

**INTEGRAÇÃO DOS DADOS**  
**LANDSAT TM E SAR ERS-1 NA ANÁLISE DE MODIFICAÇÕES COSTEIRAS**  
**INTERTROPICAIS. EXEMPLO DE KOUROU, GUIANA FRANCESA.**

C. CHARRON\* M.T. PROST\*

\*ORSTOM - Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération  
BP 165  
97323 Cayenne Cedex Guyane française  
charron@cayenne.orstom.fr

**Abstract:** Computer data analysis of remote sensing optical imagery is used, since several years, to monitor coastal morphosedimentary changes in French Guiana ("Coastal Environment Programm", ORSTOM Cayenne). The multitemporal comparison of LANDSAT MSS (1976), SPOT-1 (1986) and LANDSAT TM (1988) allowed us to quantify average yearly accretion and erosion rates of the shoreline in 4 key-areas along 135 km of coastline between Cayenne (Est) and Iracoubo (West). Presently new data are being obtained thanks to microwave range where information can be acquired independent of the atmospheric conditions (clouds, rain...) and during the night. In French Guiana the first experience was done in march 1992 (Sarex Operation. South American Radar Experiment, Project TREES. Airborne data acquired in band C and X and helicopterborne scatterometer ERASME). SAR (Synthetic Aperture Radar) ERS-1 imagery is available since september 1992. This paper demonstrates the good integration between LANDSAT TM and ERS-1 SAR data for the study of coastal changes, taking as exemple de Kourou's area. Part I presents the contexte of the survey and the state of knowledge. Part II discuss the synergetic use of optical and radar data. The first results are presented in the part III. The new data supplied by LANDSAT and by SAR ERS-1 are very promising and they show the potencial of ERS-1 images to monitor coastal changes in French Guiana.

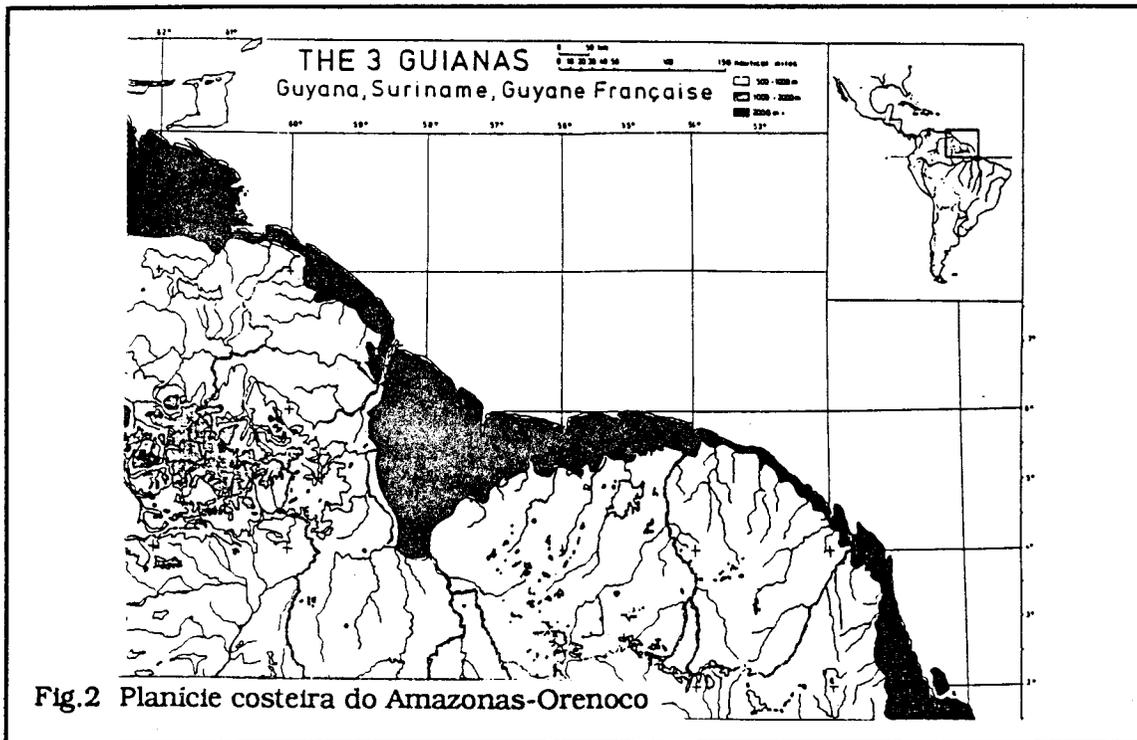
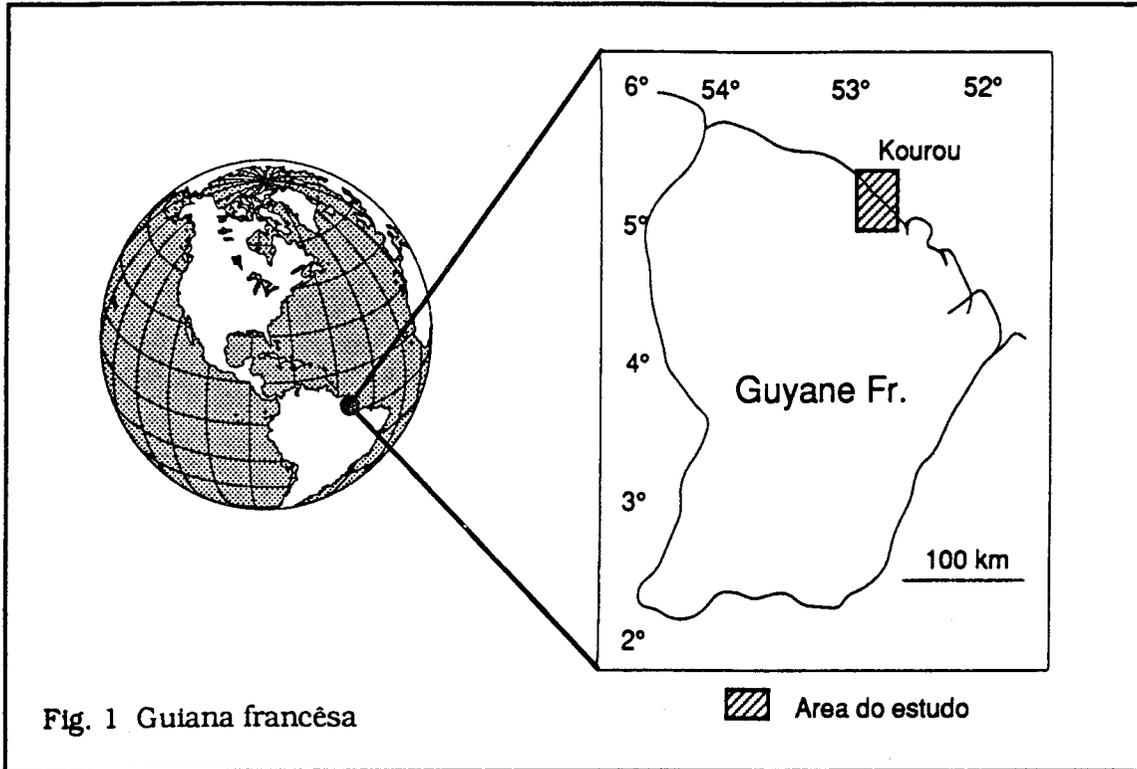
**Key-words:** Remote Sensing. Radar. LANDSAT TM. ERS-1. SAREX Project TREES Coastal plain. Sedimentology. Morphology. Shoreline. French Guiana.

**PARTE I - CONTEXTO E ESTADO DOS ESTUDOS**

**I - O CONTEXTO DO ESTUDO**

A planície costeira da Guiana francesa (320 km de extensão, V. fig. 1) faz parte da

grande planície de cheniers do Amazonas-Orenoco (1600 km de extensão, V. fig. 2) em contacto com o Atlântico Tropical de Oeste. A evolução das costas, nesta margem tectonicamente passiva, é diretamente influenciada pelo Sistema de Dispersão Amazônico.



### **A) O Sistema de Dispersão Amazônico e seu impacto nas costas das Guianas**

Primeiro rio do mundo pela extensão de sua bacia e pelo seu imenso caudal o Amazonas contribue com 18% de toda a água doce lançada no oceano mundial e com 10% de carga mundial em suspensão. Os sedimentos finos, provenientes principalmente dos Andes (GIBBS R.J., 1967; FRANZINELLI E. & POTTER P.E., 1983; FRANZINELLI E., com. pers. 1992), são constituídos por argilas e silts comportando uma porcentagem de areias finas. Cerca de 50±15% dos mesmos deposita-se na área da desembocadura (NITTROUER C. & DeMASTER D., 1986). Uma outra parte (estimada a 10%-20%; EISMA D., 1988) é transportada pelas correntes marítimas superficiais e pelas ondas em direção das Guianas. Imagens do satélite NIMBUS 7 (NITTROUER C. & DeMASTER D., 1987) mostram que a água amazônica forma uma grande área turbida, de 100 à 200 km de largura, que afeta a área costeira do Amapá e que estende-se em direção ao norte até o cabo Orange, a mais de 500 km da foz, deslocando-se em seguida na direção das Guianas.

Estima-se que 280 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos finos amazônicos transitam anualmente nas costas da Guiana francesa, o que dá uma cor barrenta característica às águas do mar. Uma parte da carga circula ao largo, transportada pela corrente das Guianas. A outra parte (cerca de 140 milhões de m<sup>3</sup>) é "empurrada" em direção da costa pelas correntes costeiras e pelos aliseos dando origem a grandes bancos de lama, de 15 à 60 km de extensão, separados um do outro por zonas interbancos de dimensões comparáveis. Bancos e zonas interbancos migram lentamente e continuamente para noroeste. Esta migração provoca igualmente o desvio, no mesmo sentido, da desembocaduras de vários rios.

A originalidade das costas das Guianas em relação aos demais litorais do mundo tropical é sua dinâmica "sui generis" combinando a alternância e a migração, ao longo da costa, de setores de acreção lamosa (onde desenvolve-se o manguezal) e de setores de erosão (onde há recuo da linha da costa, morte do mangue e formação, sob certas condições, de praias arenosas). As condições

de deslocamento destes setores ao longo do litoral obedecem ao ritmo anual de dispersão amazônica.

### **B) Condições climáticas regionais e ritmo anual de dispersão amazônica.**

O estudo da dinâmica costeira é um dos grandes eixos temáticos do programa "Ambientes costeiros das Guianas", conduzido atualmente por M.T. PROST no Centro ORSTOM de Caiena. Entre outros objetivos destaca-se o de identificar e analisar os processos morfogenéticos responsáveis das modificações morfosedimentares atuais do litoral. Tal estudo, que fornece subsídios para o gerenciamento dos recursos renováveis, integra forçosamente a análise regional visto que não se pode apreender o comportamento da costa da Guiana sem conhecer as condições climáticas regionais e as modalidades do ritmo anual da dispersão amazônica.

Todos sabem que os centros de alta pressão situadas ao norte e ao sul do equador, a cerca de 25/30° de latitude (anticiclones dos Açores, ao norte, e de Santa Helena, ao sul) dão origem aos aliseos que sopram em direção das baixas pressões equatoriais. Devido à sua posição geográfica e segundo a época do ano as Guianas são submetidas seja à influência do aliseo de nordeste (úmido e mais instável) seja do aliseo de sudeste (úmido no Brasil, mais seco na Guiana francesa).

Os aliseos entram em conflito na Zona Intertropical de Convergência (Z.I.C.), de 10 à 100 km de largura no Atlântico, caracterizada por fortes precipitações. A ZIC desloca-se anualmente entre 3° de latitude sul e 15° de latitude norte. É a passagem desta depressão que dá origem, na Guiana, aos dois máximos pluviométricos anuais, o primeiro entre dezembro e fevereiro (aliseo de NE) e o segundo entre abril e julho (aliseo de sudeste). As chuvas são abundantes (entre 2 e 4 metros em média anual), mais variáveis na zona costeira. Os 3 meses anuais de mínimo pluviométrico ocorrem quando a ZIC encontra-se ao norte do equador. Si a estação seca prolonga-se mais de 3 meses, produzem-se modificações hídricas importantes nas áreas costeiras habitualmente alagadas (PROST M.T. & LOINTIER M., 1986).

Quanto à dispersão amazônica, ela tem um ritmo anual que é função, em primeiro lugar, do regime hidrológico da bacia, ele mesmo ligado à alimentação dos tributários; sem entrar em detalhes lembra-se que o máximo das cheias coincide, na zona de Obidos, com os meses de maio e junho<sup>1</sup> e que a estiagem principal dá-se entre outubro e dezembro (V. fig. 3, programa AMASSEDS A., FIGUEREDO & ALLISON M., 1991). Quanto a dispersão marítima ela, a dispersão corresponde a condições oceanográficas específicas relacionadas com a dinâmica da Corrente Costeira Norte do Brasil e da

("North Ouest Equatorial Experiment". 1989-1991. ORSTOM. COLIN C. & BOURLES B., 1990). Resumindo, ela é a seguinte:

\*Durante o *inverno boreal*, quando a Z.I.C. encontra-se ao sul do equador, a corrente das Guianas (CG) prolonga para o norte a Corrente Costeira Norte do Brasil. A corrente das Guianas é forte (> 120 cm/s), situada nos primeiros 200 metros de profundidade, e relativamente estreita (> 150 milhas náuticas da costa). Ela assegura uma importante exportação das águas e dos sedimentos em suspensão do Amazonas (COLIN C. & BOURLES B., 1990). Na Guiana

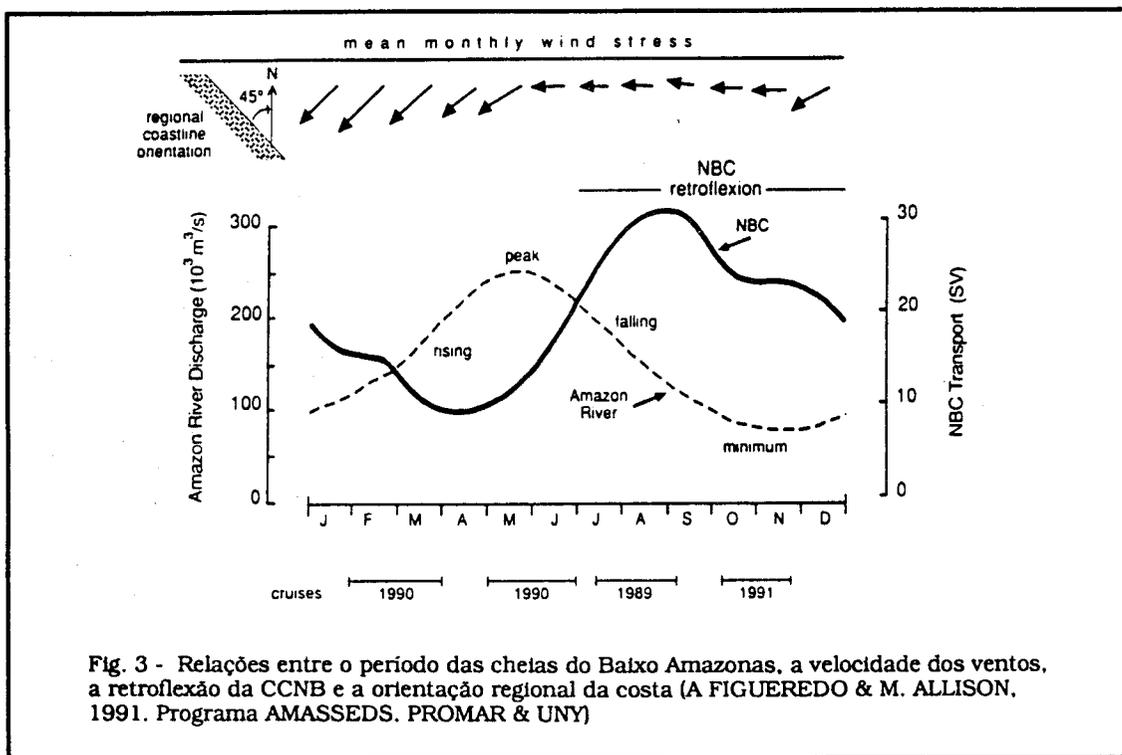


Fig. 3 - Relações entre o período das cheias do Baixo Amazonas, a velocidade dos ventos, a retroflexão da CCNB e a orientação regional da costa (A FIGUEREDO & M. ALLISON, 1991. Programa AMASSEDS. PROMAR & UNY)

Corrente das Guianas (V. fig 3).

A interação entre a circulação oceanográfica e atmosférica foi seguida por imagens de satélite<sup>2</sup> entre 1979 e 1986 (MULLER KARGER F.E. & FISCHER T.R., 1988; MULLER KARGER F.E., McCLAIN C.R. & RICHARDSON P.L., 1988) e estudada pelo programa de oceanografia física NOEE

<sup>1</sup>  $2.3 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/s à  $0.2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/s no fim da estação chuvosa (T.B.CURTIS, 1986). Quanto ao mínimo, ele se situa em dezembro ( $0.9 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/s/ T.B.CURTIS & R.V. LEHECKIS, 1986). Estas variações repercutem-se nas costas da Guiana.

<sup>2</sup> GOES-5, NOAA-7, NIMBUS-7.

francêsa, é o momento principal da estação chuvosa: o mar é relativamente agitado sob a influência do aliseo de NE, forte e instável. As águas são muito turbidas. É nesta mesma ocasião que ocorre a maior migração dos bancos de lama e dos espaços interbancos, ou seja, tanto acreção como erosão costeiras.

\*Durante o *verão boreal*, ao contrário, a Z.I.C. encontra-se ao norte do equador, à cerca de 15° de lat. N. É o período da estação seca na Guiana, dominando o aliseo de SE. O mar é relativamente calmo e a migração dos bancos de lama e dos espaços interbancos é lenta. É sobretudo nesta mesma época que a Corrente das Guianas sofre uma retroflexão

entre 4° e 6° de latitude norte em direção ao Atlântico central: cerca de 50 à 60% da carga em suspensão do Amazonas é assim exportada ao largo e não atinge as costas da Guiana.

Face a esta dinâmica complexa, a análise das imagens espaciais - feita no Centro de Processamento da ORSTOM Caiena - têm fornecido um ótimo subsídio para o estudo. O problema inicial foi o monitoramento das transformações costeiras e, especificamente, a quantificação temporal das fases de acreção lamosa e de erosão. Neste particular, as análises multitemporais feitas com LANDSAT MSS (1976), SPOT-1 (1986) e

## PARTE II - INTEGRACAO DOS DADOS LANDSAT TM E ERS-1. EXEMPLO DE KOUROU

### A) Localização da área de estudo e unidades geomorfológicas.

A área estudada encontra-se à cerca de 85 km a leste de Caiena, na zona de Kourou (V. fig. 4). Um corte-tipo, feito entre o oceano e o escarpamento do escudo cristalino (cerca de 15 km de extensão) mostra as seguintes unidades geomorfológicas:

- Zona intertidal de acreção lamosa<sup>3</sup>, colonizada pelo mangue "branco" (*Avicennia*

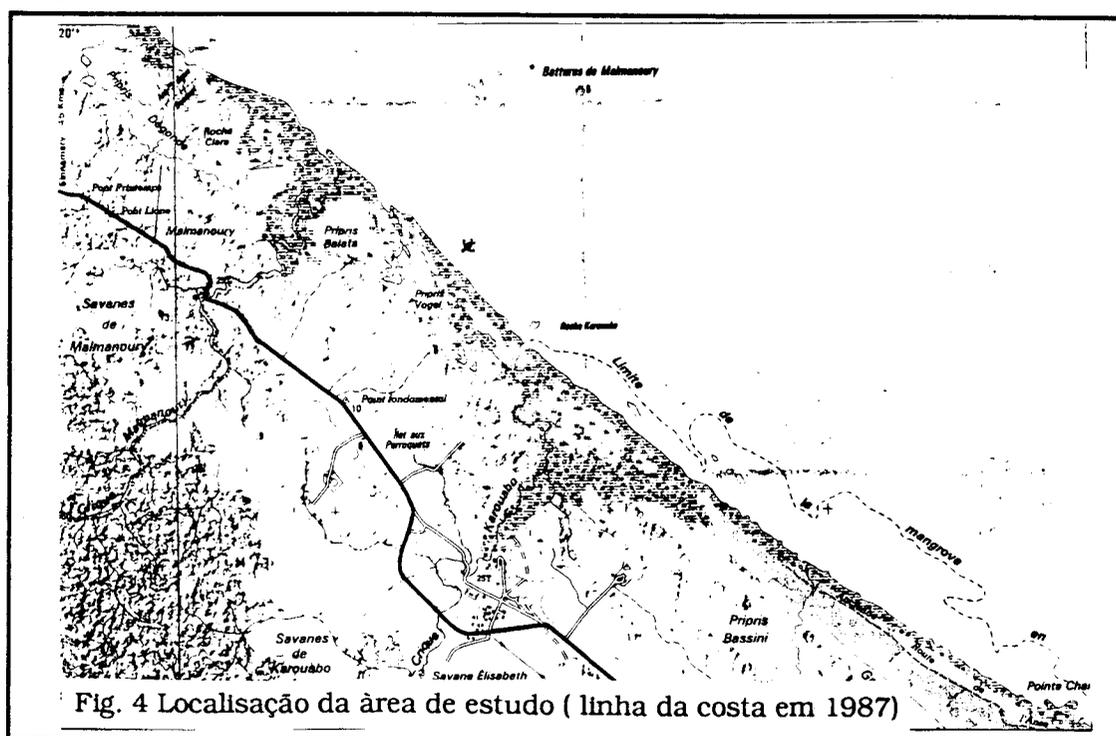


Fig. 4 Localização da área de estudo ( linha da costa em 1987)

LANDSAT TM (1988) permitiram-nos conhecer, no espaço de 12 anos, as velocidades médias anuais de acumulação e de recuo da costa entre Caiena e Iracoubo (135 km): tanto num caso como no outro a média anual foi de 200 m/ano, o que mostra a importância dos fenômenos costeiros (PROST M.T., 1990). As aquisições radar, atualmente em fase de validação, permitirão uma análise sistemática mais fina das modificações do litoral.

*nitida*). A vegetação implanta-se rapidamente nas lamas cremosas, principalmente ao longo dos canais de maré. A vegetação pioneira é composta por uma gramínea (*Spartina brasiliensis*) e por populações jovens de mangue cinza (*Laguncularia racemosa*). Um como outro são rapidamente suplantados pelo mangue branco que torna-se monoespecífico nas partes centrais e distais

<sup>3</sup> Entre 0 e 1 m de altitude em relação ao zéro I.G.N. (Instituto Geográfico Nacional) das cartas topográficas. O zéro corresponde au nível médio do mar do Nivelamento Geral da Guiana francesa, NGG)

do banco.

- *Planície costeira baixa*<sup>4</sup> *holocênica*, cujos sedimentos pertencem à formação DEMERARA. No caso da zona em estudo um *cordão arenoso (chenier)*<sup>5</sup>, coberto por mata com palmeiras, separa o mangue das *zonas alagadas interiores*<sup>6</sup> onde prosperam Ciperáceas e Tifáceas. O rio Karouabo perde-se atualmente em um vasto buritizal (*Mauritia flexuosa*) situado entre o chenier e a Estrada do Espaço (área de lançamento Ariane. Centro Espacial Guianês), não atingindo o mar. Mais para oeste, as margens do rio Malmanoury são cobertas por uma floresta-galeria que passa, em direção do mar, ao manguezal.

- *Planície costeira alta*<sup>7</sup> *pleistocênica*, formada pelos sedimentos da formação COSWINE. A morfologia é caracterizada por largos cordões arenosos ("barras pré-litorâneas") que repousam sobre um substratum de argilas marinhas antigas. A vegetação típica é constituída por savanas baixas, parcialmente inundadas na estação chuvosa.

- *Borda do escudo cristalino*. Formada por uma série de colinas, a passagem entre as formações pleistocênicas e a borda norte do escudo das Guianas (schistos de Bonidoro e de Orapú) é bastante gradual. Os altos cursos dos rios Malmanoury, Karouabo e Passoura (80/90 m de altitude) entalham a "túnica tropical", ou seja, espessas formações de alteração do cristalino cobertas pelo manto da floresta densa ombrófila (árvores de 30/40 m de altura).

## **B) Uma experiência preliminar : a operação radar SAREX 92**

A operação radar SAREX (South America Radar Experiment. Projet TREES) foi feita na Guiana em abril de 1992, em preparação da avaliação das futuras imagens ERS1. As

<sup>4</sup> Entre 0 e 5 m de altitude I.G.N./N.G.G.

<sup>5</sup> Um chenier é um tipo de cordão de praia formado no contexto de uma costa de progradação lamosa onde há alternância de acumulação e de erosão. O termo corresponde portanto à uma gênese específica. PROST M.T.(1989, 1990, 1992).

<sup>6</sup> Chamadas localmente "savanas inundadas" ou "pri-pri".

<sup>7</sup> Entre 5 e 15 m IGN- NGG.

aquisições foram feitas por SAR transportado em um avião nos dias 9 e 10 de abril, com polarização HH, VV, VH, nas bandas C e X, e por um radar transportado por um helicóptero no dia 14 de abril (scatterometer ERASMO : FM/CW, banda C, bipolarização HH-VV, modo nadir, resolução de 1 m) podendo medir o coeficiente de retrodifusão ao longo de um percurso.

Foram selecionadas diversas áreas costeiras da Guiana (Kaw, Caiena-Larivot, Kourou-Sinnamary, Saint Laurent-Malgaches, Paracou...) a serem cobertas por imagens SAR referentes aos seguintes temas: geomorfologia, geologia aplicada, hidrologia, uso do solo e gerenciamento do espaço litoral (PROST M.T. & CHARRON C.,1992). Em simultaneidade com as aquisições, equipes interdisciplinares trabalharam nas mesmas áreas para obter as "verdades-terreno" correspondentes (situação das marés, condições do mar, observações sedimentares, coleta de testemunhos, observações hidrológicas, atualização dos dados botânicos, controle geológico, etc...).

Os grupos de trabalho foram constituídos por especialistas da ORSTOM (Caiena), do BRGM Guiana (Bureau de Recherche Géologique et Minière), da Universidade Pierre e Marie Curie (Paris VI. Laboratoire de Télédétection), da Universidade de Paris-Sud (Orsay. Laboratoire de Pétrologie Sédimentaire et Paléontologie), do Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements (Toulouse), do Centre des Recherches en Physique de l'Environnement (Paris) e da Universidade Paul Sabatier (Toulouse. Institut de la Carte Internationale du Tapir Vegetal). Certos trabalhos temáticos ou de modelização foram feitos em comum com outras equipes de SAREX. Outros desenvolvimentos específicos de análise de imagens (estereoscopia, correlação SAR/SAR, sistemas de informação geográfica, etc...) foram feitos com laboratórios exteriores.

## **C) Integração dos dados TM et ERS1 na zona de Kourou**

Uma comparação analógica e digital de imagens LANDSAT 5 TM e SAR ERS1 foi feita para a interpretação morfológica da área em estudo.

## 1. Imagens utilizadas

### a) ERS-1

Sabe-se que uma das grandes vantagens do radar é a aquisição de imagens em condições desfavoráveis. Entretanto há um inconveniente: a resolução da imagem é perturbada pelo efeito de brilho aleatório (speckle) devido à interferência das ondas refletidas pelas irregularidades do solo. Esta interferência origina um mosqueado parasita na imagem.

As imagens de ERS-1<sup>8</sup> usadas no estudo, com 100 km de largura, foram adquiridas na banda C<sup>9</sup> pelo modo AMI (Active Microwave Instrument) do SAR (Synthetic Aperture Radar), sem georeferência nem correção das distorções de terreno (V. fig. 5). Para diminuir estes inconvenientes efetuou-se a harmonização dos pixels e uma redução parcial da interferência por SAR Pri. As imagens utilizadas são as seguintes:

*Modo excepcional Rolling Mode RTM (incidência de 35°)*

- Lat 5°34' long 307°17' data de aquisição : 9 de abril de 1992. Hora TU 13 52 18,782 órbita 3827, traço 99 ascendente.

*Modo normal PRI (incidência de 23°)*

- Lat 5°267' long 307°557' data de aquisição : 3 de maio de 1992. Hora TU 13 52 03,388 órbita 3827, traço 99 descendente.

- Lat 5°243' long 306°842' data de aquisição: 22 de maio de 1992. Hora TU 13 54 58,209 órbita 3827, traço 99 descendente.

<sup>8</sup>ERS-1 (lançado no dia 11 de julho de 1992 da Base Espacial de Kourou)

<sup>9</sup>A emissão de uma onda eletromagnética se faz em um comprimento de onda (6cm, frequência 5.3 GHz) e com uma polarização HH. Este modo de emissão é bem adaptado para estudos das neves, umidade e condições dos solos, tipos de vegetação, correntes marinhas e ondas.

### b) LANDSAT TM

As cenas de LANDSAT Thematic Mapper (T.M.), com 7 canais de 30 metros de resolução, são do dia 18 de julho de 1988<sup>10</sup>. As aquisições costeiras foram feitas às 9 horas da manhã (H.L.), uma hora depois da maré alta.

O método de SHEFFIELD foi usado para determinar os canais 2, 4 e 5 que constituem a melhor combinação para a cartografia dos ambientes costeiros estudados. Procedeu-se em seguida aos tratamentos comuns de ratio e de filtragem.

## 2. Tratamentos específicos

Dois tratamentos específicos foram aplicados: transformação de intensidade, cor e saturação (ICS), e combinação de imagens ERS-1 multitemporais e multimodes (composição colorida e análise da componente principal).

### a) Transformação de intensidade, cor e saturação (I.C.S.)

Esta técnica é utilizada frequentemente para integrar dados múltiplos SPOT, LANDSAT ou radar. Neste trabalho os dados LANDSAT TM serviram de referência principal afim de evitar dificuldades de interpretação com os dados ERS-1.

Tomando como base o sistema de representação de cor VVA (Vermelho, Verde, Azul), adaptado ao produto espectral de captôres de sensoriamento remoto, utilizou-se o sistema I.C.S.<sup>11</sup> afim de obter-se duas

<sup>10</sup> Lembra-se que os canais de TM são os seguintes :

1. 450 à 520 nm (visível, azul)
2. 530 à 610 nm (visível, verde)
3. 620 à 690 nm (visível, alaranjado-vermelho)
4. 780 à 910 nm (próximo infravermelho)
5. 1500 à 1780 nm (infravermelho médio reflectivo)
7. 2100 à 2350 nm (infravermelho médio)

O canal 6 (120 m de resolução), situa-se entre 10,4 et 12,6 microns no infravermelho térmico. Ele não foi usado neste trabalho.

<sup>11</sup> Estes parâmetros definem a cor da seguinte forma:

- a intensidade é variável (do preto ao branco).
- a cor (circulo de cores na ordem de azul, magenta, vermelho, amarelo, verde, cyan, azul, ...).
- a saturação (cinza puro) sem o branco.



Fig. 5 - Imagem ERS-1 de 3 maio 1992

outras informações, uma espacial (intensidade)<sup>12</sup> e outra espectral (côr e saturação)<sup>13</sup>. Graças à combinação dos dados SAR e TM a morfologia descrita pelo radar integrou-se aos dados óticos que representam a componente espectral.

#### b) Combinação de imagens ERS-1 multitemporais e multimodes.

Diversas imagens ERS-1 foram superpostas afim de obter-se uma melhor identificação dos fenômenos.

Efetuaram-se primeiramente uma correção geométrica à partir de TM e uma filtragem majoritária, operações seguidas por uma adaptação do contraste<sup>14</sup> afim de atenuar-se a interferência (speckle). Passou-se em seguida ao tratamento específico desta parte do trabalho, ou seja:

- Composição colorida de imagens por superposição, afim de fornecer ao especialista temático uma análise rápida e correta dos fenômenos morfológicos, a visão integrando o fenômeno de interferência.

- Análise da componente principal (A.C.P.), que permite concentrar o maior número possível de informações sobre a imagem<sup>15</sup>. A partir de 3 imagens de base foram calculadas 3 componentes principais. Em seguida outras combinações foram efetuadas entre estes novos canais ERS1 e as imagens de origem visualizadas por pares (binômio) ou mais (trinômio).

Estas metodologias foram utilizadas no intuito de melhorar a interpretação de fenômenos cujo tratamento numérico ainda é complexo devido ao efeito de interferência.

<sup>12</sup> A intensidade compreende o brilho (brilliance) da imagem ou seja informações relativas à morfologia e à rugosidade.

<sup>13</sup> Os dados espectrais, côres e saturação fornecem uma aproximação da composição da superfície.

<sup>14</sup> De acordo com uma escala logarítmica.

<sup>15</sup> A A.C.P. corresponde à uma combinação linear da imagem na qual a primeira componente é a que concentra o maior número de informações da imagem, ou seja, ela representa a variante máxima entre as imagens. A segunda componente fornece o maior número possível de informações complementares da primeira, etc...

Uma possibilidade futura será a utilização de filtros que eliminem o inconveniente do speckle<sup>16</sup>.

### PARTE III - PRIMEIROS RESULTADOS OBTIDOS

#### 1. Caracterização dos manguezais por ERS-1.

A integração dos dados TM e ERS1 permitem:

- uma melhor definição do comportamento espectral dos manguezais e da floresta densa. Neste particular a análise da componente principal é a mais performante para distinguir os dois tipos de vegetação. Isto é especialmente interessante nas áreas dos estuários e desembocaduras onde há passagem entre diferentes tipos de mangue e florestas-galerias.

- novas observações, graças à ERS1, sobre a extensão e do comportamento dos manguezais da fachada marítima. Como as lamas intertidais agem como um refletor isotrópico obtém-se boas informações, por exemplo, sobre as áreas e as formas de implantação do mangue pioneiro. Ele avança em direção ao largo, seja em manchas concêntricas mais ou menos isoladas (spots), seja em linhas finas e regulares, mais ou menos incurvadas, ao longo dos inúmeros canais de maré (V. fig. 6). As duas formas de progressão confundem-se em direção ao interior. De um modo geral a densidade da vegetação aumenta e há passagem ao mangue jovem e, depois, ao mangue adulto. Observa-se enfim, outras zonas interiores onde o manguezal, menos denso, indica a presença de árvores senescentes. Tais observações são promissoras para uma futura cartografia dos mangues costeiros da Guiana, mas por enquanto, não foi feita uma classificação supervisionada devido ao problema do speckel.

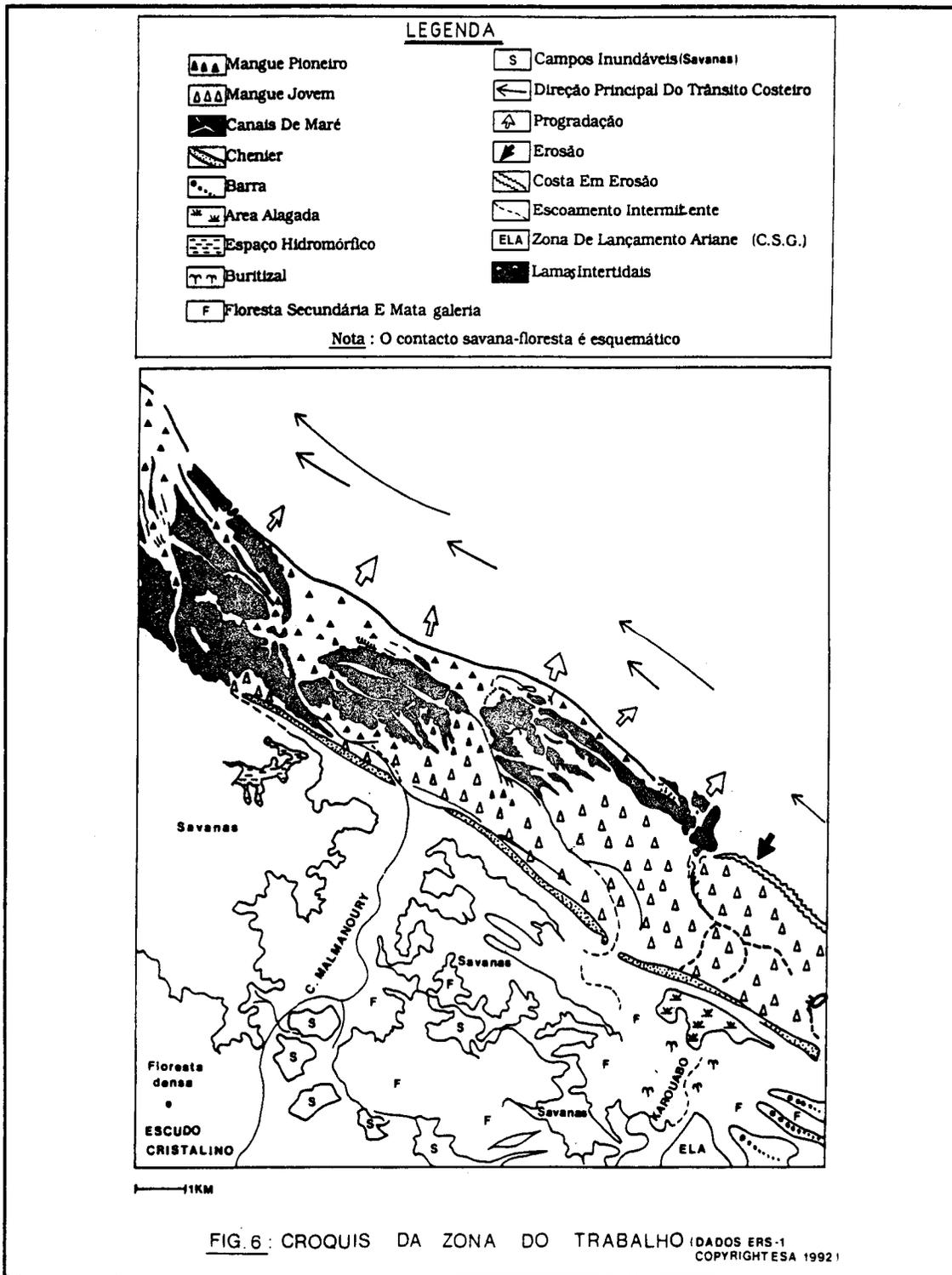
<sup>16</sup> "Restauration des informations radiométriques, polarimétriques, interférométriques et texturales dans les images SAR". Conferência. A. LOPEZ (CESR. Toulouse. França). Colóquio: "De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS". Paris. 10-13 Maio. 1993

**2. Evolução atual da linha da costa**

Novos dados sobre as transformações da linha da costa de Kourou (em face da zona de lançamento Ariane do CSG), entre julho de 1988 e abril/maio de 1992, foram obtidos por correção geométrica dos dados ERS-1 e TM.

- Obteve-se o posicionamento geográfico exato do contacto entre erosão (a leste) e

acumulação (a oeste), ponto facilmente observado pelo SAR devido à forte retrodifusão dos troncos das árvores do mangue arrancadas pelas vagas e acumuladas na borda marítima. Com efeito, os troncos formam um refletor privilegiado para as ondas eletromagnéticas (V. fig. 7).

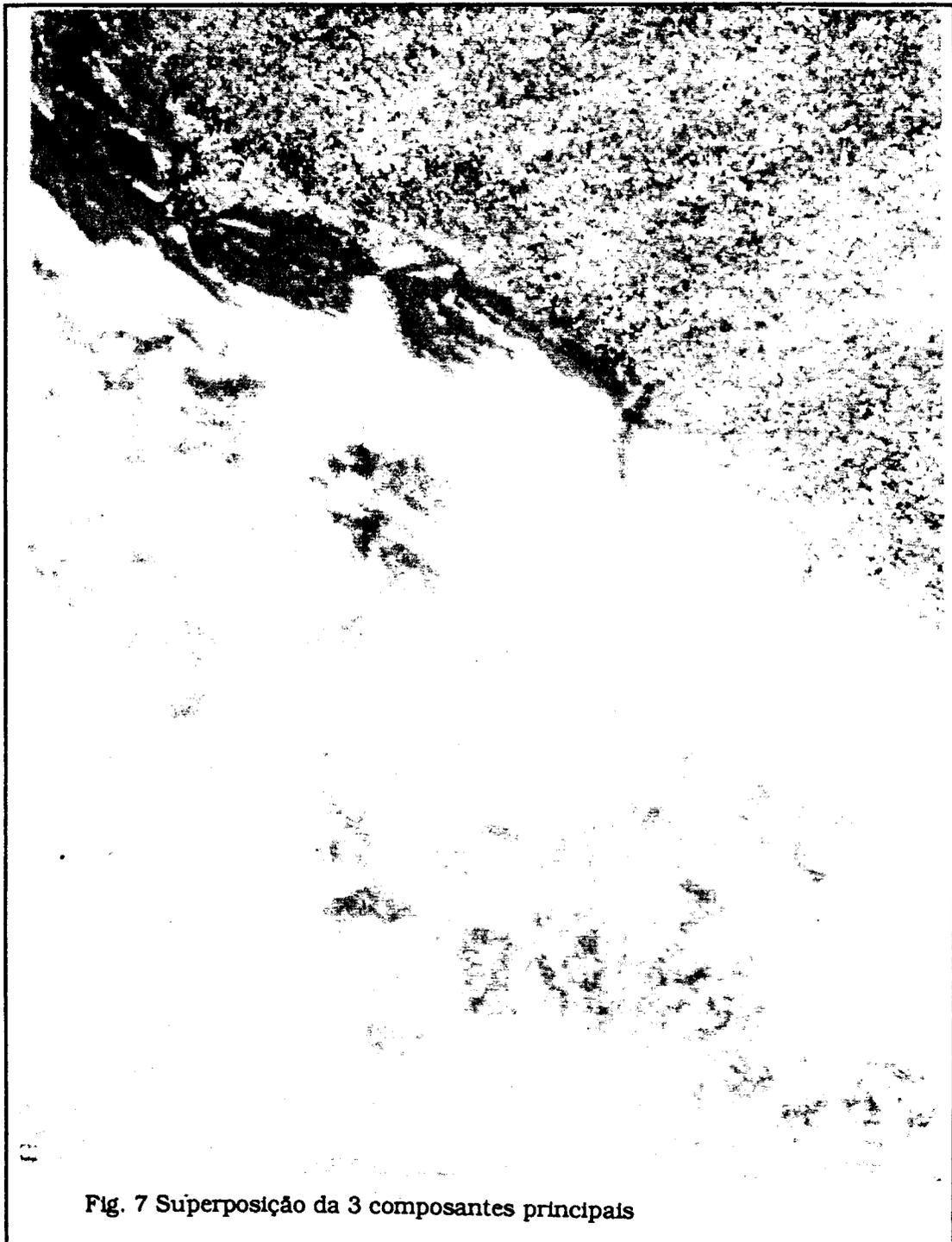


- A análise multitemporal entre TM e SAR revela uma velocidade média de migração do banco de lama de cerca de 1000 metros por ano, o que confirma os dados obtidos anteriormente.

- Pela primeira vez foi possível quantificar a progressão do mangue jovem e denso nas lamas cremosas intertidais: a

implantação é rápida, de cerca de 400 metros/ano.

- Quanto à erosão, ela é muito menos importante no setor: o recuo máximo foi de 300 metros durante os 4 anos considerados, ou seja, uma média anual de 50 a 70 metros.



### 3. Deflexão e transformação de desembocaduras

Este fenômeno, ligado ao trânsito costeiro, é comum na Guiana francesa (CHARRON C., LOINTIER M., PROST M.T. & RUDANT J.P., 1990). Com exceção das grandes artérias fluviais, como o Maroni, o Oiapoque e o Approuague, e de certos rios cujos estuários apolam-se parcialmente no escudo cristalino (rio Mahury, rio Kourou, entre outros), as desembocaduras são desviadas (rios Sinnamary, Mana, Kaw, Organabo), rompidas (rios Sinnamary e Kaw) ou anexadas (estuários comuns Counamama-Iracoubo ou Mana-Maroni). Ainda mais frequente é o desvio de pequenos cursos de água, muito sensíveis às transformações da linha da costa. É o caso, na área de estudo, tanto da "crique"<sup>17</sup> Malmanoury, desviada para noroeste (e que encontra-se atualmente em plena área de acreção) como da "crique" Karouabo, que não chega mais ao mar (V. fig. 7). Convém notar que, no caso dos pequenos rios, as transformações são muito frequentes tornando obsoletas informações de cartas topográficas recentes. O apoio do sensoriamento remoto no monitoramento destas modificações torna-se imprescindível.

### 4. Sucessão e interrelação de ambientes costeiros.

Como foi visto anteriormente a área do estudo reúne morfológicamente tanto sistemas de cheniers separados por pântanos costeiros, como alinhamentos de barras pré-litorâneas dispostas sobre formações marinhas mais antigas (V. fig. 7). As diferenças altimétricas são fracas e a sucessão e/ou interrelação dos ambientes da planície são frequentemente identificadas graças às formações vegetais (mangues, zonas pantanosas de águas salôbras à doces, matas com palmeiras dos cheniers, savanas, florestas-galerias, etc...) elas mesmas em relação com diferentes tipos de solo e de drenagem.

Observa-se, nas imagens ERS-1, as unidades geomorfológicas visíveis nas imagens TM. Mas com o radar, as estruturas

são mais aparentes graças às pequenas diferenças de altitude, de vegetação e de umidade dos solos, que repercutem na resposta das ondas electromagnéticas; por exemplo, ressalta-se claramente a posição do chenier (2 m de altitude) situado entre o mangue (> 1 m) e o buritizal da crique Karouabo (1 m). Diferenciam-se igualmente os cheniers interiores, separados por áreas hidromórficas, assim como o sistema de barras pré-litorâneas. Enfim, observa-se uma diferença entre as savanas inundadas situadas atrás dos mangues costeiros e as savanas inundáveis, mais altas, situadas ao norte da borda do escudo cristalino (V. fig. 6).

### CONCLUSÃO

A integração de dados TM e SAR ERS1 mostra o potencial desta complementaridade para o estudo das áreas costeiras da Guiana, sobretudo tendo em vista que:

- por um lado, o sensoriamento remoto ótico, apesar de sua fiabilidade para a cartografia temática costeira graças à seus 7 canais, não pode assegurar a aquisição sistemática de imagens devido à nebulosidade.

- por outro lado, a interferência prejudica parcialmente a resolução das imagens radar. Entretanto este inconveniente é relativo face à possibilidade de aquisição frequente pelo SAR.

A contribuição das imagens SAR de ERS1 é incontestavelmente muito promissora. Graças à sua integração definiu-se, na área de Kourou, de forma mais clara e fina, os seguintes elementos:

- a posição atual e exata do contacto entre erosão e acumulação costeiras.

- o sistema e a hierarquia dos canais de maré.

- a extensão e as formas de implantação do mangue pioneiro.

- a velocidade média de colonização das lamas pelo mangue jovem (400 m por ano).

- a velocidade média de migração do banco lamoso em direção a oeste (1000 m/ano).

- uma velocidade média da erosão costeira (50 à 70 m/ano), bem mais lenta que a acreção. Este dado parece indicar que a

<sup>17</sup> Nome dado nas Guianas aos pequenos cursos de água (vem do inglês, "creek").

formação do banco de lama não resultaria exclusivamente da erosão em sua parte distal e da acumulação em sua parte frontal; outros sedimentos circulando mais ao largo poderiam, sob certas condições, contribuir para a sedimentação.

- as unidades geomorfológicas da planície podem ser relacionadas com as formações vegetais e com as áreas inundadas, inundáveis, ou não.

Em conclusão, a melhor compreensão dos problemas costeiros (processos morfogenéticos, definição da linha da costa em constante transformação, comportamento do mangue, quantificação multitemporal dos fenômenos, diferenciação da vegetação, redes de drenagem, estudo dos sistemas de cheniers, etc...) supõe necessariamente - e cada vez mais - a utilização e a integração das imagens dos captôres passivos e ativos.

Como complemento aos primeiros resultados expostos pensamos que as próximas aquisições SAR referentes à linha da costa da Guiana francesa devem ser feitas durante a maré baixa pelo menos duas vezes por ano, periodicidade necessária para o monitoramento das transformações morfosedimentárias do litoral e do seu impacto na zona sub-costeira. Medidas freqüentes de acompanhamento no solo, em parte simultâneas com as aquisições, fornecerão as "verdades-terreno" imprescindíveis para a comparação dos dados obtidos.

#### **Agradecimentos**

Apresentamos nossos agradecimentos à Direção do Centre ORSTOM de Caiena que colocou à nossa disposição o apóio logístico indispensável (dados e material) dos laboratórios de Informática e de Sensoriamento Remoto. Queremos igualmente agradecer aos colegas e amigos Jean Paul RUDANT (Laboratório de Geologia Estrutural e Sensoriamento Remoto Universidade Pierre e Marie Curie Paris), Marc LOINTIER (Laboratório de Hidrologia ORSTOM Montpellier) e Rémy CHUCHLA (Laboratório de Informática ORSTOM Caiena) pela colaboração e pelo apóio dado ao trabalho.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- CHARRON C., LOINTIER M., PROST M.T. & RUDANT J.P., 1990** - Etude du littoral et des estuaires guyanais utilisant l'imagerie SPOT et LANDSAT. In, "Evolution des littoraux des Guyanes et de la zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire". Textes sélectionnés du symposium international PICG 274 : ORSTOM, réunis, édités et présentés par M.T.Prost, avec la collaboration de C. Charron. N° spécial de la série "Colloques et Séminaires" : 61-72. ORSTOM . Paris. Novembre 1990.
- COLIN C. & B. BOURLES, 1990** - Western Bouandary Currents in front of French Guiana. In, "Evolution des littoraux des Guyanes et de la zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire". Textes sélectionnés du symposium international PICG 274:ORSTOM, réunis, édités et présentés par M.T.Prost, avec la collaboration de C. Charron. N° spécial de la série "Colloques et Séminaires" : 73-92. ORSTOM . Paris. Novembre 1990.
- CURTIN T. B., 1986** - Physical observations in the plume region of the Amazon River during peak discharge. *Continental Shelf Research*, vol 6, n°1/2 : 31-51 U.K. / In, Nittrouer & Demaster Ed., 1987 : 31-51.
- CURTIS T.B. & LEHECKIS R.V., 1986** - Physical observations in the plume region of the Amazon River during peak discharge. *Continental Shelf Research*, vol 6, n°1/2 : 31-51 U.K. / In, Nittrouer & Demaster Ed., 1987 : 31-51.
- DENNIS N. GRASSO , 1993** - Applications of the IHS color transformation for 1:24,000-scale geologic mapper : a low cost Spot alternative : *Photogrammetric Engeneering & Remote Sensing*, vol. 59, N° 1, January 1993, pp. 73-80.
- DUBOIS J.M. & LAFRANCE P., 1989** - Télédétection en francophonie : bilans régionaux et thématiques : *Journées scientifique de Sherbrooke* 10-12 octobre 1988 Sherbrookes .

- EISMA D., 1988** - Dispersal of Amazon supplied particulate matter. *Abstracts of the Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System: River and Ocean*. AGU. Charleston. Wild Dunes. USA.
- FIGUEREDO A. & ALLISON M., 1991** - Amazon Discharge Data. *AMASSEDS Newsletter* 91-1 e 91-2. Mars- Juin 1991.
- FRANZINELLI E. & POTTER P.E., 1983** - Petrology, chemistry and texture of modern river sands, Amazon River system. *Journal of Geology*, 91: 23-39. USA.
- GIBBS R.J., 1967** - The geochemistry of the Amazon River system. Part I : the factors that control the salinity, the composition and concentration of the suspended solids. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 78: 1203-1232. USA.
- LOINTIER M., PROST M.T., CHARRON C., RUDANT J.P., DEFFONTAINE B., RAYMOND D., CAUTRU J.P. & DEROIN J.P., (comunicação pessoal)** - Apport des données Sar Ers-1 dans l'environnement côtier tropical guyanais. In , *colloque " De l'optique au radar : applications de SPOT/ERS"*. Organisé par le Centre National d'Etude Spatiale et l'ESA (Agence Spatiale Européenne). Paris. Mai 10-13, 1993
- MULLER KARGER F.E. & FISCHER T.R., 1988** - Seasonal Dispersion of the Amazon River Discharge in the Tropical Atlantic. *Abstracts of the Chapman Conference on the fate of particulates and dissolved components within the Amazon Dispersal System : River and Ocean*. Nittrouer 1 DeMaster Ed. Charleston. Wild Dunes. USA.
- MULLER KARGER F.E., McCLAIN C.R. & RICHARDSON P.L., 1988** - The dispersal of the Amazon water. *Nature*, vol. 333, n° 6168 : 55-59. May 1988. USA.
- NITTROUER C. & DeMASTER D., 1987** - Sedimentary processes on the Amazon Continental Shelf. Ed. Nittrouer & DeMaster. Pergamon Press. New York. 379 pp.
- PROST M.T. & CHARRON C., (no prelo)** - Modern effect of the amazon dispersal system on the multitemporal variability of the frenh Guiana coast by Remote Sensing imagery : Optical and Radar (ERS-1). *Simpósio Inter. sôbre o Quaternario da Amazônia*. Manaus. Amazonas. Novembre 1992. In, volume dos resumos.
- PROST M.T., 1989** - Coastal dynamics and cheniers sands in French Guiana, *Marine Geology*, 90 (1989) 259-267 Elsevier Sc. Publ. B.V.
- PROST M.T., 1990** - Les côtes des Guyanes. *Rapport ORSTOM. Programme Environnement côtier. Série: Géomorphologie-Sédimentologie*. Mai 1990. 213 pp. 20 documents de télédétection. 15 tabl., 44 fig. 51 photos.
- PROST, M.T. 1992** - Sédimentation côtière et formation de cheniers en Guyane : la zone de Cayenne. In, *Evolution des littoraux des Guyanes et de la zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire* : 380-397. Coll. ORSTOM " Colloques et Séminaire", n° spécial. 578 pp. Ed. ORSTOM, novembre 1992.
- RUDANT J.P., CAUTRU J.P., LOINTIER M. EN COLLABORATION AVEC CHARRON C., DECHAMBRE M. DEFFONTAINE B., DEROIN J.P., PROST M.T., RAYMOND D., VANDERHAEGHE O., 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 November 1992. Cannes. France.