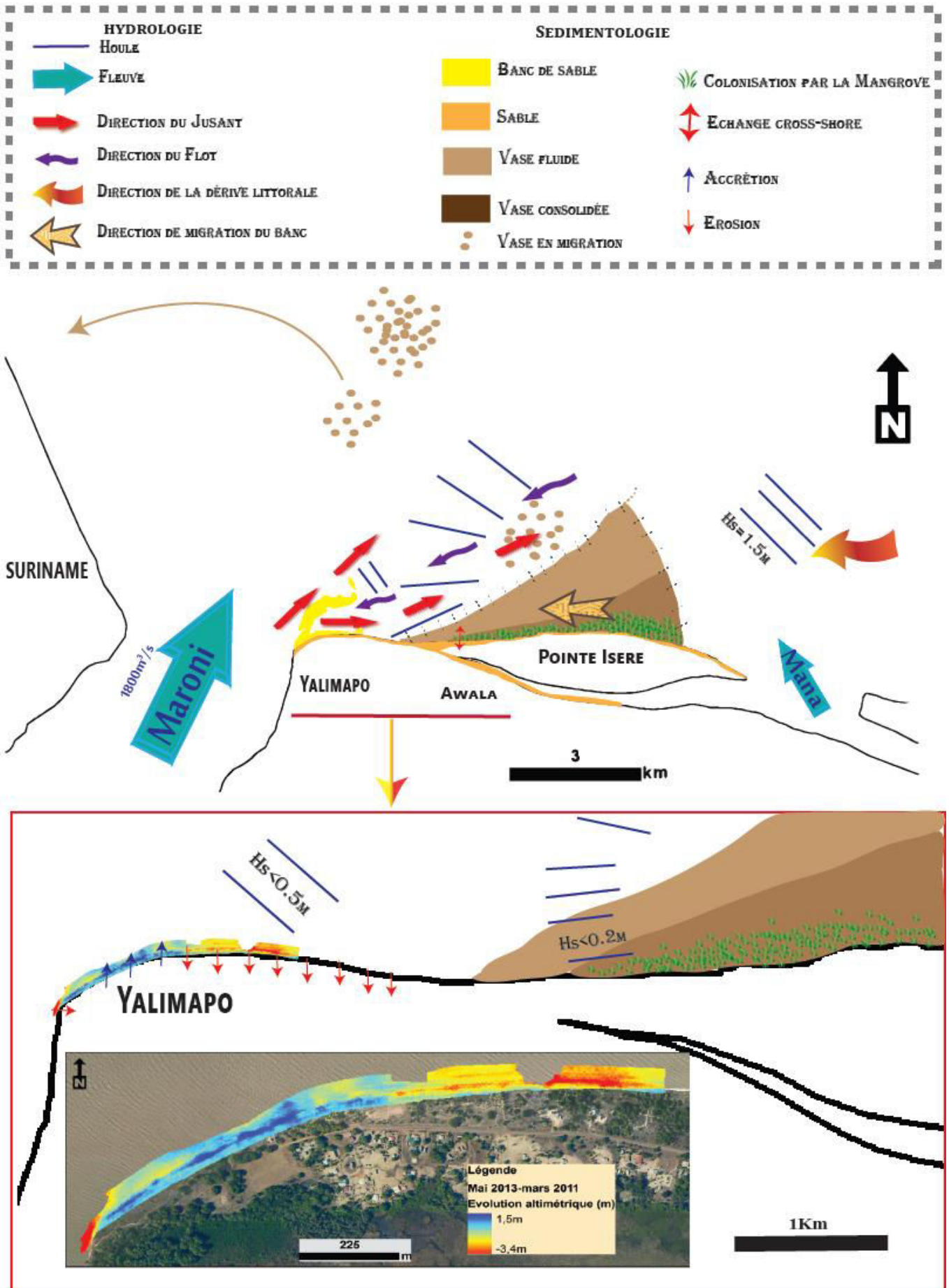


Figure 5.4: Schéma de synthèse du fonctionnement hydrosédimentaire de la plage d'Awala-Yalimapo

Le banc de sable assure le rôle d'une barrière naturelle amortissant les houles au large, en protégeant les secteurs occidentaux de la plage. La partie orientale de la plage, à proximité du banc de vase n'est, quant à elle, pas protégée par l'extension du banc de sable au large.

Jusqu'à la dernière décennie, la plage d'Awala-Yalimapo était soumise à l'influence combinée des fleuves Maroni et Mana. L'accolement de la flèche sableuse, localisée à l'extrémité de la Pointe Isère à la plage de Yalimapo a « raccroché » également la pointe au continent depuis 2008. Les premières années, l'absence d'influence directe de la Mana ne se fait ressentir que faiblement sur la plage de Yalimapo.

Sur cette plage estuarienne, on observe une répartition plus ou moins homogène des sables. Nous n'avons pas observé de basculement du sable d'un secteur à l'autre comme vu sur les autres secteurs sableux guyanais avec un transport majoritaire de dérive littorale ou de contre-dérive. Sur la plage de Yalimapo, l'érosion observée à l'Est de la plage suggère l'absence de processus de transport sédimentaire de contre-dérive en revanche l'accumulation sableuse sur l'estran accolé au banc de sable montre une contribution de la dérive littorale.

Nos relevés ont montré une accumulation au niveau sur le banc de sable avec des apports de près de 1,35 millions de m³ de sable en moins de 2 ans (entre août 2011 et mars 2013). La domination du jusant et l'accumulation sédimentaire sur ces zones résulteraient en la formation d'une flèche sableuse orientée vers l'Est.

La plage de Yalimapo, présente divers faciès dont une plage de type réfléchive à l'Ouest sur la zone du banc de sable avec une pente douce tandis que le haut de plage à l'Est de la plage correspond à une plage dissipative plus pentue. Ces morphologies entraînent une répartition spatiale différente des nids de tortues marines sur le profil de plage selon qu'on se situe à l'Ouest ou à l'Est de la plage. En effet, la morphologie d'érosion avec la formation d'escarpement de hauteur métrique entraîne un accroissement des pontes des tortues vertes et luth sur l'estran du bas de talus au déficit des secteurs végétalisés. Au contraire, sur les plages à pente douce et sans grande modification altimétrique du haut de plage, on recense un plus grand nombre de ponte dans la végétation.

La plage de Yalimapo présente une évolution morphosédimentaire avec des alternances d'apports et de pertes sédimentaires à différentes échelles temporelles. A échelle journalière, le stock sédimentaire de la plage est modulée par les fluctuations tidales et de houle qui sont le moteur de la dynamique morphosédimentaire. L'érosion naturelle de la plage est accentuée par la dynamique particulière rencontrée sur les plages des côtes de Guyane. La présence d'un banc de vase à moins de 2 km de la plage des Hattes semble accentuer son érosion. La localisation des sections de plage fortement érodées coïncide à l'emplacement d'une fenêtre d'érosion au centre de la plage dont les deux extrémités de plage sont localisées dans des zones à faibles énergies (figure 5.6).

A l'Ouest, le secteur est protégé par le banc de sable alors qu'à l'Est c'est la présence du banc de vase qui permet une conservation de l'estran sableux, en effet, les houles qui arrivent sont très amorties ($h < 30$ cm). En revanche, le secteur central de la plage est donc en proie à une érosion intensive de plusieurs mètres par an. L'extension subtidale du banc de vase modifie la trajectoire des houles, à son contact la houle est réfractée puis diffractée et viennent attaquer cette portion centrale de la plage.

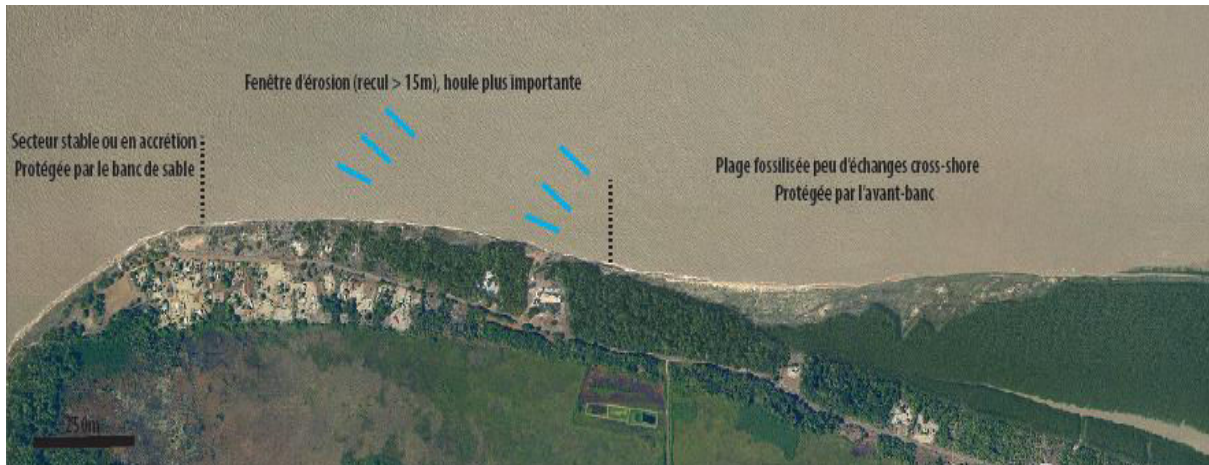


Figure 5.6: Secteurs de plage protégés par le banc de sable, en sévère érosion, et protégée par l'avant-banc

Selon toute vraisemblance, le banc de vase ne devrait pas atteindre la plage des Hattes. En effet, le débit du Maroni, renforcé par le jusant, ne permet pas un dépôt vaseux sur ce secteur. Le Maroni contribue donc à la pérennité de la plage des Hattes.

5. Impacts économiques et écologiques de cette dynamique

La forte instabilité du littoral guyanais, ne touche globalement que peu de côte directement urbanisée, ces fluctuations du trait de côte induisent un impact économique important. En effet, pour pallier à cette forte dynamique sédimentaire, d'importantes campagnes de dragages sont mises en œuvre pour permettre l'accès aux principaux ports économiques (Dégrad des Cannes à Cayenne, et Pariacabo à Kourou) pendant les phases d'envasements. Nos travaux ont permis d'apporter des éléments de réponse quant à la cinétique de migration des bancs pour permettre d'évaluer les périodes plus propices à l'envasement et donc à la mise en place de campagnes de dragages. Ces campagnes de dragages sont essentielles au bon déroulement des arrivées et départs des navires marchands dans les principaux ports de commerces de Guyane.

Dans l'Ouest guyanais, un recul de plusieurs mètres, est accentué par un non-rechargement naturel de ces bandes sableuses. Le transport de sable assuré par la dérive est bloqué à l'arrière-banc, ce sédiment disponible ne peut plus venir compenser les pertes liées à l'érosion de l'Est de la plage de Yalimapo. Lorsque deux bancs de vase se succèdent, entrecoupés d'une courte période inter-banc, et si l'érosion intervenue pendant cette phase inter-banc n'a pas été totale, le stock sableux reste fossilisé.

Ainsi, ce sable disponible à l'arrière de ces mangroves ne pourra plus venir alimenter le réservoir sableux général guyanais, répercutant alors en une érosion conséquente en amont.

Sur les côtes urbanisées, les périodes interbancs sont des périodes d'érosions intensives, pouvant mettre en péril les infrastructures. Sur ce type de littoral, et plus particulièrement sur les plages de Cayenne qui sont des sites de ponte pour les tortues marines, la mise en place d'enrochement protecteur sur le haut de plage (figure 5.7) limite l'accès à ces animaux, entraînant une modification du comportement de ponte chez les tortues marines. En effet, les zones de ponte privilégiées n'étant plus accessibles à cause des obstacles de nature anthropique ou naturelle (infrastructure touristiques, troncs, escarpement de plage), les animaux doivent dévier leur trajectoire lors de leur ascension sur la plage ou pondre sur le bas de plage, ce qui aura un impact sur la distribution des nids. Witherington et *al.* (2011a) ont montré une modification de la distribution spatiale des tortues caouannes en réponse à l'exposition à des barrières artificielles sur la plage. Dans cette étude, les tortues ont pondu préférentiellement au plus proche de l'eau alors que d'ordinaire ces portions de plage ont de faibles densités de nids. Ainsi, le compromis entre l'installation d'enrochements destinés à protéger les habitations et le maintien des conditions d'accueil favorables à la ponte des tortues marines, semble difficile à réaliser dans les secteurs urbanisés.



Figure 5.7: Enrochements disposés sur le haut de plage à Cayenne pour protéger les habitations.

Lors de phase inter-banc, il peut se produire une réactivation d'anciens cheniers ainsi que la création de nouvelles bandes sableuses, par remobilisation et accumulation sédimentaire. Ces nouveaux sites deviennent alors plus propices à l'accueil des tortues marines gravides. Néanmoins, ces secteurs inter-bancs sont attaqués par la houle, et s'éroderont au fur et à mesure, diminuant ainsi leur attractivité pour les tortues marines. Dans ce contexte, les tortues marines semblent s'adapter à la dynamique du littoral et montrent ainsi une grande flexibilité par rapport au renouvellement des espaces sableux.

Dans un contexte de fortes mobilités du trait de côte, et d'érosion intensives des vieilles plages de ponton, les nouveaux espaces sableux deviennent attractifs pour les tortues. Toutefois, ces cheniers sont souvent jonchés de troncs et de branches rendant difficiles l'accès aux sites par les tortues marines. Les tortues vertes, du fait de leur morphologie, peuvent accéder à ces mêmes sites. En effet, cette espèce, plus petite que la luth par sa taille, progresse plus aisément que la luth sur des espaces encombrés, en chevauchant les troncs d'arbres.

Dans les prochaines années, les plages de Cayenne vont s'ensabler progressivement avec l'arrivée d'un nouveau banc de vase, ce qui à terme, limitera l'accès à ces plages. Les travaux de Molfetti et *al.* (2013) interpellent quant à la provenance des tortues luth fréquentant les plages de Cayenne. La population nidifiant sur les plages de Cayenne est une nouvelle population arrivée sur les plages de l'Est depuis le début des années 2000. Pendant la période de fossilisation des plages de Cayenne, il est probable que cette population de tortues luth nidifiait sur un autre site de ponton non identifié à ce jour, situé en Guyane française ou dans un autre pays d'Amérique du Sud.

La plage estuarienne de Yalimapo bien qu'en situation d'inter-banc est fortement impactée par l'érosion ces dernières années reste pour l'instant la seule plage et site de ponton pérenne le long du littoral guyanais.

PARTIE 2. INFLUENCE DES TORTUES SUR LEUR PLAGE DE PONTON

La dynamique morphosédimentaire des plages résulte des forçages hydrodynamiques et des processus de transport sédimentaire. Sur les plages de ponton des tortues marines, la macro-bioturbation sédimentaire est un facteur non négligeable dans la dynamique sédimentaire. Au cours de la saison de ponton, la pression exercée par les tortues marines est importante, compte tenu des milliers de nids réalisés. Cette pression s'exerce principalement au niveau du talus d'érosion en haut de plage, délimitant la végétation supralittorale de l'estran sableux. Ces nids peuvent avoir un impact important sur la morphologie du haut estran et de la végétation, puisque les activités liées à la ponton (en particulier au cours des phases de creusement et de balayage), engendrent des modifications morphologiques et peuvent donc influencer sur l'évolution morphologique naturelle de la plage, ainsi que du stock sableux.

Avant l'arrivée des tortues marines sur leur plage de ponton, le haut de plage présente une morphologie normale de plage dissipative, avec un domaine végétalisé relativement plat, et un talus

d'érosion délimitant l'estran sableux de la végétation. En début de saison de ponte, les tortues sont peu nombreuses et ne laissent que peu de traces de leur passage sur la plage (figure 5.8A/C). L'arrivée massive des tortues au cours des mois de mars à mai, entraîne d'importantes modifications morphologiques dans le haut de plage, se traduisant par une multitude de dépressions correspondant à l'aire de nidification des tortues vertes et luth (figure 5.8 B/C).

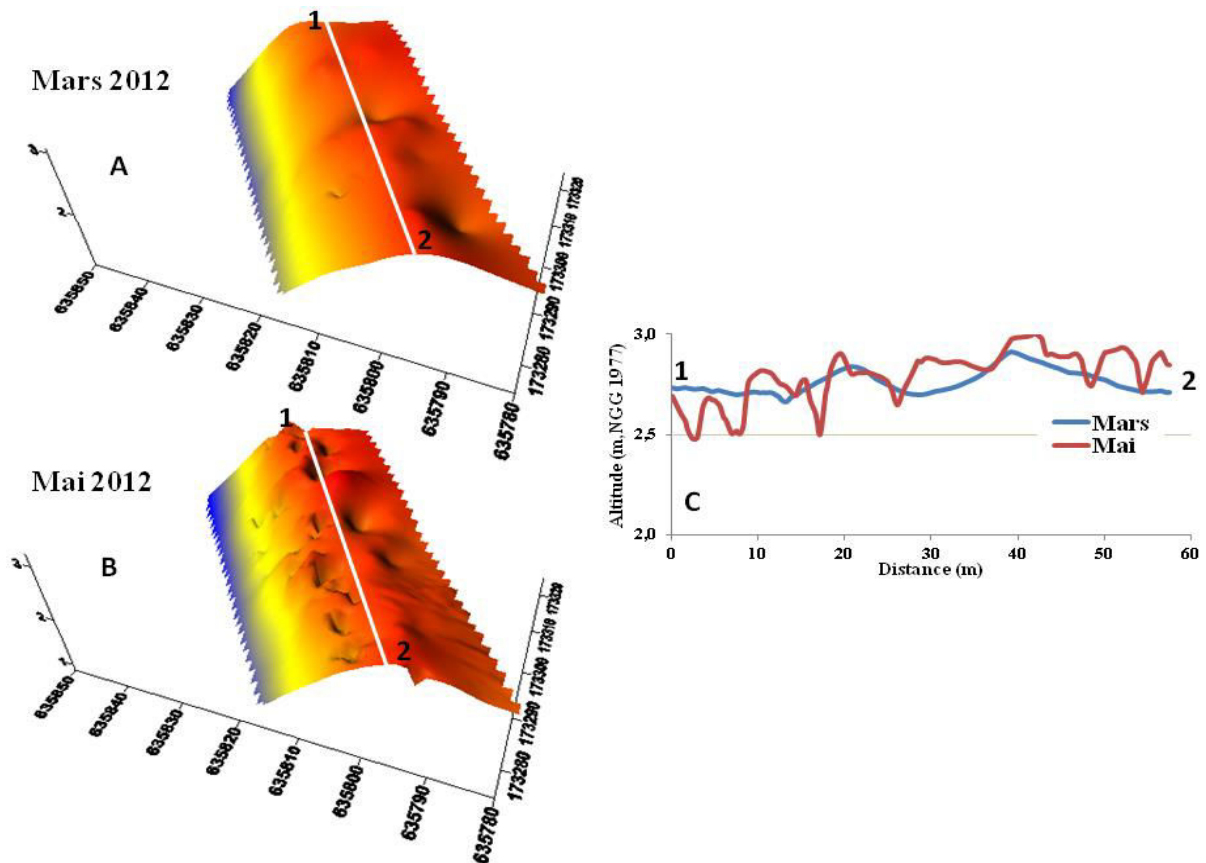


Figure 5.8: Modèles numériques de terrain sur une portion de plage en mars 2012 (A) et mai 2012 (B) et profil longshore.

La détérioration du haut de plage liée à la bioturbation des tortues marines, lors des deux phases de balayage, implique des modifications morphologiques importantes. Les deux espèces de tortues marines nidifiant sur la plage d'Awala-Yalimapo pondent sur deux secteurs différenciés de la plage.

Habituellement, une microfalaise d'érosion (*beach scarp*) apparaît sur les plages sableuses, dans de fortes conditions énergétiques (tempêtes) où à pleine mer quand l'eau atteint le haut de plage et vient éroder la berme. La dynamique de ce haut de plage est régie par l'impact du jet de rive lors des marées de vives eaux. L'érosion de la berme de haut de plage avec l'apparition d'une morphologie d'escarpement accélère le recul de cette plage. En 2 ans ½, le haut de plage a reculé de plus d'une dizaine de mètres, entraînant une réduction de l'aire de ponte au sein de la végétation supralittorale. Certains secteurs de la plage d'Awala-Yalimapo sont pourvus d'une microfalaise d'érosion pouvant atteindre plus d'un mètre de haut, qui représentent un obstacle à la progression des tortues marines lors

de leur ascension sur la plage. La majorité des tortues marines réalisent leurs nids au sein même de ce talus d'érosion. Lors de la préparation de leur aire de ponte, les nageoires antérieures viennent percuter et creuser la microfalaise de haute plage venant ainsi accentuer l'érosion de ce haut de plage. La nidification des tortues luth et vertes au sein de la microfalaise de haut de plage, vient accentuer l'érosion naturelle et le recul du trait de côte sur la plage d'Awala-Yalimapo.

PARTIE 3. LES PONTES SUR LA PLAGE D'AWALA-YALIMAPO

Même si les tortues marines ne passent qu'une infime partie de leur vie sur le domaine terrestre, cette période est capitale. En effet, la phase finale de l'oviposition est assurée sur les environnements sableux d'un certains nombres de plages équatoriales à tropicales. Les tortues marines présentent un haut degré de fidélité au site de naissance (Bowen, 1995) et au site de ponte (Carr & Carr, 1972, Carr, 1975), et sont donc dépendantes de la pérennité et de la mobilité des plages guyanaises. La distribution des pontes des tortues marines sur les plages n'est pas aléatoire, mais répond à un ensemble de paramètres pris en compte par les femelles nidifiantes (Mortimer, 1990). La ponte, chez les tortues marines, est coûteuse en énergie et nécessite une bonne prise en compte par les individus des paramètres environnementaux, afin de faciliter leur arrivée sur les plages. Le choix du site est aussi crucial puisqu'il est déterminant dans le succès à l'éclosion.

Sur la plage de Yalimapo, les déterminants environnementaux clés qui entre en jeu dans le choix d'atterrissage des tortues marines, interviennent avant leur sortie de l'eau (nature des fonds, configuration de l'avant-côte, courantologie et hauteur d'eau). Nos observations sur cette plage ont montré une relation importante entre la courantologie, la morphologie de la plage et l'atterrissage des tortues marines.

1. Conditions hydrodynamiques

Plusieurs auteurs évoquent la contribution des courants marins dans la distribution des tortues marines, sans toutefois le certifier (Provancha et Ehrhart, 1987, sur la plage de Cap Canaveral (Floride); Maison *et al.* (2010) à la Grenade). Sur la plage des Hattes, 90% des tortues luth et 70% des tortues vertes atterrissent entre ± 4 heures de la pleine mer. En outre, il a été observé un basculement sectoriel d'Ouest en Est des atterrissages des tortues, en fonction de l'orientation des courants. Lors de la renverse du courant, les atterrissages des tortues sont plus nombreux à l'Est de la plage tandis que la portion de plage située au plus proche de l'embouchure du Maroni est désertée. Ce comportement est toutefois plus marqué pour les tortues luth, ce qui suggère que le choix de la zone d'atterrissage est fortement lié à la direction des courants au abord de la plage.

Le marnage sur la plage de Yalimapo est mesotidal et varie entre 2 et 3 m, ce qui module la largeur de l'estran lors de l'atterrissage des tortues. Ainsi, la sortie de l'eau au moment où les niveaux d'eaux sont plus élevés est permet de réduire la distance à parcourir pour atteindre l'emplacement du site de ponte approprié, et ainsi réduire les temps d'exposition aux prédateurs (Bustard, 1979; Frazer, 1983; Lamont & Carthy, 2007). Des études menées sur des plages à marnage microtidal (< 2 m) ont montré l'absence de corrélation entre les hauteurs d'eaux et l'émergence des tortues au Sri Lanka (Ekanayake et al., 2002), en Floride (Davis & Whiting, 1977; Frazer, 1983), en Caroline du nord (Frazer, 1983), et au Gabon (Ikaran, 2010). Sur ces zones d'étude, le marnage est faible et, la largeur de plage est peu changeante, ce qui pourrait expliquer l'atterrissage des tortues tout au long du cycle tidal. Cependant, des travaux menés par Lamont et Carthy (2007), ont montré une très forte contribution des conditions océaniques sur la ponte des tortues caouannes (*Caretta caretta*), sur une plage microtidale (marnage < 0,3 m). Ces auteurs ont montré que sur la plage de Cap San Blas (Floride), 98% des atterrissages des tortues se faisaient à marée montante. Ils ont mis en évidence que les lieux d'atterrissages, sur les différentes zones, étaient influencés par le vent et les courants dominants en fonction de leur orientation. Dans notre cas, la distribution des tortues luth est liée à la distribution favorable des courants lorsqu'ils sont orientés à l'Est de la plage, les tortues s'y orientent en plus grand nombre également et inversement à marée montante quand les courants s'orientent à l'Ouest.

L'analyse des atterrissages sur la plage de Yalimapo, a montré que 60 % des tortues luth arrivaient avec la marée montante (au cours des quatre dernières heures avant la pleine mer), comportement moins marqué chez les tortues vertes puisque 40 % des montées ont lieu pendant ce créneau horaire. On observe également un lien avec les conditions hydrodynamiques puisque 60,5 % des atterrissages des tortues luth, ont lieu lors des marées de mortes eaux, c'est à dire à des conditions réduisant les fluctuations de largeur de plage. Cette stratégie pourrait être liée à leur morphologie (animaux très lourds et inadaptés pour les déplacements à terre), qui permettrait de favoriser leur progression vers le haut de plage, avec la marée montante où le flot longeant la plage vers le Maroni. Il semblerait que cette espèce profite également, des mortes eaux et du jusant, renforcé par le débit du fleuve Maroni, pour atterrir sur la partie orientale de la plage (figure 5.9). Les résultats obtenus montrent ainsi la capacité des tortues luth à utiliser les conditions environnementales favorables afin de réduire la dépense énergétique liée à leur déplacement sur la plage.

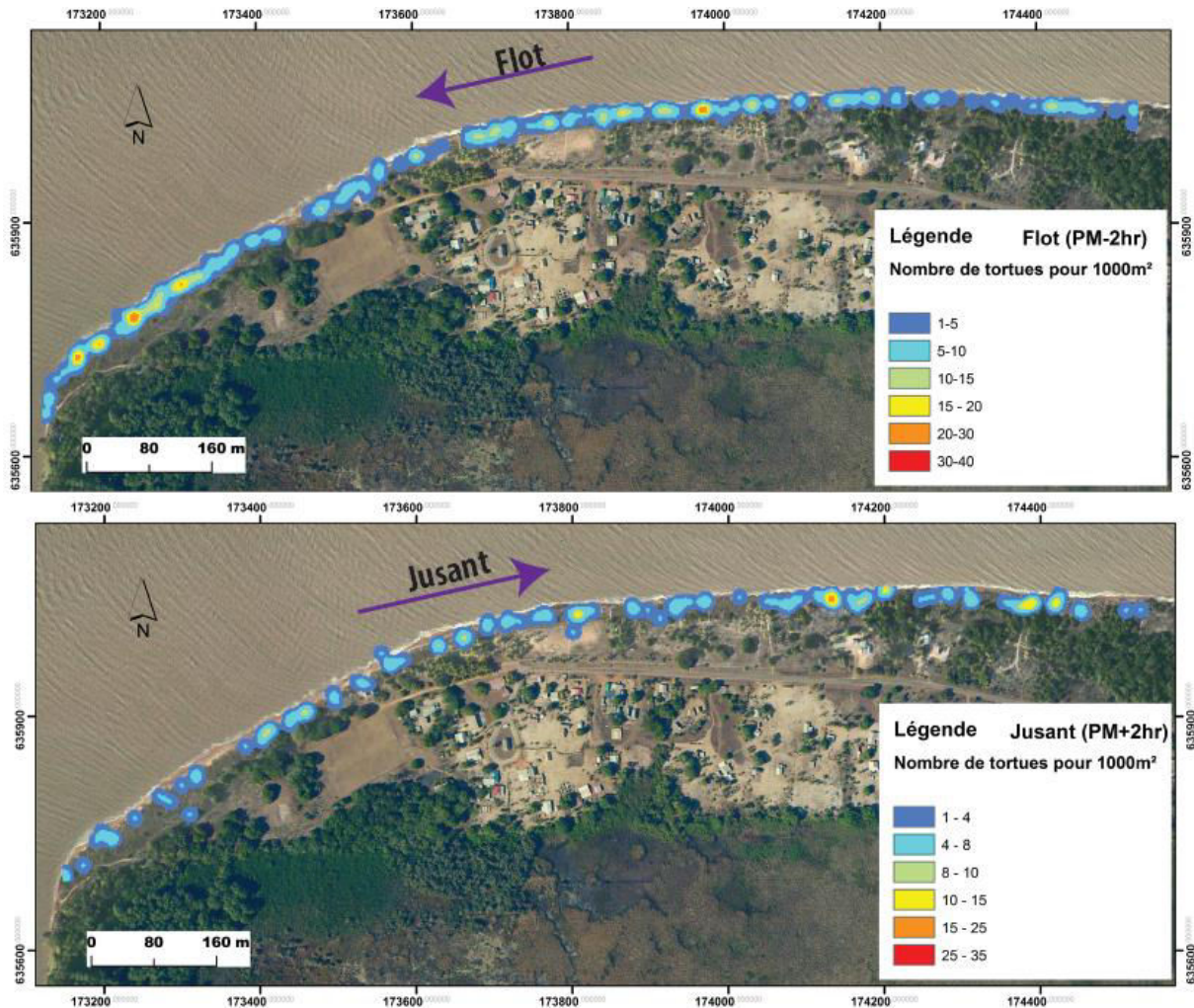


Figure 5.9: Exemple pour les tortues luth de la répartition spatiale en fonction du flot et du jusant.

2. Morphologie de l'avant-plage

Simultanément aux modulations des hauteurs d'eau, la configuration de la zone intertidale de la plage des Hattes va évoluer avec les fluctuations tidales. Cette dynamique, liée à la marée, va conditionner la largeur de plage à gravir par les tortues ainsi que l'accessibilité à ces zones. À l'Ouest de la plage, la largeur de l'estran peut atteindre 100 m à marée basse. Sur cette portion, le banc de sable, rend l'accès difficile pour de faibles hauteurs d'eau, et perturbe leurs arrivées (figure 5.10). Les tortues ne peuvent alors atteindre la plage qu'à partir d'une certaine hauteur d'eau.

La figure 5.10 illustre parfaitement la non-accessibilité de l'Ouest de la plage par les tortues luth (Zone 1 A à D) pour des hauteurs d'eau inférieures à 3 m. En effet, une grande portion du banc de sable, accolé à la plage, présente des altitudes positives et émerge lorsque les hauteurs d'eau sont faibles. Une hauteur d'eau inférieure à 3 m, induit une épaisseur d'eau inférieure à 1,5 m au plus proche de la plage, ce qui peut être limitant. Ainsi, l'extrême Ouest de la plage (zone 1 section A à D) est particulièrement fréquentée quand les hauteurs d'eau sont supérieures à 3 m, c'est-à-dire quand la

quasi-majorité du banc de sable est immergée sous une hauteur d'eau suffisante permettant le passage des tortues sans difficulté. Il est important de rappeler que les tortues luth sont des animaux pesant en moyenne 450 kg pour une taille d'1,70 m. Une faible hauteur d'eau à la surface du banc de sable limite donc leurs déplacements voire empêche l'accès à la plage.

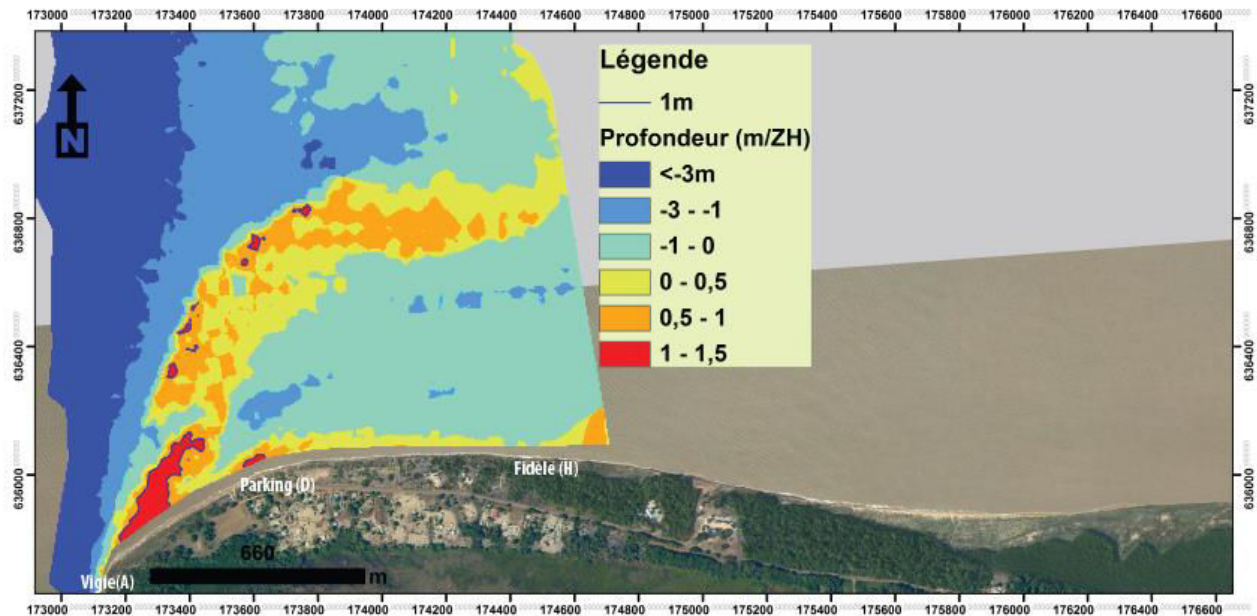


Figure 5.10: Carte bathymétrique présentant les secteurs subtidaux avec une couche d'eau plus fine.

Sur le proche côtier, la nature des petits fonds est un paramètre non négligeable à prendre en compte, car ceux présentant des bancs sableux subtidaux, des rochers subtidaux ou encore de nature corallienne, représentent des obstacles à la progression des tortues marines gravides (Pritchard, 1976 ; Mortimer, 1982; Eckert, 1987; Spanier, 2010). Sur d'autres sites d'étude, il a été montré que les plages avec ce type de fond subtidaux, sont très peu fréquentées par les animaux, en raison de leur non-accessibilité (exemple de Punta Mona sur la plage de Playa Gandoca (Spanier, 2010)). Les tortues vont donc devoir modifier leur trajectoire au risque de se blesser et privilégier des zones plus accessibles.

A l'origine, l'équipement des tortues de GPS avait pour objectif d'évaluer leur trajectoire à leur départ et à leur arrivée sur la plage, afin d'étudier leur comportement par rapport au banc de sable. En effet, nous avons émis l'hypothèse que les tortues empruntaient des chenaux sous-marins le banc de sable, ce qui pouvait conduire à une concentration des sorties des tortues sur des zones plus accessibles. Cette hypothèse n'a malheureusement pu être vérifiée en raison de la distance trop importante entre deux points GPS. Cependant, nous avons observé qu'après l'oviposition les animaux semblent se déplacer avec plus de difficulté et réalisent des temps d'arrêt plus long au niveau du banc de sable. La raison de ce comportement pourrait être liée à leur état de fatigue (Chapitre 4. Trajectoire en mer). Il avait d'ailleurs été montré par Mortimer et Portier (1989) que les tortues vertes montraient

un comportement relativement stationnaire lors de leur retour à l'eau, après la ponte, en se laissant dériver par les courants, et ainsi restreindre leur dépense énergétique. Le banc de sable, situé à la sortie du Maroni, pourrait avoir une double fonctionnalité pour les tortues: un obstacle naturel avant l'atterrissage, mais aussi un reposoir utilisé si besoin après la ponte. Une majorité des atterrissages des tortues est conditionnée par les fluctuations tidales, les hauteurs d'eau plus importantes favorisant les atterrissages sur la plage de Yalimapo. Plus on s'éloigne des secteurs accolés au banc de sable, et plus les animaux atterrissent avec des hauteurs du plan d'eau moins élevées (~15 à 40 cm en moins).

3. Sélection du site de ponte en fonction de la morphologie et de la nature sédimentaire de la plage

La majorité des pontes de tortues luth sont réalisées sur l'estran sableux de la plage des Hattes, en concordance avec ceux retrouvés sur d'autres plages de ponte (Whitmore & Dutton, 1985; Nordmoe et al., 2004 ; Kamel & Mrosovsky, 2004 ;Spanier, 2010). Les tortues vertes, pondent préférentiellement au sein de la végétation supralittorale quand ce domaine est accessible, comportement qui a été observé sur d'autres sites d'étude (Bustard, 1969; Witherington, 1986; Mortimer, 1990; Brown & Macdonald, 1995; Chen et al., 2007; Zavaleta-Lizàrraga et Morales-Màvil, 2013). La zone de concentration de ponte des tortues vertes (> 60 %), se situe au sein de domaine supra-littoral, où les sédiments sont les plus fins.

La plage de Yalimapo présente globalement une plage à pente douce, excepté l'extrême Ouest (à la sortie du Maroni, Pointe Vigie), où l'on note des pentes supérieures à 20°. On observe aussi des talus d'érosions abruptes qui peuvent atteindre près d'1,5 m de dénivelé. Le secteur de Vigie s'est montré plus favorable à l'accueil des tortues vertes que des tortues luth ($6 \pm 0,9\%$ vs. $2,9 \pm 0,4\%$). Cuevas et al. (2010) suggèrent que les tortues vertes sélectionnent les plages avec une pente abrupte plus particulièrement au niveau du haut de plage ce qui semble être le cas à Yalimapo.

L'analyse de trois saisons de ponte sur la plage des Hattes nous a renseigné sur le comportement des tortues luth et vertes face à l'envasement progressif de la portion orientale au bénéfice de la partie occidentale. Nous avons observé un léger déplacement d'Est en Ouest, des lieux de pontes, de tortues luth et vertes depuis 2011, se traduisant par une augmentation de près de 10% des pontes sur la zone 1. Les travaux de Kelle et al. (2009) ont d'ailleurs montré une délocalisation des sites de ponte en fonction de la localisation des bancs de vase. En effet, lors de l'installation progressive d'un banc de vase à proximité d'un secteur sableux, ce dernier peut perdre de son attractivité par les populations nidifiantes en raison d'un changement de la qualité du substrat et d'une modification de l'environnement lors de l'approche en mer du site de ponte.

Des comportements similaires ont été retrouvés sur la plage de Grande Rivière à Trinidad et Tobago, où un déplacement des pontes de tortues luth d'Est en Ouest avait été noté en réponse cette fois-ci à l'augmentation de l'érosion sur l'Est de la plage (Lee Lum, 2005) ou encore sur la plage de Levera (à la Grenade) où une augmentation des pontes a été observée sur une portion de plage en accrétion. Sans

nul doute, ces espèces nidifiantes montrent une capacité de décision d'atterrir ou non et/ou de pondre en réponse à la qualité du substrat dans lequel leur nid serait potentiellement déposé.

En lien avec l'envasement progressif à l'Est, une érosion soutenue est constatée en aval de l'avant du banc de vase. Ce secteur situé au contact de l'avant banc, comme il a été montré sur d'autres portions du littoral guyanais, subit une érosion liée à l'action des houles venant s'y concentrer. Les effets de l'érosion se font également ressentir sur la distribution des pontes puisqu'on constate un déplacement de la concentration des pontes vers l'Ouest.

Lors de leur venue sur les plages de ponte, les tortues vont adapter leur stratégie reproductive en fonction des conditions d'accueil. Celles-ci sont capables de modifier leur aire de ponte selon la qualité des sites de nidification. En effet, nous avons pu observer sur des secteurs, où des microfalaises d'arrachements sont en formation, que les tortues modifiaient leur habitude de ponte pour s'adapter à la morphologie de la plage, en pondant au sein même du talus de haut de plage quand celui-ci faisait obstacle à la portion supérieure de la plage. On a pu également observer cette capacité d'adaptation en mer, lors de modifications bathymétriques durant lesquelles les tortues emprunteraient d'autres trajectoires pour atterrir sur leur plage de ponte.

PARTIE 4. VULNERABILITE DES NIDS ET ENJEUX DE LA CONSERVATION

La diminution de l'activité de ponte des tortues marines a été un signal déclencheur pour les autorités compétentes et les structures de conservation et de protection de la nature de ces espèces emblématiques. Les menaces exercées sur les tortues marines ont nécessité la mise en place de directives ayant pour but d'assurer la conservation et la gestion de ces espèces.

Face à des taux de mortalité élevés, de faible succès à l'éclosion et les pillages des nids, les plans de restauration ont mis en place des actions préventives. Bien que localisées en dehors des zones d'atteintes de cyclones, les plages guyanaises sont soumises à de fortes variabilités hydrodynamiques. L'instabilité de ce littoral peut provoquer d'importantes phases érosives causant la destruction de nombreux nids implantés sur le haut estran et proche de la végétation supralittorale. Au cours de nos travaux de recherche, les variabilités altitudinales influençant les hauteurs de sédiment au-dessus des chambres d'incubation ont été évaluées.

L'évolution morphosédimentaire de la plage d'accueil d'Awala-Yalimapo est un élément important puisque sa dynamique peut jouer un rôle sur le devenir des œufs déposés (figure 5.11). Les relevés topographiques réalisés sur la plage des Hattes nous ont montré une grande variabilité de la dynamique sédimentaire sur le haut de plage. Chez des espèces dont la survie de la descendance est en partie dépendante de l'habitat de ponte, l'évolution du site d'accueil est un enjeu majeur. La profondeur d'un nid de tortues atteint 80 cm pour les plus profonds (tortues luth). Une fois les œufs

déposés, ceux-ci sont donc localisés à moins d'une cinquantaine de centimètres de la surface. On suppose que des variations topographiques du même ordre de grandeur (entre 10 et 50 cm), peuvent avoir des conséquences sur la viabilité des embryons. L'impact sur le succès reproducteur de ces nids partiellement érodés (avec une érosion entre 10 et 50 cm au-dessus de la chambre d'incubation) n'est pas établi. Cependant, la couche de sable au-dessus de la chambre d'incubation détermine les conditions environnementales d'incubation. Spanier (2010) souligne le fait que le sédiment apporté par le jet de rive augmente la profondeur d'enfouissement des nids pouvant réduire le succès d'éclosion. En effet, les conditions d'incubations sont modifiées et de surcroît les températures au sein du nid conditionnant le sex-ratio des individus.

D'autres paramètres peuvent intervenir sur le succès à l'incubation tel que la qualité du substrat (pollution bactérienne, éléments in/organiques présents dans le sédiment (métaux lourds)). Les diverses études réalisées sur la plage de Yalimapo indiquent un des taux de réussite à l'incubation les plus faibles mondialement pour les tortues luth (< 30%) (Girondot et al., 2002 ; Guirlet, 2008). Ce succès à l'éclosion semble étroitement lié à la distance du nid de la limite d'eau et de la végétation en arrière de plage (Hays & Speakman, 1993 ; Guirlet, 2008). Malheureusement, au cours de notre étude, la fréquence des nids inondés ou totalement perdus ainsi que le succès à l'éclosion n'a pas donné lieu à de mesures *in-situ* permettant d'affirmer ces observations. En effet, même si l'érosion marine peut être à l'origine de la destruction des nids, l'inondation peut aussi mettre en échec le nid. Ces inondations régulières par immersion à marée haute provoquent l'infiltration d'eau de mer pouvant conduire à l'asphyxie des embryons (Milton et al., 1994 ; Foley et al., 2006).

Si l'érosion se poursuit, les œufs se retrouvent à la surface et sont donc non viables. On peut identifier deux types d'érosions. La première est une érosion verticale où le sable reposant au-dessus du nid s'érode, la couche de sable au-dessus de la chambre d'incubation se réduit et ceux-ci sont exposés à l'air libre. Le second type d'érosion est un recul du haut de plage (à la limite de la végétation et de l'estran). Les nids réalisés à proximité de la ligne de crête de la plage augmentent leurs chances d'être érodés. Ces œufs excavés pourront être soit emportés par la prochaine pleine mer ou être mangés par les oiseaux, les crabes ou des chiens errants. La tendance érosive marquée (figure 5.11) sur la plage de Yalimapo indique des conditions non favorables au bon déroulement de l'incubation des œufs.

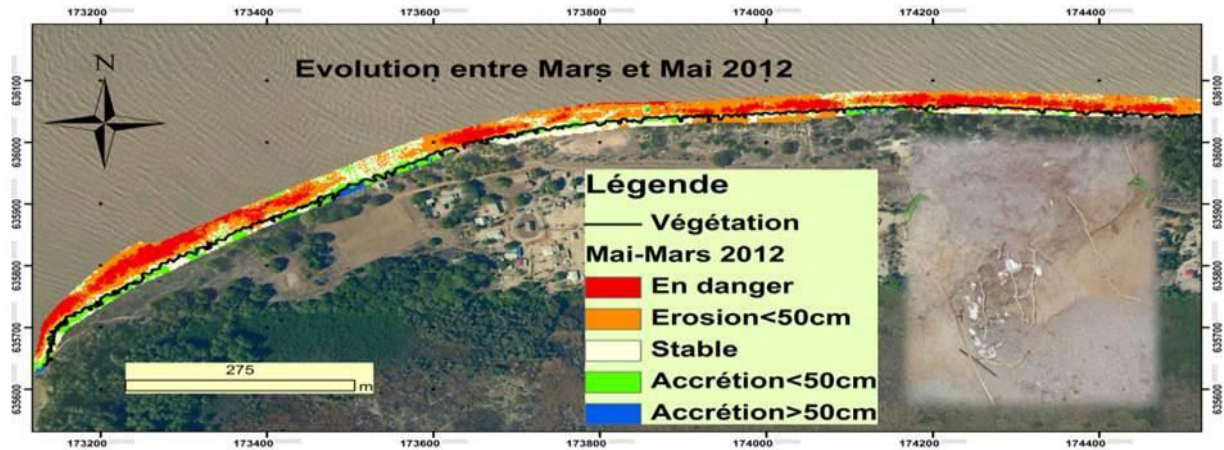


Figure 5.11: Classification des zones de plages par rapport aux modèles numériques de terrain différentiel entre mars 2012 et mai 2012 : Zone en danger (érosion supérieure à 50cm), Erosion <50cm, zone stable et zone en accrétion.

Différents paramètres peuvent intervenir pour fragiliser ce haut de plage. Les systèmes racinaires de la végétation assurent ainsi un rôle de maintien du sable en freinant l'érosion de ce domaine sableux. La réponse de la plage face au creusement des tortues, dans ce talus d'érosion, peut varier selon la fragilisation du secteur. Les nids réalisés sur les portions sableuses dépourvues de végétation et donc de système racinaire, sont plus susceptibles d'être vulnérables. En effet, le sable étant moins stabilisé, la réalisation des nids au sein du talus va provoquer une érosion plus importante par affaissement des micro-falaises. A l'inverse, les secteurs avec des systèmes racinaires bien développés, vont préserver le maintien de la crête en minimisant l'érosion provoquée lors du creusement et le balayage par des tortues.

Entre 1970 et 1990, la plage d'Awala-Yalimapo comptabilisait plusieurs milliers de nids nouvellement déposés chaque nuit. Cette forte fréquentation a induit une autodestruction importante des nids puisque pour un nid pondu un nid était probablement déterré, phénomène considéré comme contre-évolutif. Les tortues luth atteignent leur maturité sexuelle entre 15 et 30 ans, il serait intéressant de mettre en relation le déclin de la population de tortues luth recensé sur les plages guyanaises avec la situation d'il y a 20 à 40 ans. Ces trois dernières années, 15 à 18% de primipares sont comptabilisées dans les tortues luth nidifiantes sur la plage de Yalimapo (Rachel Berzins 2014, communication personnelle), ce qui correspond à une nouvelle population. Les nouvelles venues ne viennent pas compenser la perte des anciennes tortues nidifiantes sur le plateau des Guyanes comme l'indique la diminution de la fréquentation des tortues luth. Le recrutement des tortues luth est plus important sur les plages de Cayenne avec 38 à 51% des effectifs nouvellement pités (entre 2011 et 2013, Rachel Berzins 2014, communication personnelle). Les plages de l'Est sont donc fréquentées par une jeune population. L'absence de suivi avant 2001 sur les plages de Cayenne ne permet pas d'avoir le recul nécessaire pour déterminer l'évolution de la fréquentation des tortues luth sur les plages de l'Est guyanais.

Les scénarios futuristes liés au changement climatique et à la montée du niveau moyen des mers vont augmenter l'érosion des plages sableuses (Spanier, 2010). Sur la plage de Grande Riviere à Trinidad et Tobago, près de 80% des nids de tortues luth déposés étaient détruit par l'érosion marine et par les crues annuelles de la rivière Grande Rivière (Lee Lum, 2005). Sur la plage des Hattes, nous avons estimé que 39 % des nids pouvait être potentiellement détruit par l'érosion naturelle de la plage (Zone 1 D à H). L'érosion sur les plages a été reliée à une diminution du succès à l'éclosion (Lamont & Carthy (2007) et Lamont et Houser (2014)). Pour pallier cette menace naturelle du succès à l'éclosion, certains programmes relocalisent les œufs déposés sur des secteurs de plage plus stables (50% des nids à Playa Gandoca au Costa Rica, Chacon & Eckert, 2007), voir même en éclosierie.

En envisageant des mesures de relocalisations des nids susceptibles d'être détruits avant la fin de la période d'incubation, on risque d'impacter le sex-ratio, compte tenu que les températures d'incubation sur les nouveaux sites différent de celles localisées dans l'emplacement du nid initial (Spanier, 2010), comme cela a été montré chez les tortues vertes (Spotila et *al.*, 1987) et les luth (Dutton et *al.*, 1985 ; Whitmore & Dutton 1985).

La qualité du substrat est importante puisqu'elle rentre en cause dans la diminution du succès à l'incubation lorsque celui-ci n'est pas adéquat. De forts taux de mortalité précoce d'embryons ont été observés sur des plages australiennes lorsque le sédiment fin était humide et réduisait les échanges gazeux (Limpus et *al.*, 1983). De même, les pontes des tortues caouannes réalisées dans du substrat argileux sur la plage du Cap vert, a réduit le succès à l'éclosion en obstruant les échanges gazeux (Marco et *al.*, 2007). Les dépôts argileux peuvent influencer la température au sein du nid. En effet, la couleur plus foncée des dépôts vient augmenter la température au sein du nid par l'absorption des radiations solaires (Hays et *al.*, 2001).

Sur les plages soumises, à de fortes intempéries climatiques (tempêtes, cyclones), la destruction des nids nouvellement déposés sur les plages de pontes est récurrente (Van Houtan & Bass, 2007 ; Hawkes et *al.*, 2009 ; Harris et *al.*, 2011 ; Willis-Norton et *al.*, 2014). Sur la plage des Hattes, bien que le littoral guyanais soit peu soumis à de telles variations climatiques, les fluctuations du trait de côte entraînent la destruction de nombreux nids. Si l'Est de la plage demeure le site le plus accessible quel que soit la hauteur d'eau, c'est aussi cette partie de plage qui peut présenter un recul de plusieurs mètres en l'espace de quelques mois, suffisamment important pour causer la perte de nombreux nids (jusqu'à 40 % des nids déposés sur l'Est de la zone 1 (D à H)). Ce même secteur présente des talus d'érosion pouvant atteindre 1,5 m, ce qui ne laisse pas d'autres choix aux tortues marines de réaliser leurs nids au sein du talus d'érosion de haut de plage. L'Ouest de la zone 1 reste abordable durant quelques heures avant et après la pleine mer, ceci dû à la présence du banc de sable. Malgré la contrainte temporelle d'accessibilité de la zone Ouest, les atterrissages sont plus nombreux lorsque les conditions d'accès sont réunies.

Les tortues marines doivent donc faire un compromis entre accessibilité et qualité du site de ponte (déterminant dans le succès à l'éclosion). Le devenir des œufs n'est malheureusement pas connu par les femelles nidifiantes, seul leur instinct maternel et de survie leur permettra d'évaluer la conformité d'un site de ponte. A long terme, la connaissance des processus morphosédimentaires de l'habitat de ponte, nous permettront de mettre en relation la distribution des tortues marines et l'environnement du littoral guyanais.

La chute de population de tortues marines nidifiantes sur les plages guyanaises peut être liée à divers paramètres intrinsèques au plateau des Guyanes, tels qu'une mortalité élevée (au cours de l'incubation, au stade juvénile et adulte), un faible recrutement de population, une délocalisation des sites de ponte, ou à des processus océanographiques à plus grande échelle?

Diverses études ont montré, les conditions climatiques dont l'oscillation Nord Atlantique (NAO) qui semble se corrélérer avec la diminution de la fréquentation sur les plages de la façade Atlantique (Van Houtan et Halley, 2011 ; Nye et *al.*, 2013) ou encore l'influence de l'ENSO (El Niño-Southern Oscillation) qui module la présence des tortues marines dans les aires d'alimentation qui va par la suite influencer la migration vers les sites de nidification (Limpus et *al.*, 2000 ; Saba et *al.*, 2008). D'autres études ont également montré une corrélation négative entre la température de surface du Nord Atlantique et la différence entre la proportion de tortues caouannes (del Monte-Luna et *al.*, 2012). La distribution des juvéniles n'est pas clairement identifiée et les directions qu'ils empruntent ne sont pas connues. Suivent-ils les mêmes itinéraires que les adultes en se dirigeant vers le Nord-Atlantique, en suivant les courants côtiers (Nord Brésil et le courant des Guyanes) puis rejoignent le courant du *Gulf Stream* dans le golfe du Mexique ? (Van Houtan et Halley, 2011). Arrivée à taille adulte et à maturité sexuelle, les tortues doivent regagner les sites de nidification, aiguillé par le champ géomagnétique leur permettant d'atteindre leur site de naissance ou d'autres facteurs tels que les conditions climatiques et océaniques qui vont pouvoir influencer la direction empruntée par les animaux (Van Houtan et Halley, 2011).

PARTIE 5. PERSPECTIVES

Les interactions entre substrats sableux et vaseux sont complexes sur le littoral de Guyane, les études réalisées ces dernières années ont apporté des éléments de réponse de cette dynamique. Cependant, pour avoir une vision globale des répercussions géomorphologiques du passage des bancs de vase sur les littoraux sableux, il est nécessaire d'effectuer des travaux plus approfondis sur les trois types de littoraux et notamment les cheniers dont la dynamique morphosédimentaire reste encore peu connu.

L'érosion prononcée, observée sur la plage des Hattes ces dernières années a été reliée à la proximité d'un banc de vase sur sa portion orientale. Nous avons émis l'hypothèse que l'Ouest de la plage ne

serait pas envasé et que le banc de vase se disloquerait avant sa progression sur celle-ci. Il serait nécessaire de réaliser une étude sur le plus long terme pour évaluer sa dynamique morphosédimentaire dans les prochaines années.

Nos travaux ont mis en lumière l'influence des tortues marines sur la déstructuration du haut de plage, en effet, les nids creusés dans le talus d'érosion accélèrent le recul de cette zone. Pour quantifier, ce recul, il est nécessaire d'effectuer des mesures à micro-échelle spatiale sur une saison de ponte pour discriminer la part des tortues marines et de l'hydrodynamisme sur le recul du haut de plage.

Chez des espèces où l'absence de soin maternel intervient, leur survie dépend des conditions environnementales d'incubation influençant le succès à l'éclosion, mais aussi du taux de mortalité des juvéniles et des adultes. Si ces derniers ont fait l'objet de protections préventives tels que le ramassage de chiens errants (prédateurs des émergences lorsqu'elles rejoignent la mer), ou encore la mise en place de système d'exclusion des tortues marines dans les filets de pêche industrielle (TED : Turtles Excluded Device), les facteurs à risques pendant la période d'incubation ne sont pas encore connus. La réussite à l'incubation dépend des facteurs environnementaux qui vont affecter le bon déroulement du développement embryonnaire. Les facteurs biotiques et abiotiques conditionnent l'environnement d'accueil, et les facteurs écotoxicologiques qui traduisent la qualité du substrat de nidification et l'environnement nutritif au sein de l'œuf donné par les femelles nidifiantes (Guirlet, 2008). La qualité du substrat de la plage de ponte va donc jouer un rôle sur la croissance embryonnaire. Le développement de l'embryon en partie conditionné par le matériel énergétique au sein de l'œuf, est donc régi par la qualité des réserves nutritionnelles stockées dans le jaune de l'œuf. Certains polluants environnementaux (éléments traces métalliques : plomb, cuivre, zinc, etc.) et polluants organiques persistants (pesticides organochlorés et polychlorobiphényles) peuvent perturber le développement de l'embryon, voir provoquer sa mort. Pendant plusieurs décennies, la plage d'Awala Yalimapo constituait le principal site de ponte sur le littoral guyanais et plusieurs dizaines de milliers de nids y étaient déposés chaque année. Cette concentration d'individus sur un même site, a entraîné la destruction de nombreux œufs au cours de toutes ces années, pouvant entraîner l'apparition d'une pollution bactérienne liée à la mauvaise qualité du substrat de ponte.

Dans ce contexte, il serait intéressant de mener **une étude comparative du succès reproducteur sur plusieurs plages** présentant des dynamiques du substrat de ponte différente, notamment sur une plage utilisée comme site de ponte depuis très longtemps (plage de Yalimapo), et des plages utilisées plus récemment par les tortues marines (plages de l'Est et les cheniers). Ces cheniers peuvent présenter une meilleure qualité du substrat puisque ce type de littoral sableux se forme et s'érode de manière perpétuelle. L'environnement sableux est ainsi renouvelé à échelle annuelle à pluriannuelle. Cependant, les cheniers sont souvent jonchés de troncs pouvant rendre l'accès difficile, voire impossible aux tortues de plus grande taille. Les tortues vertes fréquentent en plus grand nombre les cheniers (56% des pontes en 2012), leurs petites tailles leur permettant de se hisser sur des obstacles (troncs, escarpement de plage). Ces sites isolés sont présent dans des fenêtres inter-bancs avec une

érosion prononcée. De plus, ces secteurs étant situés à de faibles altitudes se retrouvent souvent totalement inondés. La période d'incubation est d'environ deux mois. Malgré l'évolution rapide des secteurs interbanes, le laps de temps relativement court de l'incubation est peut être suffisant pour permettre son bon déroulement et d'éviter l'érosion des nids. Au cours de cette thèse, la dynamique morphosédimentaire des cheniers n'a pas été réalisé, il est donc nécessaire **d'effectuer des travaux futurs impliquant la dynamique sédimentaire de ces milieux couplés au succès à l'incubation.**

Pour compléter notre étude sur la plage de Yalimapo, des mesures futures, menées par l'IPHC, permettront de quantifier les pertes des nids, le succès à l'incubation et aussi le sex-ratio engendré par les modifications d'incubations liées à l'inondation des nids, les variations d'épaisseur de sable au-dessus de la chambre d'incubation et des perturbations par d'autres tortues. En effet, des mesures topographiques à fines échelles seront réalisées pour évaluer les variations altitudinales au-dessus des chambres d'incubation simultanément à des mesures de la température d'incubation pour pouvoir établir le rôle des fluctuations altitudinales sur le succès à l'incubation.

L'attractivité des côtes de Guyane pour les tortues marines était déjà mentionnée depuis plusieurs siècles dans les récits des voyageurs qui décrivaient au XVIIème siècle la ponte des tortues sur les plages de l'île de Cayenne (Biet, 1664). Il y a moins de 20 ans, les plages de l'Ouest et celles surinamaises accueillait 40% des pontes de la population mondiale des tortues luth (Spotila et *al.*, 1996). Au niveau mondial, la population des tortues luth se porte bien, puisque son statut est passé d'espèce « en danger critique d'extinction » (Sarti Martinez, 2000) à « vulnérable » en 2013 (Wallace et *al.*, 2013). Pour les plages de l'Ouest Atlantique, les populations de tortues luth sont donc qualifiées de peu menacées. En Guyane, le déclin de fréquentation observé ces dernières années chez les tortues luth, interpellent quant aux causes de cette diminution. Il est délicat de détecter le déclin chez une population longévive, car il n'intervient pas précocement et il est souvent trop tard lorsque cette situation est constatée. Ce phénomène est accentué par la maturité sexuelle tardive des tortues marines qui explique la lente réponse de recouvrement de la population (Mortimer, 1995; Heppell, 1998).

De fortes densités de population sur une plage réduite, impliquent un taux plus important de destruction des nids. La présence de plusieurs sites de ponte simultanée en Guyane entraîne ainsi une plus grande spatialisation des pontes, pouvant réduire la densité des nids sur de faibles surfaces et pouvant hypothétiquement augmenter le succès à l'éclosion puisque la destruction des nids par d'autres congénères sera plus réduite.

Les tortues marines nidifient sur plusieurs plages du plateau des Guyanes. La très grande dynamique des côtes de Guyanes (Guyane, Suriname et Guyana) module la stabilité des plages potentiellement disponibles pour l'accueil des pontes des trois espèces. La dynamique de population d'une espèce doit se faire donc se faire par le biais d'une coopération régionale. Mis à part la plage des Hattes et la plage de Cayenne en longue période interbanes, la localisation des plages potentiellement disponibles est

difficile à prévoir car très changeante, ce qui implique que les espèces nidifiantes sont contraintes de s'adapter à la disparition et/ou à l'apparition de nouveaux sites de ponte.

Une étude sur le comportement des tortues nidifiantes sur les plages de l'île de Cayenne qui sont soumises à une influence plus océaniques permettrait d'avoir une vision globale du comportement des tortues marines guyanaises sur les principaux sites de ponte. La diversité de réponse des espèces, sur différents sites de ponte, devant faire face à de multiples déterminants environnementaux **nécessite une étude simultanée sur chaque site afin de mieux appréhender les caractéristiques du cycle de vie terrestre, et l'utilisation des habitats de ponte des tortues marines.**

Conclusion générale



L'objectif principal de ce travail était de mettre en relation la dynamique morphosédimentaire des littoraux sableux dans un contexte vaseux général et les comportements de ponte des tortues marines sur le littoral de Guyane. Les travaux ont cherchés à étudier les répercussions géomorphologiques de la migration des bancs de vase sur les littoraux sableux avec un zoom particulier sur la plage des Hattes et sur le littoral de Kourou. Au cours de trois saisons de pontes (2011-2012-2013) le suivi de l'activité de ponte des tortues marines sur la plage des Hattes a pu être confronté aux observations réalisés sur la dynamique morphosédimentaire.

Nos travaux ont été menés sur ces deux littoraux sableux à partir d'analyses diachroniques sur le moyen terme, sur vingt ans sur le littoral de Kourou et sur une soixantaine d'années sur l'Ouest guyanais. Ces observations par télédétection ont été complétées de mesures *in-situ* permettant d'évaluer la dynamique morphosédimentaire de ces milieux à court terme.

Le premier site, le littoral de Kourou, s'est envasé depuis la fin des années 90 et la plage s'est « fossilisée » pendant la période d'envasement. Au départ du banc, la plage s'est réactivée avec la reprise de la dérive littorale vers le Nord-Ouest. Nous avons pu observer le développement d'un prisme sableux au Nord-Ouest de la plage au contact entre la plage active et l'arrière du banc de vase. Sur ce même littoral, notre étude a permis d'apporter des éléments à la compréhension de migration des bancs de vase. Nous avons ainsi montré des disparités d'épaisseurs au sein de la partie subtidale du banc de vase avec notamment une portion centrale bien plus épaisse. La partie subtidale en migrant le long du littoral, va donc envaser de façon plus importante les chenaux de navigation des fleuves lors de la traversée du milieu du banc de vase. Les deux entités du banc de vase (intertidale et subtidale) bien qu'interconnectées ne progressent pas à la même vitesse sur le littoral. Leur avancée va dépendre de leur situation et des obstacles à franchir. La progression de la surface intertidale est ralentie pendant le passage du fleuve ($< 500 \text{ m.s}^{-1}$) mais s'accélère une fois que la vasière se reforme de l'autre côté de la rive. Il semblerait que l'extension subtidale migre de façon plus rapide lorsqu'elle se retrouve déconnectée de sa zone intertidale c'est-à-dire lorsque les vasières ne s'étaient pas encore reformées sur le littoral de la rive droite.

Les recherches dans l'Ouest guyanais, ont également été conduites à moyen termes afin de reconstituer l'évolution récente et de comprendre les dynamiques actuelles. Nos recherches ont révélé une relative pérennité de la plage des Hattes depuis 1950, qui se retrouve depuis plus de soixante ans en situation d'inter-banc, sans avoir été envasé. L'étude diachronique a également souligné l'importance des apports sableux dans l'Ouest guyanais. En effet, au cours de la dernière décennie, la 1^{ère} embouchure de la Mana s'est refermée par migration successive puis accollement d'une flèche sableuse au littoral d'Awala. Jusqu'en 2007-2008, la plage des Hattes était bordée par les fleuves Mana et Maroni, tous deux contribuant à sa pérennité. Le changement de configuration de la côte, lié à

la fermeture de l'embouchure de la Mana et sa délocalisation à plusieurs kilomètres de celle initiale, a probablement modifié les conditions d'agitations hydrodynamiques à proximité de la plage des Hattes. A la sortie du Maroni, les apports sableux sont aussi très importants, puisque le banc de sable accolé à l'Ouest de la plage s'est considérablement engraisé entre 2011 et 2013, avec près de $1,31.10^6$ m³ de sable soit environ 1 m d'accrétion pour la zone couverte. Ce sable s'accumulant sur le banc de sable proviendrait des apports du Maroni mais aussi par la dérive littorale.

La dynamique morphosédimentaire de la plage est rendue complexe par la présence de formes sédimentaires très différentes à ces deux extrémités: à l'Ouest, un banc de sable à la sortie du Maroni; et l'avant d'un banc de vase à l'Est fossilisant l'ancienne flèche sableuse. Ces dernières années, le banc de vase accolé à la plage a contribué à accélérer l'érosion de la plage en aval.

La présence du banc de vase à l'Est amortit la houle. A l'Ouest de la plage, le banc de sable va aussi amortir la houle. Entre ces deux formes sédimentaires, une fenêtre par laquelle la houle peut s'engouffrer, est caractérisée par une forte érosion de la plage et le recul du haut de plage. En trois ans, ce secteur de la plage des Hattes a reculé de près de 15 m, alors que l'Ouest de la plage s'est engraisé.

Les résultats obtenus sur la dynamique morphosédimentaire de ces plages sableuses ont permis de souligner l'influence des paramètres environnementaux dans la prise de décision de sortie de l'eau, puis dans le choix de l'emplacement de la future aire de ponte chez deux espèces de tortues marines. La comparaison des deux espèces montre une vulnérabilité plus accentuée des tortues luth pour les facteurs environnementaux déterminants les conditions d'accueil de leur descendance. A leur approche de la plage, le moment opportun de sortie de l'eau est conditionné par les conditions tidales. En effet, 90% des tortues luth et 70% des tortues vertes atterrissent sur la plage de ponte à ± 4 h de la pleine mer. Ce choix semble être conditionné par une réduction de la largeur de plage à parcourir. Nous avons aussi considéré l'arrivée des tortues luth sur la plage en fonction de la direction des courants. Ainsi, la distribution spatiale des atterrissages semble être définie par la direction du courant de marée aux abords de la plage des Hattes. Une migration Est-Ouest se produit à marée montante avec des pontes plus nombreuses à l'Ouest de la plage. A l'inverse, on recense plus de ponte à l'Est de la plage à marée descendante. Une partie des tortues semblent donc se laisser porter par les courants. La distribution spatiale sur la plage de ponte est donc régie par les conditions environnementales lorsque les tortues sont encore dans l'eau. Les zones d'atterrissages vont donc être influencées par la direction du courant mais aussi par la hauteur du plan d'eau qui va définir la morphologie de l'estran, mais aussi la hauteur d'eau au-dessus du banc de sable. Les hauteurs d'eau conditionnent l'arrivée des tortues marines sur l'environnement terrestre. Pour de faibles hauteurs d'eau, le banc de sable va constituer un obstacle à la progression des tortues vers leur plage de ponte mais également à leur retour à l'eau après la ponte, celles-ci vont devoir modifier leur trajectoire pour atteindre d'autres secteurs de plage, et pour repartir vers le large.

Une fois arrivée sur la plage s'opère le choix de l'aire de ponte qui va déterminer les conditions d'incubations des futures œufs déposés et donc du maintien de la descendance. La morphologie de la plage est un paramètre entrant en compte dans la sélection du site de ponte. Ainsi, des pentes de plage trop escarpées vont rebouter les tortues luth qui préfèrent pondre sur des secteurs à pente plus douce. De plus, la morphologie du haut de plage constitue une des caractéristiques majeures quant à l'emplacement du nid sur le profil de plage. Sur les plages à tendance érosive, un talus d'érosion apparaît sur le haut de plage délimitant le domaine supralittoral végétalisé de l'estran sableux nu. Ces micro-falaises d'érosion peuvent atteindre plusieurs décimètres voir plus d'un mètre, et forment des obstacles à la progression des tortues marines sur le haut de plage. Sur la plage des Hattes, près de la moitié de la plage présente une marche d'érosion ce qui contraint les animaux à adapter leur comportement de ponte. Sur ces secteurs de plage, on recense en effet, un nombre plus importants de nids réalisés au sein même du talus où sur l'estran. En revanche, si le haut de plage est dépourvu d'obstacle, les tortues vertes vont aller pondre plus haut dans le domaine végétalisé ou à la limite sable/végétation pour les tortues luth.

Les travaux entrepris dans cette thèse sont très prospectifs. Ils ont mis en évidence d'intéressantes pistes de travail pour des recherches futures intégrant une approche écosystémique de l'environnement côtier guyanais pour mieux appréhender la phase de vie terrestre des tortues marines. A proximité et sur les plages de ponte, deux étapes décisives pour la survie de l'espèce interviennent. La première, l'oviposition, est assurée sur les plages sableuses et la localisation des nids est déterminée par les conditions environnementales lors de l'atterrissage des femelles gravides. La deuxième étape, concerne les œufs déposés qui sont vulnérables aux variations environnementales lors de leur phase d'incubation. Outre la qualité du substrat et la prédation au sein des nids, la dynamique littorale est l'un des intervenants capitaux pour le déroulement de la phase d'incubations des œufs. Dans les conditions idéales, les nids sont déposés sur des zones de plage peu sujette à de grandes variabilités sédimentaires et ne perturbent pas l'incubation des œufs. Mais dans une grande majorité des cas, l'environnement accueillant les nids n'est pas stable et les nids peuvent devenir très vulnérables.

La diminution du nombre de pontes constaté ces dernières années sur le littoral de Guyane, soulève des questions quant aux conséquences de cette baisse de fréquentation des tortues luth. Les hypothèses évoquées sont une baisse du succès à l'éclosion diminuant le recrutement de nouveaux individus mais aussi une possible délocalisation des sites de ponte.

Ces travaux de recherche exploratoires, ne sont que le préambule de futures recherches pluridisciplinaire qui devront donc intégrer la dynamique hydro-morphosédimentaire des habitats de ponte des tortues marines et leur évolution dans un contexte de changements globaux notables. Ce type d'approche écosystémique ne peut être que bénéfique pour les futurs plans d'actions de restauration de ces espèces, sur des littoraux vulnérables diminuant d'une part les capacités d'accueil

des plages de ponte et réduisant également le succès à l'incubation et ainsi le renouvellement de la population de tortues marines.

Références bibliographiques



A

- Ackerman R.A., 1997. The nest environment and the Embryonic development of sea turtles, in: Lutz P.L, Musick J.A., (Eds.), *The biology of Sea turtles*. CRC Press, pp.83-106.
- Ali A., Yaacob K.K.K., Razak S., Talib Z., 2005. Individual nest site preference of green turtle, *Chelonia mydas* on MakKepit beach and its relation with hatching emergence success. Proceedings of the 2nd International symposium on SEASTAR2000 and Asian Bio-logging Science (The 6th SEASTAR2000 Workshop) December 13-14, 2005, Siam City Hotel, Bangkok, Thailand.
- Allison M.A., Nittrouer C.A., Kineke G.C., 1995. Seasonal sediment storage on mudflats adjacent to the Amazon River. *Marine Geology*, 125, pp.303-328.
- Allison M.A., Lee M.T., Ogston A.S., Aller R.C., 2000. Origin of Amazon mudbanks along the northeast coast of South America. *Marine Geology*, 163, pp.241-256.
- Allison M.A., Lee M.T., 2004. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. *Marine Geology*, 208, pp.169-190.
- Anthony E.J., 1989. Chenier plain development in northern Sierra Leone, West Africa. In: P.G.E.F. Augustinus (Editor), *Cheniers and chenier plains*. *Marine Geology*, 90, pp.297-309.
- Anthony E.J., Gardel A., Dolique F., Guiral D., 2002. Short-term changes in the plan shape of a sandy beach in response to sheltering by a nearshore mud bank, Cayenne, French Guiana. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, pp.857-866.
- Anthony E.J., & Dolique F., 2004. Morphological response of embayed sandy beaches to Amazon-derived mud banks, Cayenne, French Guiana : a short to long-term perspective. *Marine Geology*. 208, pp.249-264.
- Anthony E.J. & Dolique F., 2006. Intertidal subsidence and collapse features on wave-exposed, drift-aligned sandy beaches subject to Amazon mud : Cayenne, French Guiana. *Earth Surface Process and Landforms*, 31, pp.1051-1057.
- Anthony E.J., 2009. Shore processes and their palaeoenvironmental applications. *Developments in Marine Geology*, Volume 4, pp. 519.
- Anthony E.J., Gardel A., Gratiot N., Proisy C., Allison M.A., Dolique F., Fromard F., 2010. The Amazon-influenced muddy coast of South America: A review of mud-bank shoreline interactions. *Earth Science Reviews*, 103, 3-4, 99-121.
- Anthony E.J., Dolique F., Gardel A., Marin D., 2011b. Contrasting sand beach morphodynamics in a mud-dominated setting: Cayenne, French Guiana. Proceedings of the 11th International Coastal Symposium, *Journal of Coastal Research*, SI 64, Szczecin, Poland pp. 30-34., ISSN 0749-0208.
- Anthony E.J., Gardel A., Proisy C., Fromard F., Gensac E., Péron C., Walcker R., Lesourd S., 2012. The role of fluvial sediment supply and river-mouth hydrology in the dynamics of the muddy, Amazon-dominated Amapa-Guianas coast, South America: A three-point research agenda. *Journal of South American Earth Sciences*. In press.
- Anthony, E.J., Gardel, A., Gratiot, N., 2013. Fluvial sediment supply, mud banks, cheniers and the morphodynamics of the coast of South America between the Amazon and Orinoco river mouths.

- Invited contribution, Geological Society, London, Special Publications, 388, first published on September 2, 2013, doi:10.1144/SP388.8.
- Augustinus P.E.G.F., 1978. The changing shoreline of Surinam (South America). Ph.D. Thesis, Utrecht University, pp. 232.
- Augustinus P.E.G.F., 1989. Cheniers and chenier plains: a general introduction. *Marine Geology*, 90, pp. 219-229.
- Avens L., & Lohmann K.J., 2003. Use of multiple orientation cues by juvenile loggerhead sea turtles *Caretta caretta*. *The Journal of Experimental Biology*, 206, pp.4317-4325.
- Avens L., Wang J.H., Johnsen S., Dukes P., Lohmann K.J., 2003. Responses of hatchling sea turtles to rotational displacements. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 288, Issue 1, pp.111-124.

B

- Bacon P.R., 1970. Studies on the leatherback turtle, *Dermochelys coriacea* (L.) in Trinidad, West Indies. *Biological conservation*, 2, pp. 213-217.
- Bell B.A., Spotila J.R., Paladino F.V., Reina R.D., 2003. Low reproductive success of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, is due to high embryonic mortality. *Biological Conservation*, 115, pp.131-138.
- Benhamou S., Sudre J., Bourgea, J., Ciccione S., De Santis A., Lushi P., 2011. The role of geomagnetic cues in green turtle open sea navigation. *PLoS ONE*, 6, 10 e26672.
- Biet A., 1664. Voyages de la France équinoxiale en l'isle de Cayenne, entrepris par les Français en l'année M.DC.LII. Livre 3, chapitre IV, "De la pesche", p.347.
- Bird E.C.F., 1985. Coastline changes, a global review. Wiley, Chichester, pp.219.
- Boak E.H., & Turner I.L., 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research* 21 (4), pp.688-703.
- Bourret A., 2005. Traitement et optimization des conditions aux frontières pour un modèle de circulation côtière. Application au cas de la Guyane.. Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille II, 227pp.
- Bowen B.W., 1995. Molecular genetic studies of marine turtles. In Bjorndal K. (ed) *Biology and conservation of sea turtles*, Smithsonian Institution Press, Washington DC, pp.585-587.
- Bowen K.D., & Janzen F.J., 2005. Rainfall and depredation of nests of the painted turtle, *Chrysemys picta*. *Journal of Herpetology*, 39, pp.649-652.
- Boye M., 1959. Rapport sur l'état du dévasement du littoral de la Guyane française et spécialement des abords de Cayenne. ORSTOM-IFAT, pp.32.
- Boye M., 1961. New data on the coastal sedimentary formations in French Guiana. Proceedings of the fifth Inter-Guiana geological conference, Georgetown, British Guiana, 28th October-6th November 1959. Geological Survey Department, Georgetown, British Guiana, pp.145-160.

- Bustard H.R., and Greenham P., 1968. Physical and chemical factors affecting hatching in the green sea turtle, *Chelonia mydas* (L.). *Ecology* 49, pp.269-276.
- Bustard H.R., and Greenham P., 1969. Nesting behavior of the green sea turtle on a great barrier reef island. *Herpetologica*, volume 25, no. 2, pp.93-102.
- Bustard H.R., 1972. Sea turtles, Natural history and conservation. New York: Taplinger Publishing Company, pp.49-76.
- Bustard H.R., 1979. Population dynamics of sea turtles, pp.523-540. In: Turtles: perspectives and research. M. Harless and H. Morlock (eds.) John Wiley and Sons, New York.
- Brown L. & Macdonald D.W., 1995. Predation on green turtle *Chelonia Mydas* nests by wild canids at Akyatan beach, Turkey. *Biological Conservation*, volume 71, Issue 1, pp.55-60.

C

- Caires S., Sterl A., 2005. A new nonparametric method to correct model data: application to significant wave height from the ERA-40 re-analysis. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22, pp.443-459.
- Carr A., 1952. Handbook of turtles. Cornell U. Press, Ithaca, New York.
- Carr A., and Ogren L., 1959. The ecology and migrations of sea turtles, 3: *Dermochelys* in Costa Rica, *Am. Mus. Nov.*, 1958, pp.1-29.
- Carr A., & Carr M.H., 1972. Site fixity in the Caribbean green turtle. *Ecology* 53: 425-429.
- Carr A., 1975. The Ascension Island green turtle colony. *Copeia*, pp.547-555.
- Caut S., Guirlet E., Jouquet P., Girondot M., 2006. Influence of nest location and yolkless eggs on the hatching success of leatherback turtle clutches in French Guiana. *Canadian Journal of Zoology*, 84, pp.908-915.
- Chacon D. & Eckert K.L., 2007. Leatherback sea turtle nesting at Gandoca Beach in Caribbean Costa Rica: management recommendations from fifteen years of conservation. *Chelonian Conservation and Biology*, 6, pp.101-110.
- Chevalier J. & Girondot M., 1998. Dynamique de pontes des tortues en Guyane française pendant la saison 1997. *Bulletin Société Herpétologie française*, 85-96, pp.5-19.
- Chevalier J., Desbois X., Girondot M., 1998a. The reason of decline of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in French Guiana: a hypothesis.
- Chevalier J., Cazelles B., et Girondot M., 1998b. Apports scientifiques à la stratégie de conservation des tortues luth en Guyane française. *JATBA, Revue d'ethnobiologie*, Volume 40 (1-2), pp. 485-507.
- Chan E.H., Liew H.C., 1995. Incubation temperatures and sex ratios in the Malaysian leatherback turtle *Dermochelys coriacea*. *Biological Conservation*, 74, pp.169-174.

- Chen H., Cheng I., Hong E., 2007. The influence of the beach environment on the digging success and nest site distribution of the green turtle, *Chelonia mydas*, on Wan-an Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Journal of Coastal Research*, 23, pp.1277-1286.
- Choubert B., 1957. Essai sur la morphologie de la Guyane française (photogéologie). Mem. Carte Géol. France, pp.43. BRGM, Paris.
- Cowell P.J., Thom B.G., Jones R.A., Everts C.H., Simanovic D., 2006. Management of uncertainty in predicting climate-change impacts on beaches. *Journal of Coastal Research*, 22, pp.232-245.
- Crowell M., Honeycutt M., Hatheway D., 1999. Coastal erosion hazards study: Phase one Mapping. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 28, pp.10-20.
- Cuevas E., de los Angeles Liceaga-Correa M., Marino-Tapia I., 2010. Influence of beach slope and width on Hawksbill (*Eretmochelysimbricata*) and Green turtle (*Chelonia mydas*), nesting activity in El Cuyo, Yucatan, Mexico. *Chelonian conservation and biology*, Volume 9, number 2, pp.262-267.

D

- Davenport J., 1997. Temperature and the life history strategies of sea turtles. *Journal of Thermal Biology*, 22, pp. 479-488.
- Davis J.L., 1980. Geographical variation in coastal development. Longman, London, 204pp.
- Davis G.E. & Whiting M.C., 1977. Loggerhead sea turtles nesting in Everglades National Park, Florida, USA, *Herpetologica*, 33, pp. 18-28.
- Defeo O., McLachlan A., Schoeman D., Schlacher T.A., Dugan J.; Jones A., Lastra M., Scapini F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 81, pp. 1-12.
- Degryse-Kulkami C., 2003. Morphodynamique de la zone de swash. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, pp.183.
- Dolique F., & Anthony E.J., 2005. Short-term profile changes of sandy pocket beaches affected by Amazon-derived mud, Cayenne, French Guiana, *Journal of Coastal Research*, 21, pp.1195-1202.
- Dutton D.L., Dutton P.H., Chaloupka M., Boulon R.H., 2005. Increase of a Caribbean leatherback turtle *Dermochelys coriacea* nesting population linked to long-term nest protection. *Biological Conservation*, vol. 126, Issue 2, pp.186-194.
- Dutton P.H., Whitmore C.P., & Mrosovsky N., 1985. Masculination of leatherback turtle *Dermochelys coriacea* hatchlings from eggs incubated in Styrofoam boxes. *Biological conservation*, 31, pp.249-264.
- Duque V.M., Paez V.P., Patino J.A., 2000. Nesting ecology and conservation of the leatherback turtle, *Dermochelys coriacea* at la Playa, Chocoan Gulf of Uraba, Columbia in 1998. *Actual Biology*, 22, pp. 37-53.

E

- Eckert K.L., 1987. Environmental unpredictability and leatherback sea turtle (*Dermochelys coriacea*) nest loss. *Herpetologica*, 43, pp. 315-523.
- Eckert K.L. & Eckert S.A., 1983. Tagging and nesting research of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) on Sandy Point, St Croix, 1983. Annual Report U.S. Fish Wildl. Ser. MIN 54-8480119.
- Eckert K.L., Eckert S.A., Nellis D.W., 1984. Tagging and nesting research of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) on Sandy Point, St Croix, 1984, with a discussion of management options for the population. Annual Report U.S. Fish Wildl.Ser; MIN 54-8580175.
- Eckert S.A., & Eckert S.A., 1985. Tagging and nesting research of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) on Sandy Point, St Croix, 1985. Annual Report U.S. Fish Wildl.Ser; MIN 54-8680431.
- Eckert S.A. & Sarti L., 1997. Distant fisheries implicated in the loss of the world's largest leatherback nesting population. *Marine turtle Newsletter*, 78, pp.2-7.
- Eisma D., Augustinus P.E.G.F., Alexander C.A., 1991. Recent and subrecent changes in the dispersal of Amazon mud. *Netherlands Journal of Sea Research*, 28, pp. 181-192.
- Ekanayake E.M.L., Ranawana K.B., Kapurusinghe T., Premakumara M.G.C., Saman M.M., 2002. Impact of lunar cycle on nesting behavior of marine turtles. *Ceylan Journal of Science (Bio. Sci.)*, Volume 30, pp. 99-104.

F

- Faye I.B.N., 2010. Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 321pp.
- Ferraroli S., 2000. Etude des déplacements en mer des tortues luth nidifiant sur le plateau des Guyanes : contribution à leur conservation. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg I, 150pp.
- Ferraroli S., Georges J.Y., Gaspar P., Maho Y., 2004. Where leatherback turtles meet fisheries. *Nature*, 429, pp.521-522.
- Fiot J. & Gratiot N., 2006. Structural effects of tidal exposure on mudflats along the French Guiana coast. *Marine Geology*, 228. Pp. 25-37.
- Fish M.R., Côté I.M., Gill J.A., Jones A.P., Renshoff F., Watkinson A.R., 2005. Predicting the impact of sea level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conservation Biology*, 19, pp. 482-491.
- Foley A.M., Peck S.A., Harman G.R., 2006. Effects of sand characteristics and inundation on the hatching success of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) clutches on low-relief mangrove islands in southwest Florida. *Chelonian Conservation and Biology*, 5, pp.32-41.
- Fossette S., Ferraroli S., Tanaka H., Ropert-Coudert Y., Arai N., Sato K., Naito Y., Le Maho Y., Georges J.Y., 2007. Dispersal and dive patterns in gravid leatherback turtles during the nesting season in French Guiana. *Marine Ecology Progress Series*, 338, pp. 233-247.

- Fossette S., Gaspar P., Handrich Y., Le Maho Y., Georges J.Y., 2008. Dive and beak movement patterns in leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) during inter-nesting intervals in French Guiana, *Journal of Animal*, 77, pp. 236-246.
- Fossette S., Witt M.J., Miller P., Nalovic M.A., Albareda D., Almeida A.P., Broderick A.C., Chacón-Chaverri D., Coyne M.S., Domingo A., Eckert S., Evans D., Fallabrino A., Ferraroli S., Formia A., Giffoni B., Hays G.C., Hughes G., Kelle L., Leslie A., López-Mendilaharsu M., Lushi P., Prodocimi L., Rodriguez-Heredia S., Turny A., Verhage S., Godley B.J., 2014. Proceedings of the Royal Society Biological Sciences, Volume 281, n°1780.
- Fowler L.E., 1979. Hatching success and nest predation in the green sea turtles, *Chelonia mydas* at Tortuguero, Costa Rica. *Ecology*, 60, pp.946-955.
- Frazer N.B., 1983. Effect of tidal cycles on loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) emerging from the sea. *Copeia*. Volume 1983, n°2, pp. 516-519.
- Fretey J. & Lescure J., 1998. Les tortues marines en Guyane française: bilan de 20ans de recherché et de conservation. *Journal d'Agriculture tropicale et botanique appliquée. Revue Ethnobiologie*, 40, pp.219-238.
- Fretey J. & Girondot M., 1987. Recensement des pontes de tortue luth, *Dermochelys coriacea* (Vandelli, 1761), sur les plages de Yalimapo-Les Hattes à Awara (Guyane française) pendant la saison 1986. *Bulletin SociétéHerpétologie.Française*, 43, pp.1-8.
- Fretey J., & Girondot M., 1989. Hydrodynamic factors involved in choice of nesting site and time of arrivals of leatherbacks in French Guiana. 9th Workshop on Sea Turtle, Biology and Conservation, Jeckhill Island (Georgia).
- Fretey J., & Billes A.,2000. Les plages du sud Gabon: dernière grande zone de reproduction de la planète pour la tortue luth? *Canopée* 17.
- Froidefond J.M, Pujos M., Andre X., 1988. Migration of mud banks and changing coastline in French Guiana.*Marine Geology*, 84, 19-30.
- Froidefond J.M., Prost M.T., Griboulard R., 1985. Etude de l'évolution morpho-sédimentaire des littoraux argileux sous climat équatorial : l'exemple du littoral guyanais. Dép. Géol. Océan. I.G.B.A., Talence, pp.189.
- Fromard F., Puig H., Mougín E., Marty G., Betoulle J.L., Cadamuro L., 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115, pp.39-53.
- Fuentes-Farias A.L., Garduño-Monroy V.H., Gutiérrez-Ospina G., Pérez-Cruz L., Meléndez-Herrera E., Urrutia-Fucugauchi J., 2010. Reconnaissance study of Colola and Maruata, the nesting beaches of marine turtles along the Michoacan coast in southern Mexico. *Geofísica International*, 49 (4), pp.201-212.

G

- Gardel A., & Gratiot N., 2004. Monitoring of coastal dynamics in French Guiana from 16years of SPOT Satellite Images.*Proceedings of the 8th International Coastal Symposium* (Itajai, SC, Brazil)*Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, pp. 1502-1505.

- Gardel A., & Gratiot N., 2005. A satellite image-based method for estimating rates of mud bank migration, French Guiana, South America, *Journal of Coastal Research*, 21, 720-728.
- Gardel A., & Gratiot N., 2006. Monitoring of coastal dynamics in French Guiana from 16 years of SPOT images. *Journal of Coastal Research*. SI 39, pp.1502-1505.
- Gardel A., Proisy C., Lesourd S., Philippe S., Caillaud J., Gontharet S., Anthony E.J., Brutier L., 2009. A better understanding of mud cracking processes gained from in situ measurements on an intertidal mud flat in French Guiana. *Journal of Coastal Research*. SI 56, pp.424-428.
- Gardel A., 2011. Géomorphologie et aménagement des littoraux à sédiments hétérogènes. Approche combinant télédétection et mesures in-situ. Le cas du littoral de la Guyane française. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, 110pp.
- Gardel A., Gensac E., Anthony E.J., Lesourd S., Loisel H., Marin D., 2011. Wave-formed mud bars : their morphodynamics and role in opportunistic mangrove colonization. *Journal of Coastal Research*, SI 64, pp.384-387.
- Garmestani A.S., Percival H.F., Portier K.M., Rice K.G., 2000. Nest site selection by the loggerhead sea turtle in Florida's Ten thousand Islands. *Journal of Herpetology*. Volume 34, n°4, pp.504-510.
- Gensac E., 2012. Dynamique morphosédimentaire du littoral sous influence amazonienne. Influence des forçages hydrométéorologiques sur la migration des bancs de vase et la mangrove côtière. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 189pp.
- Gensac E., Lesourd S., Gardel A., Anthony E.J., Proisy C., Loisel H., 2011. Short-term prediction of the evolution of mangrove surface areas : The example of the mud banks of Kourou and Sinnamary, French Guiana. *Journal of Coastal Research*, SI 64, pp.388-392.
- Georges J.Y., Fossette S., Billes A., Ferraroli S., Fretey J., Grémillet D., Le Maho Y., Myers A.E., Tanaka H., Hays G.C., 2007. Meta-analysis of movements in Atlantic leatherback turtles nesting season. *Marine Ecology Progress Series*, 338, pp.225-232.
- Gibbs R.J., 1976. Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean. *Geology*, 4, pp.45-48.
- Girondot M. and Fretey J., 1996. Leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, nesting in French Guiana, 1978-1995. *Chelonian Conservation Biology*, 2, 204-208.
- Girondot M., Tucker A.D., Rivalan P., Godfrey M.H., and Chevalier J., 2002. Density-dependant nest destruction and population fluctuations of Guianan leatherback turtles. *Animal Conservation*, The Zoological Society of London, 5, pp.75-84.
- Girondot M., Godfrey M.H., Ponge L., Rivalan P., 2007. Modeling approaches to quantify leatherback nesting trends in French Guiana and Suriname. *Chelonian Conservation Biology*, 6, pp.37-46.
- Godfrey M.H., & Barreto R., 1998. *Dermochelys coriacea* (Leatherback sea turtle) copulation. *Herpetologica Review*, 29, pp.40-41.
- Gratiot N., Gardel A., Anthony E.J., 2007. Trade-wind waves and mud dynamics on the French Guiana coast, South America: Input from ERA-40 wave data and field investigations. *Marine Geology*, 236, 15-26.
- Guirlet E., 2008. Etude des facteurs écologiques et écotoxicologiques impliqués dans la réussite d'incubation chez la tortue luth, *Dermochelys coriacea*, de Guyane française. Thèse de doctorat, Université Paris XI, 188p.

H

- Hailman J.P., Elowson A.M., 1992. Ethogram of the nesting female loggerhead (*Carettacaretta*). *Herpetologica*, 48, 1, 1-30.
- Hannan L.B., Roth J.D., Ehrhart L.M., Weishampel J.F., 2007. Dune vegetation fertilization by nesting sea turtles. *Ecology*, 88, pp.1053-1058.
- Hardisty J., 1994. Beach and nearshore sediment transport. Sediment transport and depositional processes, ed. Pye., K., Blackwell Scientific, pp.219-255.
- Harris L. Ronel N., Smale M., Schoeman, D., 2011. Swashed away? Storm impacts on sandy beach macrofaunal communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94, pp.210-221.
- Hays G.C. & Speakman J.R., 1993. Nest placement by loggerhead turtles, *Carettacaretta*. *Animal behavior*, 45, pp.47-53.
- Hays G.C., Ashworth J.S., Barnsley M.J., Broderick A.C., Emery D.R., Godley B.J., Henwood A., Jones E.L., 2001. The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos*, 93, pp.87-94.
- Hawkes L.A., Broderick A.C., Godfrey M.H., Godley B.J., 2009. Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*, 7, pp.137-154.
- Hendrickson J.R., 1958. The green sea turtles, *Chelonia mydas* (Linn.), in Malaysia and Sarawak. *Proceedings of the zoological society of London*, 130, pp.455-535.
- Hendrickson J.R., & Balsingham E., 1966. Nesting beach preferences of Malayan sea turtles. *Bulletin of the National Museum of Singapore*, 33, pp. 69-76.
- Hendrickson J.R., 1981. Nesting behavior of sea turtles with emphasis on physical and behavioral determinants of nesting success or failure in the *Biology and Conservation of sea turtles*. Bjorndal, K.A. (Eds). Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Heppell S.S., 1998. Application of life history theory and population model analysis to turtle conservation. *Copeia* 1998, pp. 367-375.
- Hernandez R., Buitrago J., Guada H., Hernandez-Hamon H., Llano M., 2007. Nesting distribution and hatching success of the leatherback, *Dermochelys coriacea*, in relation to human pressures at Playa Parguido, Margarita Island, Venezuela.
- Hilterman M.L. & Goverse E., 2002. Aspects of nesting and nesting success of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) in Suriname. Amsterdam: Biotopic Foundation.
- Hilterman M.L. & Goverse E., 2007. Nesting and nest success of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) in Suriname, 1999-2005. *Chelonian Conservation and Biology*, 6, 1, pp.87-100.
- Hilterman M.L., Tordoir M.T., Goverse E., Reichart H.A., 2008. Beaches come and beaches go: coastal dynamics in Suriname are affecting important sea turtle rookeries. *Proceedings of the 25th annual symposium on sea turtle biology and conservation* (compilers H. Kalb, A.S. Rohde, K. Gayheart & K. Shanker), pp.140-141. NOAA Technical Memorandum NMGS-SEFSC. National Marine Fisheries Service, Miami, USA.

Hoekert W.E.J., Shouten A.D., Van Tienen L.H.G., Weijerman M., 1996. Is the Surinam Olive Ridley on the eve of extinction? First census data for olive ridleys, green turtles, and leatherbacks since 1989. *Marine Turtle Newsletter*, 1996, No.75.

Holland K.T., Elmore P.A., 2008. A review of heterogeneous sediments in coastal environments. *Earth Science Reviews*, 89, pp.116-134.

Horrocks J.A., Scott N.M., 1991. Nest site location and nest success in the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricate* in Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series*, 69, pp.1-8.

Hoyt J., 1969. Chenier versus barrier, genetic and stratigraphic distinction. *AAPG Bulletin*, 53, pp.299-306.

Hughes G.R., 1974. The sea turtles of southeast Africa: I. Status, morphology and distributions. Investigational Report, No. 35. The oceanographic Research Institute, Republic of South Africa.

I

Ikaran M., 2010. Nesting and conservation of the leatherback turtle, *Dermochelys coriacea*, at the beach of Kingere, Gabon, Central Africa. PhD thesis, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pp. 186.

J

Jankie S. and Lawrence A., 2010. A comparison of beach morphology and physical characteristics of Turtle Beach, Tobago and Grande Riviere, Trinidad and its implications for turtle nesting. Proceedings in the 1st Research Symposium on Biodiversity in Trinidad and Tobago, Port of Spain, Trinidad.

Janzen F.J., 1994. Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 91, pp.7487-7490.

Jestin H., Bassoulet P., Le Hir P., L'Yavanc J., Degres Y., 1998. Development of ALTUS, a high frequency acoustic submersible recording altimeter to accurately monitor bed elevation and quantify deposition or erosion of sediments. *Ocean Conference Record (IEEE)*, n°1, pp.189-194.

Jeanson M., 2009. Morphodynamique du littoral de Mayotte. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 353pp.

K

Kamel S.J., Mrosovsky, N., 2004. Nest site selection in leatherbacks, *Dermochelys coriacea*: individual patterns and their consequences. *Animal behavior*, 68, pp. 357-366.

Kamel S.J., Mrosovsky N., 2005. Repeatability of nesting preferences in the hawksbill sea turtle, *Eretmochelys imbricata*, and their fitness consequences. *Animal behavior*, 70, 4, pp.819-828.

Kamel S.J., Mrosovsky N., 2006. Inter-seasonal maintenance of individual nest site preferences in hawksbill sea turtles. *Ecology*, 87, 11, pp.2947-2952.

Kappler J., 1881. *Hollandische Guiana*. Vertaling van F.L. Postel, Winterswijk.

- Karavas N., Gaorghiou K., Arianoutsou M., Dimopoulos D., 2005. Vegetation and sand characteristics influencing nesting activity of *Caretta caretta* on Sekenia beach. *Biological Conservation*, 121, 2, pp.177-188.
- Kelle L., Gratiot N., Nolibos I., Thérèse J., Wongsopawiro R., and de Thoisy B., 2007. Monitoring of Nesting Leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) : Contribution of Remote sensing for Real-time assessment of beach coverage in French Guiana. *Chelonian conservation and biology*, 6, 1, 142-147.
- Kelle L., Gratiot N. de Thoisy B., 2009. Olive ridley turtle *Lepidochelys olivacea* in French Guiana : back from the brink of regional extirpation ? Short communication, Fauna and Flora International, Oryx, 43, 2, pp.243-246.
- Komen G.L., Cavaleri L., Donelan M., Hasselmann K., Janssen P.A.E.M., 1994. Dynamics and modeling of ocean waves. Cambridge University Press, Cambridge.

L

- Lacepede Comte de. , 1847. Histoire Naturelle (new ed.), Paris. Volume 1.
- Lamont M.M., Carthy R.R., 2007. Response of nesting sea turtles to barrier island dynamics. *Chelonian Conservation and Biology*, volume 6, issue 2, pp. 206-212.
- Lamont M.M., & Houser C., 2014. Spatial distribution of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) emergences along a highly dynamic beach in the northern Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 453, pp.98-107.
- Lee Lum L., 2005. Beach dynamics and nest distribution of the leatherback sea turtle (*Dermochelys coriacea*) at Grande Riviere beach, Trinidad & Tobago. *Rev. Biol. Trop.* 53, pp.239-248.
- Limpus C.J., Reed P., Miller J.D., 1983. Islands and turtles. The influence of choice of nesting beach on sex ratio. In: Baker J.T., Carter R.M., Sammarco P.W., Stark K.P. (eds). Proceedings: inaugural Great Barrier Reef Conference. James Cook University Press, Townsville, pp.397-402.
- Limpus C.J., Nicholls N., 2000. ENSO regulation of Indo-Pacific green turtle populations. In: Hammer, G.L., Nicholls, N., Mitchell C., (Eds), The Australian Experience. Kluwer Academic Publishers, pp. 796-798.
- Linnaeus, 1758. Systemanaturae per regna trianaturae ,secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis, ed. 10.
- Lohmann K.J., Lohmann C.M.F., Ehrhart L.M., Bagley D.A., Swing T., 2004. Geomagnetic map used in sea turtle navigation. These migratory animals have their own equivalent of a global positioning system. *Nature*, 428.
- Luschi P., Benhamou S., Girard C., Ciccione S., Roos D., et al. (2007). Marine turtles use geomagnetic cues during open sea homing. *Current Biology*, Volume 17, pp.126-133.

M

- Maison K.A., King R., Lloyd C., and Eckert S., 2010. Leatherback nest distribution and beach erosion pattern at Levera Beach, Grenada, West Indies. *Marine Turtle Newsletter*, No. 127.

- Marco A., Abella E., Lopez-Jurado L.F., 2007. Vulnerability of turtle eggs to the presence of lays in nesting beaches. Proceedings of the 27th International Symposium on Sea Turtles. International Sea Turtle Society. Myrtle Beach, Carolina, USA.
- Martinez J.M., Guyot J.L., Filizola N., Sondag F., 2009. Increase in sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring and satellite data. *Catena*, 79, pp. 29.
- Mazaris A.D., 2005. Modelling population dynamics of the Mediterranean loggerhead sea turtle *Caretta caretta* and evaluating the potential impacts of breeding habitat destruction, loss and fragmentation upon population persistence. PhD thesis, Greece, University of the Aegean.
- Mazaris A.D., Matsinos Y.G., Margaritoulis D., 2006. Nest site selection of loggerhead sea turtles: the case of the island of Zakynthos, West Greece. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, volume 336, Issue 2, pp.157-162.
- Mazaris A.D., Matsinos G., Pantis J.D., 2009. Evaluating the impacts of coastal squeeze on sea turtle nesting. *Ocean & Coastal Management*, 52, pp.139-145.
- McBride R., Taylor M., Byrnes M., 2007. Coastal morphodynamics and Chenier-Plan evolution in southwestern Louisiana, USA: a geomorphic model. *Geomorphology* 88, pp.367-422.
- Miller J.D., 1997. Reproduction in sea turtles. In: Lutz, P.L., Musick J.A. (Eds.), *The Biology of Sea Turtles*, Volume 1. CRC Press, Boca Raton, FL, pp.51-81.
- Miller J.D., Limpus C.J., Godfrey M.H., 2003. Nest site selection, oviposition, eggs, development, hatching and emergence of loggerhead turtles. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. *Loggerhead sea turtles*. Washington: Smithsonian Books, pp.125-143.
- Milton S.L., Leonekabler S., Schulman A.A., Lutz P.L., 1994. Effects of Hurricane-Andrew on the sea turtle nesting beaches of South Florida. *Bulletin of Marine Science* 54, pp.974-981.
- Molfetti E., Torres Vilaça S., Goerges J.Y., Plot V., Delcroix E., Le Scao R., Lavergne A., Barrioz S., Rodrigus dos Santos F., de Thoisy B., 2013. Recent demographic history and present fine scale structure in the Northwest Atlantic Leatherback (*Dermochelys coriacea*) turtle population. *PLoS-ONE*, volume 8, issue 3, e58061.
- Monte-Luna (del) P., Guzman-Hernandez V., Cuevas E.A., Arreguin-Sanchez F., Lluch-Belda D., 2012. Effect of North Atlantic climate variability on hawksbill turtles in the Southern Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 42, pp.103-109.
- Moore L.J., 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, Vol. 16, n°1, pp.111-124.
- Mortimer J.A., 1982. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. In: K.A., Bjorndal (Ed.). *Biology and Conservation of Sea turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 45-52.
- Mortimer J.A., 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*), *Copeia* 3, pp.802-817.
- Mortimer J.A., 1995. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. *Biology and Conservation of sea turtles* edited by K.A. Bjorndal, Smithsonian Institution.

Mortimer J.A., Portier K.M., 1989. Reproductive homing and inter nesting behavior of the green turtle (*Chelonia mydas*) at Ascension Island, South Atlantic Ocean, *Copeia*, 1989, pp.962-977.

Mosier A.E., 1998. The impact of coastal armoring structures on sea turtle nesting behavior at three beaches on the east coast of Florida, St Petersburg, Florida, University of South Florida, Master's thesis, 112p.

Mrosovsky N. 1983. Ecology and nest site selection of leatherback sea turtle, *Dermochelys coriacea*, *Biological Conservation*, 26, pp.47-56.

Mrosovsky N., 1994. Sex ratios of sea turtles. *Journal of Experimental Zoology*, 270, pp. 16-27.

Mrosovsky N., Yntema C.L., 1980. Temperature-dependance of sexual differentiation in sea turtles implications for conservation practices. *Biological Conservation*, 18, pp.271-280.

N

Nedeco, 1968. Surinam transportation study. Netherlands Engineering Consultants. The Hague, pp. 1-293.

Nittrouer C.A., Kuehl S.A., Sternberg R.W., Figueiredo A.G., Faria L.E.C., 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*. 125, pp.177-192.

Nordmoe E.D., Sieg A.E., Sotherland P.R., Spotila J.R., Paladino F.V., Reina R.D., 2004. Nest site fidelity of leatherback turtles at Playa Grande, Costa Rica. *Animal Behavior*, 68, pp.387-394.

Nye J.A., Baker M.R., Bell R., Kenny A., Halimeda Kilbourne K., Friedland K.D., Martino E., Stachura M.M., Van Houtan K.S., Wood R., 2013. *Journal of Marine sciences*, volume 133, pp.103-116.

O

Otvos E., Price W., 1979. Problems of chenier genesis and terminology, an overview. *Marine Geology*, 31, pp.251-263.

P

Palvadeau E., 1998. Géodynamique quaternaire de la Guyane française. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, pp.232.

Pike D.A., 2008. Environmental correlates of nesting in loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Animal behavior*, 76, pp.603-610.

Pilkey W.R., & Hume T., 2001. Coastal Research, The shoreline erosion problem: lessons from the past. *Water & Atmosphere*, 9, 2, National Institute of Water and Atmosphere, New Zealand.

Plotkin P.T., 2003. Adult migrations and habitat use. In: Lutz PL, Musick JA, Wyneken J (eds), *The biology of sea turtles*, Vol. II. CRC Press, Boca Raton, FL, pp.225-241.

Price W.A., 1955. Environment and formation of the chenier plain. *Quaternaria*, 2, pp. 55-86.

- Proisy C., Gratiot N., Anthony E.J., Gardel A., Fromard F., Heuret P., 2009. Mud bank colonization by opportunistic mangroves: a case study from French Guiana using lidar data. *Continental Shelf Research*, 29 (3), pp. 632-641.
- Pritchard P.C.H., 1997. Evolution, Phylogeny and current status in the Biology of sea turtles. Chapter 1. Lutz P.L. & Musick J.A. (Eds). CRC Press: Florida, New York.
- Pritchard P.C.H., 1976. Post nesting movements of marine turtles (*Cheloniidae* and *Dermochelyidae*) tagged in the Guianas. *Copeia*, 1976, n°4.
- Pritchard P.C.H., 1973. International migrations of South American sea turtles (*Cheloniidae* and *Dermochelidae*). *Animal Behavior*, 21, pp. 18-27.
- Pritchard P.C.H., 1971. The leatherback or leathery turtle, *Dermochelys coriacea*. IUCN Monogr., 1, pp.1-39.
- Pritchard P.C.H., 1969. Sea turtles of the Guianas. Bulletin of the Florida State Museum, *Biological Sciences*, volume 13, n°2, pp.85-140.
- Prost M.T., Charron C., 1991. L'érosion côtière en Guyane. Colloque international sur la défense des côtes et protection du littoral. Nantes, 17-20 Octobre 1991, pp.17.
- Prost M.T., 1989. Coastal dynamics and chenier sands in French Guiana. In P.G.E.F. Augustinus (Editor), *Cheniers and chenier plains. Marine Geology*, 90, 259-267.
- Prost M.T., 1990. Les côtes des Guyanes. Doc. ORSTOM. Programme Environnement Côtier. Série Géomorphologie. *Sédimentologie*, 213pp. Mai 1990, Cayenne, Guyane.
- Prost M.T., Lointier M., 1986. Sédimentologie et stratigraphie des formations holocènes de la plaine côtière de la Guyane française. Programme international de Corrélation géologique/ Quaternaire de l'Amérique du Sud (Projet 201). Centre ORSTOM-Cayenne. pp.25.
- Prost M.T., 1986. Aspect of the morphosedimentary evolution of French Guiana's coastline. International Symposium on Sea level changes and Quaternary shorelines. Sao Paulo, Brésil, Juillet 1986.
- Provancha J.A. & Ehrhart L.M., 1987. Sea turtle nesting trends at Kennedy Space Center and Cape Canaveral Air Force Station, Florida, and relationships with factors influencing nest site selection. In W.N. Witzell (ed.), *Ecology of East Florida Sea Turtles*, pp. 33-44. NOAA Technical report, NMFS, 53.
- Pujos M. & Froidefond J.M., 1995. Water masses and suspended matter circulation on the French Guiana continental shelf. *Continental shelf research*. Volume 15, No. 9. pp.1157-1171.
- Pujos M., Latouche C., Maillet N., 1996. Late quaternary paleoceanography of the French Guiana shelf :clay-mineral evidence. *Oceanologica Acta*, 19, 5, pp.477-487.
- Pujos M., Pons J.C., Parra, M., 2001. Les minéraux lourds des sables du littoral de la Guyane française: bilan sur l'origine des dépôts de la plate-forme des Guyanes. *Oceanologica acta*, 24, S27- S35.

- R.D. Instruments, 1989. Acoustic Doppler current profilers. Principles of operation: a practical primer, 39pp.
- Reichart H.A., 1993. Synopsis of Biological Data on the olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz 1829) in the Western Atlantic. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC 336. National Marine Fisheries Service, Miami, USA.
- Reichart H.A. & Fretey J., 1993. WIDECAST Sea Turtle Recovery Action Plan for Suriname (K.L. Eckert, Editor). CEP Technical Report No. 24. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica, xiv+65pp.
- Rivalan P., 2004. La dynamique des populations de tortues luths de Guyane française: Recherche des facteurs impliqués et application. Thèse de doctorat, Université de Paris XI Orsay, 249pp.
- Robelin C., & Farjanel G., 1997. Evolution géologique et sédimentologique du littoral guyanais au cours du Quaternaire. Résumé, IV Workshop ECOLOB, 2-7 novembre 1997, Cayenne.
- Rockwell Geyer W.R., Kineke G.C., 1995a. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. *Journal of Geophysical Research*, 100 (C2), pp.2321-2329.
- Rockwell Geyer W.R., Beardsley R.C., Lentz R.C., Candela J., Limeburner R., Johns W.R., Castro B.M., Dias Soares I., 1995. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, volume 16, n 5/6, pp.575-616.
- Rockwell Geyer W.R., Hill P.S., Kineke G.C., 2004. The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant coastal flows. *Continental Shelf Research*, 24, pp.927-949.
- Russell R., Howe H., 1935. Cheniers of Southwestern Louisiana. *Geographical Review* 25, pp.449-461.

S

- Saba V.S., Shillinger G.L., Swithenbank A.M., Block B.A., Spotila J.R., Musick J.A., Paladino F.V., 2008. An oceanographic context for the foraging ecology of eastern Pacific leatherback turtles: Consequences of ENSO. *Deep Sea Research I*, 55, pp. 646-660.
- Salmon M., Reiners R., Lavin C., & Wyneken J., 1995. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement. *Journal of Herpetology*, Volume 29, No.24, pp.560-567.
- Salmon M., Witherington B.E., Elvidge C.D., 2000. Artificial lighting and the recovery of sea turtles (*Caretta caretta*) during their offshore migration. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 109, pp. 137-153.
- Sarti Martinez A.L., 1996. Decline of the world's largest nesting assemblage of leatherback turtles. *Marine Turtle Newsletter*. 74, pp. 2-5.
- Sarti Martinez, A.L. (Marine Turtle Specialist Group) 2000. *Dermochelys coriacea*. In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species.
- Sarti Martinez A.L., Barragan A.R., Garcia-Munez D., Garcia N., 2007. Conservation and biology of the leatherback turtle in the Mexican Pacific. *Chelonian Conservation and Biology*, 6, pp.70-78.

- Schulz J.P., 1971. Nesting beaches of sea turtles in west French Guiana. Proc. Koninkl. Nederl.Akad.Wetensch. C., 74, pp. 398-404.
- Schulz J.P., 1975. Sea turtles nesting in Surinam. *Zoologischever handelingen*, 23, pp.1-143.
- Seminoff, J.A. (Southwest Fisheries Science Center, U.S.) 2004. *Chelonia mydas*. In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species.
- Sheremet A. & Stone G.W., 2003. Observations of nearshore wave dissipation over muddy sea beds. *Journal of Geophysical Research*, 108, C11, 21-1/21-11.
- Shoop C.R., Ruckdeschel C.A., Thompson N.B., 1985. Sea turtles in the southeast United States nesting activity as derived from aerial and ground surveys, 1983. *Herpetologica* 41: pp. 252-259.
- Slott J.M., Murray A.B., Ashton A.D., Crowley T.J., 2006. Coastline responses to changing storm patterns. *Geophysical Research letters*, 33, L18404.
- Sonu C.J. & James W.R., 1973. A markov model for beach profile changes. *Journal of Geophysical Research*, vol. 78, pp. 1462-1471.
- Sourdat M. et Marius C., 1964. Prospections des cordons littoraux de sables grossiers entre Macouria et Organabo. Orstom/Cayenne, p.13.
- Spanier M.J., 2010. Beach erosion and nest site selection by the leatherback sea turtle *Dermochelys coriacea* (Testudines: *Dermochelyidae*) and implications for management practices at Playa Gandoca, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol)*, Volume 58, Issue 4, pp. 1237-1246.
- Spencer R.J., & Thompson M.B., 2003. The significance of predation in nest site selection of turtles: an experimental consideration of macro and microhabitat preferences. *Oikos*, 102, pp.592-600.
- Spotila J.R., Standora E.A., Morreale S.J., Ruiz G.J., 1987. Temperature dependent sex determination in the green turtle (*Chelonia mydas*); effects on the sex ratio on a natural nesting beach. *Herpetologica*, 43, pp.74-81.
- Spotila J.R., Dunham A.E., Leslie A.J., Steyermark A.C., Plotkin P.T., Paladino F.V., 1996. Worldwide population decline of *Dermochelys coriacea*: Are leatherback turtles going extinct? *Chelonian Conservation Biology*, 2, 2, 1115-1125.
- Spotila J.R., Reina R.D., Steyermark A.C., Plotkin P.T., Paladino F.V., 2000. Pacific leatherback turtles face extinction. *Nature*, 405, pp.529-530.
- Spotila J.R., 2004. Sea turtles: A complete guide to their biology; behavior and conservation. The Johns Hopkins University Press and Oakwood Arts.p.227.
- Sterl A., Caires S., 2005. Climatology, variability and extrema of ocean waves the web-based KNMI/ERA-40 Wave Atlas. *Int. J. Climatol.* 25, pp.963-977.
- Stewart K., Sims M., Meylan A., Witherington B., Brost B, Crowder L.B., 2011. Leatherback nest increasing significantly in Florida, USA: trends assessed over 30 years using multilevel modeling. *Ecological applications*, 21, 1, pp.263-273.
- Stoneburner D.L., Ehrhart L.M., 1981. Observations on *Caretta caretta*: a record interesting migration in the Atlantic. *Herpetological Review*, 12, p.66.
- Stoneburner D.L., Richardson J.I., 1981. Observation on the role of temperature in loggerhead turtle nest site selection. *Copeia* 1981, pp.238-241.

T

- Tamura T., Horaguchi K., Saito Y., Nguyen V.L., Tateishi M., Ta T.K.O., Nanayama F., Watanabe K., 2010. Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong River delta coast. *Geomorphology*. Vol. 116, issues 1-2, pp. 11-23.
- Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A., 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0. An ArcGis extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open File Report 2008-1278.
- Tiwari M., Bjorndal K.A., Bolten A.B., Bolker B.M., 2005. Intraspecific application of the mid-domain effect model: Spatial and temporal nest distributions of Green turtles, *Chelonia mydas*, at Tortuguero, Costa Rica. *Ecology letters*, 8, pp. 918-924.
- Tröng S., Chacon D., Dick B., 2004. Possible decline in leatherback turtle *Dermochelys coriacea* nesting along the coast of Caribbean Central America. *Oryx*, 38, pp. 395-403.
- Turenne J.F., 1978. Sédimentologie des plaines côtières (Guyane française). Atlas de la Guyane CNRS/ORSTOM.
- Turkozan O., Yanamoto K.H., and Yilmaz C., 2011. Nest site preference and hatching success of green (*Chelonia mydas*) and Loggerhead (*Carettacaretta*) sea turtles at Akyatan beach, Turkey. *Chelonian Conservation and Biology*, 10, 2, pp. 270-275.

V

- Van Houtan K.S., Bass O.L., 2007. Stormy oceans are associated with declines in sea turtle hatching. *Current Biology*, Volume 17. No. 15, R590-R591.
- Van Houtan K.S., Halley J.M., 2011. Long-term climate forcing in loggerhead sea turtle nesting. *PLoS ONE* 6 (4): e19043.
- Viseux B., 2001. Etude à l'aide d'un SIG de la prédation des oeufs et juveniles de tortues marines par les chiens et urubus en Guyane française. Caractérisation de la prédation des œufs de *Dermochelys coriacea* par *Ocypodaquadrata*. Université de Corte, Corse, France.

W

- Wallace B.P., Tiwari M., Girondot M., 2013. *Dermochelys coriacea*. In: IUCN 2013. IUCN Red list of Threatened species. Version 2013.2. <www.iucnredlist.org>.
- Walsh J.P., Nittrouer C.A., 2004. Mangrove-bank sedimentation in a mesotidal environment with large sediment supply, Gulf of Papua. *Marine Geology*, 208, pp.225-248.
- Wamdig, 1988. The WAM model, A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, pp. 1775-1810.

- Warne A.G., Mead R.H., White W.A., Guevara E.H., Gibeaut J., Smyth R.C., Aslan A., Tremblay T., 2002. Regional controls on geomorphology, hydrology and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology*, Volume 44, Issues 3-4, pp. 273-307.
- Webster W.M.D. & Cook K.A., 2001. Intraseasonal nesting activity of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in Southeastern North Carolina. *The American Midland Naturalist*, 145, pp.66-73.
- Weishampel J.F., Bagley D.A., Ehrhart L.M., Rodenbeck B.L., 2003. Spatiotemporal patterns of annual sea turtle nesting behaviors along an East Central Florida beach. *Biological Conservation*, 110, pp.295-303.
- Wells J.T., and Coleman J.M., 1978. Longshore transport of mud by waves: northeastern coast of South America. *Geol. Mijnbouw*, 57, pp.353-359.
- Wells J.T., and Coleman J.M., 1981. Physical processes and fine-grained sediment dynamics, coast of Suriname, South America. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 4, pp.1053-1068.
- Wells J.T., 1983. Dynamics of coastal fluid muds in low-moderate, and high tide range environments. *Can.J.Fish. Aquat. Sci.*, 40, (1), pp.103-141.
- Wells J.T., Kemp, G.P., 1986. Interaction of surface waves and cohesive sediments: field observations and geologic significance. In: Mehta, A.J. (Ed.), *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, 14. *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*, pp.43-65.
- Whitmore C.P. and Dutton P.H., 1985. Infertility, embryonic mortality and nest-site selection in leatherback and green sea turtles in Suriname. *Biological conservation*, 34, Issue 3, pp.251-272.
- Willis-Norton E., Hazen E.L., Fossette S., Shillinger G., Rykaczewski R.R., Foley D.G., Dunne J.P., Bograd S.J., 2014. Climate change impacts on leatherback turtle pelagic habitat in the southeast Pacific. *Deep-Sea Research II*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.12.019>.
- Winterwerp J.C., de Graaff R.F., Groeneweg J., Luijendijk A.P., 2007. Modelling of wave damping at Guyana mud coast. *Coastal Engineering*, 54, pp.249-261.
- Winterwerp J.C., de Boer G.J., Greeuw G., van Maren D.S., 2012. Mud-induced wave damping and wave-induced liquefaction. *Coastal engineering*, 64, pp.102-112.
- Witherington B.E., 1986. Human and natural causes of marine turtle clutch and hatchling mortality and their relationship to hatchling production on an important Florida nesting beach. Masters dissertation. University of Central Florida. Orlando, Florida, 282p.
- Witherington B.E., 1991. Orientation of hatchling loggerhead turtles at sea off artificially lighted and dark beaches. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 149, pp.1-11.
- Witherington B.E., Hiram S., Mosier A., 2011a. Sea turtles responses to barriers on their nesting beach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 401, pp. 1-6.
- Witherington B.E., Hiram S., Mosier A., 2011b. Barriers to sea turtle nesting on Florida (United States) Beaches: Linear extent and changes following storms. *Journal of Coastal Research*, 27, 3 pp.450-458. West Palm Beach (Florida).
- Wood D., & Bjorndal K.A., 2000. Relation of temperature, moisture, salinity and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. *Copeia*, pp.119-128.

Wright L.D., Nittrouer C.A., 1995. Dispersal of river sediment in coastal seas – 6 contrasting cases. *Estuaries* 18, pp.494-508.

Wright L.D., & Thom B.G., 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamics approach. *Progress in Physical Geography*, 1, pp.412-459.

Wright L.D. & Short A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56, pp.93-118.

Y

Yalcin-Ozdilek S., Goksel Ozdilek H., SancarOzaner F., 2007. Possible influence of beach sand characteristics on green turtle nesting activity on Samandag beach, Turkey. *Journal of coastal research*, Volume 23, Issue 6, pp.1379-1390. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Yanamoto K.H., Powell R.L., Anderson S., Sutton P.C., 2012. Using LIDAR to quantify topographic and bathymetric details for sea turtle nesting beaches in Florida. *Remote sensing of Environment*, pp.125-133.

Yntema C.L., Mrosovsky N., 1980. Sexual differentiation in hatchling loggerheads (*Caretta caretta*) incubated at different controlled temperatures. *Herpetologica*, 36, pp. 33-36.

Z

Zangerl R., 1980. Patterns of phylogenetic differentiation in the Toxochelyid and Cheloniid sea turtles. *American Zoologist*, 20, pp.585-596.

Zavaleta-Lizàrraga L, Morales-Màvil J.E., 2013. Nest site selection by the green turtles (*Chelonia mydas*) in a beach of the north of Veracruz, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, pp.927-937.

Dynamique littorale et comportement de ponte des tortues marines en Guyane française

Résumé

Le littoral guyanais accueille chaque année les pontes de tortues marines. En Guyane, les tortues doivent faire face à l'instabilité côtière liée au passage d'imposants bancs de vase le long du littoral. Dans ce contexte, les plages de ponte peuvent devenir non attractives si elles présentent une érosion trop marquée ou si elles sont envasées. L'instabilité de ce littoral peut également induire la création de nouveaux sites sableux (cheniers), sites de ponte potentiels.

Ce travail de thèse s'attache à étudier la dynamique morphosédimentaire des plages sableuses servant d'habitat de ponte aux tortues et les répercussions de la migration des bancs sur ces plages. La principale zone d'étude, la plage d'Awala-Yalimapo, a été instrumentée entre 2011 et 2013, et a permis de comprendre le fonctionnement hydro-sédimentaire d'une des principales plages de ponte guyanaises à une échelle mensuelle à pluriannuelle. Parallèlement à ce travail, l'activité de ponte des tortues marines a été recensée permettant de mettre en évidence l'utilisation de certains paramètres environnementaux dans la sélection finale du site de ponte. Les principaux déterminants sont la configuration de l'avant-plage, la hauteur d'eau, les courants de marée et la dynamique morphosédimentaire de la plage d'accueil.

Mots-clés: Littoral sableux, Morphodynamique, tortues marines, bancs de vase, Guyane française

Abstract

French Guiana coast host, each year, marines turtles nesting. In French Guiana, marine turtles managed with the extreme coastal variability due to the migration of huge mud bank. In this context, nesting beaches could be unattractive if erosion is too intense or if there are silted-up. The instability of this coast could induce the creation of new sandy coastline (cheniers) and so on potential nesting site.

The aim of this PhD work was to study the morphodynamics of sandy beaches which are also nesting site for marine turtles and the consequence of mud bank migration on these beaches. *In-situ* measurements were carried-out on the principal study area, Awala-Yalimapo beach, and permitted to increase our knowledge on the hydro-sedimentary evolution of one of the primary nesting site from daily to multiannual time scale. In the same time, the nesting activity of marine turtles was listed to highlight the use of environmental parameters in the finale selection of the nesting site. Principal environmental clues were the beach configuration, the water level, tidal current and the morphodynamics of the nesting habitat.

Key words: Sandy coast, morphodynamics, marine turtles, mud banks, French Guiana.