

ETUDE MULTITEMPORELLE DU LITTORAL ET DES ESTUAIRES GUYANAIS UTILISANT L'IMAGERIE SPOT ET LANDSAT

C. CHARRON¹, M. LOINTIER,¹ M.T.PROST¹ ET J.P.RUDANT²

Résumé

Les changements côtiers en Guyane sont très dynamiques et ceux-ci ont été évalués à partir de différentes données utilisant plusieurs techniques (comparaison de cartes historiques, comparaison des cartes topographiques, photo-interprétation). La précision de ces mesures est variable: dans beaucoup de cas il s'agit plutôt d'estimations, étant donné la qualité des documents, les problèmes inhérents à leur superposition, la difficulté de définir une ligne de rivage sur un trait de côte en perpétuel changement. Le but de ce travail est d'utiliser les données de Télédétection et les vérités-terrain pour calculer - à moyen terme et à court terme - les taux actuels d'accrétion et de recul de la ligne de rivage.

Abstract

The coastal alterations of French Guiana are very dynamic, and they were evaluated from different facts involving several techniques (comparisons of historical maps, comparisons of topographical maps, photo-interpretation). The accuracy of these measures is changeable: in most of cases they are mostly estimations, due to quality of documents, inherent problems to their superposition, the difficulty to define a shore line in such a constantly changing coast. The aim of this work is to use remote sensing and the facts found in real to calculate - in middle and long terms - the up-to-date accumulation rates and the receding shore line.

Mots clefs: Télédétection, Traitements numériques, Changement côtiers, Guyane, Mangrove.

Keys-words: Remote sensing, Coastal changes, Mangrove, French Guiana.

(1) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

(2) Laboratoire de Géologie Structurale, Université P&M. CURIE

1. LA DYNAMIQUE COTIERE ACTUELLE

Toute analyse d'une portion de la côte implique celle du système régional, caractérisé par l'alternance de zones d'envasement et de dévasement liées pour l'essentiel à l'apport sédimentaire amazonien (Eisma D.).

Schématiquement, les sédiments fins donnent naissance à de vastes bancs de vase (shoreface-attached mudbanks) d'une longueur moyenne de 20 à 30 km, séparés par des espaces interbancs de même longueur (interbank zones) soumis à l'érosion mécanique de la mer. La migration du système "bancs - interbancs" s'effectue à des vitesses voisines du kilomètre par an. On observe ainsi une progression régulière vers l'ouest, qui affecte profondément les zones de marais situées en arrière de la ligne de rivage, selon la situation d'envasement ou de dévasement. Les embouchures de la plupart des fleuves de Guyane sont également touchées par ces phénomènes (Lointier M. & Prost M.T.) et c'est pour cette raison qu'il est difficile de dissocier les études en estuaire des processus côtiers.

Le suivi du système à partir de l'embouchure de l'Amazone (Nittrover C.A. & DeMaster D.J.) par l'étude des structures sédimentaires des bancs de vase (Rine J.M. & Ginsburg R.N.) et par télédétection (Rine J.M. & Ginsburg R.N.) révèle que le système subit une oscillation saisonnière importante sous l'effet du Courant Côtier Nord du Brésil (NBCC):

* Pendant la période allant de juillet à décembre le NBCC subit une importante rétroflexion vers le NE entre 6 et 4° lat. N, le Courant Equatorial Nord "aspirant" vers le large les eaux côtières (Muller Karger F.E. & Fisher T.R.) : 50 à 60% de la décharge annuelle de l'Amazone est ainsi transportée offshore, et ne vient pas "nourrir" les eaux côtières de la Guyane.

* A l'inverse, entre janvier et mai, la rétroflexion devient faible voir nulle. Par conséquent, le NBCC n'est plus "aspiré" vers le large et se prolonge, vers le NO, par le courant des Guyanes : La charge amazonienne qui transite vers le nord à partir de l'embouchure peut franchir, sans trop d'encombre, le seuil de 4° de lat. N.

Toutefois, les vitesses de migration de plusieurs bancs de vase mesurées en Guyane entre 1976 et 1984 (Froidefond J.M. & al) - et qui ont varié entre 250 m et 1250 m/an - incluent des paramètres plus complexes, les parties distales et frontales des bancs ayant elles-mêmes des taux de migration spécifiques qui traduisent tant les changements saisonniers d'énergie du milieu que le comportement rhéologique des vases intertidales et estuariennes (Migniot C.). Etant donné toutes les variables, seule la télédétection peut suivre et quantifier, de façon fiable, ces changements.

2. DONNEES ET METHODES

L'étude par télédétection a été menée sur environ 120 km de ligne de rivage comportant des secteurs d'envasement et de recul et quatre systèmes estuariens: celui de la rivière de Cayenne et du Kourou, à l'est, et ceux du Sinnamary et de l'Iracoubo, à l'ouest. Des vérités-terrain (survol de reconnaissance en basse altitude et travaux de terrain) ont eu lieu à plusieurs reprises pendant toute la durée du travail.

Trois images satellitaires sont utilisées dans le cadre de cette recherche :

a) Des données LANDSAT Multispectral Scanner, du 30 octobre 1976, avec un pixel de 80 mètres. Elles concernent une région comprise entre Cayenne et Paramaribo, au Surinam.

b) Deux scènes SPOT, acquises le 20 octobre 1986, avec un pixel de 20 mètres, sont disponibles sur la zone Cayenne - Iracoubo.

c) Trois scènes LANDSAT Thematic Mapper, acquises le 18 juillet 1988, avec un pixel de 30 mètres, couvrant la zone Cayenne-Organabo.

Les traitements ont fait appel à la méthode de SHEFFIELD pour déterminer la meilleure combinaison entre les 6 canaux TM, afin de réaliser la cartographie thématique des espaces côtiers. Pour les autres opérations, ce sont des filtrages et surtout des anamorphoses géométriques qui ont été utilisés. Tous ces travaux ont été effectués sur Péricolor 2000, ordinateur SUN (logiciel Planète) et PC équipé d'une carte number nine.

3. RESULTATS

3.1 La zone océanique

Le dépointage de SPOT apporte une information très claire sur les houles, à l'approche de la côte et au large. Dans la zone de Sinnamary, l'optimisation locale de densité met en évidence plusieurs types de longueur d'onde et une limite majeure, à 20 km environ de la côte, qui "marquerait" l'extension de la vasière littorale (Lointier M. & Prost M.T.). En effet, la zone comprise entre 0 et - 25/30 m de fond ("nearshore area"), dont les limites en Guyane se trouvent à environ 30 km du rivage, est constituée par un prisme vaseux d'origine amazonienne (Bouysse & al, Pujos & al). Le traitement des données Spot montre aussi clairement des trains de houle de longueur d'onde plus courte devant les zones de la côte en érosion, et plus longue devant les secteurs envasés.

3.2 La ligne du rivage

Définir le trait de côte du littoral de la Guyane, caractérisé par des transformations morphologiques importantes, pose un vrai problème. Celui-ci a été soulevé au moment de la quantification, par télédétection, des variations multitemporelles des zones intertidales. En Guyane, le régime des marées est semi-diurne et les mamages sont compris entre 1 et 3 mètres.

La solution choisie pour définir la ligne de rivage par télédétection a été d'utiliser à la fois le niveau de la pleine-mer ordinaire et la ligne des plages et de la mangrove. Quoi qu'il en soit, les variations temporelles des zones intertidales, sont si importantes, que cette incertitude sur la ligne de rivage est presque négligeable.

Les résultats obtenus sur la zone test de Kourou à Sinnamary (1976-1986) montrent une accréation de la zone de Kourou de 2 km (200 m/an en moyenne) alors que pour la même période la côte de Sinnamary a reculé de 2 km. En ce qui concerne les modifications à court-terme (octobre 1986 - juillet 1988) la zone de Sinnamary enregistre un taux de recul légèrement supérieur (240 m par an). Quant au secteur d'Iracoubo, le transit côtier est à l'origine de la déviation des cours estuariens de la Counamama et de l'Iracoubo, réunis à présent dans une seule embouchure. La surface gagné sur la mer entre 1976 et 1986 est de 14 km². Quant à la partie arrière du banc, elle est à présent en érosion (Prost M.T. 1989,1990).

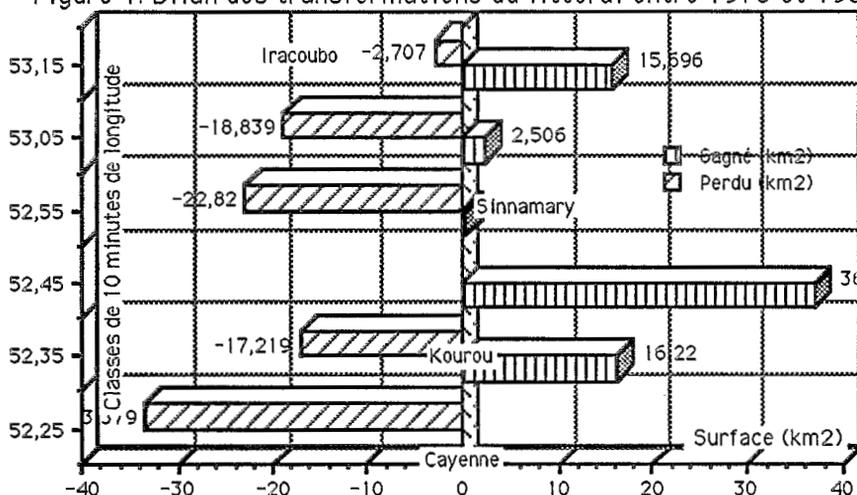
Une analyse complète des données du Landsat MSS et TM (1976-1988) a été réalisée par secteurs de 10 minutes de méridien, qui, à cette latitude (5° Nord), correspond à des secteurs de 18,5 km.

L'analyse globale sur les douze dernières années écoulées montre que 43 % de la zone étudiée a été concernée par une accréation alors que 57 % a subit une érosion. Le bilan sur cet ensemble de secteurs méridiens est négatif: 23 km² on été érodés sur 167 km² transformés au total, soit 13,8 % de "perte" sur l'ensemble des secteurs (tableau 1, Fig 1).

Tableau 1: Erosion et accrétion du rivage, par secteurs de 10' de méridien
Surfaces mesurées par comparaison des images MSS de 1976 et de TM de 1988 (en nombre de pixels).

	Positif	Négatif	différence
52°20-----	0	9272	-9272
52°30-----	4509	4783	-274
52°40-----	10264	0	10264
52°50-----	146	6339	-6193
53°00-----	696	5233	-4537
53°10-----	4360	752	3608
53°20-----			
TOTAL	19975	26379	-6404
Surface (km²)	72	95	-23
%	43	57	13,8

Figure 1: Bilan des transformations du littoral entre 1976 et 1988



3.3 La mangrove de front de mer et des marais côtiers

Les écosystèmes des mangroves et des marais dominent le paysage de la basse plaine côtière et subissent l'impact des changements morphosédimentaires des rivages (Prost M.T.).

Les mangroves de front de mer ont fait l'objet de traitements abordés selon des critères spectraux et texturaux, en vue de différencier la mangrove adulte et décadente, sur les canaux TM1, TM4, TM5 (du 18 juillet 1988). Il ressort essentiellement de cette étude, les résultats suivants: la capacité de différencier les deux types de mangrove varie dans l'ordre suivant $TM4 > TM5 > TM1$. La mangrove adulte est radiométriquement isotrope, dans les trois canaux, ce qui n'est pas le cas pour la mangrove décadente qui disparaît selon des bandes parallèles aux chenaux de marée, perpendiculairement à la ligne de rivage. Les calculs d'autocorrélations et de variogrammes effectués sur la mangrove adulte montre qu'aucune structure ne peut être perçue sur TM1 (corrélation nulle, entre deux fenêtres décalées de 1 pixel), alors que des structures de quelques pixels peuvent être perçues sur TM4 et TM5.

Sur la zone de Sinnamary, le traitement des canaux T.M. a permis de réaliser une classification en 9 classes thématiques:

- Mangrove (1)
- Savane hydromorphe et "barres pré littorales" (2)
- Vase nue intertidale (3)
- Abattis, zone à faible couvert végétal (4)
- Marais côtiers et subcôtiers inondés (5)
- Petites parcelles de pins caraïbe (6).
- Terrains nus et zones aménagées ou urbaines (7)
- Forêt secondaire (8)
- Forêt ombrophile sur socle (9)

3.4 Une zone d'estuaire: le fleuve Sinnamary

Le transit côtier est à l'origine de la déviation d'un certain nombre d'estuaires, dont font partie ceux du Kourou, du Sinnamary et de l'Iracoubo. Par exemple, l'estuaire du Sinnamary a subi des transformations radicales. Il est acquis qu'en 1763 l'embouchure du fleuve se trouvait à plusieurs kilomètres à l'amont de sa position actuelle (Yager), au niveau de l'actuel canal Philippon; un banc de sable barrait légèrement la sortie du fleuve en mer et orientait le chenal vers le nord-ouest. Environ un siècle plus tard (1878) l'accumulation sableuse avait disparue, mais l'embouchure occupait la même place. Les modifications principales se feront dans les 58 années suivantes, l'embouchure s'allongeant de 6 km vers le nord-ouest (Yager).

Entre 1936 et 1976 l'estuaire a progressé d'environ 6,5 km, dans une direction sub-parallèle à la ligne du rivage (Lointier). La vitesse moyenne de progression serait de près de 170 m/an. Dans la réalité, la progression est variable, plus rapide ou plus lente, selon les conditions de l'environnement.

En opposition avec la rive droite, la rive gauche de l'estuaire est plus stable. Une plage ouverte à la mer il y a environ 50 ans, la plage Brigandín, se trouve aujourd'hui piégée derrière plusieurs centaines de mètres de mangrove.

La zone de l'embouchure du fleuve a fait l'objet d'une superposition colorée multidates des images satellitaires, aboutissant à l'analyse quantitative de l'érosion pendant 12 ans (1986-1988). Sur la rive gauche, le recul a été de 500 m entre 1976 et 1986 (50 m/an) et a doublé de vitesse au cours des 2 dernières

années (100 m/an). Sur la rive droite les transformations sont encore plus importantes: 27 km² de récession en 10 ans et 2 km² entre 86 et 88. L'érosion a provoqué la rupture de l'estuaire en mars 1987 et a donné naissance à une île, elle-même en voie de disparition. La brèche ainsi formée a actuellement 1,5 km de longueur et permet à la houle de rentrer dans l'estuaire et d'attaquer la mangrove de la rive gauche. En même temps, l'intrusion saline a progressé vers l'amont.

Une meilleure définition de l'aspect qualitatif de la distribution des eaux de surface dans la zone de l'estuaire a été testée par télédétection (SPOT, octobre 1986). Parmi les problèmes posés, deux ont attiré particulièrement l'attention, à savoir, l'interprétation des variations de la radiométrie enregistrée et la définition de la distribution des masses d'eau .

L'opacité élevée des eaux estuariennes de surface - avec une disparition du disque de SECCHI entre 0,5 et 1,2 mètres (Lointier) - constitue un premier élément : on ne peut pas attribuer les variations de la radiométrie aux variations bathymétriques, car les canaux utilisés dans le rouge et le proche-infrarouge ont une "profondeur" d'investigation de l'ordre du cm ou moins en milieu aquatique. Par ailleurs, les concentrations en chlorophylle "a" entre l'embouchure et la pointe Combi sont faibles et de même ordre de grandeur, elles sont comprises entre 0,16 et 0,76 mg/m³ (Noguès J.L.).

Toutefois, en regard des teneurs de matières en suspension importantes, il semble réaliste d'attribuer les écarts radiométriques constatés à des variations de la turbidité de surface.

En ce qui concerne les masses d'eaux de surface, l'index de Brillance $(C_x^2 + C_y^2)^{1/2}$, calculé sur la zone d'estuaire dans les bandes SPOT 2 et 3, permet de classer les pixels selon une échelle de valeurs croissante inversement proportionnelle à la turbidité montrant ainsi, qualitativement, leur distribution. Au kilomètre 3,25 (section "B", au niveau de l'ouverture de rive droite), par exemple, les radiométries calculées sont les plus faibles et traduisent une remise en suspension des vases plus importante par petits fonds (entre 1,5 et 2 mètres). On remarque le gradient transversal élevé dans cette partie de l'estuaire, qui fait place à un gradient "longitudinal" vers le kilomètre 7 (section "C"), mettant en évidence des "segmentations" qui augmentent, vers l'amont, en s'allongeant.

3.5 Etalonnage Landsat MSS et Turbidité

Ces résultats obtenus montrent l'intérêt de l'utilisation des données de télédétection dans l'étude des domaines estuariens, souvent assez étendus et présentant un grand nombre de pixels; Les canaux généralement employés par les capteurs mettent bien en relief les variations de la qualité des eaux. Mais, étant donné qu'il s'agit d'un milieu qui se transforme très rapidement (à l'échelle de l'heure) on doit se contenter, pour l'instant, d'interpréter des données en tant "qu'instantané photographique" des phénomènes de surface.

Ceci explique pourquoi il est si difficile d'obtenir un étalonnage des valeurs radiométriques en relation avec un paramètre comme la turbidité, par exemple, nécessitant des mesures de terrain au moment du passage du satellite, ce qui a pu néanmoins être réalisé avec les données Landsat de 1976 (Lointier M.).

CONCLUSIONS

La variabilité des changements côtiers en Guyane, montre que la télédétection constitue une méthode fiable et souple d'emploi, pour calculer les taux d'accrétion et d'érosion côtière et pour suivre les réponses de l'environnement côtier qui résultent des transformations du littoral. Certes, la période d'observation est relativement courte et ne comporte aucun phénomène brutal, comme ceux qui ont touché les côtes de Cayenne en 1973 et en 1977 et qui ont été à l'origine de dégâts importants. Ces deux cas s'expliqueraient par la conjonction de l'effet de fortes houles venant du large, pendant des marées de vives eaux, le long d'une zone du littoral déjà en érosion.

Toutefois, l'espace de 12 ans est significatif pour juger des modifications globales des côtes subissant une accrétion et une érosion à la suite de la migration des bancs des vases et des espaces inter-bancs. Les banques de données radiométriques anciennes (1976), plus récentes (86, 88) ou à venir (en particulier grâce aux données hyperfréquences), permettront de contribuer, dans des conditions optimales, à l'étude de ces phénomènes et d'aborder le délicat problème de leur prévision.

BIBLIOGRAPHIE

- Bouysse Ph., Kudrass H.R. & Le Lann F.,1977.** Reconnaissance sédimentaire du plateau continental de la Guyane française (mission Guyamer, 1976). Bull. BRGM, IV, 2. Paris.
- Eisma D.,1988.** Dispersal of Amazon Supplied particulate matter. Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System: River and Ocean. AGU. Charleston. Wild Dunes.
- Froidefond, J.M., Prost, M.T. & Griboulard R.,1985.** Etude sur l'évolution morpho-sédimentaire des littoraux argileux sous climat équatorial: l'exemple du littoral guyanais. Rapport Cordet-IGBA. Ministère de la Recherche et de la Technologie.Paris. Université de Bordeaux-I. Talence. 189 p.
- Lointier, M. & Prost, M.T.,1988.** Environnement côtier des Guyanes. Rapport intermédiaire au Conseil Régional.
- Lointier, M.** 1984. Dynamique des eaux et de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary. Rapport EDF-ORSTOM Cayenne.
- Lointier, M.** 1989. Etude des estuaires et des fleuves par télédétection. 3é journées ORSTOM - SEMINFOR III.
- Lointier, M.,1986.** Hydrodynamique et morphologie de l'estuaire du fleuve Sinnamary (Guyane Française). Le littoral guyanais: fragilité de l'environnement. Nature Guyanaise. Sepanrit. Sepanguy. 37-44.
- Migniot C.** 1989b - Tassement et rhéologie des vases (deuxième partie). La Houille Blanche, 294. - 2 (1989) : 95-112. Paris.
- Migniot C.,** 1989a - Tassement et rhéologie des vases (première partie). La Houille Blanche, 293.- 1 (1989) : 11-30. Paris.
- Muller Karger F.E. & Fisher T.R. ,** 1988a - Seasonal Dispersal of the Amazon River Discharge in the Tropical Atlantic. Abstracts of the Chapman Conference ont the fate of particulates and dissolved components within the Amazon Dispersal System : River and Ocean. Nittrouer & DeMaster Ed.AGU. Charleston. Wild Dunes. USA.

- Nittrouer C.A. & DeMaster D.J., 1986. Sedimentary processes on the Amazon continental shelf : past, present and future research. Continental Shelf Research, vol. 6, n°1/2 : 5-30. U.K. / In, Nittrouer & DeMaster Ed., 1987 : 5-30.
- Noguès, J.L., 1984. Etude de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary. Dynamique, hydrochimie, phytoplancton. Mémoire de DEA, Univ. de Provence, Saint - Charles et ORSTOM Cayenne, 45 pp.
- Prost, M.T., 1988. Shoreline changes in French Guiana. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, vol 5. J.Rabassa Ed. A.A.Balkema Publ. Rotterdam.
- Prost, MT., 1989. Changes in coastal sedimentary environments and remote sensing data in French Guiana. Internat. Symp. on Global Changes in South America during the Quaternary. São Paulo, Mai 1989.
- Prost, MT., 1990. "Les côtes des Guyanes". Programme environnement côtier. ORSTOM Cayenne 215 pp., 51 fig., 64 photos.
- Pujos M. & Odin G.S., 1986. La sédimentation au Quaternaire Terminal sur la plateforme continentale de la Guyane Française. Oceanologica Acta, vol. 9, 4, 363-382.
- Rine J.M. & Ginsburg R.N., 1985. Depositional facies of the mudshoreface in Suriname, South America - a mud analogue to sandy, shallow-marine deposits. Journal of Sedimentary Petrology, vol. 55, 5: 633-652.
- Yayer. 1937. Compte-rendu de la mission pour l'établissement de la carte S.H.O.M. n° 5884 (région de Sinnamary).