

**INFORMATIONS QUANTITATIVES ET SEMI-QUANTITATIVES DE NATURE
GÉOPHYSIQUE EXTRAITES DE L'ANALYSE DES IMAGES ROS
SATELLITAIRES ERS1 ET JERS1
ET UTILISÉES POUR LA CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE
EN CONTEXTE TROPICAL HUMIDE.**

Rudant J.P. (1), Baltzer F. (2), Hoff M. (3), Lointier M. (4), Maitre H.(5)

- 1 - Université Pierre et Marie Curie, Dépt. de Géotectonique, Tour 26, 4 place Jussieu, Paris
Tél : 33 (1) 44 27 50 87, Fax : 33 (1) 44 27 50 85, Email : jpr@lgs.jussieu.fr
- 2 - Université Paris XI, Laboratoire de Pétrologie Sédimentaire, Bât 504, 91000 Orsay
- 3 - Orstom et Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Botanique Tropicale,
12 rue Cuvier, 75005 Paris
- 4 - Orstom, Laboratoire d'Hydrologie, 911, av. Agropolis, BP 5045, 34032 Montpellier
- 5- Laboratoire Images, Télécom Paris, 46 rue Barrault

RÉSUMÉ: Cette communication a pour but de présenter les informations quantitatives et semi-quantitatives que nous avons pu extraire en utilisant simultanément les données images des RSO satellitaires en contexte tropical humide. Les techniques utilisées sont automatiques, semi-automatiques où de photointerprétation.

Nous passerons successivement en revue les thématiques suivantes: dynamique littorale, hydrologie et géomorphologie. Les exemples traités concernent la Guyane et l'embouchure de l'Amazone et nous limitons notre approche aux données opérationnelles actuelles ERS1 et JERS1, car celles ci permettent d'envisager une exploitation commode sur d'autres sites tropicaux.

1- INTRODUCTION

Cette communication présente une synthèse des approches quantitatives et semi-quantitatives effectuées grâce aux données ERS1 (bande C-VV, incidence moyenne 23°) et JERS1 (bande L-HH, incidence moyenne 35°) en Guyane Française et à l'embouchure de l'Amazone.

Les paramètres retenus sont soit de nature géométrique (Surface, déplacement du trait de côte ..), soit correspondent à des estimations ou classifications plus sommaires (ordres de grandeur de rugosités, présence ou non d'une forêt inondée, ...).

Une présentation du contexte géographique du site d'étude en rapport avec l'utilisation des imageries ERS1 et JERS1 pour les applications thématiques traitées peuvent être trouvées dans plusieurs des publications citées en bibliographie. (Balt 93, Dero 93, Loin 92, Ruda 94 et 95).

2-DYNAMIQUE LITTORALE

L'apport des images concerne les paramètres géométriques suivants :

-Surfaces des aires de sédimentation récentes (vase molle et lisse) à marée basse (fig1)

Les aires correspondantes apparaissent en noir sur les deux types d'images utilisées (ERS1, JERS1) car la rugosité des surfaces considérées est extrêmement faible. Dans le cas de ERS1, les rétrodiffusions de l'océan et de la plaine littorale sont en général nettement plus élevées que celle de la vase lisse et une segmentation des zones correspondantes est possible sur un simple critère



radiométrique. Dans certains cas exceptionnels, par mer calme, la différenciation vase-océan devi plus difficile à l'extrémité de la trace (incidence 26°).

L'utilisation des images JERS1 ne permet pas cette approche en raison d'une longueur d'onde d'une incidence plus élevées: le contraste entre vase et océan devient alors insuffisant pour être per

-Limites bathymétriques vues par ERS1

La répétition des acquisitions permet d'obtenir les limites bathymétriques vase lisse-océ correspondant aux différents niveaux de marée existant les jours d'acquisition (Ruda 94). L'instabilité des bancs de vase limite la généralité des conclusions lorsque les dates de prise de v sont trop distantes. L'apport de ce type de relevé serait encore plus intéressant si une scène avait être acquise à chaque passage du satellite; la variabilité des niveaux de marée aurait alors permis u étude continue de l'évolution des bancs et l'estimation plus précise de certains paramètres quantitat associés à la sédimentation (volumes de sédiments déposés, pente des bancs ..).

Deux images acquises à marée basse à 18 mois d'intervalle montrent des évolutions significative érosion au voisinage de Kourou et accrétion vaseuse au voisinage de Tonate (Ruda 95).

-Détection du trait de côte sur les images ERS1

Les techniques de segmentation markovienne hiérarchique permettent de relever automatiquement limite existant entre palétuviers adultes et arbres tombés au sol (Desc 95). La précision du tracé e suffisante pour envisager de pouvoir suivre quantitativement le phénomène d'érosion qui affecte mangrove sur certains secteurs. Le trait détecté est peu sensible au niveau de la marée car il s'ag d'une bande d'arbres morts couchés au sol qui se trouve à la limite d'un rideau d'arbres verticau Par contre, une mer forte à marée haute interdirait l'extraction de cette information car la limit recherchée fusionnerait avec l'effet des déferlantes.

-Différenciation des mangroves selon leur niveau de dégradation (JERS1).

Alors que ERS1 ne permet en général pas de différencier les mangroves adultes en fonction de leu degré de dépérissement (sauf dans les cas extrêmes), l'imagerie JERS permet de telle différenciations car le niveau de biomasse au delà duquel intervient la saturation du signe rétrodiffusé est beaucoup plus élevé en bande L qu'en bande C (Ruda 95).

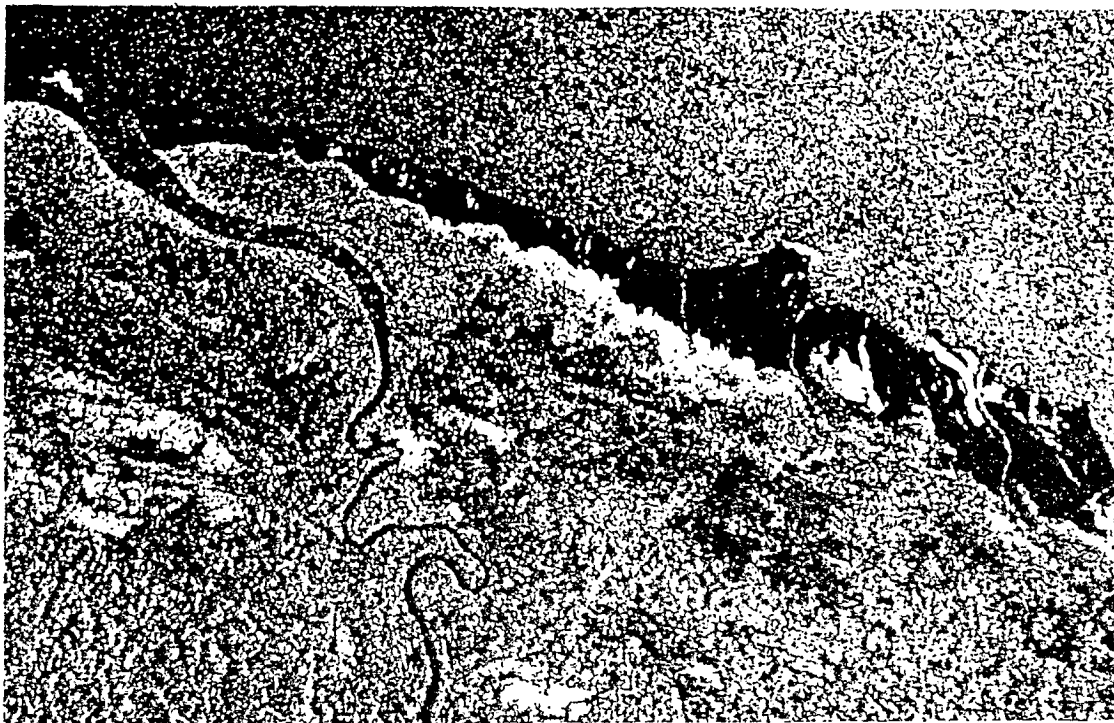


fig 1-Evolutions côtières : la vase molle et lisse est caractérisée par une radiométrie très faible et apparaît ici sous forme d'une longue bande à la limite entre l'océan au Nord et la laine littorale. Des chenaux de marée dont les rives sont colonisées par de la jeune mangrove et correspondent aux liserés clairs traversant transversalement le banc.

-La cartographie des zones d'accrétion à l'embouchure de l'Amazone

Vus par ERS1, les bancs de sable peuvent se comporter soit comme des surfaces lisses (radiométrie très faible) soit comme des surfaces rugueuses (radiométrie élevée)

Vus par JERS1, les mêmes bancs de sable sont caractérisés par une faible radiométrie qui ne permet pas de les différencier du domaine maritime

La conjonction pour ERS1 d'une faible incidence de faisceau (en moyenne 23°) et d'une longueur d'onde de 5,6 cm rend la radiométrie image très sensible aux variations de rugosité des surfaces sableuses et à leur orientation par rapport à la direction de visée. A marée basse, au milieu des plages de sable fin, des zones de « *ripple marks* » sont ainsi aisément délimitables avec des contrastes radiométriques de plus de 15 dB par rapport à leur environnement. Lors de l'interprétation des images, ce très violent contraste pourrait laisser croire qu'il s'agit de zones rocheuses et la synergie avec JERS1 permet ici de lever clairement les ambiguïtés.

-La spatialisation de l'évolution géochimique de la sédimentation littorale (Balt 93)

Les images ERS1 peuvent être utilisées pour spatialiser les aires de développement homogène de végétation dans les zones de vasières intertidales et subtidales ainsi que dans les marais saumâtres d'arrière mangrove. Des mesures in situ (Ph, Salinité, teneur en eau, Potentiel Redox) sur les sédiments sont effectuées entre la surface et 2 m de profondeur grâce à des carottages effectués sur des transects perpendiculaires à la côte. Ces mesures permettent de corréler les types de végétation rencontrés et les propriétés physico-chimiques des sédiments sous jacents.

2- HYDROLOGIE

- Elaboration de diagrammes fonctionnels de petits bassins versants côtiers (ERS1)

L'exemple traité concerne la zone de la crique Karouabo (à 20 km à l'ouest de la ville de Kourou).

Les images ERS1 acquises en mai et juin 1992, c'est à dire en plein coeur de la saison des pluies, présentent un intérêt exceptionnel car elles constituent les premières données images spatiales de haute résolution exploitables en une telle saison.

Une synthèse diachronique de trois scènes ERS1 acquises à trois semaines d'intervalle grâce au chevauchement d'orbites parallèles a permis une spatialisation des informations, relativement au rôle que chaque milieu peut jouer vis à vis du stockage de l'eau et de sa circulation (Loïe 94).

Une comparaison avec JERS1 montre que pour les deux types de données, la radiométrie très basse des surfaces d'eau libre (résultat général pour JERS1, entaché d'exception pour ERS1 car une faible agitation superficielle peut entraîner une élévation importante de la radiométrie) permet de les différencier aisément et de mesurer leur surface. Pour les surfaces inondées et végétalisées, marais ou savanes, la radiométrie en bande C de ERS1 devient très sensible à l'importance du couvert et les images recèlent de ce fait une information particulièrement riche mais difficile à interpréter. L'image JERS1 discrimine par contre beaucoup plus nettement les savanes et marais, grâce à leur faible radiométrie, du reste des formations littorales ainsi que les forêts inondées. Cette mise en évidence des forêts inondées ne peut se faire que si le toit de la canopée est éloigné de moins de 14 mètres de la surface d'eau libre. C'est le cas pour la partie aval de la crique Karouabo où les îlots de forêt secondaire et les marais à palmier bêche sont caractérisés sur JERS1 par une rétrodiffusion très intense.

La synergie des deux longueurs d'onde s'avère donc élevée pour les applications de type cartographie végétale lorsqu'on se trouve en présence d'espèces de structures et de biomasses variées

-Estimation de surfaces de forêts inondées à la suite de la mise en eau du barrage de Petit Saut grâce à JERS1

Lors de la mise en eau du barrage de Petit saut sur le Sinnamary, les végétations des berges situées en amont du barrage se sont trouvées être partiellement inondées. La forêt nipicole au sens strict, forêt de terre ferme se caractérise par un fort relief à proximité de la rivière et n'est affectée par la montée des eaux que sur une largeur très limitée (de 20 à 30m selon les pentes). Les forêts marécageuses,

toujours inondées et les forêts sur flat (surélévation métrique par rapport au niveau moyen du fleuve) sont par contre beaucoup plus concernées et l'inondation peut s'étendre sur plusieurs kilomètres dans la direction transversale au cours d'eau.

Nous avons pu disposer d'une image JERS1 acquise le 16 mars 1994, soit environ 2 mois après le début de la mise en eau, date pour laquelle le niveau absolu des eaux atteignait 20,63 mètres et où la végétation partiellement immergée était encore peu altérée.

L'analyse de l'image JERS1 (**fig 2a**) et la connaissance de quelques points cotés permet d'aborder quantitativement le problème de la dispersion des crues par une meilleure connaissance de la topographie des bas fonds.

En effet:

- les zones inondées repérables à proximité de la retenue sont caractérisées par une radiométrie nettement supérieure à celle de la forêt dense avoisinante (effet de réflexion diédrique eau-troncs et branchages) et la discontinuité correspondante peut être suivie aisément le long des thalwegs
- pour les zones inondées situées le plus au Sud, à l'écart de la retenue, une variation continue de la radiométrie peut être notée à proximité du cours principal,
- l'utilisation de quelques points cotés situés le long du fleuve pour lesquels la hauteur des arbres est connue permet d'étalonner ce dispositif expérimental original et montre que l'inondation est visible lorsque la lame d'eau atteint une épaisseur de 6 mètres pour les forêts de bas fonds (ce qui signifie que nous percevons un niveau apparent de 14,6m au lieu du niveau réel de 20,6m). Ce résultat peut être généralisé en tenant compte de la hauteur réelle des arbres existant sur le site considéré. Si nous prenons 20 m comme hauteur de la canopée pour les forêts à proximité du lit mineur, il en résulte que l'inondation peut être vue si la distance eau libre - canopée est inférieure à 14 mètres. En conséquence, la surface apparente de la retenue est donc inférieure à la surface réelle (**Disa 95**).

Ces éléments quantitatifs permettent d'interpréter la **fig 2a**.

A proximité de la retenue, la totalité des zones de bas fonds marécageuses et sur flat sont inondées et la discontinuité perçue sur les images correspond à la limite bas fond-terre ferme caractérisée par une variation brusque de pente, laquelle fait passer rapidement la distance eau libre - canopée d'une valeur inférieure à 14 m (correspondant à une zone inondée visible sur l'image JERS1) à une valeur supérieure (pour laquelle les troncs peuvent être partiellement immergés-mais d'une manière non visible sur l'image-ou totalement exondés).

Plus au Sud, le long des bas fonds, la limite perceptible sur l'image se perd progressivement, ce qui correspond à une évolution lente du niveau topographique.

Nous pouvons à partir de ces éléments prévoir dans les grandes lignes les limites que l'on obtiendrait pour un niveau de retenue supérieur de quelques mètres. La limite perçue sur l'image se déplacerait d'une manière inversement proportionnelle à la pente, c'est à dire imperceptiblement lorsque la retenue vient buter sur la terre ferme et de plusieurs km pour les zones de bas fonds situées plus au Sud. Ce raisonnement ne prend pas en compte les modifications d'état du couvert forestier qui vont nécessairement résulter d'une immersion de longue durée de tout ou partie de la végétation. Il est à peu près certain cependant qu'en bande L, la dégradation de l'état des feuillages devrait rapidement porter la profondeur de pénétration des 14 mètres de mars 94 à 25 ou 30 mètres et ainsi rendre "visible" la totalité de la surface libre de la retenue.

Cette interprétation de l'image JERS1 peut être rapprochée des observations effectuées indépendamment sur les images ERS1 ou d'une part les zones de bas fonds peuvent être aisément cartographiées (voir plus loin §3 **fig 4a-b**), et d'autre part les limites d'une retenue de barrage plus ancienne, celle de Brokopondo au Surinam, peuvent être tracées.

3 GEOMORPHOLOGIE QUANTITATIVE ET GEOLOGIE

L'excellente perception des reliefs sur les images ERS1 de la Guyane résulte de plusieurs facteurs :

- la faible incidence moyenne du faisceau (23° au centre de la scène) est supérieure aux pentes que l'on rencontre couramment sur les reliefs de la région, ce qui évite les rabattements,
- l'existence d'un couvert forestier dense et très homogène, rend en première approximation le coefficient de rétrodiffusion indépendant de l'incidence locale,



fig 2 -Le barrage de Petit Saut vu par JERS1 en Mars 94.
La surface de la retenue est visible à condition que la distance
eau libre - canopée soit inférieure à 14 mètres.

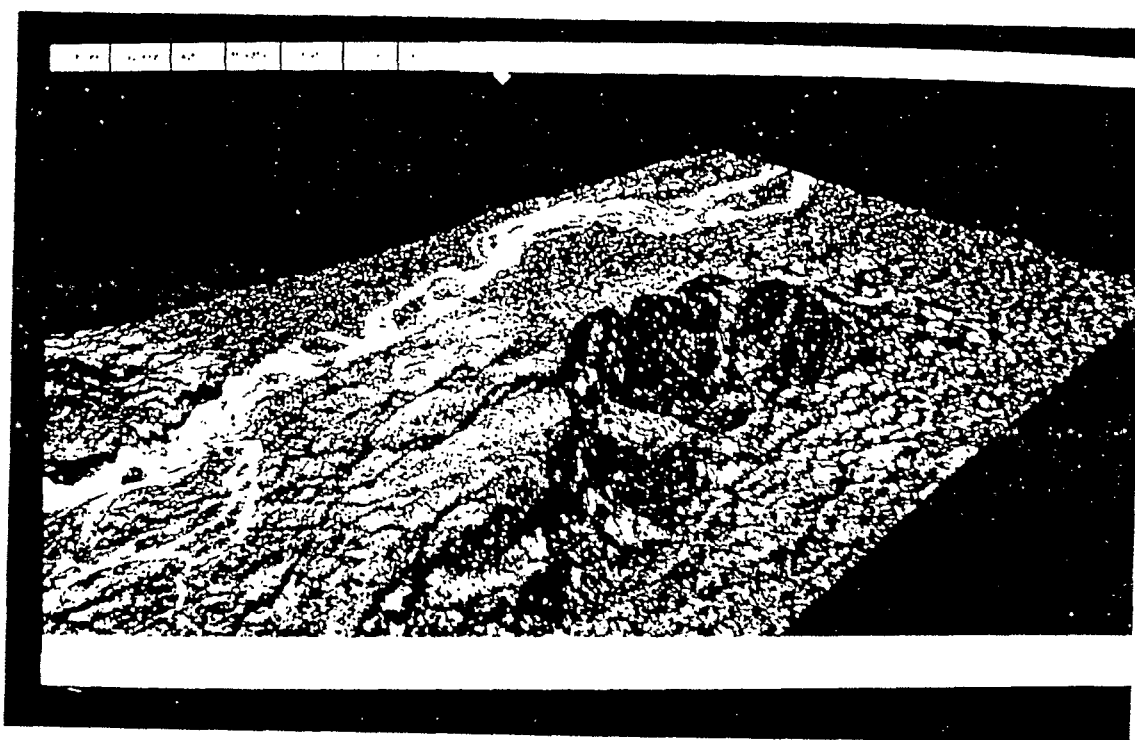
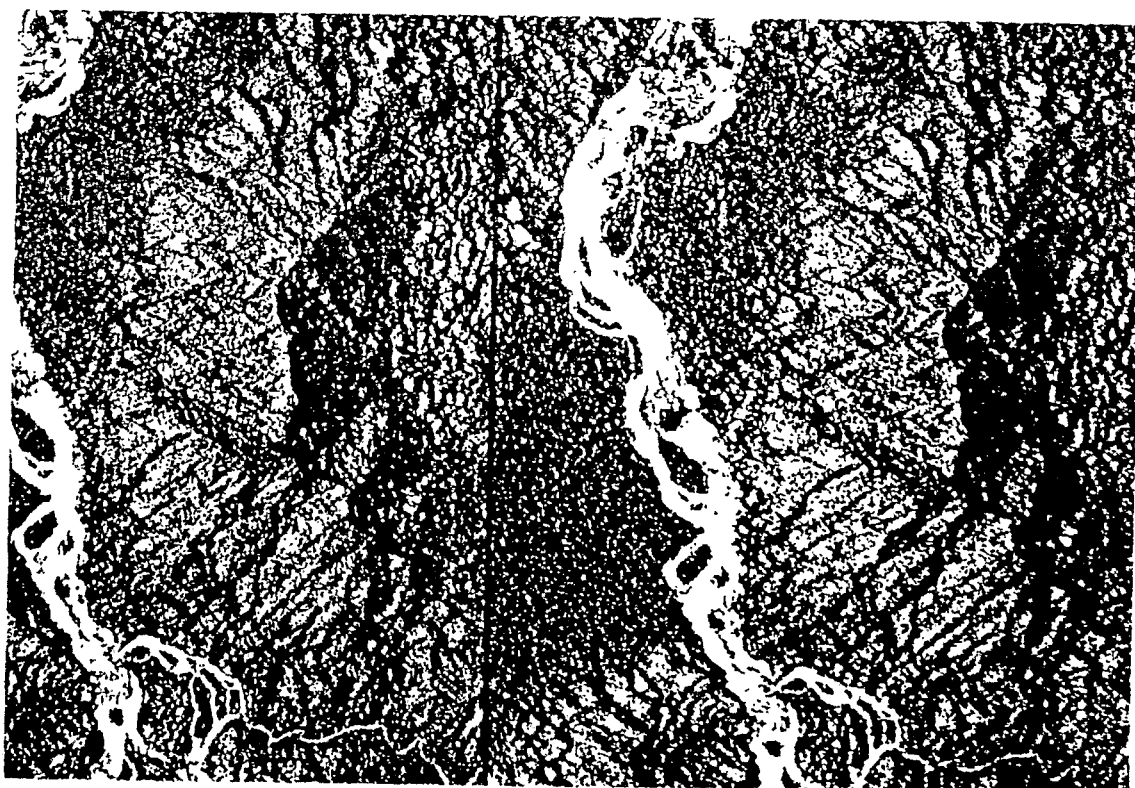


fig 3-Pseudorelief établi grâce à la technique radargrammétrique sur Montagne Française à l'Ouest près du Maroni (Travaux de L.Marinelli , Géoimage)

- la longueur d'onde utilisée pour ERS1 est faible (6 cm) et la pénétration des ondes dans les feuillages limitée à quelques mètres; l'image restituée est alors celle du toit de la canopée

Radaclinométrie, radargrammétrie (Tono 93)

La technique de radarclinométrie, qui se fonde sur l'analyse des variations radiométriques en fonction de l'incidence locale (donc de la pente et de l'azimut des flancs de relief considérés) fournit, appliquée sur les données ERS1 en Guyane, des estimations de dénivelées avec une précision de l'ordre de 10 %.

La technique radargrammétrique met à profit les différences d'angles de visée pour les zones de recouvrement obtenues à partir d'orbites adjacentes et déduit les altitudes des parallaxes observées. Des tests effectués grâce à cette technique (**fig3**) montrent que le couvert forestier n'est pas un obstacle à son application pour un couple d'images ERS1 correspondant à une zone de recouvrement orbital.

Des tests sont actuellement en cours pour évaluer les possibilités offertes par des couples mixtes ERS1-JERS1. La différence de longueur d'onde ne devrait pas être un obstacle majeur à l'application de la méthode car en zone de relief couvert de forêt dense, les images sont principalement modulées par la morphologie.

Les tests prévus par la technique interférométrique, quant à eux, n'ont pu être effectués car les répétitions d'orbites disponibles présentaient des distances inter-traces trop importantes pour donner des conditions expérimentales satisfaisantes.

Repérage des zones basses

Les zones basses du lit majeur des fleuves et de leurs principaux affluents sont caractérisées sur les images ERS1 par une texture fine due au fait que le couvert forestier présente, (dès que l'on s'écarte quelque peu du cours d'eau proprement dit), un état homogène d'épaisseur très lentement variable. Cette texture lisse en l'absence de signature géomorphologique permet au photointerprète d'isoler aisément le lit majeur (**fig 4a**)

La partie isolée correspond soit à des forêts marécageuses, constamment inondées, soit à des forêts sur flat, inondées seulement en saison humide. Globalement, il s'agit d'aires de dispersion des crues. (**Hoff 96**) fournit une cartographie des forêts inondables entre le barrage de Petit saut et Saut Bérard en aval que nous reprenons **fig 4b**

Cette capacité de l'imagerie micro-ondes à permettre la cartographie des zones de bas fonds et des zones de forêts inondées (sous certaines conditions, comme nous l'avons vu au §2) représentent une qualité originale dans des contextes climatiques où l'imagerie optique est souvent inopérante.

Cartographie morphostructurale

L'aptitude de l'imagerie ERS1 à restituer, malgré les distorsions géométriques, une information géomorphologique extrêmement détaillée permet dans de nombreux cas de différencier les lithologies sur des critères texturaux. La **fig 5** qui présente un extrait d'image ERS1 au sud de Cayenne et la carte géologique correspondante est significative à cet égard. Les divers faciès d'érosion rencontrés dans la région dépendent de la lithologie des formations sous jacentes et induisent des signatures radar spécifiques.

Caractérisation fractale des cours d'eau et des reliefs (Pinc 95)

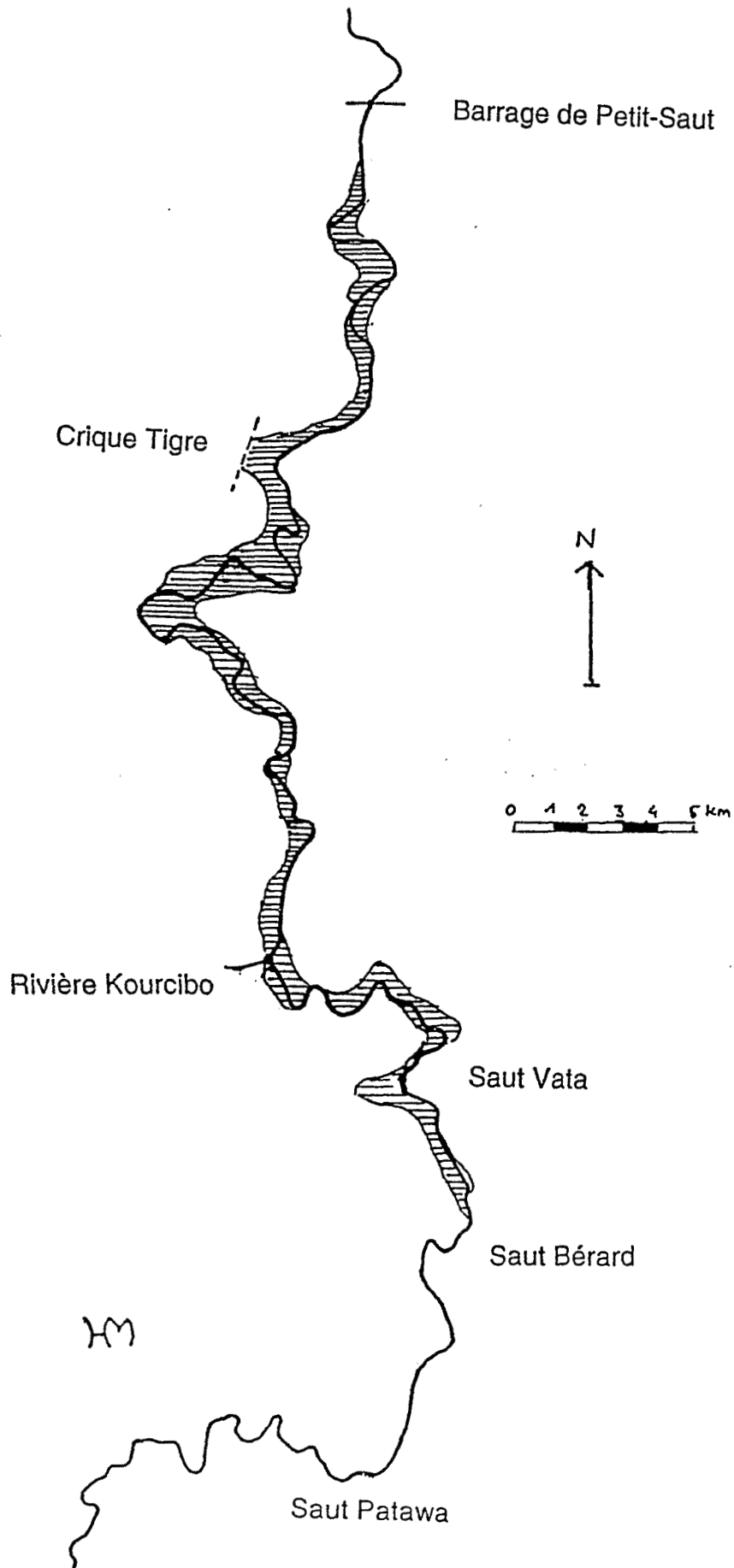
Les principaux cours d'eau peuvent être caractérisés par leurs dimensions fractales locales qui dépendent de la nature du substrat géologique. Un cours peu tourmenté fournit une valeur basse proche de 1,3 et l'existence de sauts majeure ce paramètre du fait de la dispersion du fleuve à la traversée des barres rocheuses; le coefficient peut alors atteindre des valeurs de l'ordre de 1.63

Le calcul de la dimension fractale de la courbe de niveau correspondant à la limite de la réserve d'eau du barrage de Brokopondo au Surinam (**fig5**) conduit à un schéma fractal remarquablement linéaire sur l'intervalle 10-1000 mètres, et qui correspond à une dimension de 1,82 très probablement caractéristique des reliefs de la région. Ce résultat pourra être vérifié lorsque les contours de la retenue du barrage de Petit Saut permettront le même type de mesure.

fig 4b- Cartographie des forêts inondables entre le barrage de Petit Saut et Saut Bérard d'après ERS1 (Hoff96)

Légende

Forêt inondable, marécageuses et pripris : hachuré



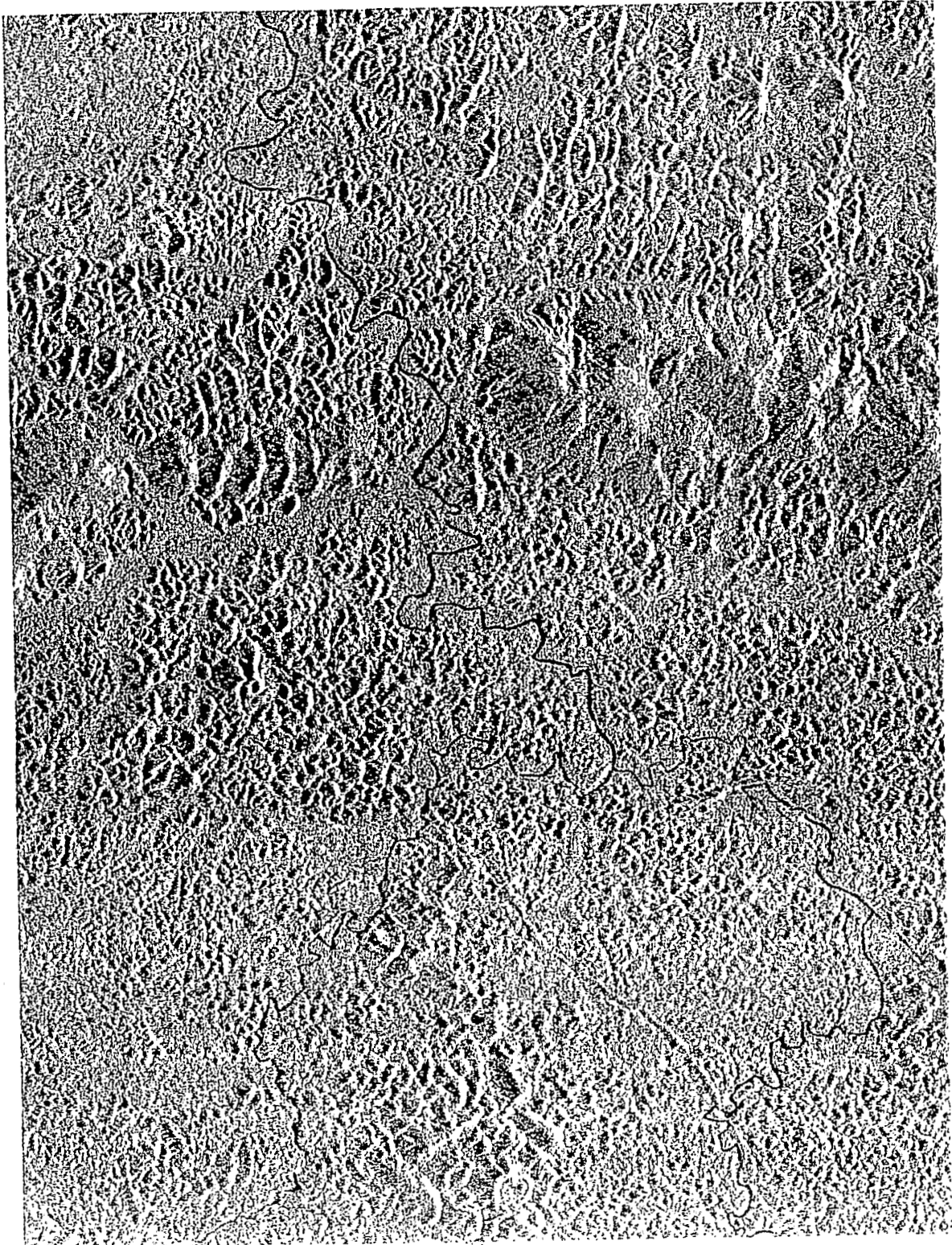
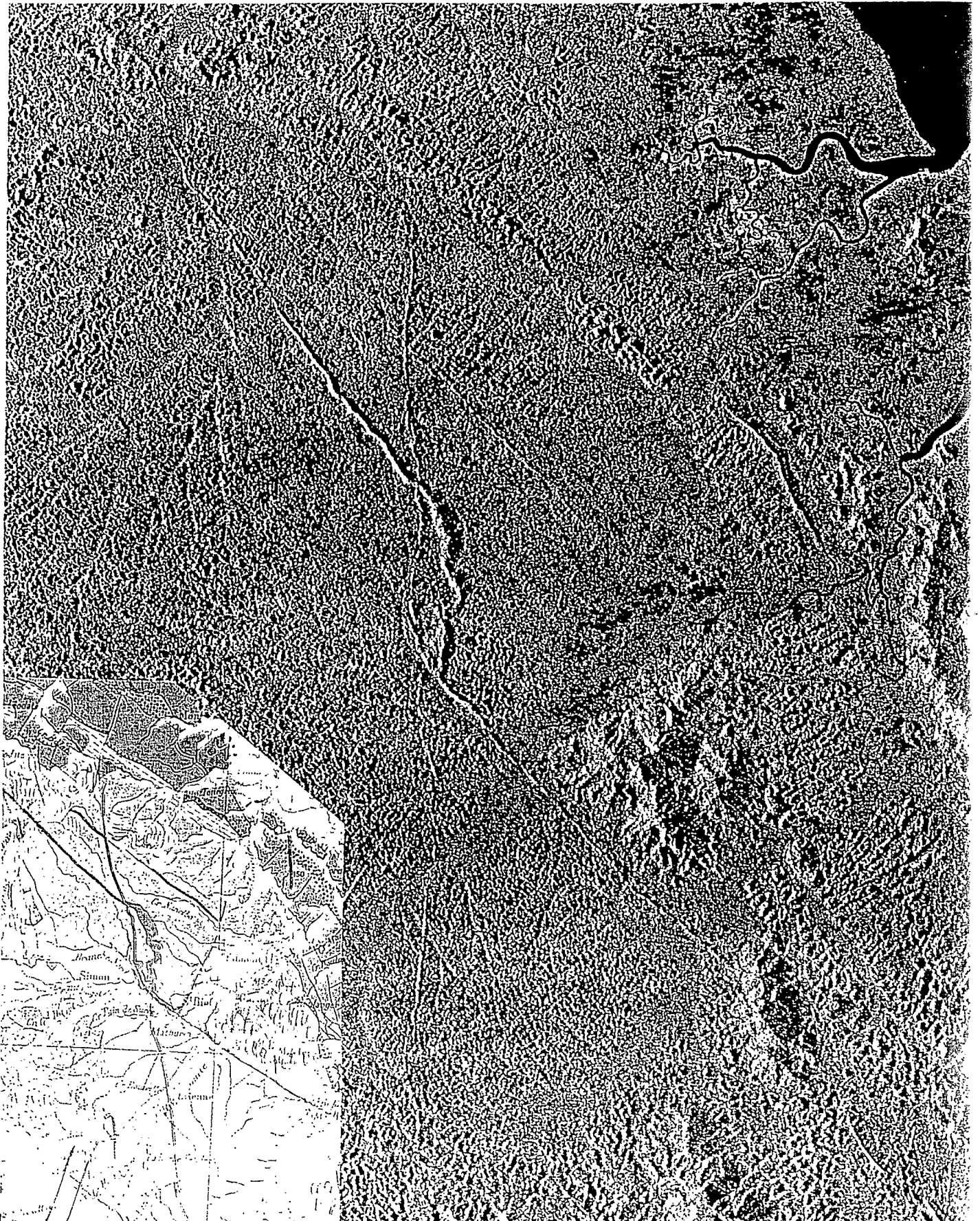


fig 4a- Image ERS1 de la région amont du barrage de Petit saut
Les forêts de bas fonds sont caractérisés par une texture fine et lisse

fig 5- Image ERS1 en mode RTM (incidence 35°), comparaison avec la carte géologique établie par Choubert en 1951 (Ed. BRGM). Les différents faciès d'érosion associés aux lithologies ont des signatures morphologiques qui permettent leur différenciation.



4-CONCLUSION

Dans les domaines thématiques envisagés dans cette note , dynamique littorale, hydrologie, géomorphologie, l'imagerie radar délivrée par les satellites opérationnels ERS1 et JERS1 nous a fourni en contexte tropical des informations quantitatives ou semi-quantitatives portant principalement sur des facteurs géométriques , extraction de limites , estimation de déplacements, surfaces ..Certains facteurs sont relatifs aux couverts végétaux (dans les marais par exemple) ou à la spatialisation de propriétés géochimiques de zones de sédimentation.

Ces informations sont encore en général aujourd'hui plus facilement extraites par photointerprétation que grâce à l'utilisation de techniques automatiques et il n'est pas évident que cette tendance puisse être renversée dans un proche avenir.

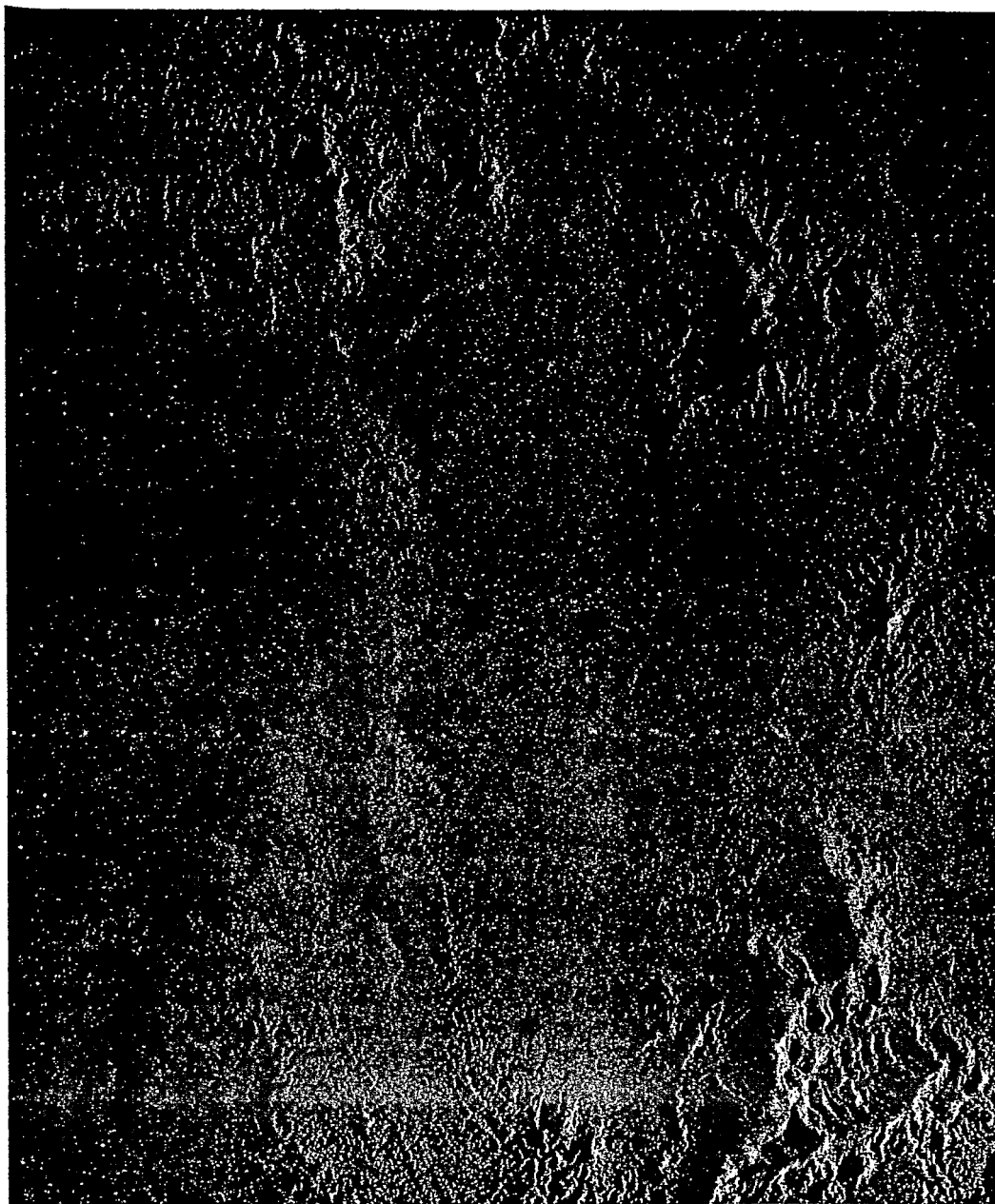


fig 6- Le barrage de Brokopondo au Surinam. La courbe topographique correspondant à la retenue possède une dimension fractale de 1,82 très probablement spécifique des reliefs de la région (Pinc 95)

Références:

Les Proceedings évoqués pour les Symposiums de Cannes et Hamburg ainsi que pour le Workshop SAREX sont des éditions ESA;

Proceedings Symposium ERS1 Cannes, France Nov 1992, ESA SP 354 (Ci après "Cannes")

Proceedings Symposium ERS1 Hamburg, Allemagne, Oct 1993, ESA SP 361 (Ci après "Hamburg")

Final Results Workshop SAREX 92, Paris, Déc 1993, ESA WPP 76 (Ci après "Paris")

Proceedings Workshop ESA Tolède, Juin 1994, ESA-SP365, (Ci après "Tolède").

- (Balt 93)** Baltzer F., Plaziat JC., Prost MT., Rudant JP., Dechambre M. (1993) Use of SAREX, ERS and Erasme data for a comparison between geochemical measurements on interstitial waters and vegetation distribution in equatorial littoral swamp sediments: an example from Marais Leblond, French Guiana. Workshop "Paris" pp 215 - 222.
- (Dero 93)** Deroin JP., Braux C., Cautru JP., Rudant JP., Toux L. (1993) ERS1 SAR: an aid for geological mapping and mineral exploration in rain forest areas. Symp. "Hamburg" pp 897-902.
- (Desc 95)** Descombes X., Moctezuma M., Maître H., Rudant J.P., Coastline detection by a Markovian segmentation on SAR images, Signal Processing, sous presse
- (Disa 95)** Disalvo Magali, Comparaison des images ERS1 et JERS1 sur le plan géométrique et radiométrique, Rapport de fin d'études d'ingénieur IGN, Stage à l' Université Pierre et Marie Curie, Juin 1995
- (Hoff 96)** Hoff M., Rudant J.P., Apport des images radar à l'étude des berges des fleuves tropicaux: cas du Sinnamary lors de la mise en eau du barrage de Petit Saut (Guyane Française), CRAS, soumis
- (Loin 93)** Lointier M., Rudant JP., Sabatier D., Prost MT., Nezry E, Degrandi G, Conway J, Sieber AJ. (1993) Contribution of ERS1 SAR data to hydrologic approach in tropical area: example in French Guyana. Symposium "Hamburg" pp 1267-1272.
- (Loin 94)** Lointier M. , Rudant J.P., (1994) - Contribution du SAR de ERS1 à l'analyse hydrologique en milieu tropical humide : résultats du programme ppF12 en Guyane. Journées Hydrologiques de l'Orstom. Montpellier. Orstom éd, sous presse.
- (Pinc 95)** Pinciroli M., Caractérisation fractale du réseau hydrographique en imagerie radar ERS1, projet de fin d'études, Laboratoire Images, Télécom Paris, Juin 95
- (Ruda 94)** Rudant J.P., Baltzer F., Deroin J.P., Lointier M., Maître H., Penicand C., Prost M.T., Sabatier D (1994).; Possibilités cartographiques offertes par ERS1 en contexte tropical humide, Exemples en Guyane Française, Apports spécifiques des séquences multitemporelles, Workshop "Tolède", pp 371-376.
- (Ruda 95)** Rudant J.P., Baltzer F. , Deroin J.P. , Lointier M., Maître H., Mougin E. , Pénicand C. , Prost M.T. , Apport des images satellitaires ERS1 et JERS1 dans le domaine de la cartographie générale et thématique en contexte tropical humide, Exemples en Guyane française et régions limitrophes, Journées de cartographie radar, Cannes Nov 94, Cahiers de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection, sous presse
- (Tono 93)** Tonon M., Rudant J.P., Sabatier D., Nezry E., Degrandi G., Sieber A. (1993) Relief Estimation in Tropical context (French Guiana) with SAR-ERS1 imagery. Symposium "Hamburg" pp 1261-1268.

DOCUMENTATION
MAISON DE LA TELEDETECTION
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER CEDEX 5

H2
CNE
0343

SYMPOSIUM INTERNATIONAL

**EXTRACTION DE PARAMETRES
BIO-GEOPHYSIQUES A PARTIR
DES DONNEES RSO POUR
LES APPLICATIONS TERRESTRES**

**RETRIEVAL OF BIO- AND
GEOPHYSICAL PARAMETERS
FROM SAR DATA
FOR LAND APPLICATIONS**



10 - 13 octobre 1995 - TOULOUSE - FRANCE

ACTES / PROCEEDINGS