

Dynamique littorale et impacts socio-économiques en Guyane française Approche par télédétection spatiale

RAPPORT INTERMEDIAIRE

OCTOBRE 2003

REDACTION

ANTOINE GARDEL¹ ET NICOLAS GRATIOT²

¹ Laboratoire Régional de Télédétection
Unité ESPACE IRD-Cayenne

² Laboratoire d'Ecologie Littorale
UR ELISA IRD-CAYENNE

**Contrat de Consultance
Institutionnelle individuelle ou collective
N° 02/CNES/0814/00**

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	3
2 - CONTEXTE - PROBLEMATIQUE	4
3 - CADRE DE L'ETUDE	6
4 - SYNOPSIS BIBLIOGRAPHIQUE	7
A - LES COTES DES GUYANES - ASPECTS DE MORPHODYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	7
B - LES ORIGINES DE LA DYNAMIQUE ET LES REPERCUSSIONS GEOMORPHOLOGIQUES	7
C - CARACTERISTIQUES MORPHODYNAMIQUES DES BANCs DE VASE	9
D - ETUDES PAR TELEDETECTION SPATIALE	11
1) Etudes Projets-pilotes	11
2) Rapports (conventions et stages d'étudiants)	
3) Programmes de recherche nationaux	11
5 - MATERIELS ET METHODES	12
A - DE LA DONNEE BRUTE A L'INFORMATION THEMATIQUE	12
B - EXTRACTION DES THEMES D'ETUDE	14
1) Définition des thèmes d'étude	14
2) Extraction des thèmes sur les images. Système d'Information Géographique	14
C - METHODE POUR SUIVRE LA CINETIQUE DU BANC DE VASE	16
1) Changement de repère	16
2) Correction des effets de marée	16
3) Représentation matricielle	17
6 - RESULTATS PRELIMINAIRES	18
A - EVOLUTION DES SURFACES DE MANGROVE	18
B - CINETIQUE DU BANC DE KOUROU	19
C - PREMIERES INTERPRETATIONS	21
7 - CONCLUSION	22
8 - PLANNING	22
9 - BIBLIOGRAPHIE	25
LISTE DES FIGURES	27
LISTE DES TABLES	28

1 - INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats obtenus à mi-étape de l'étude "Dynamique littorale et impacts socio-économiques en Guyane française. Approche par télédétection spatiale" faisant l'objet d'un contrat de consultance entre le CNES et l'IRD (N°02/CNES/0814/00).

L'objet de cette consultance est de fournir au CNES, gestionnaire de l'accès au Port de Pariacabo à Kourou, les outils nécessaires pour une meilleure gestion des actions de dragage qu'il a en charge.

Le travail proposé comporte deux volets :

1 : un volet scientifique visant à améliorer la compréhension des processus de dynamique côtière à la lumière des observations faites par satellite, en partenariat avec les équipes de recherche engagées sur le sujet à l'IRD et d'autres organismes nationaux et internationaux dans le cadre de programmes de recherches.

2 : un volet opérationnel visant :

- à aider à une meilleure gestion du dragage par le suivi des mouvements d'envasement-dévasement et de leurs effets sur l'estuaire.
- à prédire, à partir du constat d'une évolution les impacts socio-économiques du phénomène observé, en liaison avec des acteurs de l'aménagement du territoire et en tout premier lieu le Centre Spatial Guyanais.

Dans ce rapport de mi-étape, après avoir présenté le contexte et les enjeux induits, le cadre dans lequel l'étude est réalisée est dressé .

Un synopsis bibliographique permet d'évaluer l'importance de la dynamique littorale sur les côtes des Guyanes. Ce travail bibliographique souligne la grande variabilité de la dynamique de ces littoraux. Quelques travaux utilisant des données spatiales d'observation de la Terre pour suivre les modifications morphologiques de la côte ont montré la pertinence de ces techniques pour étudier un tel milieu.

Nous disposons aujourd'hui avec la filière SPOT de suffisamment de recul (depuis 1986) pour étudier précisément les modifications morphologiques survenues sur le littoral situés entre Cayenne et Kourou (60km). L'exploitation de 17 images (acquises entre 1986 et 2002) et l'utilisation d'un système d'information géographique, permet de quantifier ces modifications. Une méthode est développée permettant de suivre et de quantifier l'évolution spatio-temporelle de l'installation puis de la migration du banc de vase qui se rapproche de Kourou.

Les résultats préliminaires obtenus permettent d'enregistrer des taux de modification supérieurs à ceux enregistrés au début des années 1980. Les causes de ces variations sont partiellement connues mais relativement peu étudiées.

Enfin, le planning des actions à réaliser d'ici la fin de l'étude pour étudier les causes de ces variations est dressé.

2 - CONTEXTE – PROBLEMATIQUE

Les côtes de Guyane sont soumises à l'alternance de phases d'envasement et d'érosion. Les sédiments, provenant de l'embouchure de l'Amazone se déplacent sous la forme de bancs de vase, en fonction de la saison et des conditions environnementales, le long des côtes de l'Amapá et des Guyanes, jusqu'à l'Orénoque. De profondes modifications morphologiques se font ressentir sur les côtes de la Guyane française et représentent de réelles contraintes aux activités humaines.

En Guyane, 90 % de la population est localisée sur le littoral. La pression démographique est grande (+ 37% entre 1990 et 1999 selon l'INSEE) et les enjeux de développement passent par de nombreux aménagements et par la construction d'infrastructures de communication.

Face à la forte dynamique côtière les enjeux sont de taille et concernent toutes les activités socio-économiques. La région de Mana où l'érosion menace le littoral du village d'Awala mais aussi plus à l'est les aménagements rizières préoccupe aujourd'hui les décideurs. Les plages de l'île de Cayenne et de Kourou, qui subissent périodiquement de fortes érosions (destructions d'habitations, d'infrastructures), suivies quelques années plus tard par un envasement ont aussi pu faire l'objet d'inquiétudes. Les accès aux ports de Cayenne et de Kourou doivent être périodiquement voire constamment dragués (pour le chenal du Mahury). Ces actions de dragage sont primordiales pour permettre aux navires (même de faible tirant d'eau) de débarquer. D'autres enjeux sont liés indirectement à la dynamique côtière. Ils sont d'ordre économique (la pêche notamment), d'ordre sanitaire (assainissement, épidémies de papillonte), fonciers et touristiques.

La Division des Infrastructures du Centre National d'Etudes Spatiales de Kourou par le biais du Bureau de Gestion Portuaire, a en charge l'entretien du chenal d'accès au Port de Pariacabo. Un marché est passé avec la société de dragage "Atlantique Dragage" d'un montant semestriel de 1,08 million d'euros (premier semestre 2003), pour assurer la navigabilité dans le chenal et permettre aux navires d'accéder aux infrastructures portuaires de Kourou. Les navires *Colibri* et *Toucan* y débarquent en effet les éléments des fusées Ariane 5 provenant d'Europe. C'est en 1994 que la mise au gabarit du chenal est réalisée. Entre 1994 et 2000, seuls des dragages ponctuels (3 à 4 par an) sont réalisés. Depuis 2000 le chenal est dragué en continu avec aujourd'hui un pompage effectif de 200 heures par mois. L'effort de dragage a évolué depuis 2000. Les premières actions de dragage se concentraient au niveau du pk 8, c'est à dire au niveau de la sortie du fleuve Kourou en mer. En 2001, ils se concentraient autour du pk 10 et en 2002 au pk 12. Aujourd'hui ils sont réalisés essentiellement au niveau du pk 12,8. Le banc semble donc pour le moment passer au large, au niveau de l'entrée du chenal de navigation. Ces localisations sont présentées sur la figure 1.

On a aujourd'hui une bonne connaissance des causes géophysiques de l'instabilité du littoral. Les travaux menés depuis plusieurs décennies sur la morphodynamique du littoral guyanais ont permis de suivre l'évolution des bancs (partie émergée) et de mesurer leur vitesse de déplacement par des approches théoriques et expérimentales. Toutefois certains processus dynamiques restent encore mal connus concernant les facteurs de déplacement et de consolidation des vases. La principale raison de cette lacune provient de la complexité du milieu.

L'extension des zones concernées, les difficultés d'accès, la complexité des paysages et des mécanismes en jeux, font de l'observation de la Terre par satellite un outil incontournable en

appui aux études physiques de terrain, pour étudier les mécanismes de la dynamique côtière (déplacement des bancs, consolidation, colonisation par la mangrove) et les répercussions sur les activités socio-économiques. La filière SPOT permet, avec 16 ans d'observations, d'expertiser les phénomènes d'érosion et de sédimentation, et les performances inédites d'ENVISAT et de SPOT-5, récemment lancés, offrent de nouvelles perspectives dans l'observation de la dynamique du littoral guyanais.

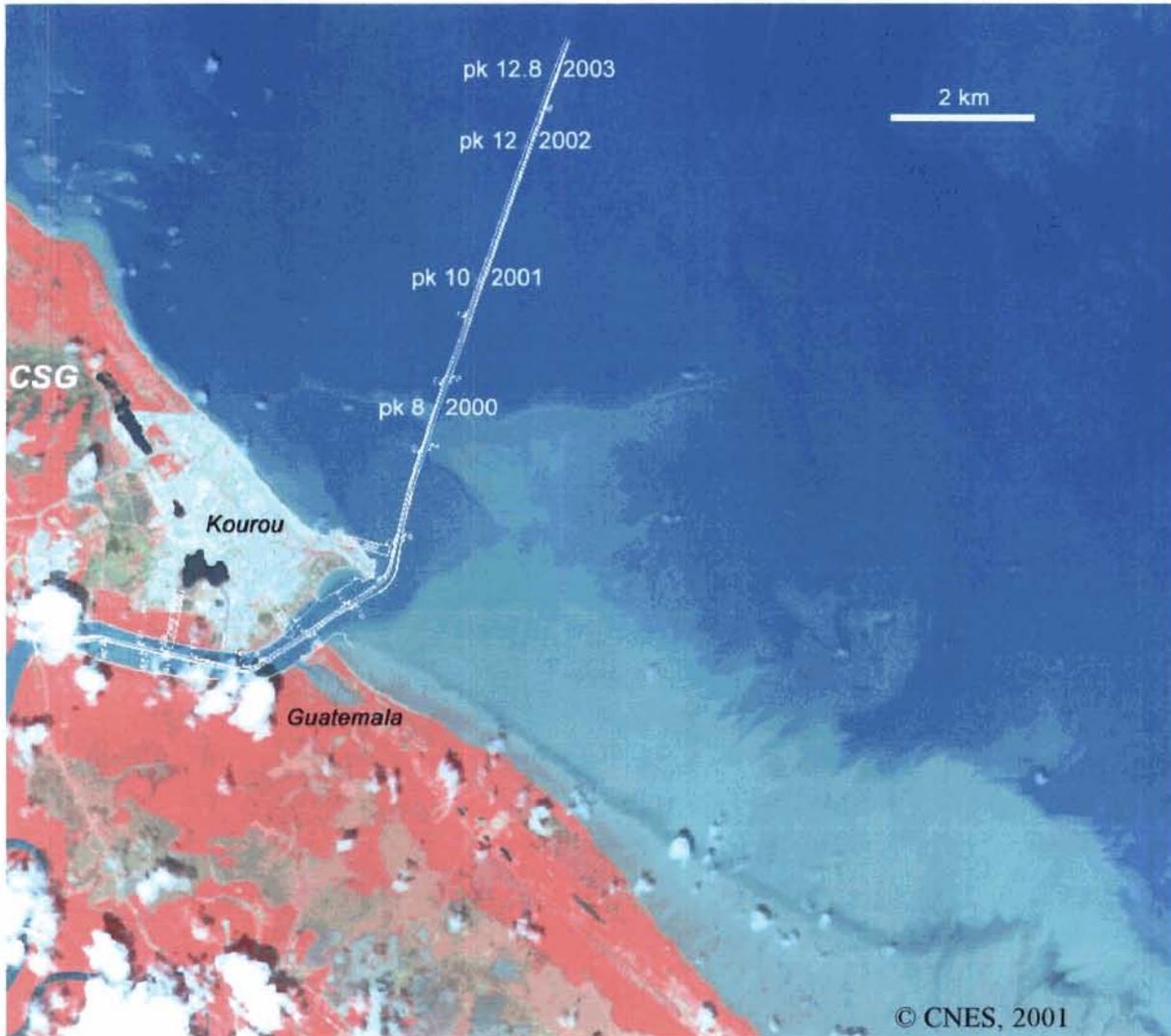


Figure 1 : le banc de vase se rapproche de Kourou. L'évolution de l'effort de dragage est représentée par la localisation des pk et des années correspondantes. En fond, image SPOT (2001)

C'est dans un tel contexte que le CNES a contracté l'IRD pour réaliser l'étude : "Dynamique littorale et impacts socio-économiques en Guyane française. Approche par télédétection spatiale".

Les objectifs principaux de ce travail sont de développer des outils utilisant la télédétection spatiale pour étudier la dynamique du littoral de la région de Kourou. Les résultats de cette étude permettront de mieux comprendre les mécanismes de la dynamique côtière et ainsi d'aider à une meilleure gestion des actions de dragage.

3 - CADRE DE L'ETUDE

Ce travail est mené au Laboratoire Régional de Télédétection qui est l'implantation de l'Unité de Service n° 140 ESPACE (Expertise et SPAtialisation des Connaissances en Environnement) de l'Institut de Recherche pour le Développement en Guyane.

La spécialisation de l'IRD dans l'environnement tropical, et la diversité de ses travaux de recherche pour le développement lui confèrent un positionnement original au sein du dispositif de recherche national et international. Dans le cadre de programmes pluridisciplinaires, des équipes de l'IRD et des organismes du Sud, exploitent depuis longtemps des données spatialisées et mettent en œuvre des approches multiscalaires permettant de mieux comprendre les phénomènes environnementaux et sociaux qui se dérobent aux analyses conventionnelles. Elles ont notamment acquis un savoir-faire reconnu dans le domaine de l'observation de la Terre, des systèmes d'information environnementaux en milieux tropicaux et dans la mise en œuvre d'approches intégrées des milieux et des sociétés.

L'unité de service ESPACE, mobilise une quarantaine de scientifiques et techniciens de l'IRD et d'autres organismes pour s'impliquer particulièrement dans deux champs d'activités complémentaires :

- les activités de recherche organisées autour de deux axes (observation de la Terre et approches intégrées des milieux et des sociétés) pour approfondir et développer des méthodes d'analyse spatiale dans un souci d'opérationalité ;
- les activités de service pour répondre aux questions de développement en milieu tropical notamment au travers d'appui aux équipes internes IRD, de formation, d'expertise et de valorisation.

Le Laboratoire Régional de Télédétection entretient depuis de nombreuses années des partenariats étroits avec des équipes de recherches travaillant sur la dynamique des côtes influencées par l'Amazonie. Ces équipes nationales (autres Unités de l'IRD, autres Instituts de recherche où Universités) et internationales (essentiellement au Nord du Brésil : Macapa, Belem, São Luis) sont fédérées notamment dans le cadre du réseau de recherche ECOLAB qui a pour objectif l'étude des littoraux sous influence de l'Amazonie.

En outre, l'Unité ESPACE coordonne un projet du Réseau Terre-Espace intitulé AGIL (Aide à la Gestion Intégrée des Littoraux) qui a pour principal objectif de mettre à disposition des décideurs et aménageurs du milieu littoral les connaissances scientifiques et techniques nécessaires à la prise de décision en aménagement et gestion de l'environnement côtier.

L'Unité est aussi impliquée dans le projet d'installation d'une station de réception SPOTIMAGE en bande X à Cayenne. Celle-ci, si elle voit le jour permettra d'acquérir à Cayenne les images des différents satellites SPOT ainsi que les images ENVISAT. Ces données seront tout à fait appropriées au suivi des littoraux de la région.

4 - SYNOPSIS BIBLIOGRAPHIQUE

A - LES CÔTES DES GUYANES – ASPECTS DE MORPHODYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

Les côtes des Guyanes (Augustinus, 1990; Prost, 1990) comme celles de la Floride de l'ouest (Price, 1955), de certaines d'Afrique de l'ouest (Anthony, 1990) et de celles du nord-est australien (Davies, 1980) font partie des rares vraies côtes à cheniers au monde. Les côtes à cheniers sont des côtes vaseuses, progradantes, généralement de basse énergie qui peuvent connaître des épisodes de processus hydrodynamiques de forte énergie contrôlés par la houle (Anthony, 1990). Des cordons sableux appelés cheniers sont alors construits à partir de matériel grossier (sables, coquillages). Ces cordons, lorsque le régime hydrodynamique redevient bas, sont alors isolés par un nouveau processus de progradation vaseuse (voir figure 2)

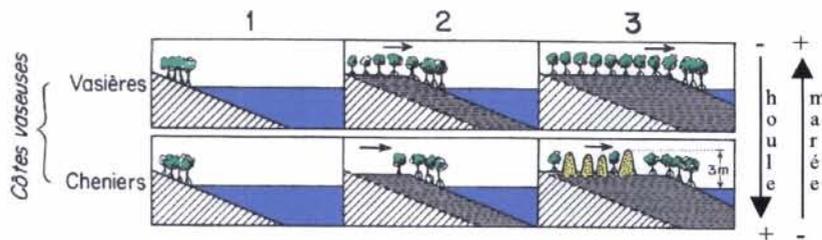


Figure 2 : Passage des vasières aux cheniers marqué par une dominance croissante des processus dus aux vagues (d'après Anthony, 1990).

L'origine des sables qui composent les cheniers est locale (Pujos *et al*, 1990 et 2001). Cependant l'apport actuel des fleuves guyanais en sables ne semble pas suffisant (Fritsch, 1984, Lointier et Prost, 1988a) pour maintenir les accumulations sableuses à la côte et former de nouveaux cheniers de grande ampleur. Aujourd'hui le développement de cheniers sur le littoral de la Guyane est quasiment nul. Les côtes sableuses visibles actuellement sont pour la plupart d'anciens cordons (Holocène) en érosion sous l'action de la houle.

Toutefois, dans certains cas, il s'agit bien de cheniers (exemple de la Pointe Macouria, à l'estuaire du fleuve Sinnamary). Ces cheniers ne nécessitent pas beaucoup de sables (cordons minces) et ils peuvent être formés à partir du remaniement de petites quantités de sables enfermées dans les bancs ou apportées directement aujourd'hui par les cours d'eau. Seules les sables anciens répartis sur le plateau continental sont fossilisés (Pujos *et al*, 1985) - d'où l'absence d'une progradation sableuse à grande échelle.

Sans apport de sable massif, la dynamique sédimentaire du littoral de la Guyane est essentiellement vaseuse.

B - LES ORIGINES DE LA DYNAMIQUE ET LES REPERCUSSIONS GEOMORPHOLOGIQUES

Les côtes des Guyanes, de l'état d'Amapá au nord du Brésil jusqu'au delta de l'Orénoque au Venezuela sont les côtes vaseuses les plus étendues au monde (Allison *et al*, 2000). Elles sont considérées par certains auteurs comme étant un delta atténué de l'Amazone (Rine et Ginsburg, 1985).

La dynamique côtière de cette région située au nord-est de l'Amérique du sud est largement dominée par les interactions entre les houles, les courants côtiers et les sédiments provenant de l'embouchure de l'Amazone (Figure 2). La fréquence et l'intensité des apports sédimentaires sont variables, fortes en saison des pluies (janvier-juin) avec un maximum en avril-mai et plus faible en saison sèche (juillet-décembre) avec un minimum en août-septembre (NEDECO, 1968; Allersma, 1971; Rine et Ginsburg, 1985).

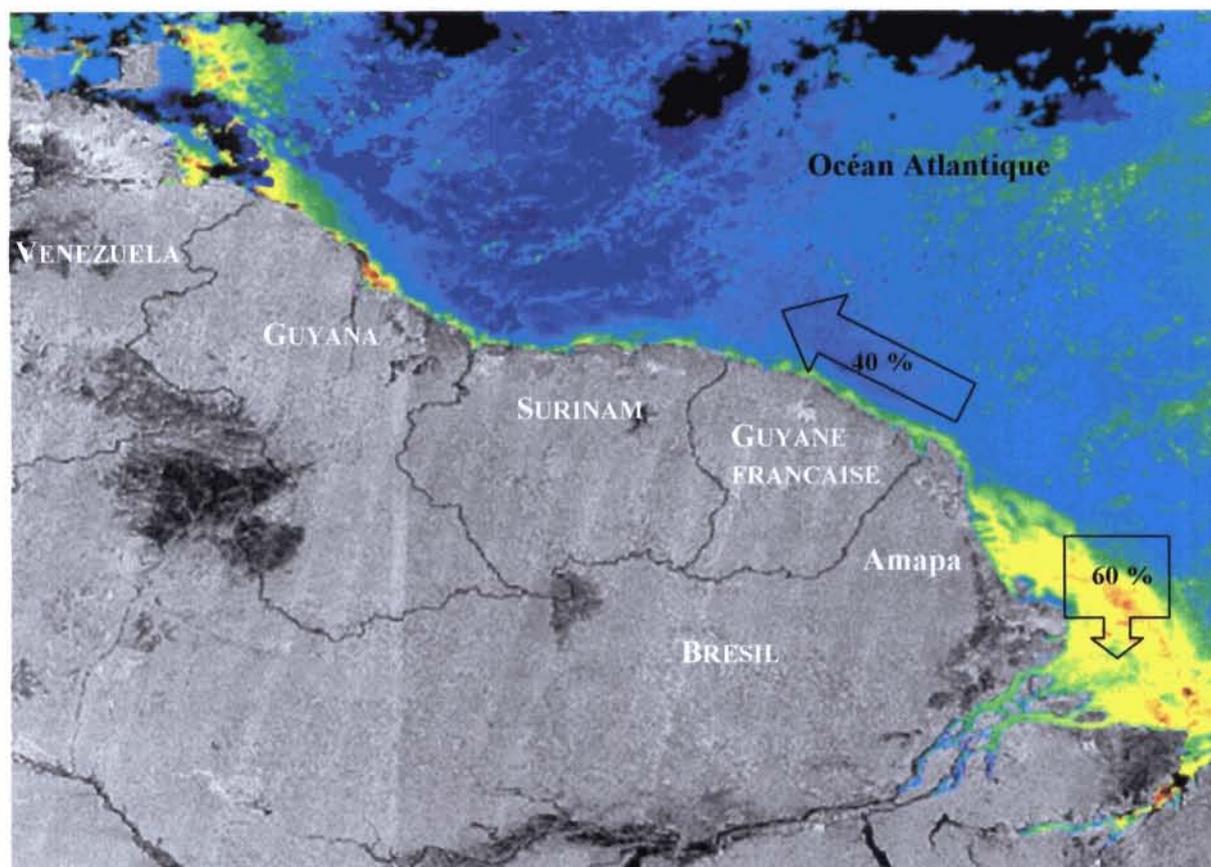


Figure 3 : La dynamique sédimentaire de l'Amazonie à l'Orénoque. Image multi-capteurs : sur l'océan synthèse multi-dates d'indice de turbidité sur 3 images NOAA (acquises au LRT), octobre 1999. Sur le continent la mosaïque d'images radar J-ERS acquises en 1995 permet d'obtenir des informations sur les formations constituant le plateau des Guyanes.

La décharge sédimentaire de l'Amazonie a été estimée à 1,2 milliard de tonnes/an (Meade *et al.*, 1985). Quarante pour cent de ces sédiments (soit 480 millions de tonnes) migrent vers le nord ouest, le long des côtes des Guyanes. La moitié de ces sédiments migrent en suspension dans les eaux côtières, l'autre moitié migrent sous la forme de vastes bancs de vase accolés à la côte (Wells et Coleman, 1981). Ces bancs de vase se forment le long de la côte nord ouest de l'Etat d'Amapá au Brésil (Allison *et al.*, 2000). Les bancs de vases migrent ensuite le long des côtes de la Guyane française, du Surinam, du Guyana jusqu'au delta de l'Orénoque au Venezuela (Warne *et al.*, 2002). Ce système de dispersion des vases de l'Amazonie influe sur la morphologie des côtes de la Guyane française depuis l'Holocène. En effet, l'envasement du littoral et la prépondérance des apports d'origine amazonienne correspond à la remontée flandrienne de l'Holocène inférieur (Prost, 1986). L'environnement côtier de la Guyane a fait l'objet de nombreux travaux. Prost (1990) a caractérisé les paysages côtiers anciens en distinguant deux grandes unités. La jeune plaine côtière datant de l'Holocène est caractérisée par la présence de marais herbacés et de forêts marécageuses. Elle est située entre la plaine côtière ancienne (Pléistocène) qui s'étend sur 10 à 20 km dans les terres jusqu'aux contreforts du Bouclier Guyanais et qui est composée de savanes plus ou moins humides et côte vaseuse contemporaine. La plaine côtière humide est découpée par d'anciennes lignes de rivages sableuses Holocènes (anciens cheniers). Le littoral évolue rapidement. Il peut être vaseux ou sableux en fonction de la présence d'un banc de vase et d'une érosion intense qui attaque d'anciennes lignes de rivage. Les phases d'envasement sont caractérisées par l'installation de

vastes bancs de vase sur lesquels se développent, lorsqu'ils se stabilisent, une mangrove pionnière. La phase d'inter-bancs se caractérise quant à elle par une érosion intense qui a pour effet de re-mobiliser les sables Holocènes et de former des littoraux sableux (cheniers ou cordon sableux), comme décrit auparavant.

C - CARACTERISTIQUES MORPHODYNAMIQUES DES BANCS DE VASE

Les caractéristiques morphologiques des bancs de vase ne sont pas bien connues. Leur morphologie apparaît comme étant très variable. Les dimensions des bancs varient : de 10 à 60 km de longueur, de 20 à 30 km de largeur et de 5 mètres d'épaisseur, les espaces inter-banc sont espacés de 15 à 25 km (Froidefond et al., 1988; Allison et al., 2000). En l'état actuel des connaissances, ils peuvent être schématisés comme présenté dans la figure 4.

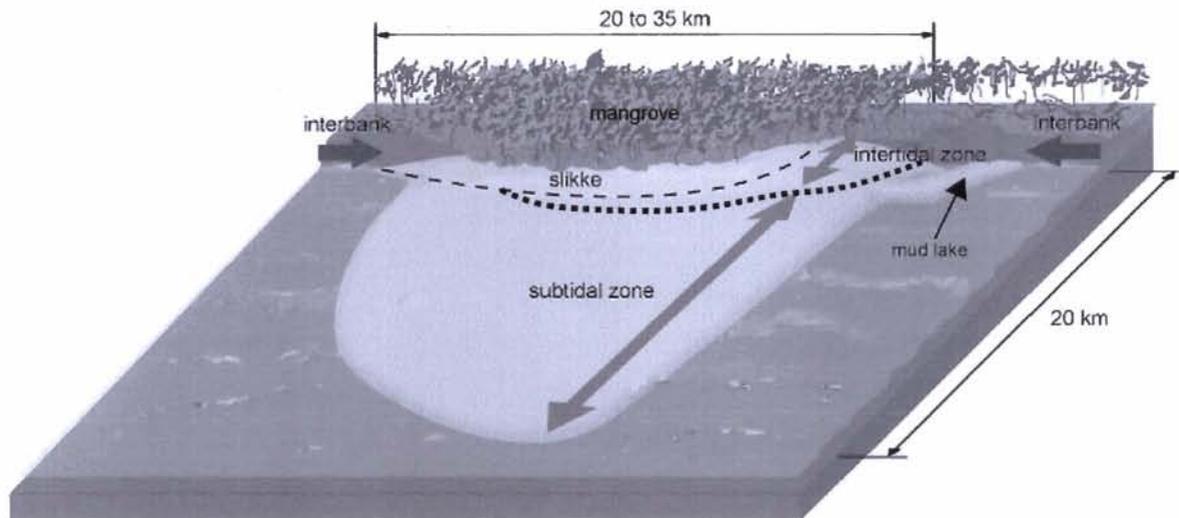


Figure 4. Schématisation d'un banc (d'après Baghdadi et al. 2003). La partie immergée en permanence (zone subtidale) n'est pas précisément délimitée. L'avant du banc est constitué de vases fluides « lac de vase » qui sont issues de l'érosion de l'arrière banc puis transportées par les courants vers l'avant. La zone intertidale, zone de balancement des marées est colonisée dans sa partie arrière par de la mangrove. De part et d'autre du banc les espaces inter-bancs sont en érosion.

Les taux de migration des bancs de vase sont aussi très variables, de moins de 0,5 km par an à plus de 5 km par an (Augustinus, 1987; Eisma et al., 1991; Froidefond et al., 1985 et 1988). Cette migration a pour principal moteur la houle générée par les vents dominants qui atteignent un maximum d'intensité entre décembre et mars (Wells et Coleman, 1981). Des récents travaux menés par Rodriguez et Mehta (1998) ont montré que le courant des Guyanes, considéré jusqu'alors comme un des principaux agents de la migration des bancs, était bien trop au large pour avoir un réel effet sur le transport des vases côtières. Augustinus (1987) a aussi montré l'importance de l'orientation de la côte par rapport à l'angle d'incidence des houles dans les variations des taux de migration. Le tableau 1 présente les caractéristiques des bancs sur les côtes des trois Guyanes.

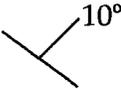
	Dates des photos	Vitesse Km/an	Angle incidence de la houle (NE)
Guyana	1942 1950 1962/1964 1972/1975 1979/1980 1984	0.5 -2.5	
Surinam	1947/1948 1957 1966 1970 1981	0.5 - 5.5	
Guyane française	1955 1979 1982 1984	0.3-1.4	
Paramètres morphologiques des bancs de vase (partie inter-tidale)	10-60 km de long 3-5 km de large 5 m épaisseur interbanc 8-26 km de long pentes : entre 1: 3000 et 1: 500 (du banc)		
Paramètres physiques communs	Marée (m): 0.6 -3.6 Houle : E NE hauteur (m) 0.5-1.5 période (s) 6-12		

Tableau 1 : Caractéristiques des bancs observées sur photographies aériennes et particularités environnementales communes aux trois pays.

Les taux de migration présentés auparavant sont le résultat de travaux utilisant des photographies aériennes. Compte tenu des contraintes d'acquisition et de traitement des photographies aériennes (contraintes climatiques, coûts élevés) l'utilisation de ces données est rendue difficile pour un suivi régulier.

A notre connaissance, depuis le travail de NEDECO (1968) aucun suivi de la migration des bancs à l'échelle régionale, c'est à dire de leur formation au Brésil jusqu'à leur disparition au Venezuela n'a été entrepris. Ce travail permettrait de comparer simultanément, en utilisant des méthodes identiques, les taux de migration des bancs pour aider à la compréhension des variations.

D – ETUDES PAR TELEDETECTION SPATIALE

Les études sur la dynamique côtière de cette région utilisant la télédétection spatiale sont réalisées essentiellement en Guyane française. Elles ont fait l'objet soit d'études de projets pilotes de l'ESA, soit de rapports issus de contrats de consultance soit de travaux de recherche réalisés dans le cadre de programmes nationaux.

1) Etudes Projets-pilotes

Des études prospectives utilisant des données radar, dans le cadre de projets pilotes de l'ESA sont menées dans les années 1990 (Rudant *et al.* 1993, 1995). Elles montrent l'intérêt de telles images dans le contexte amazonien. Toutefois elles n'ont été que peu utilisées depuis.

2) Rapports (conventions et stages d'étudiants)

La plupart des travaux réalisés ont fait l'objet de convention entre l'ORSTOM et le Conseil Régional de la Guyane (Lointier et Prost, 1988b) et entre l'ORSTOM et EDF (LRT, 1997). Ces travaux ont montré les potentialités des images de télédétection spatiale pour suivre les évolutions morphologiques du littoral. De la même façon des rapports de stage dont celui de Lebourgeois (2002) ont étudié ponctuellement l'évolution d'une partie du littoral.

3) Travaux issus de programmes de recherche

Dans le cadre du Programme National d'Environnement Côtier des travaux utilisant la télédétection spatiale se sont intéressés à la turbidité des eaux côtières (Froidefond *et al.* 2000 et 2001). Des travaux utilisant des images radars pour étudier la dynamique des bancs de vase sont en cours de réalisation dans le PNEC par les équipes du BRGM d'Orléans (Baghdadi *et al.*, 2003).

Toutefois la dynamique des bancs de vase à proprement parlé n'a été que peu étudiée par télédétection spatiale et surtout n'a jamais été étudié avec plus de 15 années de recul.

Les travaux les plus significatifs qui ont quantifié cette dynamique sont ceux cités auparavant utilisant des photographies aériennes.

5 - MATERIELS ET METHODES

A - DE LA DONNEE BRUTE A L'INFORMATION THEMATIQUE

Entre 1986 et 2002, nous disposons de 16 images SPOT et d'une image LANDSAT (voir Tableau 2 et Figure 5). Les capteurs optiques à haute résolution tel que SPOT et LANDSAT acquièrent des images dans les longueurs d'ondes du visible et de l'infra-rouge (bande xs1: 500-590 nm; bande xs2: 610-680 nm; bande xs3: 780-890nm; bande xs4: 1580-1750nm pour SPOT en mode multi-spectral). Les résolutions spatiales des données utilisées (20 mètres pour SPOT et 30 mètres pour LANDSAT) sont tout à fait pertinentes pour l'étude du littoral comme les travaux antérieurs l'ont montré. Les contraintes climatiques en Guyane peuvent limiter l'utilisation des images optiques. Toutefois, à l'heure de passage de SPOT (14h00 TU), le fringe côtière est souvent dégagée de nuages par les alizés.

N° image	Date	heure (TU)	Niveau marée	Taux de couverture de la zone d'étude
1	10-20-86	14h16	1,28 ▼	100
2	11-17-91	14h13	2,40 ▲	50
3	10-02-93	13h56	1,14 —	55
4	08-30-94	14h12	2,28 ▲	85
5	10-16-95	13h49	2,35 ▼	90
6	10-26-95	13h57	1,14 ▼	80
7	09-28-96	13h55	0,86 ▼	
8	09-02-97	14h20	0,97 —	45
9	06-20-98	13h57	2,11 ▲	40
10	09-06-98	13h57	0,74 —	90
11	05-09-99	13h45	2,65 ▲	40
12	02-07-00	14h16	1,20 ▼	70
13	07-02-01	13h49	1,58 ▲	100
14	10-14-01	13h49	1,40 ▲	40
15	12-14-01	14h16	1,28 ▲	70
16	08-05-02	14h15	1,78 ▲	60
17	09-19-02	12h30	1,05 —	100

Tableau 2 : listes des images SPOT et LANDSAT (la dernière)

Toutes les images sont corrigées géométriquement et informées dans un même référentiel cartographique. Elles sont informées dans le système WGS84 et la projection est en UTM Nord Zone 22. Ces pré-traitements sont réalisés sous le logiciel de traitement d'images ER Mapper (©) software version 6.21. Les images géoréférencées sont ensuite intégrées dans un système d'information géographique (GeoConcept ©)

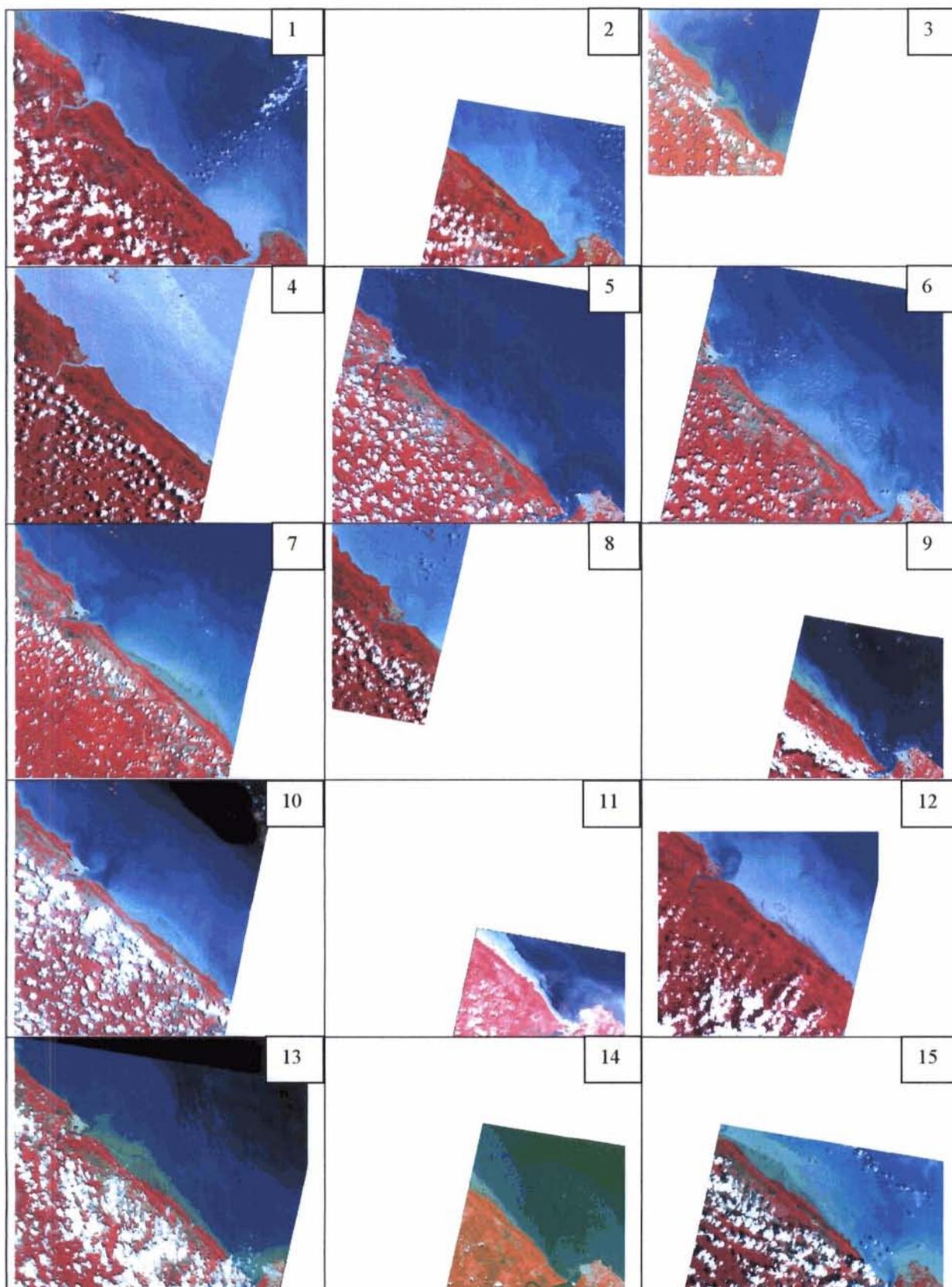




Figure 5 : les 17 images utilisées dans l'étude.

B - EXTRACTION DES THEMES D'ETUDE

1) Définition des thèmes d'étude.

Deux thèmes sont identifiés pour suivre la cinétique du littoral aux différentes dates, la mangrove et la vase inter-tidale. L'objet trait de côte stable est aussi considéré pour l'étude. Ils sont représentés dans la figure suivante

- La définition d'un *trait de côte stable* qui servira de référence pour suivre l'évolution littorale. Cette définition n'est pas évidente en Guyane compte tenu des profondes modifications morphologiques du littoral. Nous avons choisi de prendre le premier cordon holocène se trouvant en arrière de la mangrove. Nous verrons par la suite que ce trait de côte subit depuis peu une érosion importante dans la région nord ouest (après Kourou).
- Le thème *mangrove* correspond à la végétation se trouvant entre le cordon et l'océan. Cette végétation se développe dans les parties exondées du banc de vase. Les peuplements forestiers qui constituent la mangrove sont souvent homogènes et sont donc facilement identifiables.
- Le thème "*vase*" correspond à la partie inter-tidale du banc. Sur les images de télédétection il n'est pas possible de délimiter les bancs de vase dans leur partie sub-tidale. Seules des campagnes de bathymétrie couplées à des traits de bennes (pour déterminer la concentration de la vase) permettent de délimiter le banc au large (Gratiot *et al.* 2003). La partie inter-tidale, c'est à dire émergée à marée basse est donc la seule partie du banc qui peut être suivie sur les données de télédétection (images et photos).

2) Extraction des thèmes sur les images. Système d'Information Géographique

Les thèmes d'étude sont extraits selon une méthode manuelle qui consiste à interpréter les images et à numériser les limites des objets. Ce travail est réalisé à chaque date. Ainsi dans le SIG nous disposons pour chaque image d'une couche (polygone) représentant le thème mangrove et d'une couche représentant le thème vase inter-tidale (voir Figure 6). Chacune des couches contient les informations sur sa surface, sa position, sa longueur.

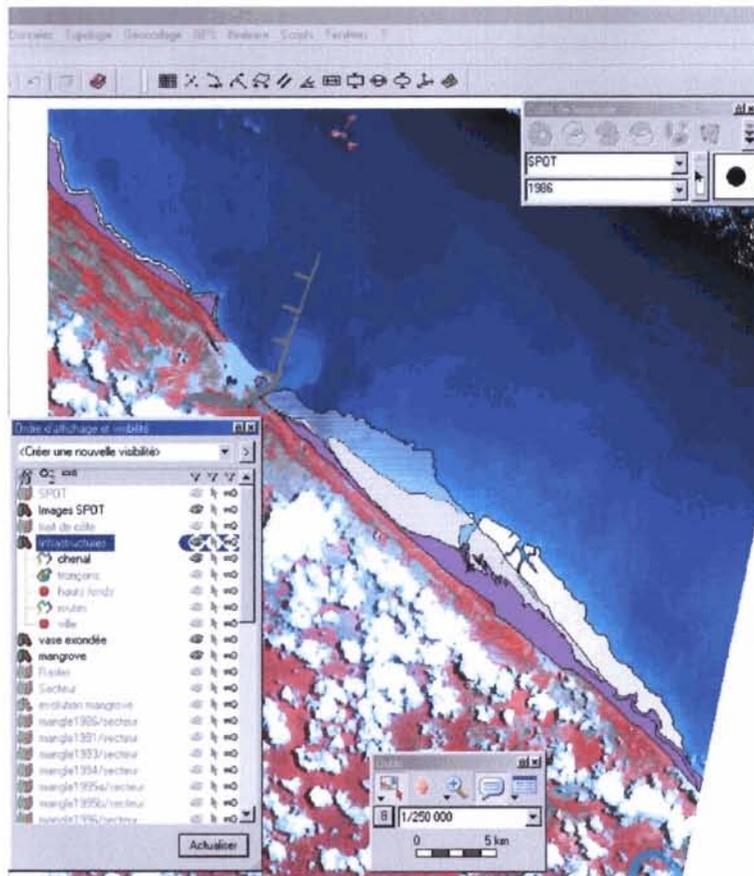


Figure 6 : les couches d'information dans le SIG (en gris la vase inter-tidale en 1998 et transparence en 2002, en mauve la mangrove en 1998)

Cette méthode est choisie pour sa simplicité et sa bonne reproductibilité (utile pour actualiser dans l'avenir le SIG avec de nouvelles données). Cette méthode est aussi retenue puisque les réponses spectrales des vases inter-tidales peuvent dans certains cas (période de forte activité hydrodynamique) être confondues avec des eaux très fortement chargées en sédiments et ne peuvent donc pas être extraites automatiquement (par classification). Seules les méthodes de photo-interprétations permettent alors d'extraire de façon objective les limites de la vase émergée.

Les deux thèmes (mangrove et vase inter-tidale) ne peuvent pas être étudiés selon une seule et même méthode.

Pour le thème mangrove, l'analyse spatiale est réalisée directement à l'aide du SIG. Le littoral d'étude est découpé en 10 secteurs de taille identique. Les surfaces de mangrove (contenues dans les attributs des couches) sont alors suivies dans chaque secteur et à chaque date. Des requêtes topologiques permettent d'extraire par intersection de polygones, les surfaces par secteurs.

Cette analyse par SIG n'est pas possible avec les surfaces de vase inter-tidale brutes extraites sur les images, compte tenu des hauteurs de marées différentes aux dates et heures d'acquisition des images.

Afin de contourner ce problème, une méthode dite matricielle est développée. Elle repose sur la standardisation des données par traitement mathématique.

C - METHODE POUR SUIVRE LA CINETIQUE DU BANC DE VASE

L'analyse utilise les limites des thèmes extraits dans l'analyse par SIG. La méthode fournit un outil de visualisation en trois dimensions de l'évolution spatio-temporelle de ces thèmes.

La méthode développée se décompose en trois étapes.

1) Changement de repère

La première étape consiste à projeter les données dans un nouveau référentiel x,O,z qui a son origine à l'extrême nord ouest de la région d'étude (Figure 7a, 'x') et qui a son axe des abscisses orienté le long de la côte. Un algorithme mathématique est alors appliqué afin de calculer les distances entre la côte stable et les limites de la mangrove et de la vase intertidale. Ces distances sont projetées le long de l'axe des ordonnées dans le nouveau référentiel (Figure 7b).

2) Correction des effets de marée

La seconde étape consiste à corriger l'effet de marée. Pour une comparaison date à date il est nécessaire d'appliquer une correction au thème vase inter-tidale. Cette correction prend en compte la hauteur de marée à laquelle l'image a été acquise et la pente moyenne de la vase inter-tidale. La hauteur de marée h_{tide} est estimée par le modèle numérique de propagation de la marée du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (<http://www.shom.fr>). Les hauteurs calculées pour chaque images sont reportées dans le tableau 2 présenté précédemment. La pente moyenne de la vase inter-tidale est déduite en comparant les limites inter-tidales entre les deux images de 1995 (acquises à 10 jours d'intervalles et à des hauteurs de marée différentes). L'extension moyenne au large entre ces deux dates est d'environ 850 m pour une variation de la marée de 1,21 m. Cette pente estimée à $\alpha \approx 1.4 \cdot 10^{-3}$, est considérée comme étant représentative de la pente moyenne à chaque date (les limites de cette estimation sont présentées ci-après). Pour une date (t) donnée, l'extension inter-tidale, IE (x,t), qui correspond à une hauteur de marée de 1 m, est calculée à partir de la relation:

$$IE(x,t) = \text{Intertidal}(x,t) + (h_{\text{tide}}(t)-1) / \alpha \quad (1)$$

Par exemple, l'application de l'équation (1) à l'image du 07/02/01 est présentée dans la Figure 3c ('- - -'). IE(x,t) correspond à une extension au large de 414 m par rapport à la limite de la vase inter tidale mesurée sur l'image SPOT.

L'application de cette correction de marée à toutes les images permet une comparaison qualitative des données. Effectivement le manque de mesures bathymétriques permettant de lever la topographie du banc constitue une limitation importante à la méthode. La pente n'est certainement pas régulière au sein d'un même banc ni conservée dans le temps. Il est donc presque impossible de proposer une correction qui prenne en compte l'extension du banc le long de la côte sans avoir recours à des campagnes régulières de bathymétrie. Cet élément est le principal facteur limitant dans l'estimation du taux de déplacement des bancs à partir de méthodes classiques comme celle de Froidefond et al. (1988). Ces méthodes se basent sur le suivi date à date de l'avancée de l'avant banc et de l'arrière banc.

Pour contourner cette limitation, la position médiane de la partie inter-tidale du banc a été calculée avec la formule :

$$\int_0^{G(t)} IE(x,t) dx = \int_{G(t)}^{\infty} IE(x,t) dx \quad (2)$$

G correspond donc à la position sur l'axe des abscisses de la ligne "cross-shore" (extension vers le large) qui partage la partie inter-tidale du banc en deux parties d'égale surface (Figure 7c, 'o'). G est un paramètre pertinent pour suivre la migration des bancs puisqu'il ne dépend pas de la correction de marée et aussi par ce qu'il n'est que très peu affecté par les variations non prévisibles de l'extension "long-shore" du banc.

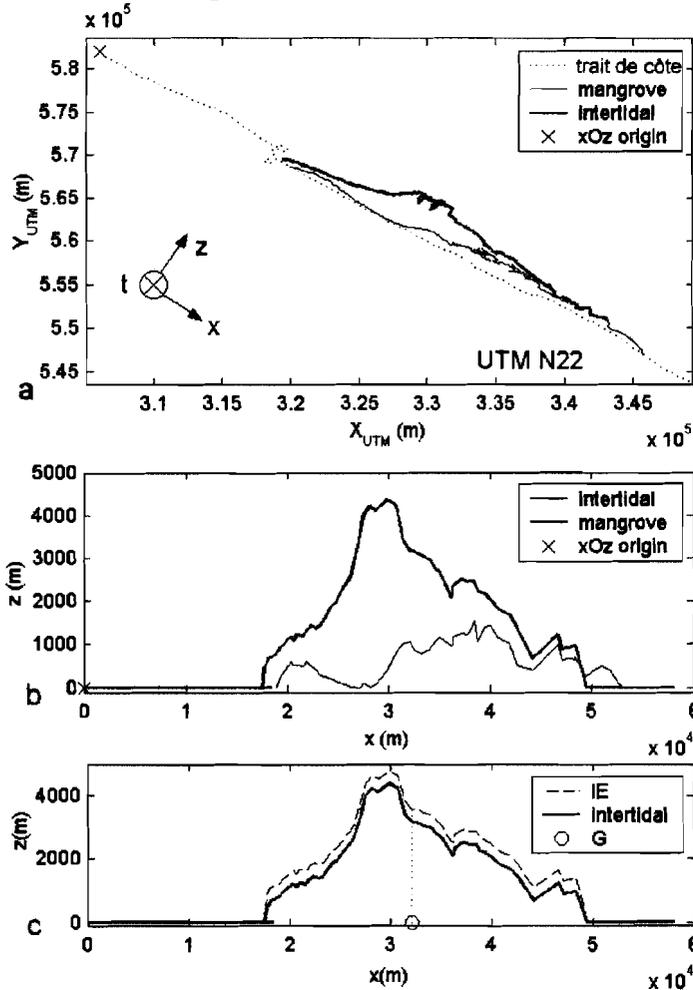


Figure 7 : Etapes de la standardisation des limites des thèmes mangrove et vase inter-tidale appliqués à l'image du 02/07/02. Les objets d'étude initialement dans une projection UTM (a) sont ensuite ramenés dans un nouveau repère (b) qui a pour origine le point (x) situé au nord-ouest de la carte (a) pour axe des abscisses les distances le long de la côte et en ordonnée la distance à la côte de la vase intertidale. (c) présente la limite corrigée de l'effet de marée IE ainsi que G, position centrale de la vase intertidale.

3) Représentation matricielle

La troisième étape consiste à projeter les données dans le système x,O,t . Toutes les dates corrigées des effets de marée sont reportées dans la Figure 8a. La matrice $IE(x,t)$ offre une vision synoptique de la migration du banc vers le nord ouest de 1991 à 2002. A ce stade, l'analyse reste limitée puisque la matrice $IE(x,t)$ n'est pas uniformément informée. Le taux de non couverture qui représente environ 23 % de la matrice $IE(x,t)$ est toutefois suffisamment bien réparti (voir figure 8a) pour permettre une interpolation numérique de la matrice. Le résultat de l'interpolation (qui utilise triangulation cubique de Delaunay) sur les données dans une grille uniformément espacée constitue la dernière étape de la méthode matricielle. Son application est présentée dans la Figure 8b.

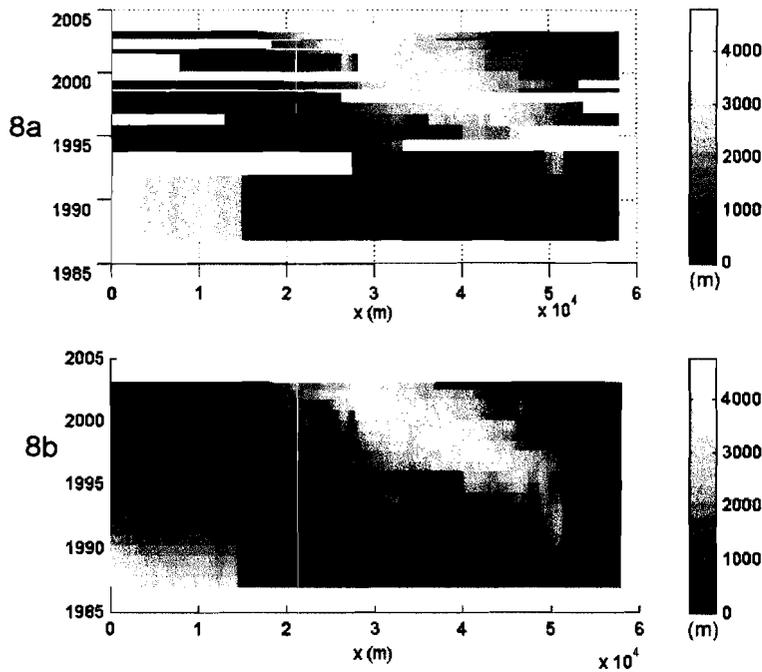


Figure 8 : Représentation matricielle des résultats standardisés (a) et interpolés (b). Le dégradé de couleurs représente la distance à la côte de la vase inter-tidale.

6 - RESULTATS PRELIMINAIRES

Les résultats préliminaires quantifient l'évolution spatio-temporelle des thèmes mangrove (depuis 1986) et vase intertidale (depuis 1991 date où apparaît le nouveau banc sur le littoral entre Cayenne et Kourou)

A EVOLUTION DES SURFACES DE MANGROVE

Les résultats font ressortir quatre tendances différentes qui sont représentées par les secteurs de synthèse S1, S2, S3 et S4 de la figure suivante (Figure 9).

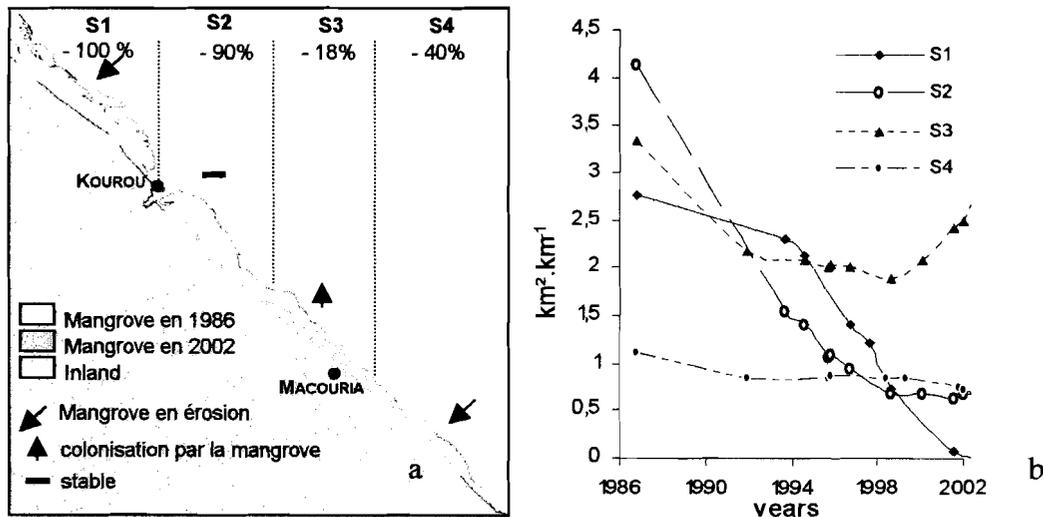


Figure 9 : (a) Dynamique de la mangrove par secteur. (b) Evolution des surfaces de mangrove sur les 4 secteurs composant le littoral d'étude.

Globalement entre 1986 et 2002, la mangrove a perdu 60 km² sous l'action de l'érosion due à la houle. Initialement, la mangrove occupait la presque totalité du littoral, en 2002 sa répartition est plus diffuse.

- Dans le secteur 1, **S1** (voir Figure 9), la mangrove qui s'étendait sur 3 km au large en 1986 a totalement disparu durant la période (soit 30 km²). Aujourd'hui (2003) l'érosion continue sur cette zone et attaque le cordon holocène qui servait de référence stable.
- Au sud est de l'embouchure du fleuve Kourou (**S2**) l'érosion a été tout aussi intense puisque 90 % de la surface initiale de mangrove a disparu (soit 19 km²). Une frange étroite de mangrove (moins de 100 m d'épaisseur) a résisté en avant du cordon holocène. Une vaste baie s'est formée dans la mangrove dans ce secteur. Contrairement au secteur précédent, l'érosion est interrompue depuis 1998 avec l'arrivée du nouveau banc.
- Le secteur 3 (**S3**) a subi l'érosion jusqu'en 1991 (10 km²). Ensuite et durant une dizaine d'années la côte est restée relativement stable. Une re-colonisation du nouveau banc par la mangrove a débuté en 2000 et celle-ci s'est étendue de 7 km² jusqu'en 2002. Globalement cette partie du littoral a perdu 20 % de sa surface initiale.
- **S4** a connu l'arrivée du nouveau banc dès 1991. Trois ans plus tard une nouvelle mangrove s'est développée de façon limitée. Depuis, ce secteur est devenu un espace "inter-banc" en érosion, comme le S1 et les surfaces de nouvelles mangroves ont diminuées sensiblement (voir Figure 9 b). Le cordon holocène est ici aussi en érosion.

La mangrove de front de mer en Guyane (composée presque exclusivement d'*Avicennia germinans*) n'est donc pas une limite à l'érosion. N'importe quel peuplement, jeune (quelques années) ou adulte (avec des arbres quelquefois supérieurs à 25 mètres) peut subir une érosion importante qui entraîne même parfois la disparition complète de vastes formations.

B CINÉTIQUE DU BANC DE KOUROU

La méthode matricielle peut être utilisée pour étudier l'évolution de la mangrove et de la vase inter-tidale et plus généralement toutes les combinaisons mathématiques de ces deux objets d'étude. Parmi les combinaisons possibles qui peuvent être dérivées de la méthode, la surface absolue de la vase émergée:

$$IE^* = IE\text{-mangrove} \quad (3)$$

se révèle être le paramètre le plus pertinent pour le suivi de la migration des bancs. L'évolution spatio-temporelle de IE^* est présentée dans la Figure 9a. La maille de la matrice interpolée est de 200 m en abscisse et de 300 jours en ordonnée. Parmi le jeu de données disponibles 9 dates conviennent pour une estimation directe de la localisation moyenne de G (17/11/91, 16/10/95, 26/10/95, 28/09/96, 06/09/98, 07/02/00, 02/07/01, 14/12/01, et 19/09/02). La migration de G, visible dans la Figure 9a ('o'), est presque continue dans le temps à l'exception de la valeur au 16/10/95 qui est localisée dans la partie droite de la matrice. Cette localisation est surprenante en comparaison à celle du 26/10/95 (10 jour plus tard) qui est dans la tendance continue de l'ensemble des dates. Cette discontinuité révèle les limites de la méthode d'estimation de la position du banc pour des images acquises à des hauteurs de marée élevées (2.35m pour l'image du 16/10/95). Dans un tel cas, la surface inter-tidale extraite des images est trop faible pour être représentative et l'estimation de G est imprécise. Cette observation nous a conduit à éliminer cette date pour l'interpolation. A l'exception de l'image du 17/11/91, les autres dates sont acquises à des hauteurs de marée suffisamment basses pour l'estimation de G (voir Tableau 2). L'image du 17/11/91 est toutefois conservée puisqu'elle contient des informations cruciales relatives à l'arrivée du banc de vase sur le site d'étude.

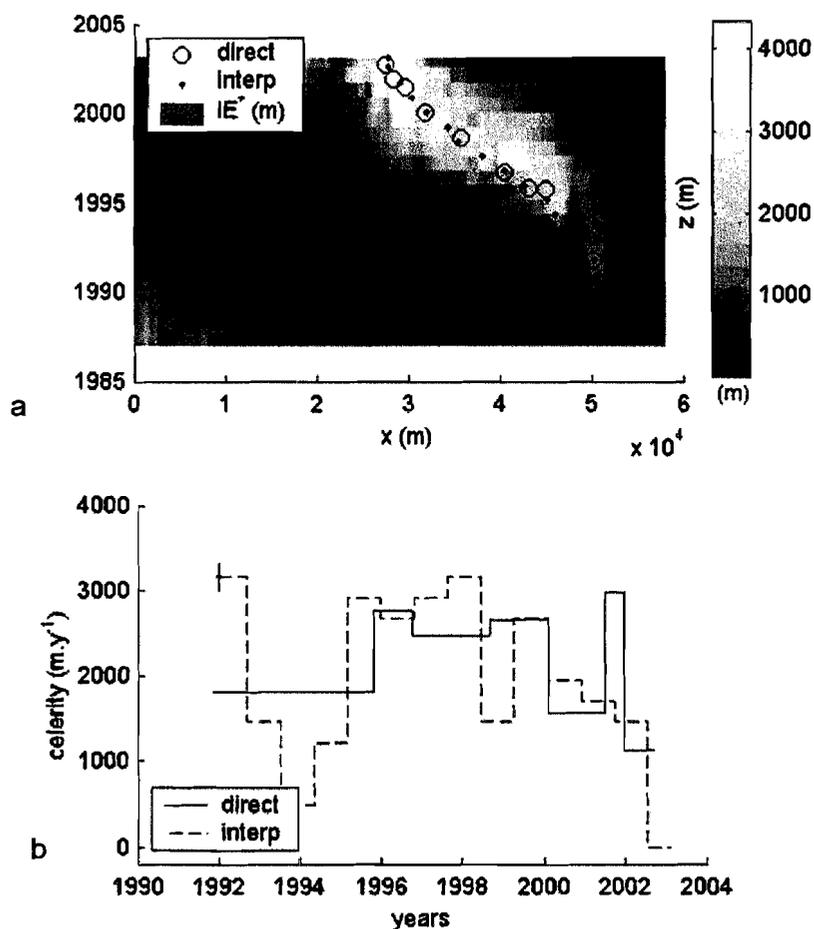


Figure 10 : a) Evolution spatio-temporelle des zones inter-tidales.
 b) Taux de migration estimés par mesures directes et indirectes.

L'équation (2) est appliquée à la matrice interpolée $IE^*(x,t)$ afin de quantifier la position moyenne du banc pour une observation à une échelle de temps annuelle (Figure 10 a, '•'). Les taux de migration du banc, calculé à partir des mesures directes et interpolées de G ('o' et '•', respectivement) sont représentés sur la Figure 10 b. La barre d'erreur associée à la vitesse interpolée correspond à la moyenne de l'écart type qui est dérivée des méthodes d'interpolation de la matrice, linéaire, cubique et V4 (Matlab 6.0.0.88 version ©).

Les taux de migration du banc de vase calculés à partir des mesures directes (voir Figure 10 b) mettent en évidence trois tendances différentes :

- de 1991 à 1996 le taux moyen est inférieur à 2 km/an.
- entre 1996 et 2000, le taux moyen est significativement supérieur puisqu'il atteint 2,5 km/an.
- puis, entre 2000 et 2002, le taux diminue pour être presque stoppé.

Dans le détail et grâce à la haute résolution temporelle de la série d'image, des événements saisonniers peuvent également être observés. Ainsi, un pic de vitesse est enregistré à plus de 3 km/an entre octobre et décembre 2001. Cette accélération abrupte coïncide avec une arrivée précoce de la saison des plus forts vents qui s'étend généralement entre décembre et

mars. Cette observation est tout à fait pertinente puisqu'elle est enregistrée sur des images acquises à des hauteurs de marée similaire (1,44 m. en octobre 2001 et 1,28 m en décembre 2001). De plus, l'image du 14/12/02 est la seule de la série qui montre une houle importante déferlant sur une grande distance.

Les taux de migration du banc de vase, calculés à partir des mesures interpolées, montrent des tendances identiques. Dans le détail, les résultats ne sont pas tout à fait identiques. Ils sont complémentaires. Compte tenu de la résolution de 300 jours utilisée pour l'interpolation, les événements saisonniers ne peuvent pas être observés. Par contre, l'interpolation permet de reconstituer des tendances qui échappent autrement aux mesures.

C PREMIERES INTERPRETATIONS

Une importante extension "cross-shore" de la vase inter-tidale est visible sur les dernières années. La limite externe par rapport au trait de côte stable qui était à 2 km en 1995 est en 2002 à 4 km. Cette extension semble être corrélée au ralentissement enregistré entre 2000 et 2002. Cette évolution récente semble coïncider avec l'arrivée du banc sur une zone particulière. Des particularités géographiques locales semblent avoir une influence directe sur les vitesses de déplacement du banc de Kourou. Le ralentissement du banc reporté dans la figure 9b a probablement deux explications. La première correspond au passage du banc dans une large baie formée dans la mangrove (Figure 11, "- - -"). En comblant cette baie, le banc a probablement ralenti sa migration. Une seconde explication viendrait probablement de la présence de nombreux hauts fonds rocheux à l'approche de Kourou (Figure 11, '*'). Formant de véritables épis naturels, ces hauts fonds rocheux ont favorisé une extension vers le large du banc ralentissant sa progression le long de la côte. Le banc a continué sa progression vers le nord-ouest en dépit de la présence des épis. Cette hypothèse pourrait alors expliquer l'évolution de l'effort de dragage depuis 2000, présentée dans le contexte de l'étude (p 4).

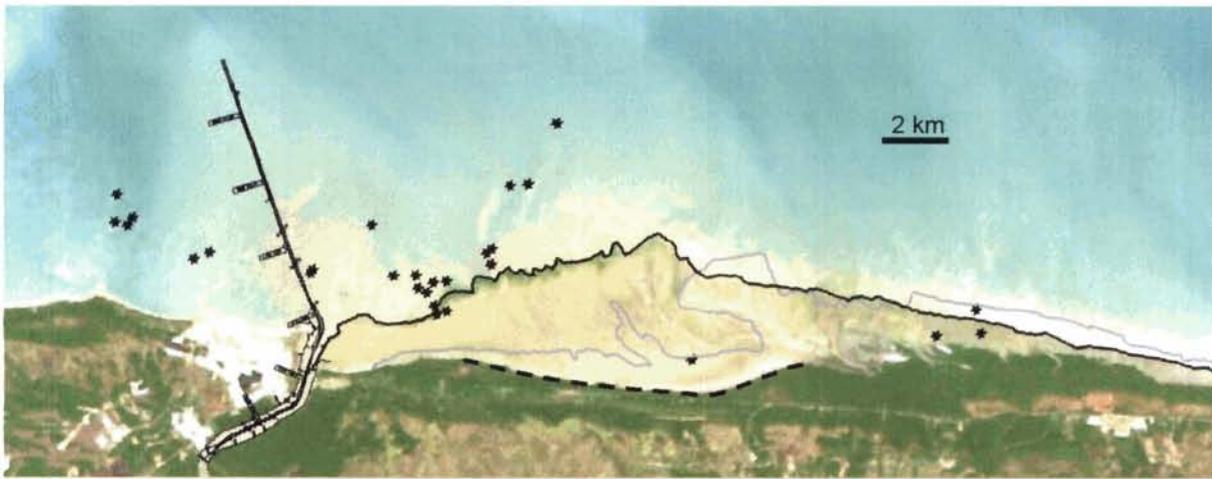


Figure 11 : Caractéristiques morphologiques locales et chenal d'accès au port de Pariacabo (en fond image Landsat ETM du 19/09/2002). Limite de la zone inter-tidale en 2000 (—), en 2002 (—), baie dans la mangrove (- - -) et hauts fonds rocheux (*).

7 – CONCLUSION

Cette première phase de l'étude a permis de suivre, depuis 1986, l'évolution du littoral et plus particulièrement le déplacement du banc de vase qui se rapproche du littoral de Kourou.

Le travail est basé sur l'exploitation d'une série multi-temporelle d'images d'observation de la Terre (1986-2002). L'utilisation d'un système d'information géographique pour mesurer le recul du trait de côte a donné des résultats intéressants. Pour mesurer le déplacement du nouveau banc de vase, une méthode est développée. Cette méthode se basant sur le suivi du point central de la partie inter-tidale du banc permet dans un premier temps de s'affranchir en parti des effets de la marée.

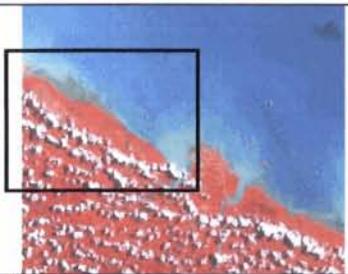
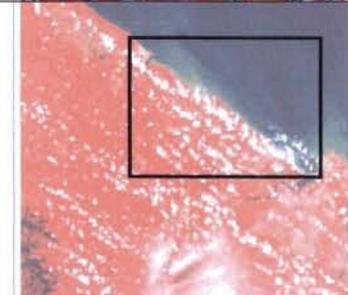
Cette période est marquée par le départ d'un banc de vase colonisé par de la mangrove et par l'arrivée et l'installation d'un autre banc de vase. Ce nouveau banc après avoir migré le long de la côte semble s'être stabilisé momentanément dans la région située entre Macouria et Guatemala. Les résultats obtenus mettent en évidence la grande variabilité spatio-temporelle de la dynamique côtière et surtout des taux de déplacement nettement supérieurs à ceux enregistrés dans le passé.

Les causes de ces variations sont partiellement connues mais relativement peu étudiées. Il s'agira donc de les analyser plus précisément dans la suite du travail. Par ailleurs d'autres actions prévues sont présentées dans le planning ci-après.

8 - PLANNING

Les prochaines actions sont programmées sur les 8 mois restants.

Il s'agira d'actualiser la cinétique du banc et d'améliorer la méthode développée. Une série d'images SPOT 4 et 5 (à 20 m, 10 m et 2,5 m) acquise durant la saison sèche 2003 (août septembre), à différente hauteur de marée (voir tableau 3) est en cours de commande. Ces données permettront d'actualiser le travail et d'entreprendre d'autres actions. Une demande de programmation est maintenue pour la suite.

Images	date	Niveau de marée	Caractéristiques
	13/08/2003	0.87	10 m couleur 2.5 m panchro
	21/08/2003	2.11	20 m couleur

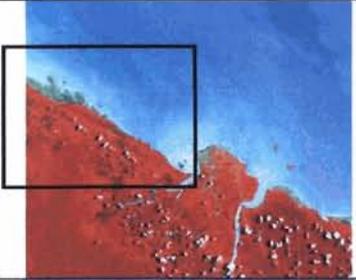
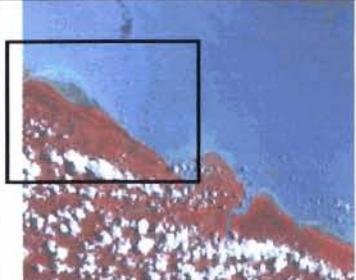
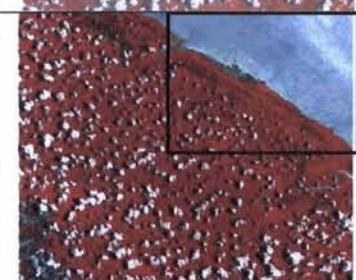
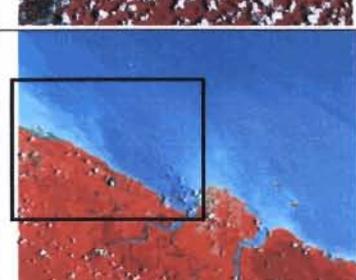
	29/08/2003	0.91	10 m couleur 2.5 m panchro
	08/09/2003	1.30	10 m couleur 2.5 m panchro
	15/09/2003	1.34	20 m couleur
	19/09/2003	1.98	10 m couleur 2.5 m panchro

Tableau 3 : images SPOT acquises sur le site durant la saison sèche 2003.

Un volet terrain est prévu durant la saison sèche 2003 et a pour objectif de caractériser le banc dans ses parties subtidales et intertidales.

1 Caractérisation du banc et suivi de l'envasement du chenal :

- **1 a** sur la partie subtidale, une bathymétrie du banc couplée à des traits de bennes (pour déterminer la concentration en sédiments et donc la limite externe du banc) devra être réalisée d'ici la fin de l'année.
- **1 b** sur la partie intertidale, une bathymétrie devra aussi être réalisée par sondage et à l'aide des images SPOT acquises durant la saison sèche (peu d'évolution) à différentes hauteurs de marée.
- **1c** L'objectif étant de suivre durant la saison de forte activité hydrodynamique (saison des pluies prochaine) l'évolution des efforts de dragage à partir d'un état initial (issu de la caractérisation par bathymétrie).

2 Etude de la variabilité :

- **2 a** suivi multi-sites et multi dates (des images SPOT sont commandées pour réaliser ce travail).
- **2 b** évaluation des images MÉRIS (La Guyane est site pilote d'un programme de l'ESA et des images sont commandées pour l'étude)
- **2 c** confrontation avec des données de vent locaux et champs large pour déterminer le rôle de chacun dans le déplacement du banc.

3 Impacts socio-économiques

Il s'agira de recenser et de hiérarchiser les contraintes exercées par la dynamique du littoral sur les activités humaines, et d'identifier les impacts socio-économiques de ce phénomène. Au-delà de l'activité du Centre Spatial Guyanais (accès au port de Pariacabo, évolution de la plage de Kourou, évacuation des eaux côtières en aval des carneaux du pas de tir d'Ariane 5), des secteurs très variés seront considérés : industrie, transports, foncier, urbanisme, tourisme, santé publique, réglementation. Cette partie de l'étude s'appuiera sur des rencontres régulières avec des acteurs du monde économique (CSG, professionnels de la pêche, du tourisme, de la santé, collectivités, services de l'Etat...).

	11/03	12/03	01/04	02/04	03/04	04/04	05/04	06/04
1a								
1b								
1c								
2a								
2b								
2c								
3								
Rapport								

Tableau 4 : récapitulatif des actions prévues pour la fin de l'étude

9 – BIBLIOGRAPHIE

- ALLERSMA, E., 1971. Mud on the oceanic shelf of Guiana. Symposium on Investigation and Ressources of the Carribean Sea and Adjacent Regions. UNESCO, Paris, 193-203.
- ALLISON, M.A., LEE, M.T., OGSTON, A.S., et ALLER, R.C., 2000. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. *Mar. Geol.*, 163, 241-256.
- ANTHONY, E.J., 1989. Chenier plain development in northern Sierra Leone, West Africa. In : P. G. E. F. Augustinus (Ed.), *Cheniers and chenier plains*. *Mar. Geol.*, 90, 297-309.
- ANTHONY, E.J., GARDEL, A., DOLIQUE, F., et GUIRAL, D., 2002. Short-term changes in the plan shape of a sandy beach in response to sheltering by a nearshore mud bank, Cayenne, French Guiana. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 857-866.
- AUGUSTINUS, P.G.E.F., 1978. The changing shoreline of Surinam (South America). Ph.D. Thesis. The Netherlands, Univ. Utrecht. 232 p.
- AUGUSTINUS, P.G.E.F., 1987. The geomorphologic development of the coast of Guiana between the Corentyne river and the Essequibo river. In : *International Geomorphology. Part. I*, John Wiley and Sons, 1281-1292.
- AUGUSTINUS, P.G.E.F., HAZELHOFF, L., et KROON, A., 1989. The chenier coast of Suriname: Modern geological development. In : P. G. E. F. Augustinus (Ed.), *Cheniers and chenier plains*. *Mar. Geol.*, 90, 269-281.
- BAGHDADI, N., GRATIOT, N., LEFEBVRE, J.-P., OLIVEROS, C., BOURGUIGNON, A., 2003. "Coastline and mudbank detection and monitoring in French Guiana Contributions of radar and optical satellite imagery". *Canadian Journal of Remote Sensing*, in press.
- DAVIES, J. L., 1980. *Geographical variation in coastal development*. (2ème Edit.), Longman, London, 212 p.
- EISMA, D., AUGUSTINUS, P.G.E.F., et ALEXANDER, C.R., 1991. Recent and subrecent changes in the dispersal of Amazon mud. *Neth. J. Sea Res.*, 28, 181-192.
- FRITSCH, J. M., 1984. *Les transports solides. Etude de l'impact de l'aménagement de Petit-Saut*. Doc. ORSTOM. Cayenne.
- FROIDEFOND, J.M., PROST, M.T. et 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.
- FROIDEFOND, J.M., PUJOS, M., et ANDRE, X., 1988. Migration of mud-banks and changing coastline in French Guiana. *Mar. Geol.*, 84, 19-30.
- FROIDEFOND, J.M., GARDEL, L., GUIRAL, D., PARRA, M., et TERNON, J.F., 2002. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. *Remote Sensing of Environment*, 80, 225-232.
- GRATIOT, N., LEFEBVRE, J.P., BAGHDADI, N. et OLIVEROS, C., 2003. Structuration des bancs de vase : rôle des barres vaseuses et hypothèses de fonctionnement 9ème congrès des sédimentologues français, ASF, Bordeaux, 14-16 octobre 2003.
- KIRBY, R., 2000. Practical implications of tidal flat shape. *Cont. Shelf Res.*, 20, 1061-1077.

- MEADE, R.H., DUNNE, T., RICHEY, J.E., SANTOS, U.M., et SALATI, E., 1985. Storage and remobilisation of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, 228, 488-490.
- NEDECO, 1968. Surinam transportation study: report on hydraulic investigation. The Hague, Netherlands, 293 p.
- LEBOURGEOIS, V., 2002. Application en hydrologie spatiale : études des relations hydrologiques entre un écosystème côtier tropical et l'océan. Rapport de stage, Maîtrise Sciences de l'Environnement, Université de Montpellier, 31 p.
- LRT, 1997. Suivi de l'évolution géomorphologique et botanique de l'estuaire du Sinnamary par Télédétection. Convention ORSTOM/EDF. 64 p.
- LOINTIER, M. et PROST, M.T., 1988b. Coastal sedimentation and local rivers supply in French Guiana : comparisons with the Amazon. Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System : River and Ocean. Nittrouer & DeMaster Ed. Charleston. Wild Dunes. USA.
- LOINTIER, M. et PROST, M.T., 1988b. Environnement côtier des Guyanes. Rapport intermédiaire. ORSTOM Cayenne, 46 p.
- PRICE, W. A., 1955. Environment and formation of the chenier plain. *Quaternaria*, 2, 55-86.
- PROST., M. T., 1986. Aspects of the morpho-sedimentary evolution of French Guiana's coastline. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rabassa J. (Ed.), A.A. Balkema Publ., Rotterdam, vol. 4, 191-218.
- PROST., M. T., 1989. Coastal dynamics and chenier sands in French Guiana. In : P. G. E. F. Augustinus (Ed.), Cheniers and chenier plains. *Mar. Geol.*, 90, 259-267.
- PROST M.T., 1990. *Les côtes des Guyanes*. Programme Environnement Côtier. Série Géomorphologie - Sédimentologie. ORSTOM Cayenne. Guyane Française. 213 p.
- PUJOS, M., ODIN, G. S. et PONS, J. C., 1985. Processus sédimentaires et évolution du plateau continental de la Guyane française au cours du Quaternaire Récent. Dep. De Géol. Et Océanog. IGBA. Projet CORDET. Univ. Bordeaux. Talence
- PUJOS M., BOUYASSE P. et PONS J.C., 1990. Sources and distribution of heavy minerals in Late Quaternary sediments of the French Guiana continental shelf. *Continental Shelf Research*, 10, 59-79.
- PUJOS, M. ; PONS, J. C. et PARRA, M., 2001. Les minéraux lourds des sables du littoral de la Guyane française : bilan sur l'origine des dépôts de la plate-forme des Guyanes. *Oceanologica Acta*, 24S : 27-35.
- RINE, J. M. et GINSBURG, R. N., 1985. Depositional facies of the mud shoreface in Suriname, South America. A mud analogue to sandy, shallow-marine deposits. Comparative Sed. Lab. Univ. of Miami. Florida
- RODRIGUEZ, H.N. et MEHTA, A.J., 1998. Considerations on wave-induced fluid mud streaming at open coasts. In Black, K.S., Paterson, D.M. et Cramp, A. (eds) *Sedimentary processes in the intertidal zone*. Geological Society, London, Special Publications, 139, 177-186.
- RUDANT, J.P., CAUTRU, J.P. et LOINTIER, M., 1993. First result of ERS-1 SAR analysis. Pilot Project PPF12 : Coastal and fluvial environment in French Guiana. First ERS-1 Symposium "Space at the Service of our Environment. 4-6 novembre 1992, Cannes, France.
- RUDANT, J.P., BALTZER, F., LOINTIER, M., MOUGIN, E. et PROST M.T., 1995. Intérêt des images ROS satellitaires ERS-1 et JERS-1 dans le domaine de la dynamique littorale en Guyane et à

l'embouchure de l'Amazone. Workshop ECOLAB 95, MPEG, Belem, Brésil, ESA WPP 76, pp 215-221.

WARNE, A.G., MEADE, R.H., WHITE, W.A., GUEVARA, E.H., GIGEAUT, J., SMYTH, R.C., ASLAN, A., et TREMBLAY, T., 2002. Regional controls on geomorphology, hydrology and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology*, 44, 273-307.

WELLS, J.T. et COLEMAN, J.M., 1981. Physical processes and fine-grained sediment dynamics, coast of Surinam, South America. *J. Sediment. Petrol.* 51, 1053-1068

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : le banc de vase se rapproche de Kourou. L'évolution de l'effort de dragage est représentée par la localisation des pk et des années correspondantes. En fond, image SPOT (2001).

Figure 2 : Passage des vasières aux cheniers marqué par une dominance croissante des processus dus aux vagues (d'après Anthony, 1990).

Figure 3 : La dynamique sédimentaire de l'Amazone à l'Orénoque. Image multi-capteurs : sur l'océan synthèse multi-dates d'indice de turbidité sur 3 images NOAA, octobre 1999. Sur le continent la mosaïque d'images radar J-ERS acquises en 1995 permet .

Figure 4 : Schématisation d'un banc (d'après Baghdadi et al. 2003). La partie immergée en permanence (zone subtidale) n'est pas précisément délimitée. L'avant du banc est constitué de vases fluides « lac de vase » qui sont issues de l'érosion de l'arrière banc puis transportées par les courants vers l'avant. La zone intertidale, zone de balancement des marées est colonisée dans sa partie arrière par de la mangrove. De part et d'autre du banc les espaces inter-bancs sont en érosion.

Figure 5 : les 17 images utilisées dans l'étude.

Figure 6 : les couches d'information dans le SIG (en gris la vase inter-tidale en 1998 et transparence en 2002, en mauve la mangrove en 1998).

Figure 7 : Etapes de la standardisation des limites des thèmes mangrove et vase inter-tidale appliqués à l'image du 02/07/02.

Figure 8 : Représentation matricielle des résultats standardisés (a) et interpolés (b). Le dégradé de couleurs représente la distance à la côte de la vase inter-tidale.

Figure 9 : Evolution des surfaces de mangrove sur les 4 secteurs composant le littoral d'étude.

Figure 10 : a) Evolution spatio-temporelle des zones inter-tidales.
b) Taux de migration estimés par mesures directes et indirectes.

Figure 11 : Caractéristiques morphologiques locales et chenal d'accès au port de Pariacabo (en fond image Landsat ETM du 19/09/2002). Limite de la zone inter-tidale en 2000 (---), en

2002 (—), baie dans la mangrove (■) et hauts fonds rocheux (*). Les pk représentent les distances au Port le long du chenal.

LISTE DES TABLES

Tableau 1 : Caractéristiques des bancs observées sur photographies aériennes et particularités environnementales communes aux trois pays

Tableau 2 : listes des images SPOT et LANDSAT (la dernière)

Tableau 3 : images SPOT acquises sur le site durant la saison sèche 2003.

Tableau 4 : récapitulatif des actions prévues pour la fin de l'étude