



Evolution du trait de côte en Guyane. Caractérisation de la dynamique côtière entre 1950 et 2013 à l'échelle régionale

Rapport final

BRGM/RP-62904-FR

Juin 2014



Evolution du trait de côte en Guyane. Caractérisation de la dynamique côtière entre 1950 et 2013 à l'échelle régionale

Rapport final

BRGM/RP-62904-FR

Juin 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2013

Moisan M., De La Torre Y.

Vérificateur :

Nom : Yann Balouin

Date : 25/06/2014



Approbateur :

Nom : Ariane Blum

Date : 18/07/2014



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

Mots-clés : Littoral, trait de côte, Guyane.

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

MOISAN M., DE LA TORRE Y. (2014) – Evolution du trait de côte en Guyane : Caractérisation de la dynamique côtière entre 1950 et 2013 à l'échelle régionale. Rapport final BRGM/RP-62904-FR, 60 p., 20 fig., 5 tabl., 1 ann.

Synthèse

Ce projet s'inscrit dans le contexte de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte élaborée par le MEDDE (2012). Il est cofinancé par la DEAL Guyane et le BRGM Guyane. Une des actions de cette stratégie est d'établir une cartographie nationale de l'érosion côtière et d'identifier les territoires à risque d'érosion.

En Guyane, il existe de nombreuses études ponctuelles (expertises ou travaux de recherches) qui traitent de l'évolution du trait de côte, mais celles-ci ne couvrent généralement pas l'ensemble du littoral régional. L'objectif de ce travail est donc de créer une nouvelle base de données régionale sur l'évolution du trait de côte mise à jour.

Le trait de côte a été défini comme la limite de front de mangrove et la limite de végétation pionnière sur les cordons sableux. Dans le contexte morphologique du littoral en Guyane, ces limites apparaissent comme de bons indicateurs de la dynamique côtière. Les traits de côte ont été digitalisés par photo-interprétation, à partir de photographies aériennes de l'IGN (Bd Ortho Historique 1950 et Bd Ortho 2006) et des images satellites Landsat pour la période plus récente (1988, 1997, 2006 et 2013) après intégration dans le logiciel SIG ArcGis.

Ce travail a donc permis de constituer une base de données de la position des traits de côte historique entre 1950 et 2013 sur l'ensemble du littoral de la Guyane. A partir de cette base de données, différents types d'indicateurs de variation du trait de côte ont été calculés à l'aide du logiciel DSAS (Digital Shoreline Analysis System) développé par l'USGS afin de caractériser son évolution.

Ces résultats montrent une grande variabilité de l'évolution du trait de côte dans le temps et dans l'espace avec des amplitudes de variation parmi les plus importantes au monde. A titre d'exemple, les amplitudes maximales de variation du trait de côte dans les secteurs de Sinnamary et Iracoubo atteignent 6 km sur l'ensemble de la période étudiées et des taux de variation annuelle moyen de l'ordre de 100 à 200 m/an ont été observés. Par ailleurs, cette étude met en évidence des comportements morpho-dynamiques très distincts en fonction des portions du littoral considérées. A l'est de la presqu'île de Cayenne, on constate une progradation lente et continue du trait de côte d'environ +40 m/an au niveau des grands caps (Pointe Béhague et est de la plaine de Kaw). A l'ouest de la presqu'île de Cayenne, entre Macouria et Kourou les amplitudes de variations du trait de côte apparaissent particulièrement irrégulières dans le temps avec des phases successives d'érosion et de progradation sans qu'une cyclicité particulière n'ait été mise en évidence. Ces irrégularités peuvent être mises en lien avec le processus migration des bancs de vase qui se développe particulièrement bien dans ce secteur. Au niveau de Sinnamary et d'Iracoubo, à partir du changement d'orientation de la côte, on observe depuis 1950 une tendance nette à la progradation (taux annuel moyen de +40 à +80 m/an), bien que celle-ci puisse s'avérer irrégulière dans le temps et l'espace, avec des amplitudes de variations absolues très importantes notamment au niveau des embouchures (5 à 6 km 1950 et 2013). Enfin, à l'extrême ouest de la Guyane, dans le secteur de Mana, on constate un recul du littoral compris entre -40 et -60 m/an, continu dans le temps depuis au moins 1950. La progradation dans le secteur de Sinnamary-Iracoubo et l'érosion du secteur adjacent de Mana peuvent être mise en parallèle. En effet, il semblerait que l'accumulation de vase dans le secteur d'Iracoubo-Sinnamary depuis 1950 crée un déficit sédimentaire en aval de la dérive littorale vers le nord-ouest, ce qui aurait pour conséquence le recul du littoral de Mana. Ceci n'est cependant qu'une hypothèse car il n'est pas possible d'avoir un recul historique suffisant important pour la valider.

D'une manière générale, ce travail met en évidence une migration longitudinale des zones en accrétion et en érosion qui traduit la dynamique des bancs de vase qui se déplacent vers le l'est à des vitesses comprises entre 1 et 3 km/an.

En conclusion, il apparaît que l'évolution du trait de côte de Guyane ne peut pas être caractérisée par un simple indicateur. La complexité de la dynamique du littoral guyanais, tant dans le temps que dans l'espace, en lien avec la migration des bancs de vase, nécessitent de prendre en compte des indicateurs multiples (amplitude de variation absolue, taux de variation annuel moyen et linéarité de l'évolution dans le temps).

Par ailleurs, comme l'indique la migration longitudinale des zones en accrétion/érosion, il semble indispensable de mettre en parallèle la dynamique du trait de côte avec celle des bancs de vase pour comprendre les évolutions du littoral. Pour cela, il est nécessaire de poursuivre les travaux de recherches permettant de mieux caractériser les processus de formation des bancs de vase d'une part et l'influence des forçages océaniques sur la morpho-dynamique des bancs de vase d'autre part. Enfin, les actions de suivi du trait de côte doivent être pérennisés dans le temps afin de disposer d'une information régulièrement mise à jour et homogène à l'échelle régionale, afin d'anticiper les évolutions et mettre en œuvre une gestion durable du littoral.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIFS	10
2. Indicateur de trait de côte	11
2.1. DEFINITION DU TRAIT DE CÔTE.....	11
2.2. INDICATEURS.....	11
2.3. INDICATEURS ADAPTÉS AU CONTEXTE GUYANAIS.....	15
2.4. SUPPORTS D'INTERPRÉTATION	16
2.5. LES SOURCES DE DONNÉES EXISTANTES SUR LE TRAIT DE CÔTE EN GUYANE	18
2.5.1. Les études et expertises ponctuelles	18
2.5.2. Les programmes de Recherche	19
3. Méthodologie	23
3.1. ACQUISITION DES TRAITS DE CÔTE	23
3.1.1. Source de données retenues	23
3.1.2. Prétraitements des images satellites.....	24
3.1.3. Photo-interprétation de la position du trait de côte	25
3.1.4. Incertitudes et limites	25
3.2. ANALYSE DE LA MOBILITÉ DU TRAIT DE CÔTE.....	26
4. Résultats	29
4.1. CARACTÉRISATION DE LA DYNAMIQUE CÔTIÈRE	29
4.1.1. Amplitude de variation absolue	29
4.1.2. Taux de variation annuel moyen	30
4.1.3. Variabilité des évolutions	34
4.1.4. Bilan sédimentaire	37
5. Discussion	39
5.1.1. Interaction du trait de côte avec la migration des bancs de vase.....	39
5.1.2. Rôles des forçages océaniques	43
6. Conclusion.....	45

7. Bibliographie..... 47

Liste des illustrations

Illustration 1- Zone de migration des bancs de vase le long du Plateau des Guyanes (Allison et al., 2004)	9
Illustration 2 - Représentation schématique de différents indicateurs de trait de côte (Mallet et al., 2012 d'après Boark et Turner, 2005).....	11
Illustration 3- Indicateurs de trait de côte utilisés sur les plages selon une échelle de temps (Mallet et al., 2012)	13
Illustration 4 - Indicateurs de trait de côte utilisés sur les côtes rocheuses selon une échelle de temps (Mallet et al., 2012)	14
Illustration 5 - Indicateurs de trait de côte utilisés sur les zones humides selon une échelle de temps (Mallet et al., 2012)	14
Illustration 6 - Nature du trait de côte sur le littoral de la Guyane (Moisan, 2011 d'après la Bd Carthage)	15
Illustration 7 Cartographie du trait de côte de Cayenne à Sinnamary entre 2001 et 2011 extraite du démonstateur INFOLITTRAL (http://infolittral.sirs-fr.net/).....	20
Illustration9- Différence de résolution spatiale entre l'imagerie aérienne à gauche (Bd Otho Historique de 1950, IGN) et l'imagerie satellite à droite (image Landsat 8 de 2013) au niveau de la ville de Kourou.....	26
Illustration 9 - Principe de fonctionnement du logiciel d'analyse du trait de côte DSAS au niveau du polder rizicole de Mana (image Landsat 8, 2013).....	27
Illustration 10 - Amplitude maximale de variation entre 1950 et 2013	29
Illustration 11 - Variation maximale du trait de côte sur la période 1950 - 2013	30
Illustration 12 - Exemple représentant le calcul du taux de variation annuel moyen par régression linéaire sur un transect (Thieler et al., 2009). Dans cet exemple l'équation de régression linéaire est de $y=1,34x - 2587,4$, la pente de l'équation, et donc le taux de variation annuel moyen, est de 1,34 m/an.....	31
Illustration 13 - Taux de variation annuel moyen sur la période 1950 - 2013	32
Illustration 14 - Taux de variation annuel moyen sur la période 1950-2013	33
Illustration 15 - Linéarité de l'évolution du trait de côte en Guyane sur la période 1950-2013 ...	35
Illustration 16 - Amplitude de variation du trait de côte en mètre sur le littoral de Guyane par périodes étudiées.....	36
Illustration 17 - Evolution des bilans sédimentaires sur la période 1950-2013 à l'échelle régionale	37
Illustration 18 - Evolution de l'embouchure de la Mana à partir de cartes anciennes (à gauche) et modernes (à droite) (d'après Plaziat et Augustinus, 2004)	41
Illustration 19 - Evolution du trait de côte dans le secteur de Sinnamary et Iracoubo entre 1786 et 1987 à partir de cartes anciennes et récentes (Plaziat et Augustinus, 2004) ...	42
Illustration 21 - Fluctuations du niveau moyen de l'Océan Atlantique (mwl) et du niveau moyen des pleines mers (mhwI), modélisé au droit des Guyanes. Evolutions mesurées du littoral de Guyane française (courbes roses et vertes) et comparaison au modèle de prédiction (courbe grise), l'année 2006 étant référencée comme année origine. Les points blancs indiquent la tendance sur les 1500 km du plateau des Guyanes. D'après Gratiot et al. 2008.	43

Liste des tableaux

Tableau 1- Principaux indicateurs de trait de côte recommandés et classés par type et par milieu (d'après Mallet et al., 2012, selon les travaux en cours du MEDDE et du CEREMA)	12
Tableau 2 - Indicateurs de suivi du trait de côte adaptés aux types de côtes rencontrés en Guyane	16
Tableau 3 - Les différents supports d'interprétation du trait de côte en fonction du temps (Cetmef, 2013)	17
Tableau 4 - Supports d'interprétation utilisés	23
Tableau 5 - Images satellites sélectionnées à partir du catalogue de donnée de l'USGS	24

Liste des annexes

Annexe 1 Evolution du trait de côte par secteurs géographiques	49
--	----

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

Les côtes de Guyane font partie des côtes les plus instables au monde. Elles sont soumises à des phénomènes d'érosion et de sédimentation très importants, sous l'influence de la décharge sédimentaire de l'Amazonie qui se traduit, à la côte, par le passage successif de vastes bancs de vase migrant vers le nord-ouest (Illustration 1). La côte de Guyane, selon cette dynamique, est donc en constante évolution.

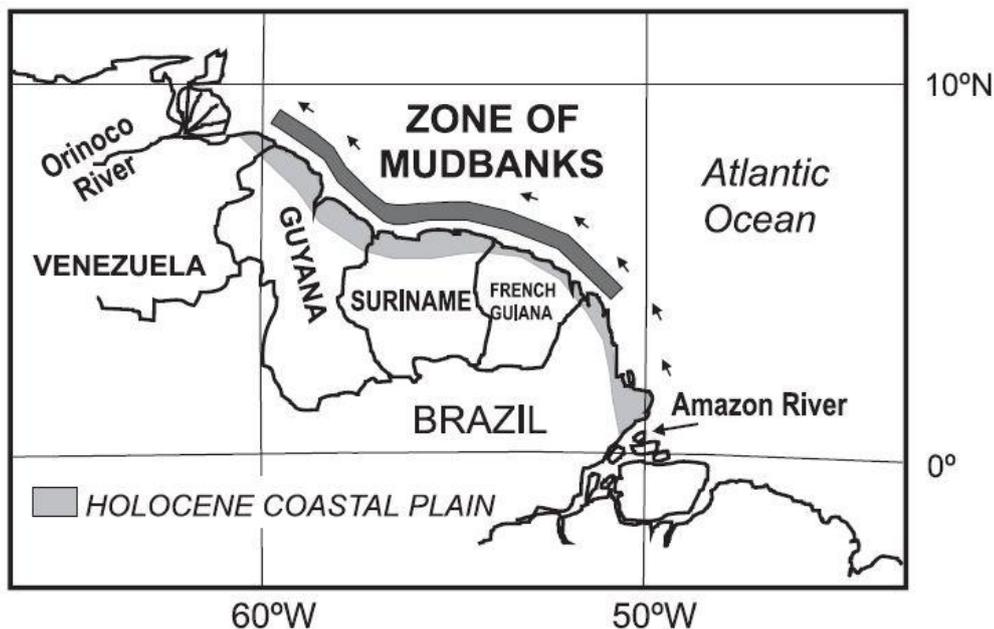


Illustration 1- Zone de migration des bancs de vase le long du Plateau des Guyanes (Allison et al., 2004)

Cette forte instabilité limite de manière importante l'aménagement de la bande côtière. En effet, les contraintes d'aménagement sont multiples : envasement des accès portuaires, frein à la mise en valeur agricole, mise en péril des infrastructures par l'érosion, délimitations administratives du rivage de la mer imprécises. Or cet espace présente des enjeux importants, il concentre la grande majorité de la population et des activités économiques de la Guyane.

L'action A-2 de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte a pour objectif d'établir une cartographie nationale de l'érosion côtière et identifier les territoires à risque d'érosion. La sous-action A-2.1 doit permettre de définir un indicateur national d'érosion côtière, basé sur une méthodologie commune et reposant sur la vitesse moyenne de l'érosion, évaluée à partir des traits de côtes historiques.

De par la spécificité des côtes Guyanaises, la mise en place d'un indicateur de l'érosion côtière, nécessite un travail préliminaire de compilation des données et de réflexion sur la pertinence et le périmètre de l'indicateur devant être utilisé pour décrire et suivre la dynamique de la côte de Guyane. En effet, dans un contexte d'instabilité permanente, un indicateur se basant sur la vitesse moyenne de l'érosion ne saurait être adapté en Guyane du fait de l'importante instabilité et variabilité de la dynamique côtière régionale.

1.2. OBJECTIFS

Cette étude, cofinancée par la DEAL et la dotation d'appui aux politiques publiques du BRGM, a donc pour objectif d'apporter les premiers éléments nécessaires à une réflexion méthodologique sur l'application d'un indicateur de l'érosion côtière qui soit à même de répondre à la spécificité de la dynamique morpho-sédimentaire de la Guyane.

Dans un premier temps, il s'agit de compiler les différentes sources de données existantes relatives aux traits de côte en Guyane. Ce travail préalable de collecte et d'archivage des données doit permettre ainsi de créer une base de données de traits de côte sur l'ensemble du littoral de la Guyane.

A partir de cette base de données, une réflexion sur la caractérisation de la dynamique du trait de côte doit être réalisée à partir d'une série d'indicateurs afin d'analyser les processus d'érosion-sédimentation depuis les soixante dernières années. Cette analyse fera l'objet d'une cartographie de l'évolution de la position du trait de côte au 1/200 000ème.

2. Indicateur de trait de côte

2.1. DEFINITION DU TRAIT DE CÔTE

Le littoral, à l'interface de la terre et de la mer, est un milieu très mobile, il est donc nécessaire de définir des indicateurs permettant de caractériser l'évolution de la côte. Ces indicateurs sont regroupés généralement sous la notion de « trait de côte ». Cette notion de trait de côte peut être différente en fonction de la diversité des milieux rencontrés sur le littoral (marais maritimes, côtes rocheuses ou sableuses, estuaire, etc.). Par ailleurs, il n'existe pas une définition unique de la notion de trait de côte, celle-ci est très variable selon les usages et les représentations. Par exemple, le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) définit le trait de côte comme « *la laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales (pas de vent du large, pas de dépression atmosphérique susceptible d'élever le niveau de la mer)* ». Cependant, cette limite utilisée dans le cadre d'une problématique de navigation maritime n'est pas directement visible et ne permet donc pas de rendre compte de la dynamique côtière.

2.2. INDICATEURS

Il existe donc une multitude d'indicateurs pouvant être utilisés et permettant de mieux rendre compte de l'évolution des sites étudiés. Il est cependant nécessaire de disposer d'une série d'indicateurs communs pour permettre d'harmoniser les méthodes de suivi. Ceux-ci doivent être adaptés en fonction du type de littoral étudié et des objectifs de suivi. Boak et Turner (2005) ont ainsi répertorié 45 indicateurs de trait de côte utilisés à travers le monde à des fins d'études d'évolution du littoral (Illustration 2). Certains s'appuient sur des éléments géomorphologiques ou botaniques, sur des considérations altimétriques (niveaux de référence de la mer) ou hydrodynamiques (Illustration 2).

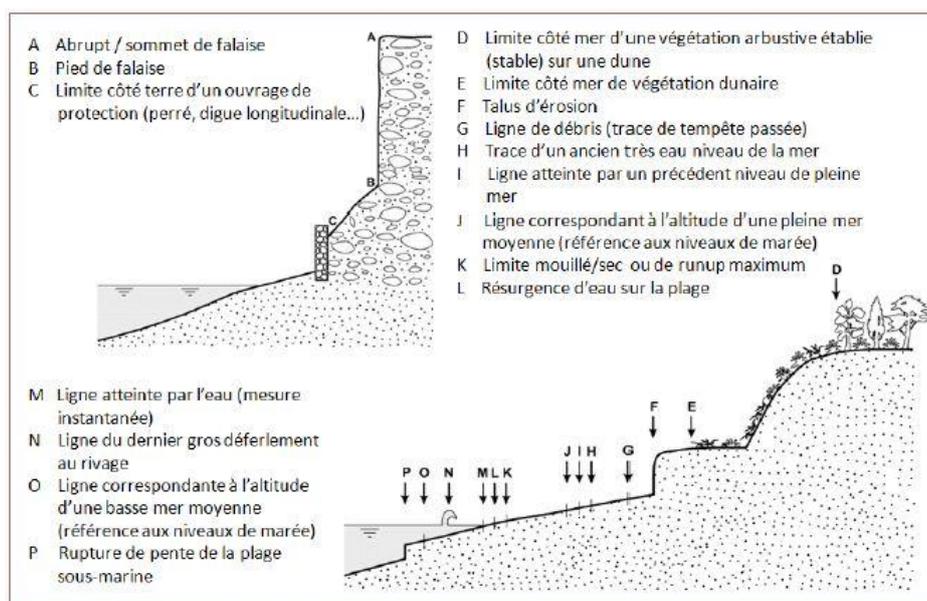


Illustration 2 - Représentation schématique de différents indicateurs de trait de côte (Mallet et al., 2012 d'après Boark et Turner, 2005)

Milieu	Indicateurs de trait de côte fréquemment utilisés	Classe/type
Tous types de plages et dunes (côte sableuse, galets, plage corallienne...)	ligne correspondant à l'altitude d'une basse mer moyenne	altimétrique
	ligne correspondant à l'altitude d'une pleine mer moyenne	altimétrique
	ligne de débris (trace de tempête passée)	hydrodynamique
	résurgence d'eau sur la plage	hydrodynamique
	laisse de mer	hydrodynamique
	limite sable mouillé/sec	hydrodynamique
	limite de jet-de-rive	hydrodynamique (instantané ou non)
	ligne d'eau instantanée	hydrodynamique (instantané)
	première barre d'avant-côte	géomorphologique
	berme	géomorphologique
	talus de collision (côte microtidale)	géomorphologique
	ped de dune	géomorphologique
	crête de dune	géomorphologique
	abrupt	géomorphologique
	limite de végétation pionnière	botanique
limite côté mer de végétation pérenne dunaire	botanique	
Côte à falaise rocheuse	ligne correspondant à l'altitude d'une basse mer moyenne	altimétrique
	ligne correspondant à l'altitude d'une pleine mer moyenne	altimétrique
	ligne de débris (trace de tempête passée)	hydrodynamique
	laisse de mer	hydrodynamique
	limite sable mouillé/sec	hydrodynamique
	encoche basale	géomorphologique
	ped de falaise	géomorphologique
	sommet de falaise	géomorphologique
	rupture de pente topographique	géomorphologique
	limite supérieure du cône d'éboulis	géomorphologique
	limite inférieure de végétation terrestre	botanique
	partie supérieure de la ceinture grise à cyanobactéries	botanique
limite supérieure du lichen marin noir	botanique	
Marais maritime	laisse de mer	hydrodynamique
	ligne de débris (trace de tempête passée)	hydrodynamique
	limite supérieure du schorre	géomorphologique et botanique
Marais à mangrove	limite supérieure de la slikke	géomorphologique et botanique
	limite de front de mangrove	géomorphologique et botanique
Côte artificialisée (ouvrages en l'absence de plages)	limite d'arrière-mangrove	géomorphologique et botanique
	limite côté mer de l'aménagement	géomorphologique
	limite côté terre de l'aménagement	géomorphologique
	sommet des ouvrages	géomorphologique

Tableau 1- Principaux indicateurs de trait de côte recommandés et classés par type et par milieu (d'après Mallet et al., 2012, selon les travaux en cours du MEDDE et du CEREMA)

Certains types d'indicateurs sont pertinents ou non en fonction du type de marnage (macrotidal ou microtidal). Par exemple pour les côtes basses (côte sableuse, marais maritime) en milieu microtidal, les indicateurs de type instantané (indicateur hydrodynamique) peuvent généralement être utilisés, d'autant si la pente de la côte est forte. Par contre dans les milieux macrotidaux les indicateurs liés à la végétation ou à la morphologie sont plus adaptés.

Enfin, les indicateurs peuvent être classés selon une échelle de temps (Illustration 3, Illustration 4 et Illustration 5). Les indicateurs à court terme permettent de caractériser des évolutions rapides à l'échelle d'un événement extrême par exemple, les indicateurs à moyen terme décrivent les évolutions saisonnières et les indicateurs à long terme décrivent les évolutions pluriannuelles.

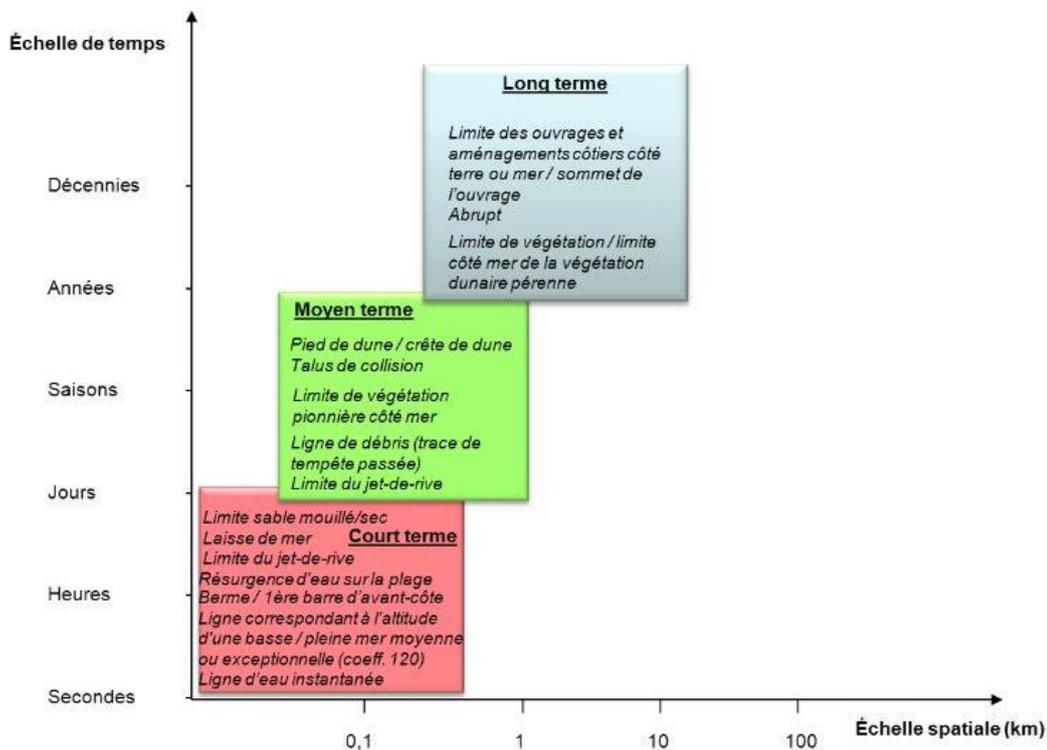


Illustration 3- Indicateurs de trait de côte utilisés sur les plages selon une échelle de temps (Mallet et al., 2012)

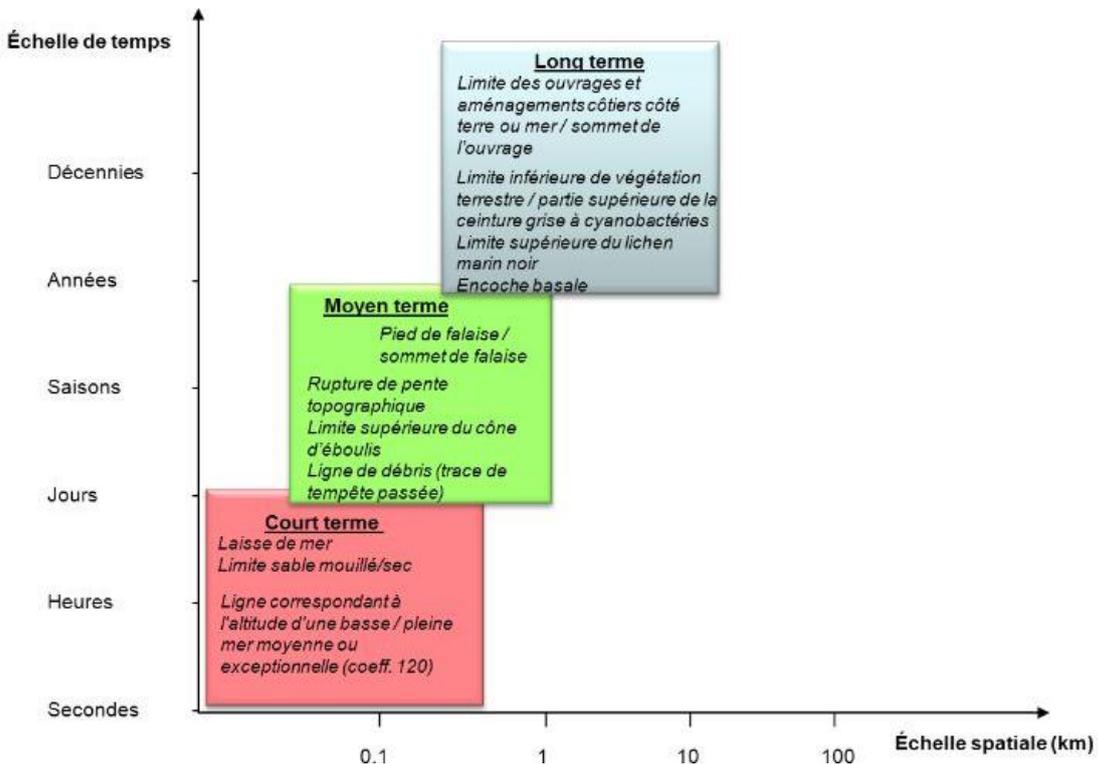


Illustration 4 - Indicateurs de trait de côte utilisés sur les côtes rocheuses selon une échelle de temps (Mallet et al., 2012)

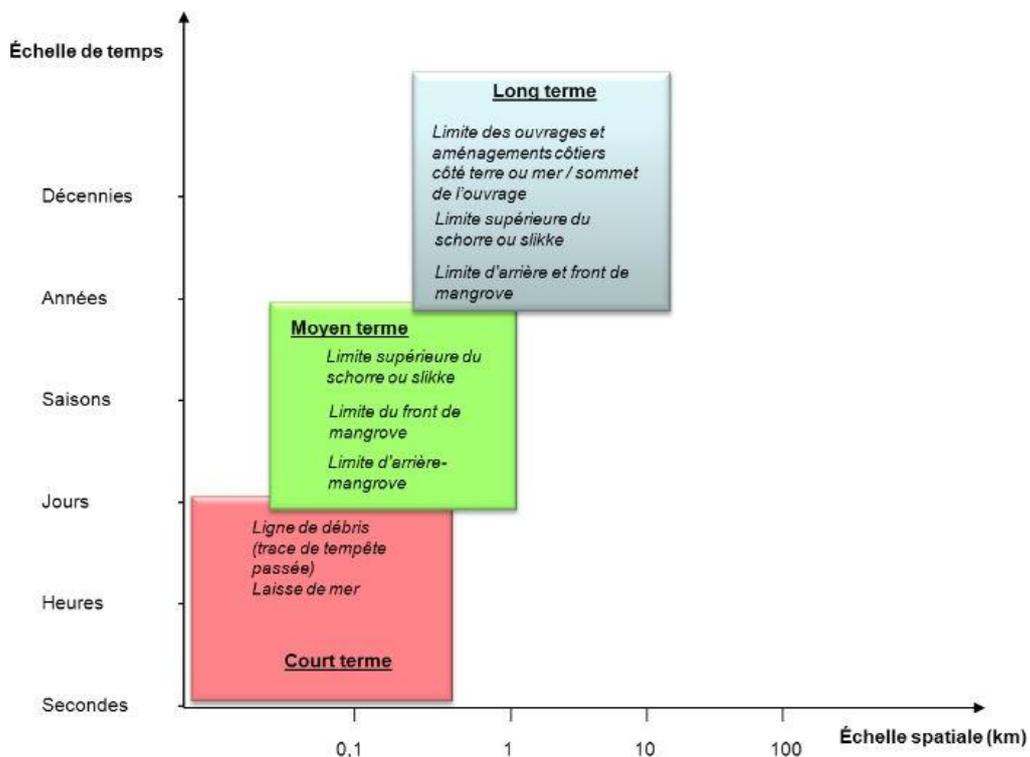


Illustration 5 - Indicateurs de trait de côte utilisés sur les zones humides selon une échelle de temps (Mallet et al., 2012)

2.3. INDICATEURS ADAPTÉS AU CONTEXTE GUYANAIS

En Guyane, on peut distinguer trois types de côte (Illustration 6) : la côte vaseuse colonisée par la mangrove qui occupe environ 86% du littoral, les cordons sableux qui représentent 13% du littoral et enfin les portions où le socle avance jusqu'à la mer, qui sont limitées aux promontoires rocheux de la presqu'île de Cayenne, la pointe des roches à Kourou et la Montagne d'Argent dans l'estuaire de l'Oyapock (1%).

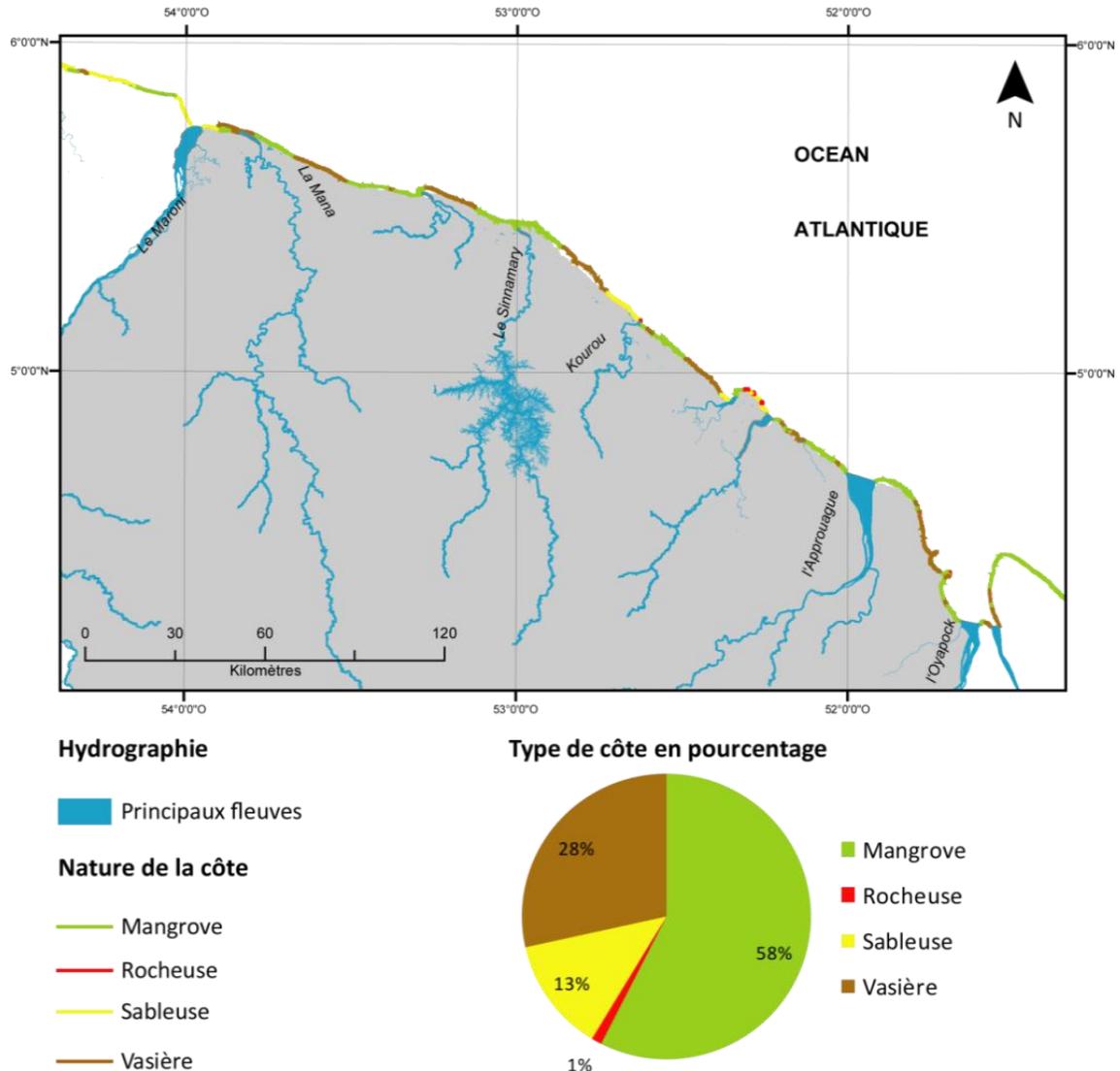


Illustration 6 - Nature du trait de côte sur le littoral de la Guyane (Moisan, 2011 d'après la Bd Carthage)

En fonction du type de côte rencontré en Guyane et des caractéristiques de marée (marnage d'environ 2,50 m selon le SHOM), on peut définir une série d'indicateurs pertinents pour suivre la dynamique côtière en Guyane (Tableau 2).

Milieu	Indicateurs	Type
Plage	Ligne de débris (Noix de coco, branche). Caractérise la limite de submersion lors des événements de forte houle.	Hydrodynamique
	Limite de végétation pionnière (haut de plage colonisé par les Ipomées)	Botanique
Mangrove	Limite du front de mangrove	Botanique et géomorphologique
	Limite du premier chenier . Les cheniers sont des cordons sableux qui caractérisent la limite d'érosion maximale au cours d'une période « inter-bancs » précédant une période d'envasement.	géomorphologique
	Limite inférieure de la slikke¹ (ou vasière intertidale) . Cette limite permet d'identifier la présence d'un banc de vase.	géomorphologique
Côte rocheuse	Rupture de pente	géomorphologique
	Pied de falaise	géomorphologique
	Limite supérieur des éboulis	géomorphologique
Côte artificialisée	Limite côté mer de l'aménagement	géomorphologique

Tableau 2 - Indicateurs de suivi du trait de côte adaptés aux types de côtes rencontrés en Guyane

2.4. SUPPORTS D'INTERPRÉTATION

Le trait de côte peut être relevé à partir de différentes sources de données. Le CETMEF a réalisé un travail de synthèse sur le levé du trait de côte en 2013 qui propose différents supports d'interprétation (CETMEF, 2013).

¹ Slikke : Partie inférieure de l'estran la plus fréquemment inondée par les marées hautes. Elle forme généralement une vasière. Sa limite inférieure délimite le domaine intertidal du domaine subtidal (niveau situé sous les plus basses mers).

									LIDAR
					CARTOGRAPHIE MODERNE				
								BD GEO - SIG	
TEXTES ANCIENS									
								IMAGERIE SATELLITAIRE	
	CARTOGRAPHIE ANCIENNE								
								PHOTOGRAPHIE AERIENNE	
1500	1600	1700	1800	1900	1950	1970	1990	2000	2010

Tableau 3 - Les différents supports d'interprétation du trait de côte en fonction du temps (Cetmef, 2013)

Les cartes anciennes peuvent être utilisées afin de réaliser des observations sur le trait de côte à partir du XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle (Cartes de Cassini ou d'État-major par exemple). Cependant, ces sources de données anciennes peuvent poser des problèmes de précision et de calage. Elles peuvent tout de même être utilisées pour effectuer des analyses qualitatives de la mobilité du trait de côte.

Les cartes topographiques au 1/25 000 de l'IGN (type Scan 25) reportent deux indications de limites terre-mer : le zéro hydrographique, correspondant au niveau des plus basses mers astronomiques (également représenté sur les cartes marines) et le zéro IGN déterminé à partir du niveau moyen de la mer, qui constitue la base du référentiel altimétrique terrestre. Ces deux limites représentent des indicateurs hydrodynamiques du niveau de l'eau, mais elles peuvent difficilement être utilisées pour caractériser la dynamique du trait de côte, car elles ne peuvent pas être identifiées dans le paysage et correspondent à des limites théoriques.

Les photographies aériennes et l'imagerie satellite représentent des supports particulièrement bien adaptés pour effectuer des observations sur la mobilité du trait de côte. Ces deux types de supports permettent d'identifier facilement des indicateurs de position du trait de côte dans le paysage. Cependant, ces supports présentent une source de données brutes qu'il est nécessaire d'interpréter pour effectuer des observations sur le trait de côte. En effet, à partir de ces supports d'information, il est possible de relever différents indicateurs de position du trait de côte de manière plus ou moins précise selon la nature et la qualité des sources de données.

Par exemple la BD Ortho de l'IGN est une collection de mosaïques de photographies aériennes en couleur orthorectifiées et projetées dans un système de coordonnées (résolution de 50 cm pour les images les plus récentes). Ces données sont donc facilement intégrables dans un outil SIG (Système d'Information Géographique) pour réaliser des interprétations. L'IGN dispose également d'un catalogue de photographies aériennes anciennes disponible en version papier sur commande ou téléchargeable en ligne à partir du portail internet Géoportail (<http://www.geoportail.gouv.fr/>). Ces données ne peuvent cependant pas être exploitées directement, elles doivent être préalablement orthoréctifiées, géoréférencées et mosaïquées pour y effectuer des analyses. Depuis peu, l'IGN met à disposition la BD Ortho Historique. C'est une collection de photographies aériennes anciennes orthorectifiées et mosaïquées dont les dates de prises de vue sont comprises entre 1945 et 1965 (résolution de 50 cm).

L'imagerie satellite permet quant à elle de couvrir de grandes superficies (plusieurs dizaines de km²) à des fréquences d'acquisition régulières. Les images satellites doivent préalablement être traitées avant de réaliser des interprétations (corrections géographiques et radiométriques notamment). A partir de ces images, préalablement traitées, il est possible de réaliser des extractions automatiques de la position du trait de côte. Par exemple, la constellation des satellites Spot permet d'acquérir une image par jour de n'importe quel point du globe. La couverture spatiale d'une image Spot est de 60x60 km avec une gamme de résolutions spatiale allant de 20 m (Spot 1 à 4) et jusqu'à 2,5 m pour Spot 5.

Enfin, il est également possible de réaliser des relevés de trait de côte directement sur le terrain à partir des outils de positionnement par GPS (Global Positioning System). Pour cela il suffit, lorsque les conditions d'accessibilités le permettent, de suivre à pied sur le terrain un indicateur visible comme la limite de végétation par exemple. Il est possible par exemple de l'utiliser après des événements de fortes houles pour lever des limites d'érosion ou de submersion. La précision horizontale (X, Y) d'un GPS standard est comprise entre 1 et 10 m en fonction du lieu et du matériel. Les systèmes DGPS (GPS différentiel), qui consistent à utiliser la correction en temps réel d'un récepteur GPS positionné sur une station connue et un GPS mobile, permettent de réaliser des mesures de position du trait de côte plus précises (d'ordre centimétrique). L'avantage est une précision accrue, mais l'inconvénient est une couverture spatiale moindre.

2.5. LES SOURCES DE DONNÉES EXISTANTES SUR LE TRAIT DE CÔTE EN GUYANE

2.5.1. Les études et expertises ponctuelles

- ***BRGM 1997***

En 1997, le BRGM a réalisé une base cartographique de trait de côte historique (Allard *et al.*, 1997). Cette base de données prend en compte la position du rivage à différentes dates afin d'évaluer son évolution. L'extraction des traits de côte a été réalisée à partir des missions photographiques aériennes géoréférencées de 1950, 1976, 1987 et 1994. Dans ce travail, le trait de côte est défini comme la limite de végétation ou la « limite nette » de la côte

- ***Les Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL)***

Dans le cadre de l'évaluation de l'aléa recul du trait de côte pour l'élaboration des PPRL pour les communes de l'agglomération de Cayenne (BRGM, 2000), Kourou (BRGM, 2001) et Awala-Yalimapo la cartographie de l'évolution du trait de côte a été effectuée à partir de photographies aériennes anciennes. Par exemple pour le PPRL de l'Agglomération de Cayenne les positions du trait de côte de 1945, 1968, 1987, 1992, 1998 ont été levées.

- ***Etude CREOCEAN/BRL pour la CCOG en 2008***

En 2007, la CCOG (Communauté de Commune de l'Ouest Guyanais) a commandité une étude visant à établir un programme de gestion de son littoral, entre Organabo et le Maroni, s'appuyant notamment sur une analyse des phénomènes physiques rencontrés sur le littoral. Cette étude a été confiée au groupement CREOCEAN – BRL. Dans le cadre de cette étude, un certain nombre de données relatives à la dynamique littorale ont été collectées et produites : la

position et l'évolution du trait de côte et des bancs de vases depuis 1950, la morphologie des fonds en zone côtière et la morphologie du trait de côte à partir d'un levé lidar sur une bande de 100 m entre le polder rizicole de Mana et l'embouchure du fleuve Maroni réalisé au cours de deux campagnes en 2007 et 2008.

Les positions du trait de côte des années 1950, 1956, 1976, 1987, 1992, 1994, 1997, 1999, 2000, 2001, 2006, 2007 et 2008 ont été relevées entre Organabo et Awala à partir de photographie aérienne IGN et d'imagerie satellite (Spot et Landsat).

2.5.2. Les programmes de Recherche

Dans le cadre de leurs activités de Recherche des laboratoires universitaires sont amenés à effectuer des levés de trait de côte. Les laboratoires de l'Université de la Côte d'Opale (LOG) et de l'Université de Toulouse (ECOLAB) ont notamment participé à de nombreux programmes de recherche sur la mangrove et la dynamique côtière en Guyane (Programme National Environnement Côtier par exemple (Baltzer *et al.*, 2004)). La récolte des données se fait généralement en fonction des opportunités des projets de recherche ou de thèses et ne concerne la plupart du temps qu'une portion limitée du littoral.

A titre d'exemple on peut citer les projets ci-dessous :

- **PROCLAM**

Un travail de cartographie du littoral a été réalisé par l'unité ESPACE de l'IRD Guyane en partenariat avec l'Université Antilles Guyane (UAG) et des institutions brésiliennes dans le cadre du Programme de Cartographie des Littoraux Amazoniens (PROCLAM). L'objectif de ce projet était d'élaborer une cartographie des paysages littoraux de la Guyane et de l'Etat de l'Amapa au Brésil à partir d'images satellites acquises au sein de la station de réception SEAS Guyane.

- **INFOLITTORAL**

Dans le cadre d'un appel à projets « Fond Unique Interministériel », Spot Image, SIRS, G.E.O Transfert, CLS et les Unités Mixtes de Recherche EPOC, IRD AMAP, ECOLAB et LOG ont développé un démonstrateur pour la surveillance de l'environnement littoral nommé INFOLITTORAL-1 à partir de technologies de télédétection spatiale. Les deux sites pilotes ayant été retenus sont la Guyane et le littoral aquitain.

Les principaux objectifs d'INFOLITTORAL étaient d'identifier les besoins des utilisateurs (décideurs, collectivités territoriales, bureaux d'étude et gestionnaire du littoral) en termes d'informations géographiques sur le littoral, puis de définir et produire des indicateurs géographiques adaptés pour l'aide à la décision avec comme finalité d'élaborer un démonstrateur des résultats obtenus via un portail internet².

Pour la Guyane, les indicateurs qui ont été produits sont : la cartographie de l'élévation du niveau moyen de l'océan, une cartographie des mangroves dans la région de Sinnamary, des

² <http://infolittoral.sirs-fr.net/>

matières en suspension, de la morphologie des bancs de vase en 2D et 3D, du trait de côte entre Cayenne et Sinnamary et un indice de vulnérabilité face au risque d'érosion.

Dans le cadre de ce travail les positions du trait de côte entre 2001 et 2011 de Cayenne à Sinnamary ont été relevées (Illustration 7) à partir des images Spot et Landsat.

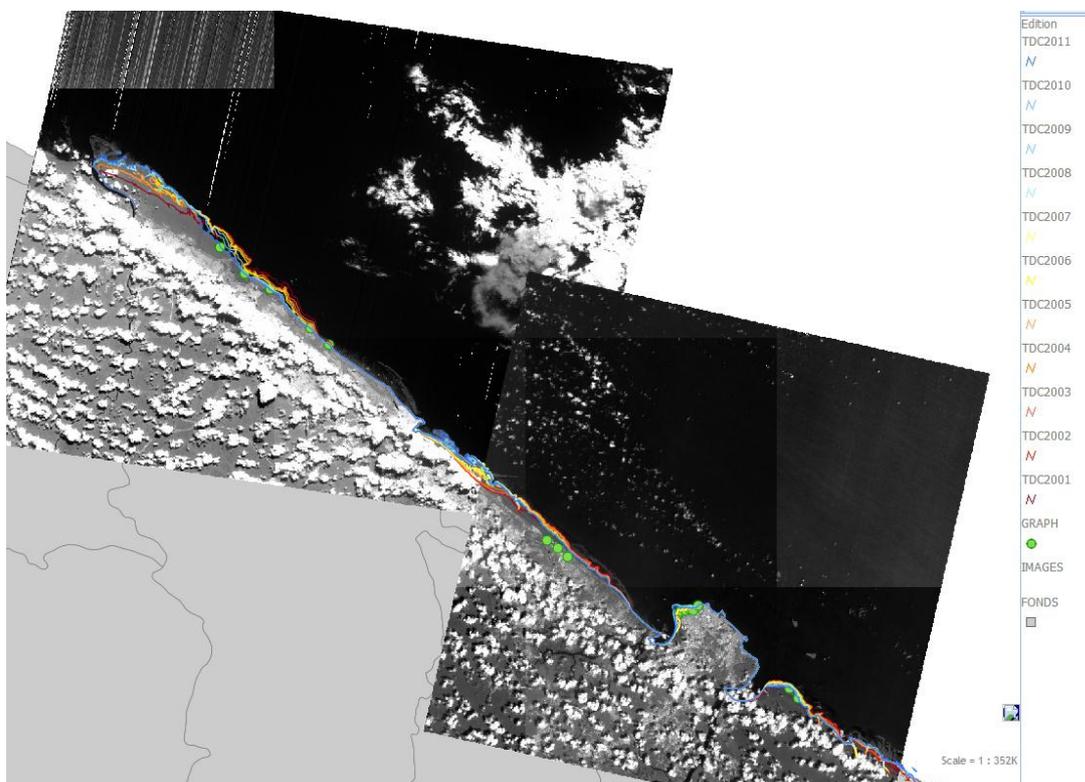


Illustration 7 Cartographie du trait de côte de Cayenne à Sinnamary entre 2001 et 2011 extraite du démonstateur INFOLITTRAL (<http://infolittoral.sirs-fr.net/>).

- **Base de données MANGASIG**

La base de données MANGASIG est un travail en cours effectué dans le cadre de la thèse de Romain Walker encadré par François Fromard du laboratoire ECOLAB. Il porte sur la création d'une base de données d'images satellites et aériennes sur le littoral de Guyane, à partir desquelles sont extraits la position du trait de côte et les surfaces de mangroves, afin d'étudier les liens entre la dynamique de la mangrove et les grands forçages océaniques. Cette base de données, dénommée MANGASIG couvre la période 1950-2010 sur l'ensemble du littoral guyanais avec une emprise spatiale et temporelle hétérogène. MANGASIG sert de base de travail pour les partenaires du programme de recherche EC2CO (Ecosphère continentale et côtière) sur l'environnement côtier en Guyane (2009-2011) et n'est pas encore disponible tant que les travaux de Romain Walcker n'ont pas été publiés.

Il existe donc en Guyane une multitude de sources d'information concernant la mobilité historique du trait de côte. Cependant, ces données ne couvrent en générale qu'une portion limitée du territoire régional et elles ne sont pas toujours comparables entre elles. En effet, la définition du trait de côte retenue peut être différente et l'utilisation de certains supports d'interprétation (cartes IGN, photographies aériennes et images satellites) peuvent générer des incertitudes importantes.

Par exemple nous avons relevé des imprécisions importantes sur l'étude de l'évolution du trait de côte du BRGM réalisée par Allard *et al.* (1997) qui peuvent être liées aux indicateurs et aux supports d'information utilisés (carte IGN notamment) ou bien à des erreurs dans le géoréférencement, inhérentes aux techniques de cartographie utilisées à l'époque.

Pour comparer les résultats d'une année sur l'autre, il est en effet important de pouvoir disposer d'une couverture homogène des données de trait de côte sur l'ensemble du littoral de la Guyane et d'être sûr que les mêmes indicateurs ont été utilisés afin de garantir la validité des résultats sans trop d'imprécisions.

Enfin, certaines sources de données n'ont pas pu être mises à disposition dans le cadre de ce travail dans l'attente de publication de travaux de recherche dans des revues scientifiques (MANGASIG par exemple).

3. Méthodologie

3.1. ACQUISITION DES TRAITS DE CÔTE

Dans le cadre de ce travail, après collecte et vérification des sources de données disponibles, il a été décidé de repartir des documents d'interprétations brutes (Photographies aériennes et images satellites) pour extraire les positions historiques du trait de côte et ainsi garantir une homogénéité de traitement et d'interprétation à l'ensemble.

L'objectif est ici de réaliser une cartographie de la position du trait de côte à l'échelle du 1/200 000^{ème}.

3.1.1. Source de données retenues

Les supports d'information disponibles qui couvrent l'ensemble du littoral de la Guyane ont été privilégiés. Deux types de support ont été utilisés : les photographies aériennes et l'imagerie satellite (Tableau 4).

Date	Type	Source
1950	Photographies aériennes	Bd Ortho Historique IGN
1988	Images satellites	Landsat 4-5
1997	Photographies aériennes	Landsat 4-5
2006	Photographies aériennes et images satellites	Bd Ortho IGN et Landsat 4-5
2013	Images satellites	Landsat 8

Tableau 4 - Supports d'interprétation utilisés

Les photographies aériennes utilisées sont celles de 1950 et 2006, ce sont les seules années où la côte de Guyane a été presque entièrement couverte par l'IGN. Ces séries de photographies aériennes sont toutes les deux orthorectifiées, géoréférencées et mosaïquées, leur résolution spatiale est estimée à 50 cm. Ces supports ont donc pu être directement intégrés dans le logiciel SIG ArcGIS sans traitements préalables. Les photographies de 1950 correspondent à la version beta de la Bd Ortho Historique et celles de 2006 à la Bd Ortho la plus récente. Cependant, ces deux sources de données ne couvrent pas la portion de côte qui se situe à l'est de l'embouchure de la rivière de Kaw. Des images satellites ont donc été utilisées pour compléter la couverture de la Bd Ortho de 2006. Pour 1950 une prestation de

mosaïquage des clichés d'archives de l'IGN disponibles a été réalisée par la société SIAGE afin de compléter la Bd Ortho Historique de l'IGN.

Pour les années 1988, 1997 et 2013 les images des satellites Landsat ont été utilisées. Ces images sont accessibles gratuitement et téléchargeables sur le catalogue de l'USGS (United States Geological Survey) à partir d'un site internet (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Les images Landsat permettent de couvrir de grandes superficies, la fauchée du satellite étant de 185 x 185 km pour les satellites Landast 4, 5 et 8 utilisées pour cette étude. Il faut quatre images pour couvrir l'ensemble de la côte guyanaise. Les images ont été sélectionnées en fonction de leur qualité, en particulier de l'ennuage de la bande côtière. La résolution spatiale des images Landast est 30 m pour les capteurs Landsat, elle est moindre que celle des photographies aériennes mais suffisante pour une approche régionale au vu de l'amplitude et de la vitesse des évolutions côtières observées. Les références des images Landsat sélectionnées sont présentées dans le tableau suivant.

Dates	Emprise et référence des images utilisées			
	Maroni	Iracoubo/Sinnamary	Cayenne/Kaw	Approuague/Oyapock
1988	LT52280561988223	L5227056_05619880803	L5227057_057198807118	LT52260571987286CUB00
1997	LT52280561997247CUB00	L5227056_05619970828	L5227057_05719970828	LT52260571997297CUB00
2006	X	X	L5227057_05720060906	LT52260572006274CUB00
2013	LC82280562013211LGN00	LC822705622013284LGN00	LC82270572013204LGN00	LC82260572013277LGN00

Tableau 5 - Images satellites sélectionnées à partir du catalogue de donnée de l'USGS

Les sources de données sélectionnées permettent donc de disposer des informations sur les positions du trait de côte des années 1950, 1988, 1997, 2006 et 2013. Il existe une lacune importante entre les années 1950 et 1980 car il n'y a pas eu, à notre connaissance, de campagne d'imagerie aérienne ayant couvert l'ensemble de la bande côtière et aucune image satellite d'une qualité suffisante n'est disponible sur le catalogue d'archive Landsat.

Allard *et al.* (1997) ont pourtant numérisé, à partir d'imagerie aérienne, un trait de côte en 1976. Cette campagne n'est cependant pas référencée sur le catalogue de l'IGN, elle a donc peut-être été réalisée par une société privée. Des erreurs constatées dans la précision géographique de ce trait de côte, n'ont pas permis de l'utiliser dans le cadre de ce travail.

3.1.2. Prétraitements des images satellites

L'utilisation des images satellites nécessite un prétraitement avant de pouvoir extraire la position du trait de côte. L'ensemble de ces traitements ont été réalisés à partir des fonctionnalités de traitement d'image du logiciel ArcGis.

Il faut tout d'abord réaliser des compositions colorées (combinaison de plusieurs bandes spectrales) qui permettent de produire des images en couleurs en tenant compte de la

signature spectrale des objets géographiques pour faire ressortir les types de surface à mettre en évidence et faciliter l'interprétation des images. Pour effectuer cette opération, il faut combiner plusieurs bandes spectrales. Dans cette étude il a été choisi de combiner les canaux vert, rouge et proche-infrarouge permettant de bien faire ressortir la limite de végétation.

Ensuite, il est nécessaire de vérifier la géométrie des images, car la correction géométrique appliquée aux images satellites brutes est généralement peu précise. Le positionnement des images satellites a donc été comparé avec des supports de références comme la Bd Ortho de 2006 ou les Scan 25 et 50 de l'IGN. Si des décalages importants sont constatés les images sont géoréférencées à partir de ces sources de données de références dont la validité du positionnement est connue.

3.1.3. Photo-interprétation de la position du trait de côte

La position du trait de côte a été définie à partir d'indicateur facilement identifiable sur les supports d'interprétation utilisés. La limite retenue est celle de la végétation : le front de mangrove et la végétation pionnière pour les cordons sableux. Cette limite permet de s'affranchir des contraintes de délimitations liées aux variations du niveau d'eau par la marée.

La digitalisation de la position du trait de côte est réalisée par photo-interprétation à l'échelle du 1/25 000^e sur les images aériennes et satellites. En dehors des fleuves importants (Maroni, Mana, Iracoubo, Sinnamary, Kourou, Rivière de Cayenne, Mahury, Approuague, Oyapock), le trait de côte a été simplifié au niveau des petites embouchures (régularisation du trait de côte).

La cartographie de la position du trait de côte pour chaque année et par secteurs géographiques (Kaw-Oyapock, Kourou-Cayenne, Iracoubo-Sinnamary, Awala-Organabo) au 1/200 000^e est présentée en annexe 1.

3.1.4. Incertitudes et limites

La précision du positionnement du trait de côte dépend de la résolution spatiale des images utilisées. Sur les images Landsat, la résolution spatiale des images est de 30 m. C'est-à-dire que les objets dont la taille est inférieure à 30 m ne sont pas identifiables sur ces images. Pour les images aériennes de l'IGN, la résolution est de l'ordre du mètre (Illustration8).

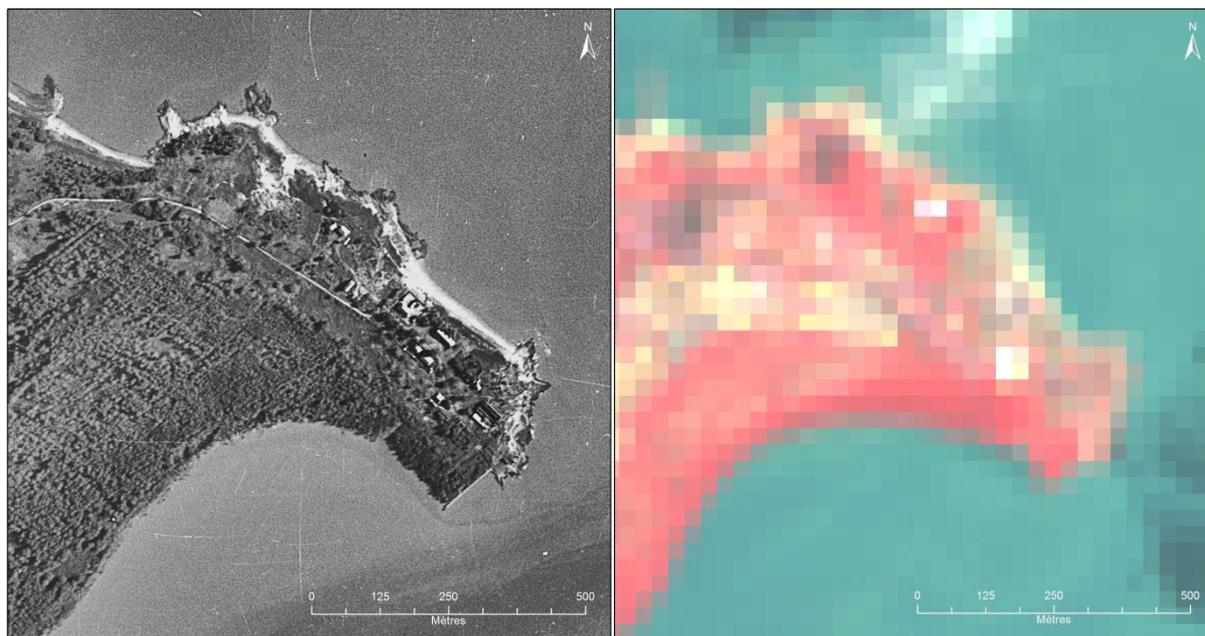


Illustration 8- Différence de résolution spatiale entre l'imagerie aérienne à gauche (Bd Otho Historique de 1950, IGN) et l'imagerie satellite à droite (image Landsat 8 de 2013) au niveau de la ville de Kourou.

La précision des corrections géométriques liées au géoréférencement des imageries satellites peut également représenter une autre source d'incertitude. Enfin, il existe aussi une marge d'erreur liée à la photo-interprétation de la position du trait de côte. Elle dépend de la qualité des images et de la démarcation des indicateurs retenus. Par exemple en Guyane, il peut être difficile de distinguer nettement la limite de front de mangrove durant les premières phases de colonisation du banc de vase, car la mangrove n'y est pas encore très développée et son occupation se retrouve assez dispersée.

La marge d'erreur considérée pour cette base de données est de +/- 30 m, elle correspond à la résolution minimale des images Landsat utilisées. Cette précision apparaît suffisante vis-à-vis de la vitesse des évolutions observées sur le littoral de la Guyane et pour un travail à l'échelle régionale.

3.2. ANALYSE DE LA MOBILITÉ DU TRAIT DE CÔTE

L'analyse de la mobilité du trait de côte a été réalisée à partir du logiciel DSAS (Digital Shoreline Analysis System, version 4.3) développé par l'USGS (Thieler *et al.*, 2009). DSAS est une extension du logiciel SIG ArcGis qui permet d'effectuer des calculs statistiques qui portent sur la distance de la position du trait de côte entre différentes dates. Ces calculs sont effectués à intervalles réguliers à partir de transects perpendiculaires à la côte (Illustration 9).

Pour chaque transect le logiciel permet de calculer automatiquement la distance entre une ligne de base et la position des traits de côte. Dans le cadre de ce travail il a été choisi de générer des transects tous les kilomètres. L'ensemble de la côte guyanaise est donc couvert par environ 320 transects.

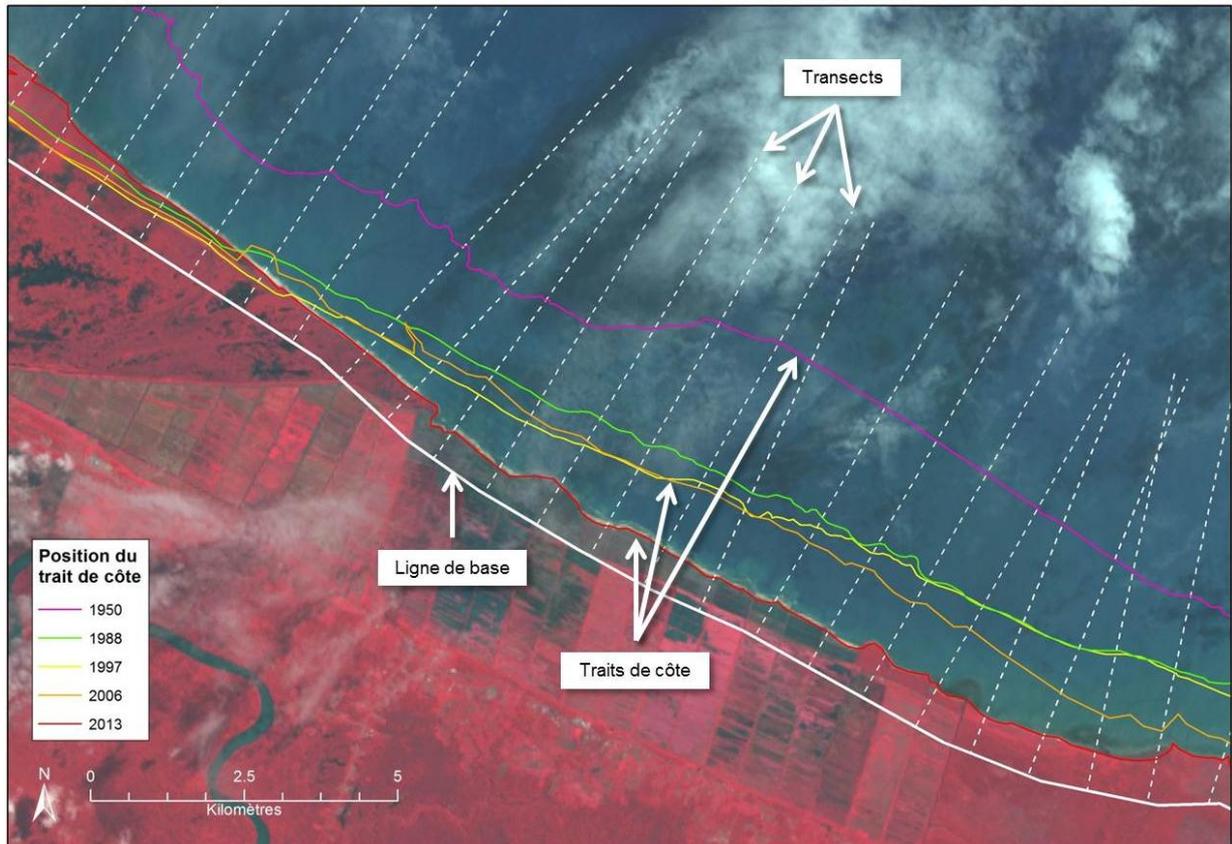


Illustration 9 - Principe de fonctionnement du logiciel d'analyse du trait de côte DSAS au niveau du polder rizicole de Mana (image Landsat 8, 2013)

La presqu'île de Cayenne a été exclue de l'analyse, car l'échelle de travail utilisée dans cette étude n'est pas adaptée aux variations du trait de côte observées dans ce secteur limité du littoral. En effet, la presqu'île de Cayenne représente une avancée du socle jusqu'à la mer où l'on retrouve de petites anses sableuses entre les caps rocheux. De par sa morphologie ce secteur n'est pas soumis à la même dynamique que le reste du littoral de la Guyane et son évolution reste difficile à appréhender avec ce type d'image et de marge d'erreur.

4. Résultats

4.1. CARACTÉRISATION DE LA DYNAMIQUE CÔTIÈRE

La dynamique du trait de côte peut être caractérisée par différents indicateurs qu'il est possible de calculer à partir du logiciel DSAS :

- l'amplitude de variation absolue qui représente la distance entre le point d'intersection du trait de côte le plus proche et le plus éloigné ;
- le taux de variation annuel moyen déterminé par régression linéaire, avec en abscisse la date de la position du trait de côte et en ordonnée la distance entre chaque trait de côte ;
- enfin, le coefficient de corrélation de la régression linéaire permettant d'estimer si la variabilité de l'évolution du trait de côte est régulière dans le temps.

4.1.1. Amplitude de variation absolue

Les amplitudes de variation du trait de côte peuvent être très importantes en Guyane (Illustration 10 et Illustration 11). Globalement, on observe une croissance des amplitudes de variation maximales du trait de côte d'est en ouest. A l'est de Kourou les amplitudes sont comprises entre 500 m et 2 km, alors que plus à l'ouest elles oscillent entre 1 et 5 km.

Les amplitudes les plus importantes sont observées au niveau des embouchures du Sinnamary et de l'Iracoubo avec des variations absolues de 5 et 6 km. Les valeurs les plus faibles sont observées à l'ouest d'Awala, sur la rive est du Maroni, où le trait de côte semble connaître une relative stabilité au cours du temps.

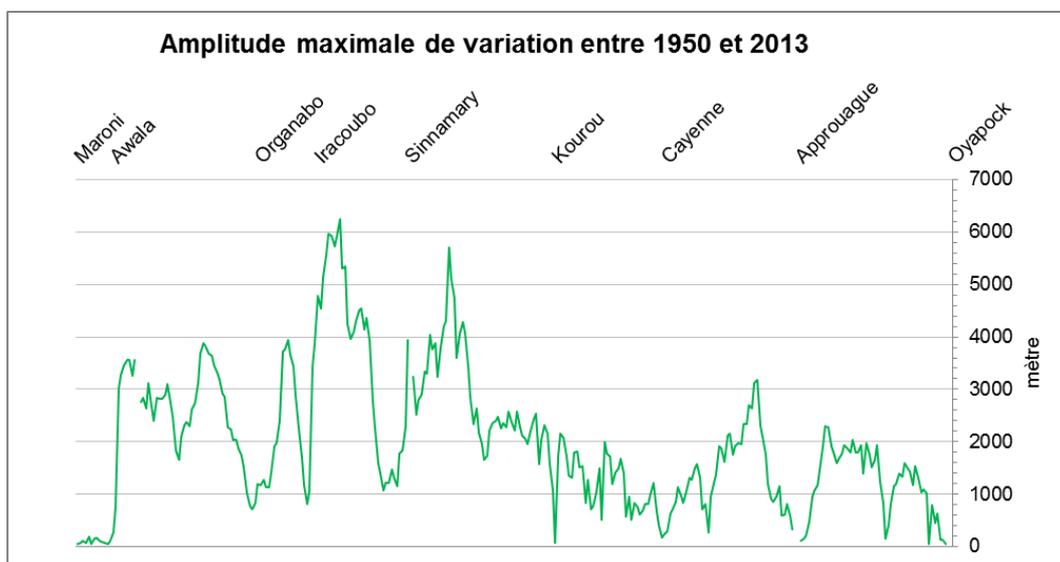


Illustration 10 - Amplitude maximale de variation entre 1950 et 2013

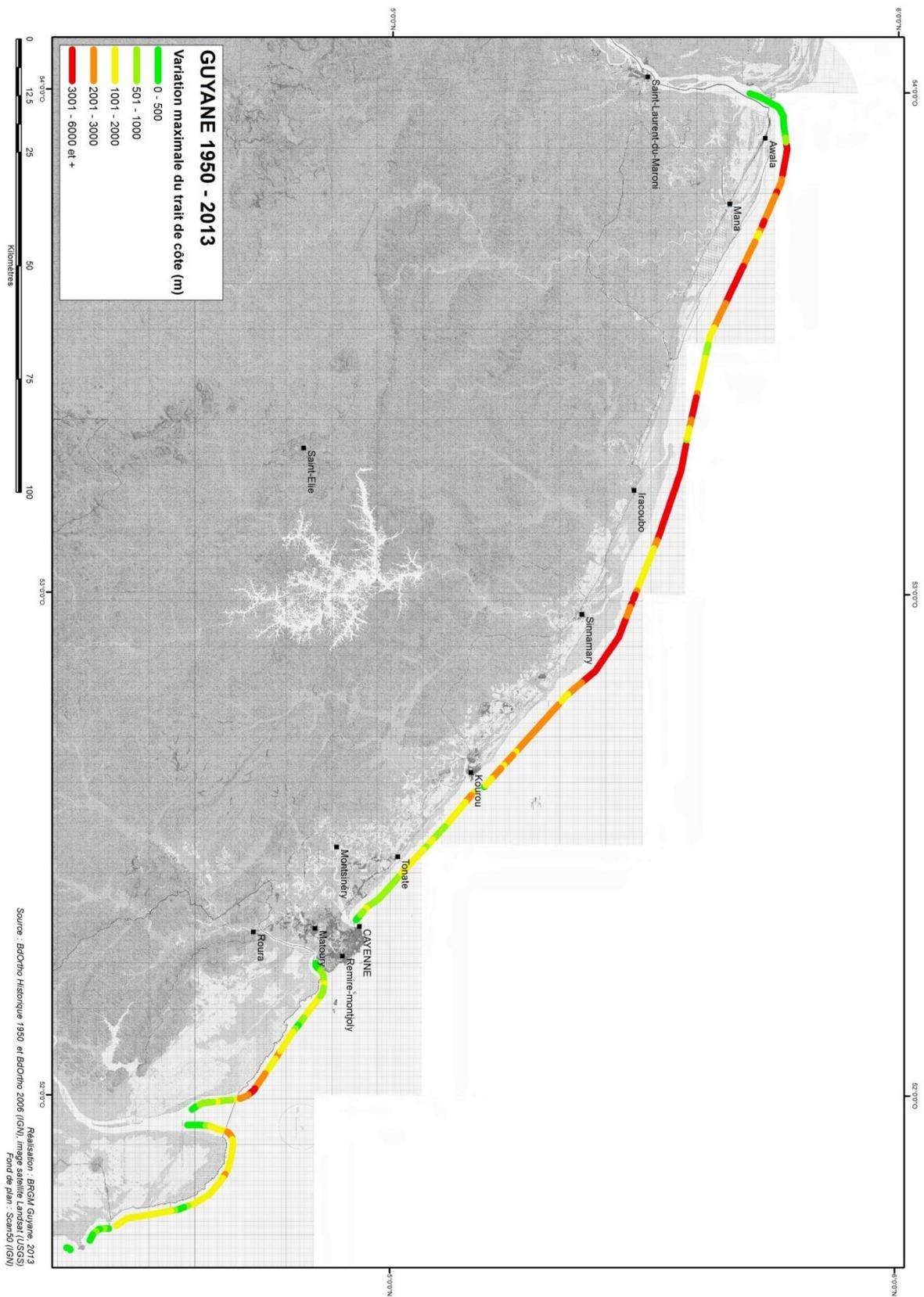


Illustration 11 - Variation maximale du trait de côte sur la période 1950 - 2013 Taux de variation annuel moyen

Le taux de variation annuel moyen est estimé à partir de la régression linéaire entre la date du trait de côte et la distance entre chaque trait de côte. Pour chaque transect, le logiciel DSAS détermine un nuage de point à partir duquel est calculée une régression linéaire. La pente de la droite de régression permet ensuite d'estimer le taux de variation annuel moyen.

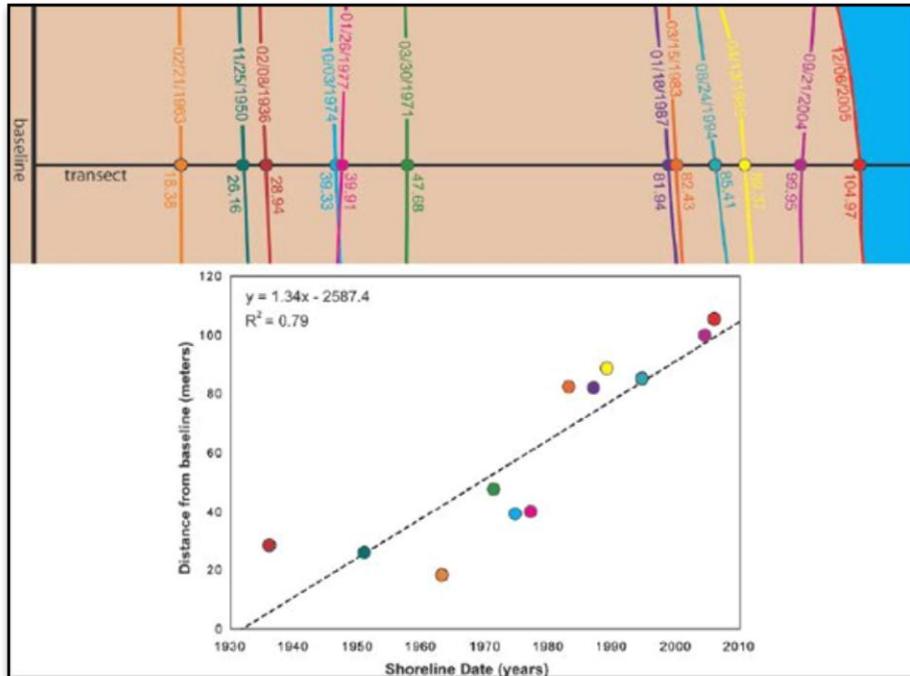


Illustration 12 - Exemple représentant le calcul du taux de variation annuel moyen par régression linéaire sur un transect (Thieler et al., 2009). Dans cet exemple l'équation de régression linéaire est de $y = 1,34x - 2587,4$, la pente de l'équation, et donc le taux de variation annuel moyen, est de 1,34 m/an.

Cet indicateur permet de caractériser la tendance moyenne d'évolution du trait de côte (érosion ou accrétion) mais aussi d'estimer les vitesses moyennes d'évolution (Illustration 13 et Illustration 14).

Les taux de variation annuels moyens les plus importants observés sur la période 1950-2013 sont de l'ordre de 150 m/an, observés au niveau des estuaires du Sinnamary et de l'Iracoubo. En absolu, ce taux peut être plus important et atteindre 200 à 300 m/an au cours de phases de recul ou d'avancée ponctuelles.

A l'est de Cayenne, on observe une tendance à l'érosion de la partie occidentale des estuaires de l'Oyapock et de l'Approuague alors que sur la Pointe Béhague et le littoral de la plaine de Kaw on constate une tendance à la progradation³. La vitesse d'évolution des secteurs en accrétion (30 à 40 m/an) est plus importante que ceux en érosion (20 m/an).

Entre Cayenne et Kourou, les vitesses de variation du trait de côte sont relativement faibles, inférieures à 20 m/an, par rapport à celles observées sur le reste du littoral.

A proximité de l'embouchure du Sinnamary les vitesses d'évolution augmentent nettement avec une tendance à l'érosion pouvant atteindre 40 m/an. Plus à l'est, au niveau de l'estuaire de

³ Phénomène d'avancée progressive du littoral lié à l'accumulation de sédiment

l'Iracoubo, la tendance s'inverse et le secteur présente une tendance importante à la progradation pouvant atteindre des vitesses de 40 à 80 m/an. Enfin, au niveau de Mana le littoral affiche une tendance à l'érosion de l'ordre de 30 à 50 m/an.

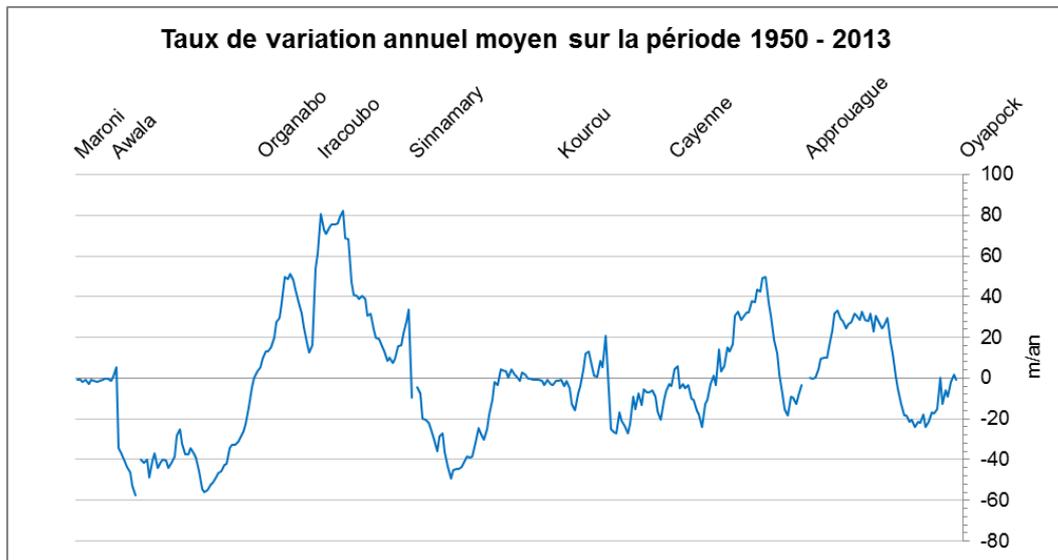


Illustration 13 - Taux de variation annuel moyen sur la période 1950 - 2013

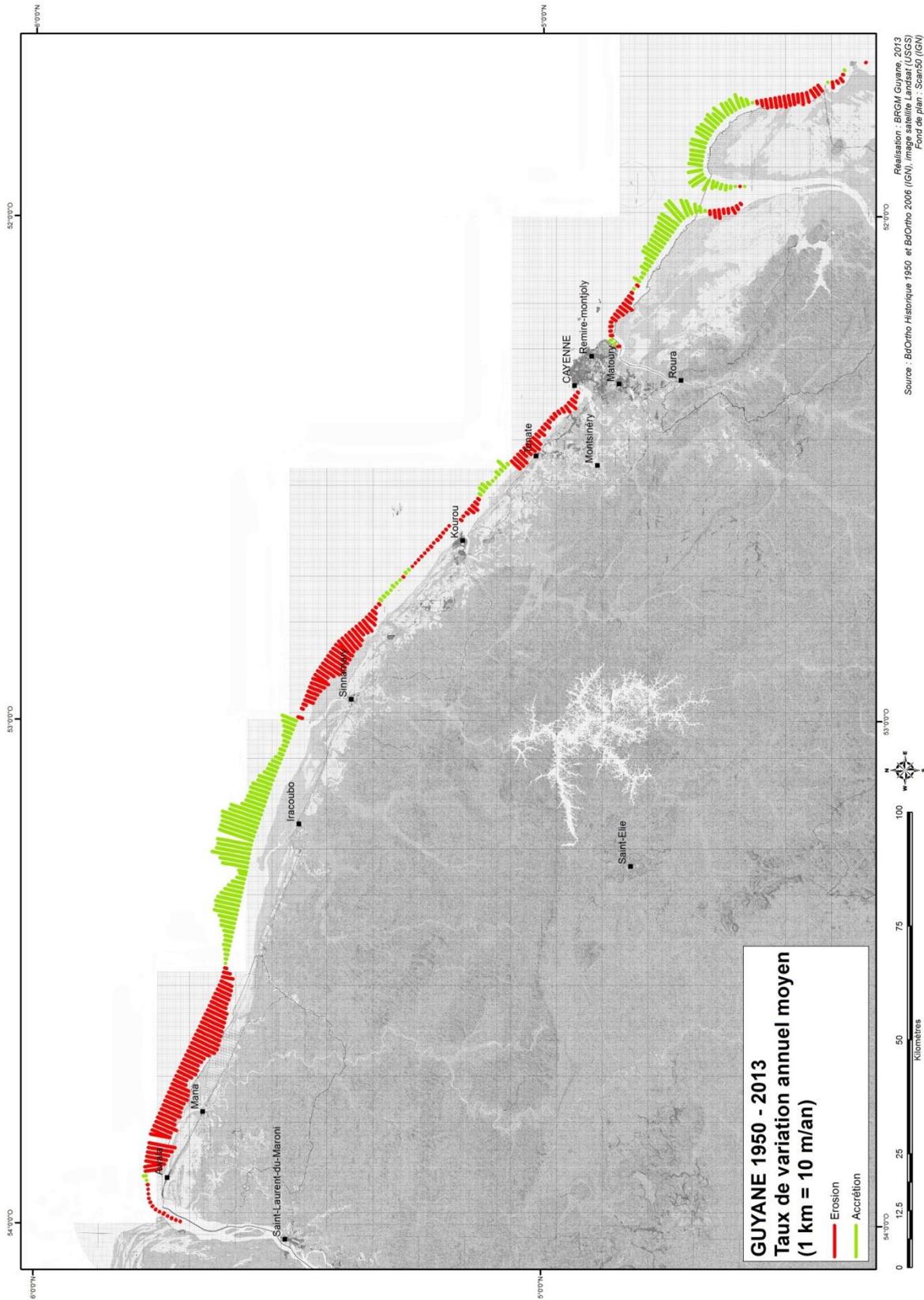


Illustration 14 - Taux de variation annuel moyen sur la période 1950-2013

Ces taux de variation annuels moyens calculés sur l'ensemble de la période 1950-2013 sont cependant à prendre avec précaution, car les variations observées sur le littoral de la Guyane, en lien avec la migration des bancs de vase, sont en général discontinues dans le temps et l'espace.

4.1.2. Variabilité des évolutions

Les processus d'érosion et d'accrétion peuvent varier dans le temps et l'espace. Le coefficient de corrélation de la droite de régression utilisée pour évaluer les taux de recul moyen sur l'ensemble de la période étudiée permet de caractériser la linéarité de la tendance d'évolution du trait de côte. Plus la valeur du coefficient s'approche de 1, plus l'évolution du trait de côte sera linéaire, c'est-à-dire que le sens et la vitesse de variation seront homogènes dans le temps

(

Illustration 15 - Linéarité de l'évolution du trait de côte en Guyane sur la période 1950-2013

).

A l'est de la presqu'île de Cayenne on observe une évolution du trait de côte globalement continue dans le temps. A l'ouest de la presqu'île de Cayenne, jusqu'à l'embouchure de l'Iracoubo, les évolutions du trait de côte sont beaucoup plus irrégulières. Sur cette partie du littoral, on observe une alternance de phases d'érosion et d'accrétion (Illustration 16).

Enfin, à l'ouest de l'embouchure de l'Iracoubo, le trait de côte évolue de manière linéaire dans le temps, avec une accrétion constante à l'ouest de l'embouchure de l'Iracoubo et une érosion continue sur le littoral de Mana.

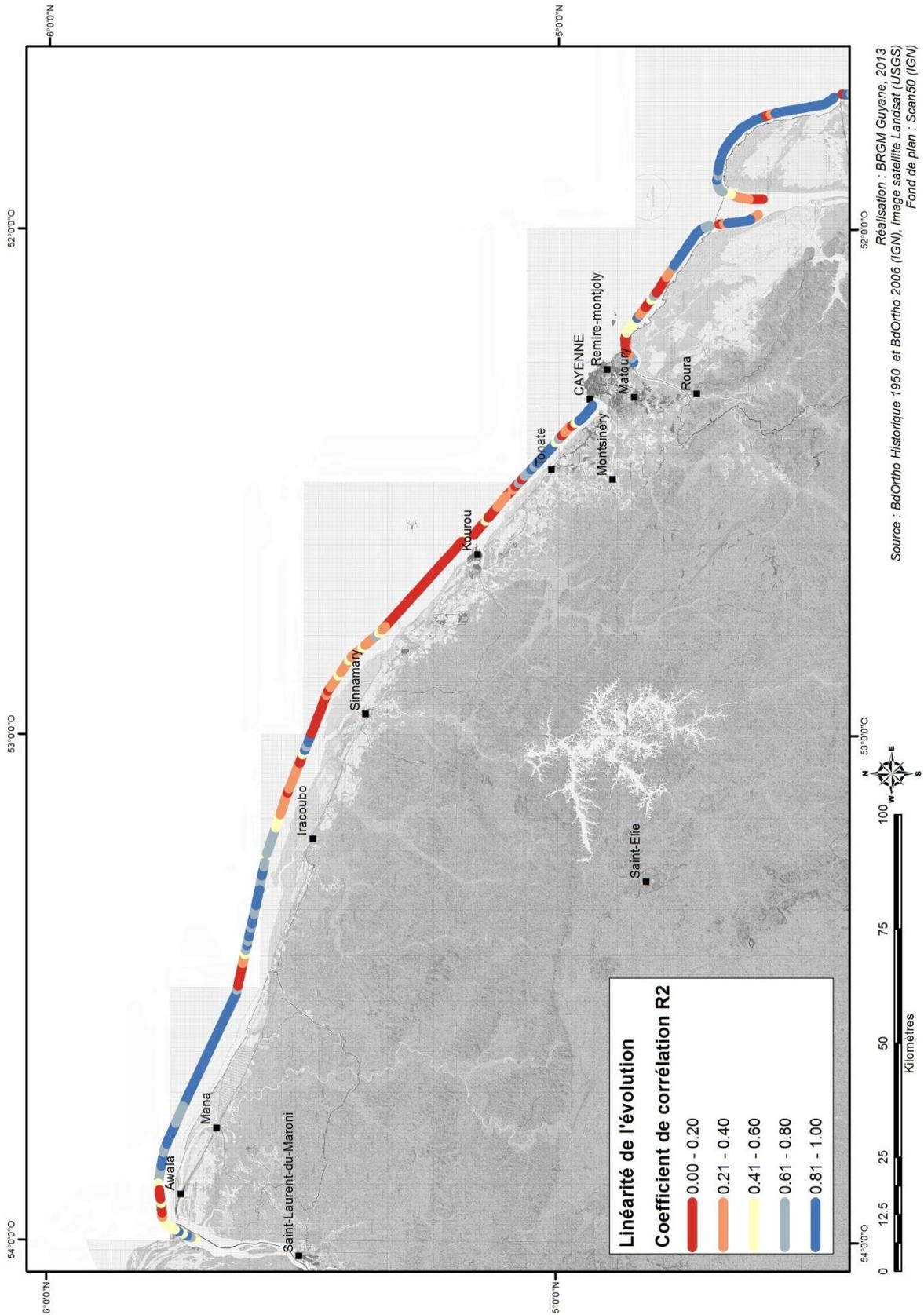


Illustration 15 - Linéarité de l'évolution du trait de côte en Guyane sur la période 1950-2013

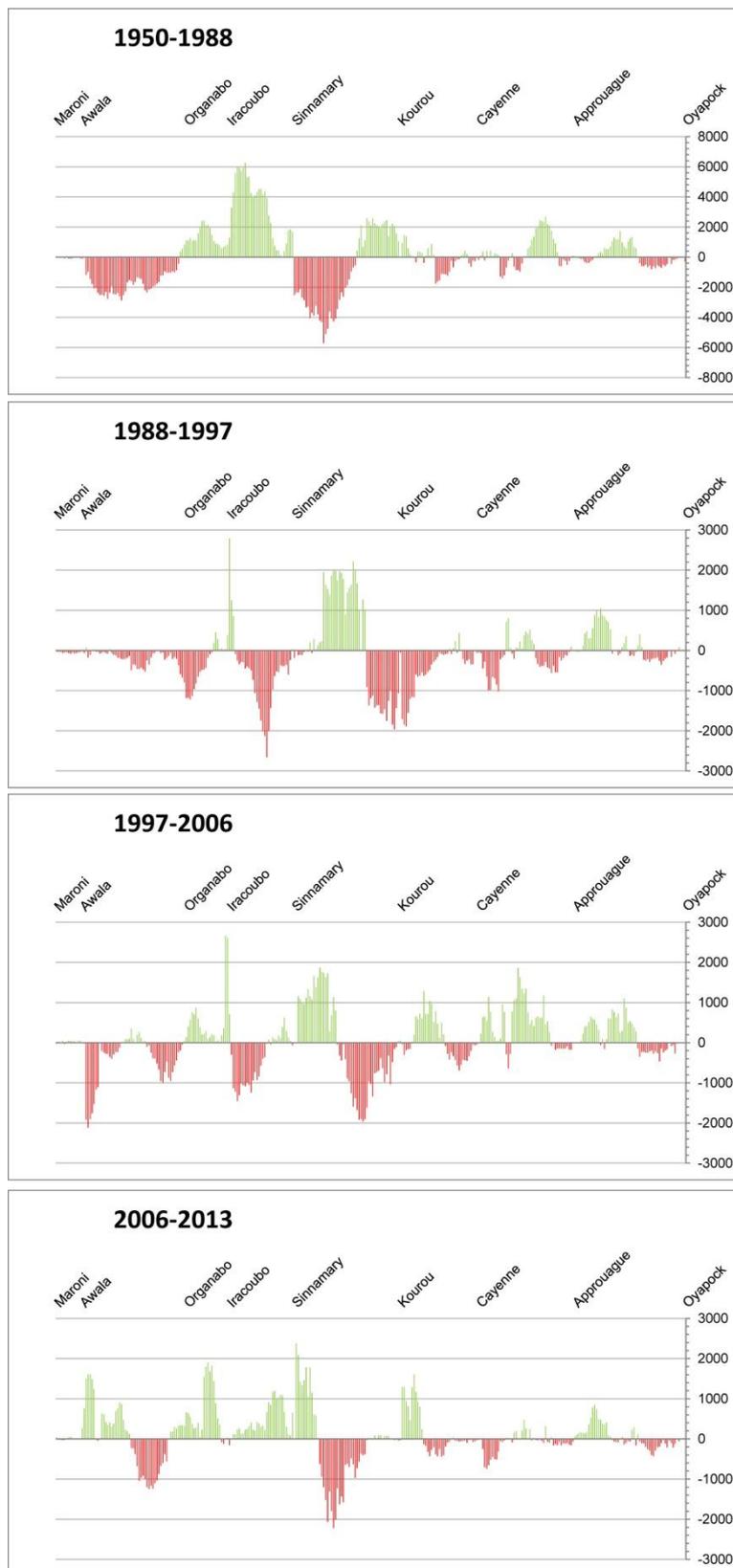


Illustration 16 - Amplitude de variation du trait de côte en mètre sur le littoral de Guyane par périodes étudiées

4.1.3. Bilan sédimentaire

Les bilans sédimentaires pour chaque période étudiée sont calculés à partir de la somme des surfaces en érosion et en accrétion entre chaque année étudiée. Ils permettent de mettre en évidence si, dans l'ensemble, le littoral est en recul en avancée.

On constate que, sur les périodes étudiées, le bilan sédimentaire est relativement équilibré sur les périodes 1950-1988 et 1997-2006. Par contre, en 1988-1997, le bilan est particulièrement déséquilibré avec des surfaces en érosion environ deux fois plus importantes que les surfaces en accrétion. A l'inverse sur la période 2006-2013, la tendance à l'accrétion est plus importante que l'érosion.

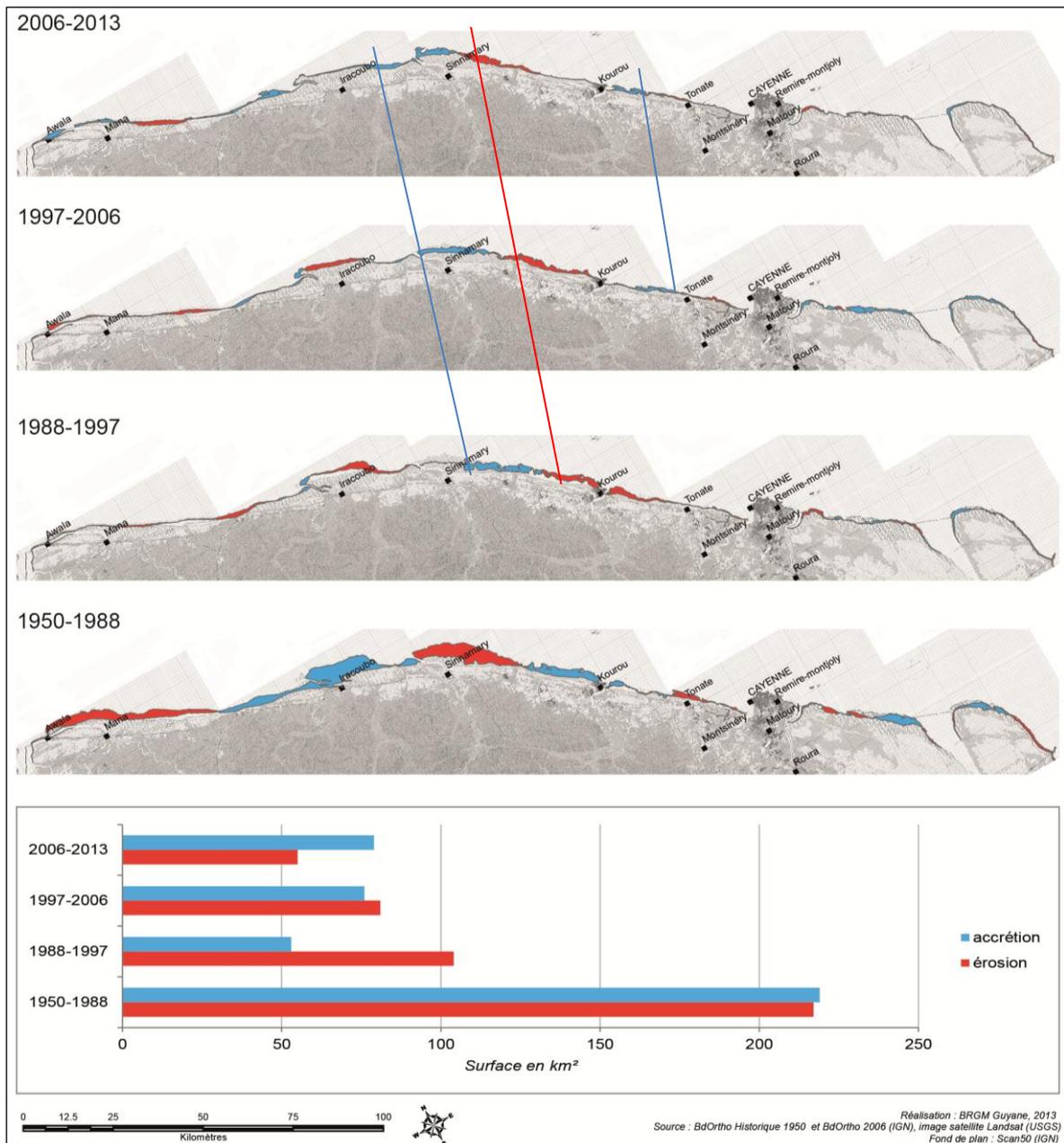


Illustration 17 - Evolution des bilans sédimentaires sur la période 1950-2013 à l'échelle régionale

A partir des résultats obtenus il est possible de diviser le littoral en grands secteurs homogènes vis-à-vis de la dynamique côtière :

- le secteur de Kaw-Oyapock où les amplitudes de variation du trait de côte sont moyennement marquées et les tendances d'évolution sont régulières dans le temps, avec une progradation continue des caps (Pointe Béhague notamment) ;
- le secteur compris entre Cayenne et Kourou où le trait de côte présente des amplitudes de variations assez faibles par rapport au reste du littoral et des évolutions très irrégulières dans le temps ;
- le secteur de Sinnamary et Iracoubo où les fluctuations du trait de côte sont très marquées, avec une tendance générale à la progradation depuis 1950 ;
- le secteur de Mana où le littoral présente une tendance nette à l'érosion sur l'ensemble de la période étudiée.

L'illustration 17 met en évidence une migration longitudinale des zones en accrétion/érosion (cf. traits sur l'illustration). Les vitesses moyennes de déplacement de ces zones sont de l'ordre de quelques km/an. Il semble donc possible de suivre dans le temps la migration vers l'ouest des zones en accrétion/érosion, qui est elle-même liée à la dynamique des bancs de vase. On observe une légère augmentation des pentes d'est en ouest, qui indique une accélération de la migration longitudinale vers l'ouest, et qui pourrait traduire une exposition aux houles dominantes variables d'est en ouest. Cela peut par exemple correspondre à la variation d'incidence liée aux changements d'orientation de la côte.

5. Discussion

Les fluctuations du trait de côte peuvent s'expliquer par différents facteurs qui interagissent entre eux de manière complexe.

5.1.1. Interaction du trait de côte avec la migration des bancs de vase

Pour interpréter les évolutions du trait de côte en Guyane, il est nécessaire de les mettre en perspectives avec la dynamique des bancs de vase. En effet, il a été mis en évidence une tendance générale à la migration longitudinale vers l'ouest des zones en érosion et en accrétion.

La variabilité importante de l'évolution du trait de côte en Guyane est en effet le fait de la contrôler par la migration des bancs de vase d'est en ouest. Dans le temps et dans l'espace, elle se caractérise par des secteurs en accrétion avec une colonisation rapide du banc de vase par la mangrove et des secteurs en érosion, situés entre le passage de deux bancs de vase. Ils sont généralement espacés de 10 à 25 km. Chaque banc est constitué d'une épaisseur de vase fluide d'environ 5 m, pour une longueur de 10 à 50 km et une extension en mer pouvant atteindre 20 km. La partie intertidale des bancs de vase, où se développe la mangrove, est comprise entre 2 et 5 km de large selon la morphologie du banc. La partie subtidale est bien plus étendue. Les vitesses de migration des bancs de vase atteignent 1 à 3 km/an en Guyane française (Gardel et Gratiot, 2005).

Bien que la source d'origine des sédiments qui constituent les bancs de vase soit identifiée depuis longtemps, les mécanismes de formations de ceux-ci sont encore très peu connus. Allison *et al.* (2000) ont mis en évidence une zone d'accumulation de vase fluide à proximité du Cap Cassiporé (Amapa, Brésil), à 350 km au nord-ouest de l'embouchure de l'Amazone. Il est estimé qu'environ 20% de la décharge en MES (Matière En Suspension) dans l'océan Atlantique est stockée au niveau de ce secteur. Sachant que le volume de chaque banc de vase peut contenir l'équivalent de la décharge annuelle du fleuve Amazone en MES dans l'Océan Atlantique, c'est-à-dire entre 700 millions et 1 milliard de tonnes/an (Martinez *et al.*, 2009), ceci présume un mécanisme pluriannuel de formation des bancs pour accumuler une masse si importante. L'accumulation d'une importante quantité de vase fluide dans ce secteur serait liée au changement d'orientation de la côte à partir du Cap Cassiporé qui modifie les caractéristiques des forçages océaniques et à la présence de fleuves (Oyapock et Approuague notamment). D'ailleurs dans ce secteur on observe une progradation régulière du trait de côte dans le temps au niveau des grands caps depuis au moins 1950 particulièrement visible sur la Pointe Béhague (Annexe 1, planche 1) qui serait expliquer par l'accumulation constante de vase dans ce secteur.

Au-delà, plus à l'ouest, les bancs de vase s'individualisent et s'espacent les uns des autres de plusieurs dizaines de kilomètres. À partir de là, ils migrent lentement vers les nord-ouest le long des 1 500 km de côtes le long du Plateau des Guyane (Illustration 1). Des recherches sont actuellement en cours pour mieux comprendre les mécanismes à l'origine de l'individualisation des bancs de vase à partir de la Pointe Béhague.

La configuration locale de la côte va avoir un impact sur le déplacement et la morphologie des bancs de vase. La présence d'estuaires génère des courants importants qui ralentissent le transit des bancs de vase d'est en ouest. A ce titre, on considère deux types d'estuaires en Guyane, les fleuves à embouchures fixes et mobiles. Les premiers sont constitués des

estuaire adossés à des affleurements du socle rocheux (Mahury, Rivière de Cayenne et Kourou) ou aux estuaires des fleuves ayant un débit suffisamment important pour maintenir leur embouchure fixe (Oyapock, Approuague, Maroni). Dans le cas de ces fleuves, les bancs de vase se reconstituent en aval de la dérive, à partir de la rive ouest des estuaires. Les autres fleuves à embouchure mobile, eux n'ont pas l'importance nécessaire pour maintenir leur embouchure durant le passage d'un banc de vase, il se produit alors une importante déflexion de leur embouchure vers le nord-ouest (Kaw, Sinnamary, Iracoubo et Mana). Ces différences sont particulièrement visibles sur les amplitudes de variations absolues calculées dans cette étude (Illustration 11)

Par ailleurs, l'orientation de la côte joue également un rôle sur les vitesses de déplacement des bancs de vase. Il a été démontré que l'angle d'incidence des houles (de secteur nord-est principalement) par rapport à la côte fait varier la vitesse de déplacement des bancs de vase (Gardel et Gratiot, 2005 ; Augustinus, 2004). Ainsi, sur la partie occidentale de la Guyane par rapport à la partie orientale, à partir l'estuaire de Sinnamary, l'angle d'incidence des houles augmente, les vitesses de migration des bancs de vase sont ainsi plus importantes ce qui a des répercussions sur leur morphologie (morphologie plus étirée et vaseuse intertidale colonisable par la mangrove moins étendue). Ceci pourrait expliquer en partie pourquoi il a été mis en évidence une croissance des amplitudes de variations du trait de côte d'est en ouest (Illustration 10)

Enfin, sur quelques secteurs du littoral, on observe des cycles d'évolutions pluri-décennaux. L'analyse des cartographies anciennes réalisées par Plaziat et Augustinus (2004), met en évidence, en certains secteurs du littoral, des cycles d'évolution sur des périodes longues. Par exemple au niveau du secteur compris entre l'embouchure de la Mana et le Maroni (Illustration 18) on observe une période d'une centaine d'années durant laquelle une flèche vaseuse orientée vers le nord-ouest se forme par progradation au niveau de l'estuaire de la Mana (Pointe Isère) et une autre, à partir de 1950 au cours de laquelle cette flèche s'érode pour finir par avoir complètement disparue à l'heure actuelle (Annexe 1, planche 4).

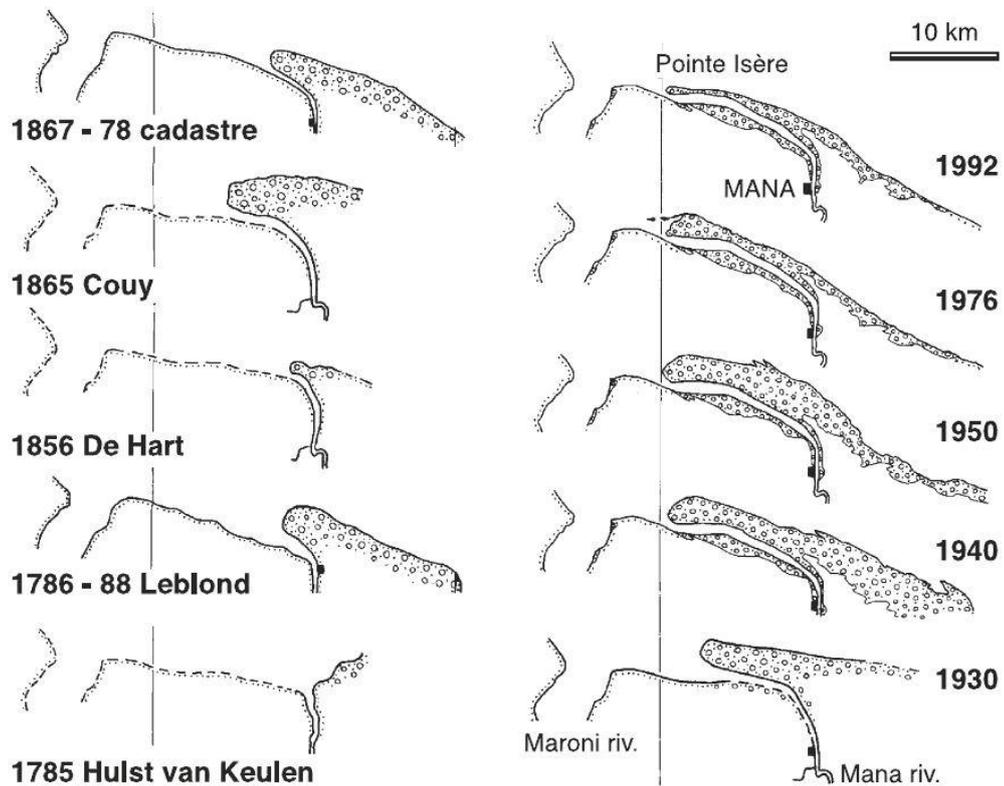


Illustration 18 - Evolution de l'embouchure de la Mana à partir de cartes anciennes (à gauche) et modernes (à droite) (d'après Plaziat et Augustinus, 2004)

De la même manière au niveau des secteurs de Sinnamary et Iracoubo on observe une progradation sur le long terme du littoral depuis au moins 1950 (Illustration 19).

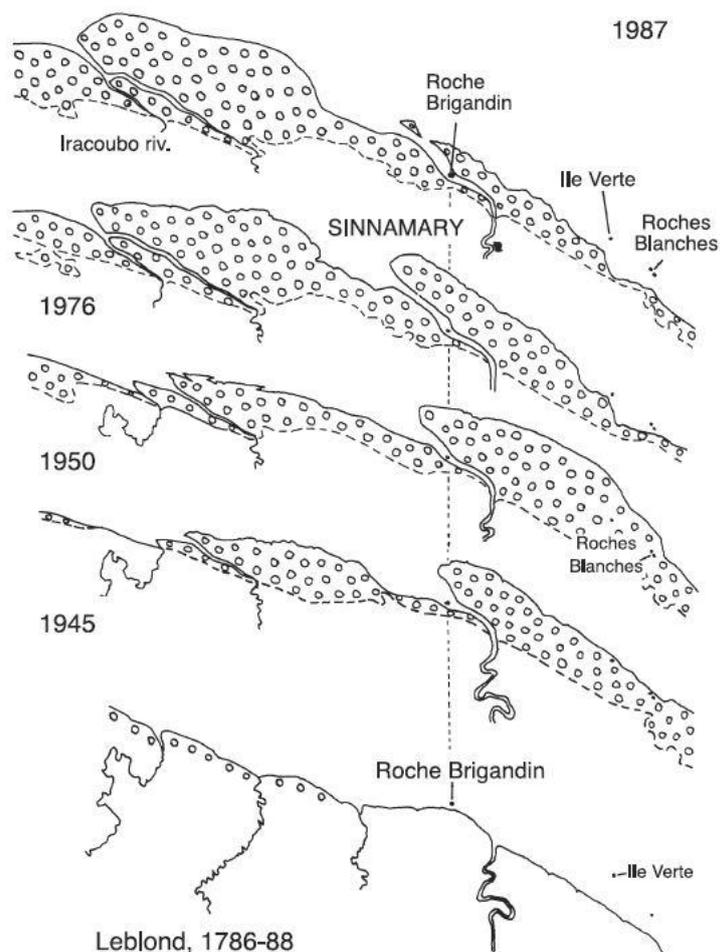


Illustration 19 - Evolution du trait de côte dans le secteur de Sinnamary et Iracoubo entre 1786 et 1987 à partir de cartes anciennes et récentes (Plaziat et Augustinus, 2004)

Ces phénomènes d'évolution sur le long terme pourraient être liés entre eux. L'accumulation de vase au niveau de Sinnamary et Iracoubo pourrait être à l'origine d'un déficit sédimentaire en aval de la dérive littorale qui serait la cause de l'érosion généralisée du secteur de Mana sur la même période. Gardel (2011) suggère que le changement d'orientation de la côte au niveau de Sinnamary et d'Iracoubo pourrait favoriser l'accumulation de vase dans ce secteur. A partir d'un certain seuil, l'accumulation deviendrait trop importante et un transfert de vase vers l'ouest s'effectuerait, entraînant une progradation de la côte au niveau de Mana avec le développement d'une flèche vaseuse pour arriver à terme à la situation observée en 1950. Cependant, ceci n'est qu'une hypothèse qu'il faudrait valider par des observations plus régulières.

Les résultats obtenus à partir du calcul des indicateurs d'évolution du trait de côte, réalisé dans cette étude confirment ces tendances et permettent de mieux quantifier ces évolutions. Il est cependant nécessaire de pérenniser ce travail à l'échelle régionale, en le mettant en parallèle avec la dynamique des bancs de vase afin de mieux caractériser la variabilité des évolutions dans le temps et l'espace (notamment les phénomènes de cyclicité d'évolution liée au passage successif des bancs de vase d'est en ouest le long du littoral). Ce travail est aujourd'hui plus aisé avec la mise à disposition des images satellites via les catalogues d'archives mis à disposition gratuitement tel que celui de l'USGS avec le satellite Landsat 8 qui couvre l'ensemble littoral de la Guyane environ une fois par mois.

5.1.2. Rôles des forçages océaniques

Les forçages océaniques semblent également jouer un rôle important sur la mobilité du trait de côte.

Gratiot *et al.* (2008) ont ainsi mis en évidence une forte sensibilité du trait de côte vis-à-vis des fluctuations du niveau marin. Ils ont comparé les variations du trait de côte par rapport au cycle de marée du saros de 18,6 ans, qui module l'amplitude du niveau de la marée d'environ 3%. En Guyane, cette amplitude du cycle de marée se traduit par une variation moyenne de 6 cm du niveau atteint par les pleines mers. D'après eux, cette amplitude du cycle de la marée pourrait être responsable d'une variation du trait de côte de l'ordre de 100 m. L'augmentation du niveau moyen de la mer, lié au réchauffement climatique, apparaît secondaire dans cette étude, mais conjuguée aux variations de l'amplitude du niveau de marée, ces phénomènes apparaissent particulièrement bien corrélés avec les fluctuations du trait de côte observée entre 1988 et 2006 (Illustration 20).

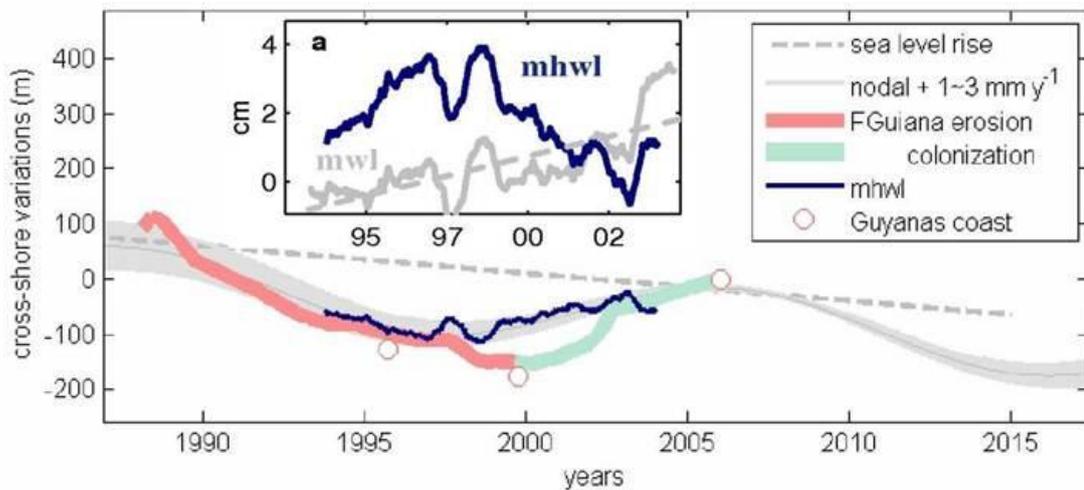


Illustration 20 - Fluctuations du niveau moyen de l'Océan Atlantique (mwl) et du niveau moyen des pleines mers (mhw), modélisé au droit des Guyanes. Evolutions mesurées du littoral de Guyane française (courbes roses et vertes) et comparaison au modèle de prédiction (courbe grise), l'année 2006 étant référencée comme année origine. Les points blancs indiquent la tendance sur les 1500 km du plateau des Guyanes. D'après Gratiot et al. 2008.

Ceci suggère une très forte vulnérabilité de la côte guyanaise aux variations du niveau de la mer. Cependant, on peut noter que les conclusions de ces observations sont effectuées que sur la moitié d'un seul cycle. D'une manière générale, sur le long terme, on peut s'attendre à un recul du trait de côte avec l'augmentation actuelle du niveau moyen de la mer. D'après les dernières estimations du GIEC (2013), qui prennent maintenant en compte l'effet de l'accélération de la fonte des inlandsis, le rythme d'élévation du niveau moyen de la mer va s'accroître au cours du XXI^e siècle. L'augmentation moyenne du niveau de la mer au niveau mondial, selon l'ensemble des scénarios pris en compte, est ainsi comprise entre 0,26 et 0,82 m en 2081-2100 par rapport à 1986-2005.

Les forçages météo-marins (houles, vents, courants) pourraient également agir sur les fluctuations du trait de côte. L'intensité, la fréquence et la direction des vents et des houles, les courants côtiers et la décharge sédimentaire de l'Amazonie, pourraient avoir des conséquences sur la vitesse de migration et la morphologie des bancs de vases. Ainsi, il a été observé une augmentation de la vitesse de migration des bancs de vase entre Cayenne et Kourou au cours des 25 dernières années (Gardel et Gratiot, 2005). Dans les années 1980, les bancs de vases

présentaient une vitesse de migration comprise entre 0,2 et 1,8 km/an (Froidefond *et al.* 1988) alors que dans les années 1990 et début 2000 des vitesses de 1,8 à 3 km/an ont été calculées. Ces changements dans la vitesse de migration des bancs de vase peuvent être en lien avec l'augmentation du forçage des houles au cours de la période récente suggérée par Gratiot *et al.* (2007).

Le rôle de la variabilité des grands cycles de variabilité des forçages océaniques (ENSO, NAO notamment) sur la dynamique du trait de côte ont encore été peu étudié en Guyane. Un travail de recherche sur ce sujet est actuellement réalisé par le laboratoire EcoLab de l'Université de Toulouse. Les résultats de ces travaux devraient être prochainement publiés.

6. Conclusion

Ce travail a permis de faire l'inventaire des données existantes sur le trait de côte en Guyane. De nombreuses études ponctuelles existent, élaborées dans le cadre d'expertises et de travaux de recherches (PNEC par exemple). Mais généralement, elles ne couvrent qu'une portion limitée du territoire.

L'objectif de cette étude a donc été de réaliser une base de données de la position historique des traits de côte à l'échelle régionale. Pour cela, les traits de côte ont été digitalisés par photo-interprétation au 1/25 000^e, à partir des supports d'informations brutes telles que les photographies aériennes de l'IGN et les images satellites Landsat qui permettent d'avoir une couverture régionale complète. Les indicateurs de la position du trait de côte qui ont été privilégiés sont les limites de végétations (front de mangrove et végétation pionnière sur les cordons sableux). Ce sont de bons indicateurs de la dynamique côtière en Guyane car ils sont particulièrement sensibles à l'évolution des forçages météo-marins et caractérisent assez bien la dynamique des bancs de vase sur le littoral. Des cartes de la position historique du trait de côte entre 1950 et 2013 ont ainsi été produites au 200 000^e par grands secteurs géographiques (Oyapock-Kaw, Cayenne-Kourou, Sinnamary-Iracoubo, Mana-Awala) et présentées en Annexe 1.

À partir de cette base de données, l'évolution du trait de côte a été analysée grâce à l'outil DSAS qui permet de calculer des indicateurs statistiques de mobilité du littoral (amplitude de variation maximale, taux d'évolution annuelle moyen, linéarité des évolutions au cours du temps).

De manière générale, on constate une croissance des amplitudes de variation de la position du trait de côte d'est en ouest, avec des variations absolues maximales de l'ordre de 5 à 6 km au niveau des secteurs de Sinnamary et Iracoubo entre 1950 et 2013. Sur le reste du littoral, elles sont comprises entre 1 et 4 km. En termes de tendance d'évolution, on observe une lente progradation des pointes à l'est de la presqu'île de Cayenne de l'ordre de 40 m/an au niveau de la Pointe Béhague et de la partie orientale de la plaine de Kaw. A l'ouest de la presqu'île de Cayenne, entre Macouria et Kourou, l'évolution du littoral est plus irrégulière avec une succession de phases d'érosion et d'accrétion en lien avec la migration des bancs de vase sans qu'une cyclicité caractéristique n'apparaisse. Au niveau des secteurs de Sinnamary et d'Iracoubo, on constate une nette tendance à la progradation par rapport à 1950 (entre 40 et 80/an, en évolution annuelle moyenne), même si celle-ci n'est pas continue dans le temps. Plus à l'ouest encore, au niveau de Mana, le littoral est en recul de manière constante de l'ordre de 40 à 60 m/an en moyenne depuis 1950.

De par la complexité de l'évolution du trait de côte en Guyane, la prise en compte d'un seul indicateur ne permet pas de caractériser la dynamique du littoral. Il est donc nécessaire d'utiliser une série d'indicateurs (amplitude de variation, tendance moyenne, et linéarité des évolutions par exemple) pour caractériser son évolution. Par ailleurs, celle-ci doit être mise en parallèle avec le phénomène de migration des bancs de vase issus du fleuve Amazone qui est à l'origine de l'importante variabilité de la dynamique côtière. La migration longitudinale progressive des zones en accrétion/érosion tend à confirmer cette relation étroite entre l'évolution du trait de côte et les bancs de vase qui se déplacent vers l'ouest à des vitesses comprises entre 1 et 3 km/an, ce qui permet également d'estimer l'évolution probable du trait de côte, au moins de manière qualitative, lors des prochaines années. Cela nécessiterait cependant de réaliser des observations plus régulières afin de mieux caractériser la rythmicité de ces évolutions.

Dans ce sens, les actions de recherches qui visent à mieux comprendre les processus physiques à l'origine de la formation des bancs de vase et leur déplacement le long de la côte de Guyane doivent être poursuivies. Enfin, de la même manière, les actions de suivi et d'observation du littoral à l'échelle régionale (dynamique du trait de côte et des bancs de vase) nécessitent d'être pérennisées dans le temps pour capitaliser les informations et permettre de disposer d'éléments de connaissance régulièrement mis à jour sur la dynamique du trait de côte.

7. Bibliographie

- Allard J.F., Degay E., Joseph B. (1997). Cartographie de l'évolution du trait de côte en Guyane de 1950 à 1994. BRGM/RP-39506-FR, 27 pages.
- Allison M.A., Lee M.T. (2004). Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. *Marine Geology* 208 169-190.
- Allison M.A., Lee m.t., Andrea S.O., Robert C.A. (2000). Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. *Marine Geology* 163, 241-256.
- Augustinus P.E.G.F. (2004). The influence of the trade winds on the coastal development of the Guianas at various scale levels: a synthesis. *Marine Geology* 208, 145-151.
- Baltzer, F., Allison, M.A., Fromard, F., 2004. Material exchange between the continental shelf and mangrove-fringed coasts with special reference to the Amazon-guianas coast. *Marine Geology* 208, 113-114.
- Boak E.H., Turner I.L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A review. *Journal of Coastal Research* 21, 688-703.
- BRGM. (2000). Plan de prévention des risques naturels littoraux de l'île-de-Cayenne – Communes de Cayenne, Rémire-Montjoly, Matoury. Cartographie de l'aléa. Rapport BRGM/RP-50475-FR, 40 pages.
- BRGM. (2001). Plan de prévention des risques naturels littoraux de la commune de Kourou (Guyane) – Note de présentation - Cartographie de l'aléa. Rapport BRGM/RP-50802-FR, 60 pages.
- CETMEF. (2013). Levé du trait de côte à partir de photographies aériennes orthorectifiées. Proposition d'une méthodologie nationale. MEDDE, 40 pages.
- CREOCEAN-BRL. (2008). Etude de l'érosion de littoral du nord-ouest guyanais. Rapport final, 146 pages.
- Froidefond J.M., Pujos M., Andre X. (1988). Migration of mud-banks and changing coastline in French Guiana. *Marine Geology*. 84, 19-30.
- Gardel A. (2011). Géomorphologie et aménagement des littoraux à sédiments hétérogènes. Approches combinant télédétection et mesures in situ. Le cas du littoral de la Guyane française. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Littoral Côte d'Opale, 110 pages.
- 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.
- GIEC. (2013). Changements climatiques 2013 : éléments scientifiques - Résumé à l'intention des décideurs. Contribution au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 27 pages.

Gratiot N., Anthony E.J., Gardel A., Gaucherel C., Proisy C., Wells J.T. (2008). Significant contribution of the 18.6 year tidal cycle to regional coastal changes. *Nature Geoscience* 1 169-172.

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.

Mallet C., Michot A., De La Torre Y., Lafon V., Robin M., Prevotaux B. (2012). Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte. Rapport final BRGM/RP-60616-FR, 162 pages.

Martinez J.M., Guyot J.L., Filizola N., Sondag F. (2009). Increase in sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. *Catena* 79, 257–264.

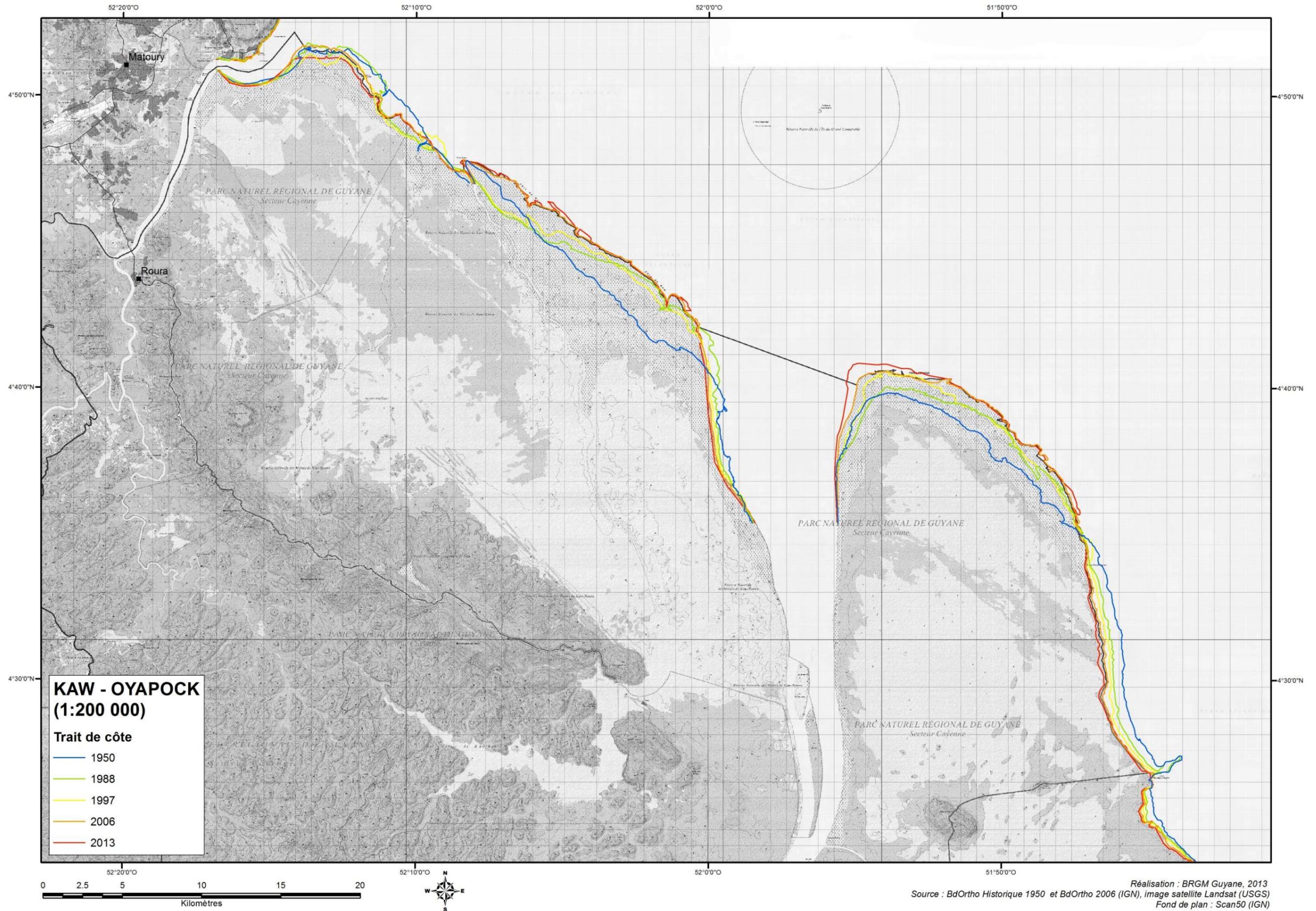
Moisan M. (2011). Etat de la connaissance de la caractérisation physique de la côte en Guyane, des pressions anthropiques et des impacts générés : Synthèse et Analyse critique - Rapport BRGM/RP-60823-FR. 116 pages.

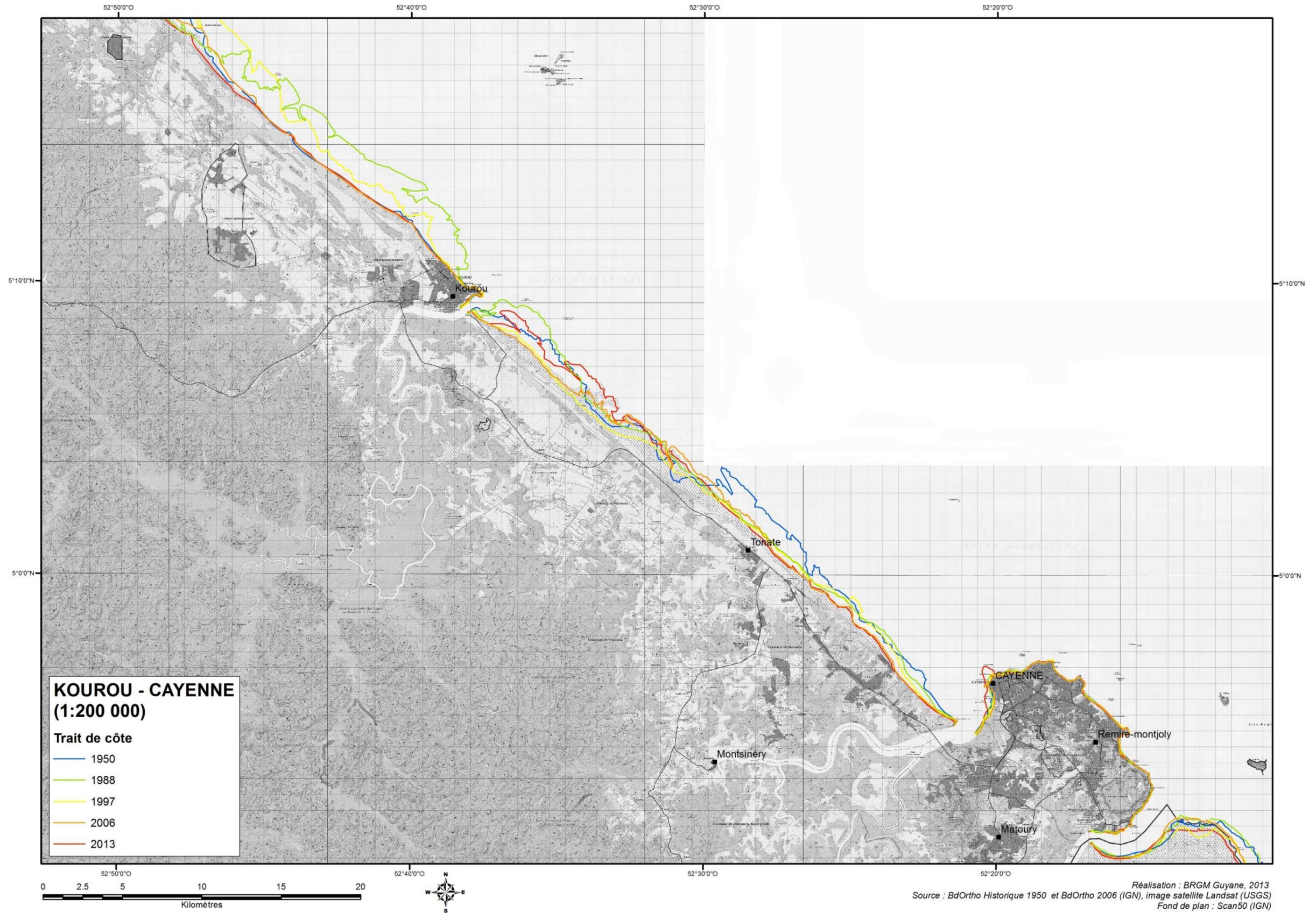
Plaziat J.C., Augustinus G.E.F. (2004). Evolution of progradation/erosion along the French Guiana mangrove coast: a comparaison of mapped shorelines since the 18th century with Holocene data. *Marine Geology* 208, 127-143.

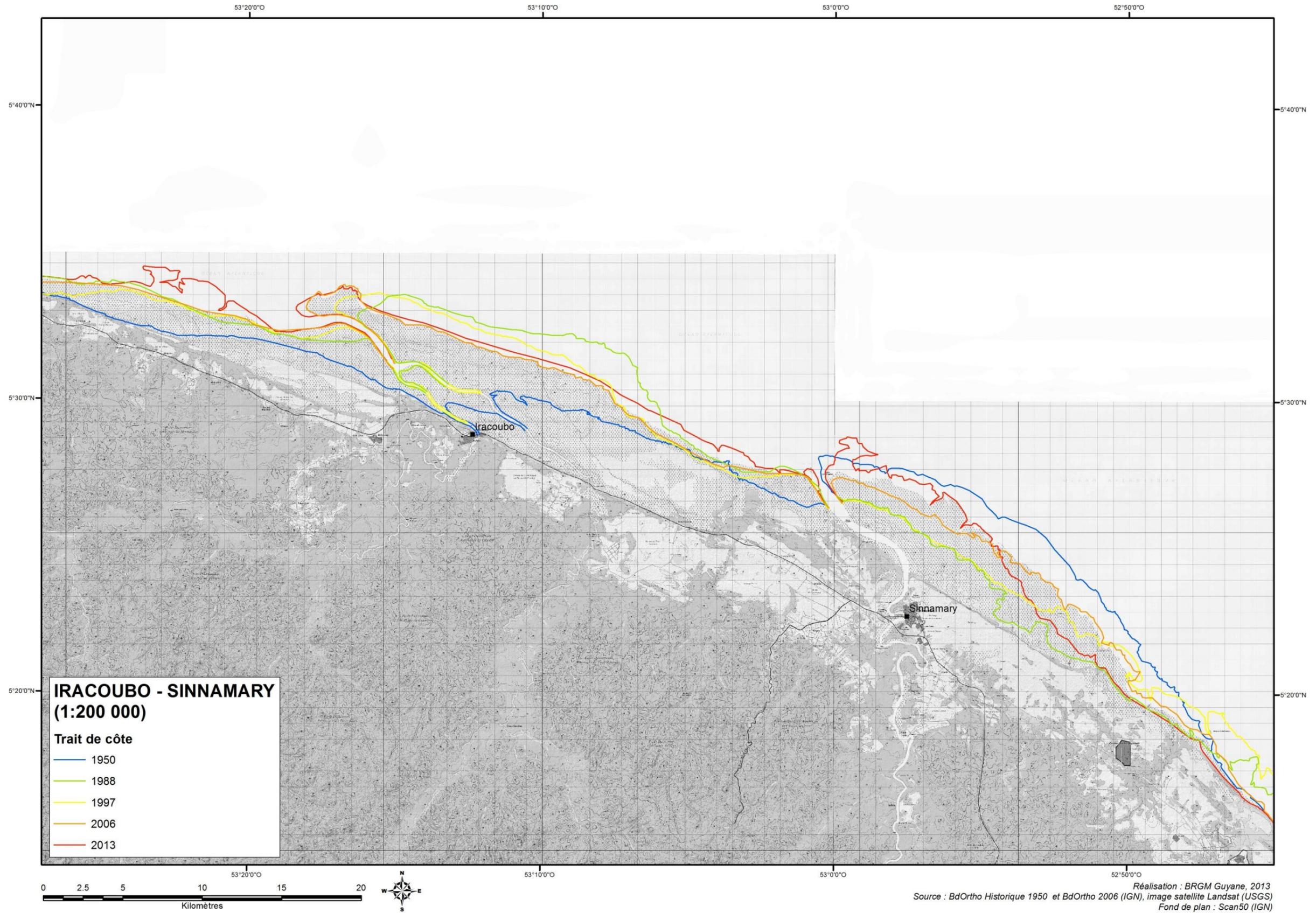
Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul., Ayhan (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

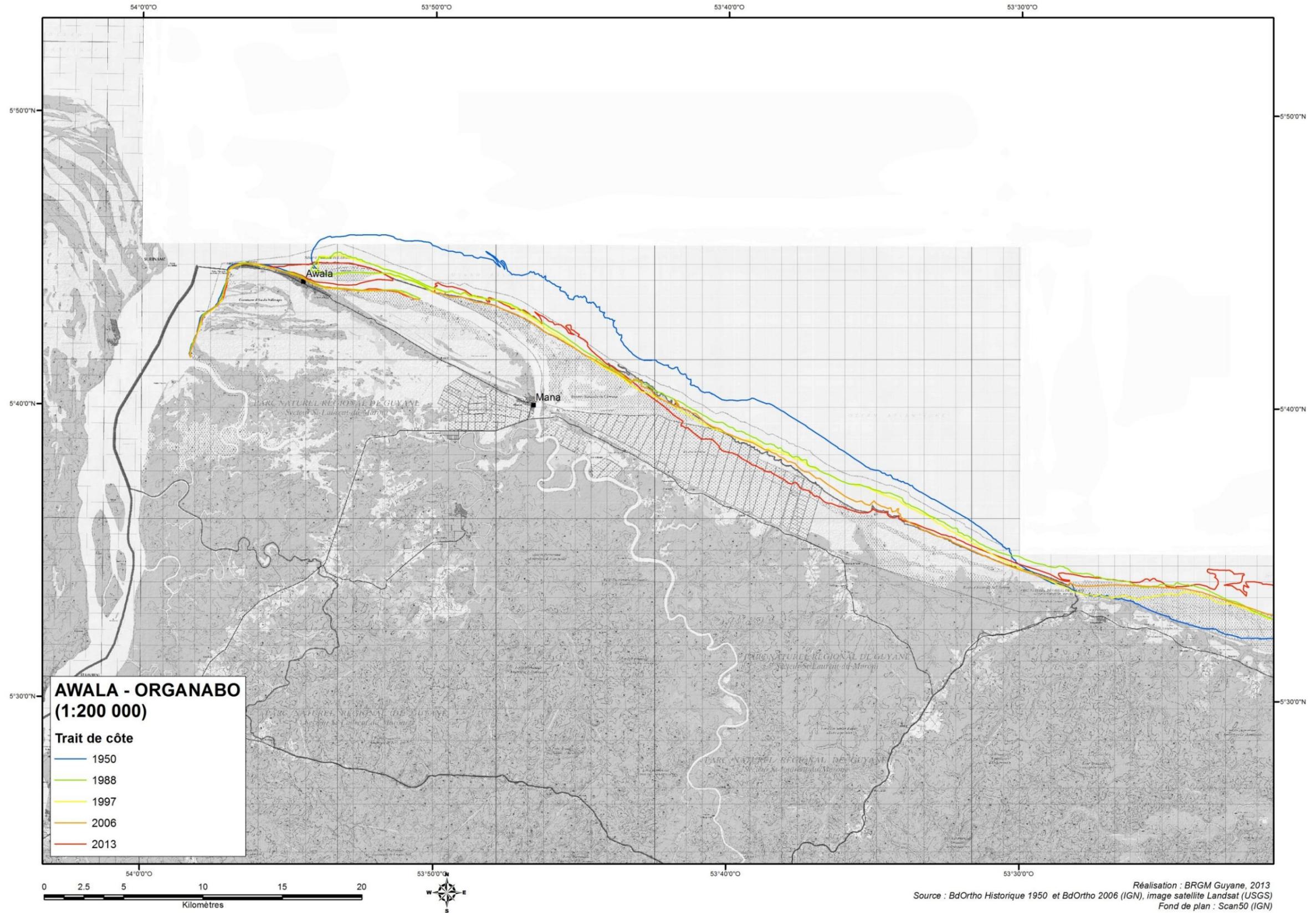
Annexe 1

Evolution du trait de côte par secteurs géographiques











Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Guyane

Route de Montabo – Domaine de Suzini
BP 552

97333 – Cayenne Cedex – Guyane française

Tél. : 05 94 30 06 24