

TRAITEMENT DE DONNEES SATELLITAIRES POUR LA CONNAISSANCE DE L'ENVIRONNEMENT EN MILIEU TROPICAL : APPLICATIONS EN GUYANE.

(Marc LOINTIER)

RESUME - Premier système de traitement d'images satellites installé dans la zone Antilles-Guyane, le laboratoire de télédétection du centre ORSTOM de Cayenne est exclusivement tourné vers les applications en milieu tropical, dans un espace régional défini par chaque discipline de recherche (botanique, sédimentologie, pédologie, hydrologie, etc.).

Après un rappel des caractéristiques de la machine, on présente l'apport de la donnée satellite aux études hydrologiques en zones d'estuaire et en rivière, qui font apparaître la nécessité de connaître la dynamique des bancs de vase se déplaçant d'est en ouest le long du littoral, conditionnant l'extension de la remontée saline vers l'amont. Enfin, une relation radiométrie/turbidité est testée à partir des données Landsat MSS, acquises en simultanéité avec des mesures de la qualité de l'eau.

INTRODUCTION

L'utilisation des données de télédétection aérospatiale pour la connaissance de l'environnement est un domaine qui a reçu une impulsion nouvelle ces deux dernières années, par la mise en orbite avec succès des satellites français SPOT. L'état de l'art en matière de traitement et d'interprétation des images s'est enrichi, depuis une quinzaine d'années, par l'exploitation des multiples informations obtenues avec les satellites LANDSAT, depuis leur lancement. La "banque de données radiométriques" que constitue l'image, ne prend réellement corps, aux yeux des diverses spécialités, qu'après une combinaison judicieuse des canaux et des traitements, dont l'aboutissement est la cartographie spécifique, répondant à un objectif précis. C'est donc devenu un "savoir faire", en relation avec le spécialiste de terrain, que l'évolution des matériels et des logiciels ont rendu opérationnel et perfectible. Ce processus a permis le rapprochement de "l'homme de terrain" avec la vision satellitaire, ce qui assure une plus-value certaine, en regard des démarches habituelles.

Pour la Guyane, riche en spécialistes de terrain, cet outil présente un intérêt évident, connaissant les difficultés d'exploration de certaines zones peu cartographiées, et pour réaliser les études nécessaires à estimer l'impact de nouveaux aménagements sur l'environnement.

Ce faisceau de constats a donné lieu à une série d'actions, engagées dès 1986, auprès de l'Etat et de la Région Guyane. Ces démarches ont été concrétisées par l'implantation, en janvier 88, d'un système de traitement d'image numérique à Cayenne. Celui-ci remplit les quatre fonctions essentielles d'un tel système : lecture-stockage des données radiométriques, visualisation, traitement numérique et production de documents de travail et de documents élaborés.

1. ASPECTS TECHNIQUES DU LABORATOIRE DE TRAITEMENT D'IMAGES

Depuis 1988, le système fonctionne avec l'appui des structures et des moyens de l'ORSTOM. Le matériel est un Péricolor 1500, d'origine MS21, qui possède un éventail de logiciels spécifiques au traitement des données de télédétection. Les raisons qui ont guidé ce choix ont largement tenu compte de l'éloignement du site de la métropole, de l'aspect opérationnel de la machine munie de ses périphériques et des utilisations pédagogiques possibles (stages, accueil de chercheurs étrangers, etc.).

1.1. Description du matériel et caractéristiques techniques

L'unité centrale est un PERICOLOR 1500, ordinateur muni des processeurs suivants :

- 16 bits programmable ;
- arithmétique 32 bits flottants ;
- parallèle 128 bits programmable ;
- matriciel 32 bits flottants.

Il possède 6 Mégaoctets de mémoire vive, et un disque dur de 20 Mégaoctets. Un lecteur de disquettes permet l'échange d'information avec l'extérieur. Le clavier est muni d'une "boule roulante", et le moniteur couleur permet la restitution en haute résolution d'une surface de 512 x 512 pixels.

Les périphériques sont constitués :

- d'une streamer ;
- d'un dérouleur de bandes 1600/6250 BPI ;
- d'une tablette graphique 46 x 30 cm. ;
- d'une imprimante noir et blanc ;
- d'une imprimante couleur à jet d'encre, ACT ;
- d'une carte d'extension pour couplage avec un autre ordinateur

(SUN 4).

Les logiciels comprennent :

- un logiciel de base pour le traitement d'image ;
- un logiciel spécifique Télédétection (Géopéricolor).

1.2. Principales fonctions du logiciel "télé-détection"

Les fonctions de visualisation permettent l'affichage multicanaux, panoramique (sur 16 plans 512*512), composition colorée rapide, opérateur en temps réel sur les quatre opérations arithmétiques, histogrammes, profils, tables de fonction vidéo (LUT), optimisation locale de densité, visualisation d'images 16 bits, animation sur 48 plans.

Les traitements possibles sont :

- des anamorphoses géométriques (angulaires ou par amers) ;
- le filtrage linéaire et l'utilisation des filtres spéciaux (Kirsch, Sobel, Robert, Gradient) ;
- l'élaboration d'index de végétation et brillance ;
- la fusion d'images et masques ;
- la combinaison linéaire de canaux ;
- la conversion RVB en Intensité Teinte et Saturation (ITS) ;
- la corrélation d'images ;
- l'analyse en composantes principales ;
- la classification par minimum de distance ;
- la classification par maximum de vraisemblance ;
- l'apprentissage sur parcelles test ;
- la classification par découpage d'un histogramme bidimensionnel.

1.3. Les données disponibles en 89

Trois scènes Landsat d'octobre 1976 et deux scènes SPOT d'octobre 1986 ont été acquises depuis la mise en oeuvre de l'atelier. Il s'agit des scènes suivantes repérées selon la grille de référence :

- LANDSAT-244 056 (région Cayenne-Iracoubo), du 30 Octobre 1976 ;
- LANDSAT-245 056 (centrée sur estuaire du Maroni), du 31 Octobre 1976 ;
- LANDSAT-245 057 (centrée sur Maripasoula), du 31 Octobre 1976.

Pour ces images, les caractéristiques communes sont les suivantes : élévation solaire de 50 degrés, azimuth de 120 degrés, très peu nuageuse et de bonne définition pour la qualité, capteur MSS et résolution de 80 mètres, prise de vue à 09h02 (heure locale).

- SPOT-691 340 (région Cayenne-Kourou), du 20 Octobre 1986.
- SPOT-689 339 (région Sinnamary), du 20 Octobre 1986.

Ces deux scènes ont été respectivement acquises par HRV2 et HRV1, en même temps, avec un dépointage du capteur de 26 degrés. L'heure locale de prise de vue est 11h16.

Pour ces dernières images, les caractéristiques communes sont les suivantes : mode XS, canaux 1, 2 et 3, résolution 20 mètres, couvert nuageux important sur les zones de forêt, pour la qualité. L'heure de la basse mer, aux îles du Salut, était à 12h10.

Une collaboration avec les organismes de recherche (BRGM, ENGREF, CNES) et d'aménagements (EDF, DAF, DDE) permet de constituer une banque de données "images", sur support magnétique, qui s'étoffe à chaque projet nouveau. Ainsi, trois nouvelles scènes Landsat Thematic Mapper (TM), d'une résolution de trente mètres sur six canaux, ont été acquises récemment.

1.4. Consultation catalogue

Plusieurs consultations des images existantes ont été demandées au cours de l'année, notamment auprès de l'INPE au Brésil, gérant les demandes concernant LANDSAT TM sur l'Amérique Latine.

Pour SPOT, les consultations catalogue sont facilitées par l'accès via le réseau TRANSPAC, au serveur BRAMS de Toulouse. Cette possibilité nous a permis de suivre l'évolution des scènes acquises pendant les périodes correspondantes aux demandes de programmation.

2. ETUDES DES ESTUAIRES ET DES FLEUVES DE GUYANE A L'AIDE DES TRAITEMENTS DE DONNEES LANDSAT MSS ET SPOT.

Le littoral de la Guyane appartient à l'un des plus importants systèmes mondiaux de côtes basses et envasées, entre l'Amazonie et le delta de l'Orénoque (PROS M.T., 1988). De nombreuses observations (YAYER, 1937 ; BOYE M., 1961) et études (DELFT L.H., 1962) ont déjà été réalisées et font référence en la matière. L'interprétation et le traitement des données satellites apportent une information globale, homogène dans l'espace et surtout quantitative. La migration vers l'ouest des bancs de vase et des espaces interbancs, à une vitesse moyenne de l'ordre du kilomètre par an, introduit de profondes modifications morphologiques et sédimentaires le long des rivages et des marais (LOINTIER M. & PROST M.T., 1986), mais aussi dans les estuaires et leurs embouchures (LOINTIER M. & ROCHE M.A., 1988) : les effets océaniques - qui se font sentir en général jusqu'à 30 km vers l'amont - deviennent plus ou moins prépondérants selon la position du banc de vase, ayant pour principale conséquence la transformation des effets dynamiques de la marée et de l'extension de la remontée saline.

Les études antérieures décrivant les systèmes estuariens deviennent la plupart du temps obsolètes et il convient de les situer dans leur nouveau contexte, surtout lorsque l'on raisonne en termes d'aménagement de la plaine côtière.

2.1. Composition colorée standard (Scène LANDSAT MSS du 30 octobre 1976)

L'échelle de travail avec Landsat MSS (pixel de 80 m) est très adaptée à l'étude des processus côtiers globaux et à la classification des grandes unités thématiques de la zone littorale. On observe, en traitement standard, la partie nord du bouclier Guyanais et de la plaine côtière, qui s'étend sur 300 km, entre l'Oyapock et le Maroni. Le bouclier a une altitude moyenne comprise entre 250

et 300 mètres, et il est recouvert de forêt primaire. La plaine côtière est composée de la "plaine côtière ancienne" d'âge Pléistocène terminal et de la "plaine côtière récente" d'âge Holocène. On notera la position particulière des estuaires du Sinnamary, de l'Organabo et de la Mana, dont les cours sont déviés vers le nord-ouest, à la suite du transit côtier. Les panaches turbides à la sortie des embouchures sont également bien visibles. Il s'agit de la remise en suspension des vases, sous l'effet des courants de flot et de jusant. Une estimation des quantités de matière en suspension (LOINTIER M., 1988) montre que la contribution locale des fleuves et des rivières à la sédimentation côtière est très faible, et ne représente que 1 % des apports d'origine Amazonienne. Ces derniers sont estimés entre 11 et 13.10⁸ tonnes par an, dont 10 à 20 % se déplacent le long des côtes de Guyane (EISMA D., 1988).

2.2. Composition colorée standard (Scène SPOT du 20 octobre 1986)

A une échelle plus grande, SPOT (pixel de 20 m), permet de mieux identifier la succession des zones en érosion (Sinnamary), de celles en phase de dépôt (Ile de Cayenne et zone de Kourou). La structure de la plaine côtière récente apparaît nettement, avec des éléments morphologiques importants, comme les anciennes lignes de rivages (ou *cheniers*) qui séparent les différentes phases d'accumulation fine holocène. Cette définition permet aussi d'analyser les différentes masses d'eau des estuaires et des rivières de plus de 80 mètres de largeur.

2.3. Utilisation des effets induits par l'acquisition oblique des données SPOT.

Le dépointage de 26 degrés du radiomètre, lors de la prise de vue du 20 octobre 1986, met en évidence les ondes, comme la houle, se propageant à la surface de l'océan (WADWORTH A. & PETIT M., 1987). Le filtrage par une matrice de réhaussement améliore le document d'origine. Nous avons choisi ici une formule du type :

$$\begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{array}$$

qui fait apparaître la houle et sa diffraction (figure 1) à son passage près de l'embouchure, ainsi que le panache turbide du fleuve Sinnamary, d'une surface de 10 km².

2.4. Traitement multitemporel n° 1

Données LANDSAT 76, SPOT 86 et TM 88, sur la zone de Sinnamary.

Le traitement multitemporel de trois scènes, prises à dix et douze années d'intervalle, permet de donner, avec une précision de quelques pixels, des éléments quantitatifs sur les transformations du littoral et sur l'étendue des zones intertidales, aux différentes dates (LOINTIER M. & PROST M.T., 1988). La superposition est réalisée par translation à l'aide de plusieurs points d'appui, après rotation des images et réduction à la même échelle (figure 2).

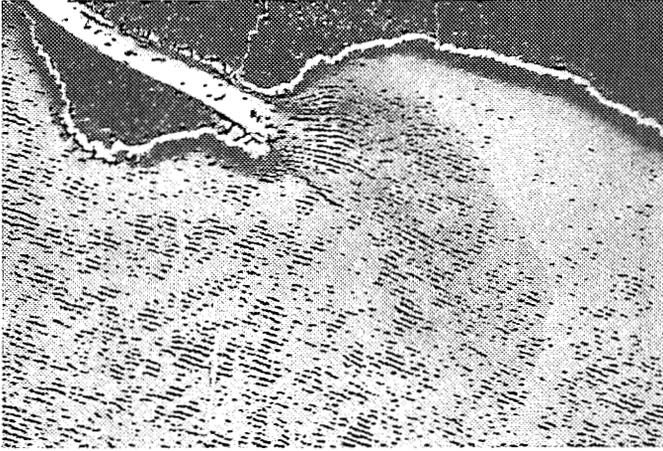


Figure 1

Exemple de réhaussement de dynamique d'une image SPOT prise en visée oblique (26°). La houle et sa diffraction au passage de l'embouchure sont nettement visibles, ainsi que le panache du fleuve Sinnamary, d'une surface de 10 km².

Copyright CNES 1986.

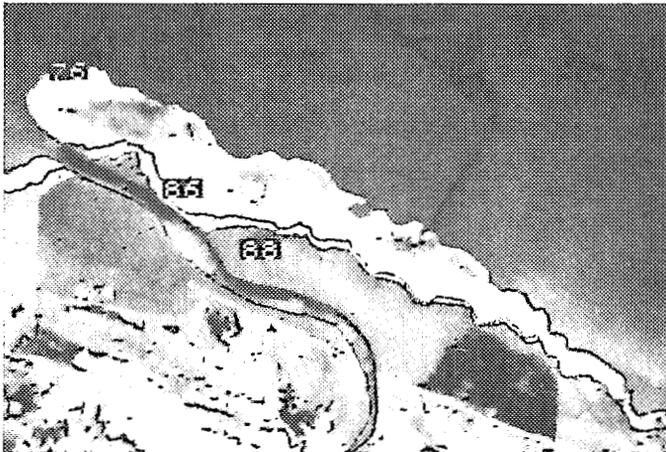


Figure 2

Superposition et recalage de trois fichiers-images, de 1976, 1986 et 1988, sur la région de Sinnamary, en phase d'érosion. Le recul de la côte et les surfaces perdues sont appréciés à l'hectare près ou mieux, selon le type de capteur. Ici, l'image de 76 est d'origine Landsat MSS (pixel de 80 m), celle de 86 est d'origine SPOT (pixel de 20 m) et Landsat Thematic Mapper (pixel de 30 m) pour 1988.

Copyright CNES 1986 INPF 76 88

On peut calculer ainsi que 40 Km² de mangrove ont disparus dans cette zone, où le littoral a reculé en moyenne de 2 km en 10 ans.

La zone la plus étroite de l'estuaire, s'est rompue en mars 87, provoquant un "raccourcissement" de 4 km du cours de l'estuaire du Sinnamary.

2.5. Traitement multitemporel n° 2

Données LANDSAT 76 et SPOT 86 sur la zone de Kourou.

A l'inverse du résultat précédent, le phénomène observé ici correspond à une progradation de la ligne de rivage de 2 km, consécutif au déplacement d'un banc de vase pendant les années 80-85, sur lequel la mangrove s'est installée très rapidement (figure 3).

2.6. Aspect qualitatif de la distribution des eaux de surface de l'estuaire du Sinnamary, en étiage

Données LANDSAT 76 et SPOT 86.

Les mesures de terrain (LOINTIER M. 1984) dans cet estuaire montrent que l'opacité est élevée, avec une disparition du disque de SECCHI entre 0,5 et 1,2 mètre. Les profondeurs mesurées étant supérieures au mètre dans tous les cas, on ne peut pas attribuer les variations de la radiométrie enregistrée aux variations bathymétriques, surtout avec les canaux utilisés dans le rouge et l'infrarouge.

L'index de Brillance ($\sqrt{C_x^2 + C_y^2}$), calculé sur la zone d'estuaire, dans les bandes Landsat 5 et 7 et SPOT 2 et 3, quasiment homologues, permet de classer les pixels selon une échelle de valeurs croissantes qui traduit l'augmentation des valeurs radiométriques. Cet index montre ainsi, qualitativement, la distribution des masses d'eau de surface. Pour un débit proche (64 m³/s le 30 octobre 76 et 80 m³/s le 20 octobre 1986), il est remarquable de constater la similitude de cette distribution, à dix années d'intervalle, avec quelques nuances dues probablement aux heures de marée différentes. On notera que les faibles valeurs sont situées en rive droite, les plus élevées en rive gauche, au niveau de l'élargissement de l'estuaire. Ceci traduit une remise en suspension des vases plus importante par petits fonds (entre 1,5 et 2 mètres).

2.7. Extension des phénomènes océaniques vers l'amont

LANDSAT 76, composition colorée standard.

Les conditions de prise de vue du cliché Landsat, à marée haute et en période d'étiage, correspondent aux conditions les plus favorables de l'extension maximale vers l'amont de la remontée des vases d'embouchure et du coin salé. L'étude hydrologique de l'estuaire du KOUROU (ROCHE M.A., 1976), et du SINNAMARY a permis de constater que les limites vers l'amont de ces deux phénomènes étaient voisines, à quelques centaines de mètres près. La composition colorée standard met parfaitement en évidence le contact entre les eaux fluviales et celles qui ont subi un mélange océanique. Par ce biais, on détermine ainsi la limite de la remontée saline dans les deux estuaires.

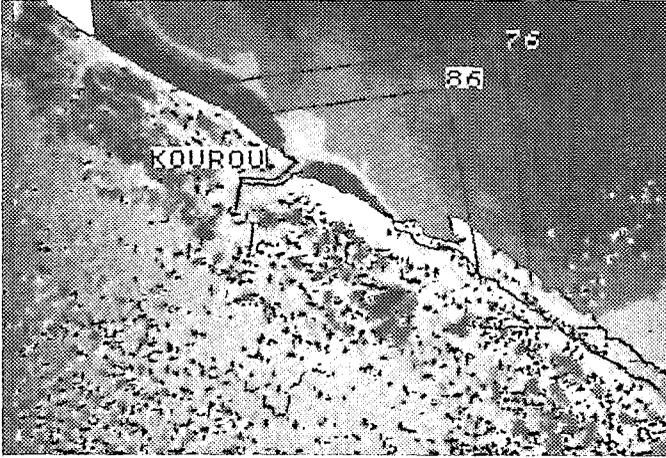


Figure 3

Exemple de côte en progradation, sur la zone de Kourou. Comparaison obtenue par superposition des images de 1976 et 1986. En noir, la position du banc de Kourou en 1986, dans sa partie distale.

Copyright CNES 1986, INPE 76.



Figure 4

Index de Brillance appliqué aux données SPOT, sur le Sinnamary, dont les valeurs sont croissantes du noir vers le blanc. on observe des discontinuités dans la distribution, des radiométries, dans la partie intermédiaire de l'estuaire. Cette première étape d'un traitement montre l'hétérogénéité du mélange des eaux.

Copyright CNES 1986.

Sur la composition colorée, on définit la limite amont du contact entre les eaux fluviales et les eaux mélangées. L'extension est plus importante vers l'amont pour le fleuve Kourou que sur le Sinnamary : ceci a été bien observé dans nos études, et s'explique par la valeur différente du rapport du volume d'eau douce apporté par le fleuve au volume déplacé dans l'estuaire pendant un cycle de flot. Ce rapport, V_{riv}/V_{flot} , est de 20 % pour le Sinnamary, et seulement de 2 % pour le Kourou, qui subit une influence océanique plus grande.

2.9. Traitement des données SPOT (1986) sur la partie médiane de l'estuaire du Sinnamary

Les études hydrologiques (vitesse, débits oscillants, salinité et charge en suspension) ont conduit à penser que la propagation des éléments présents dans l'estuaire (en particulier les vases) s'effectuait vers l'amont par oscillations et dilution successives au cours de plusieurs cycles de marée (ROCHE M.A., 1977). Sans toutefois confirmer une telle hypothèse, un index de Brillance appliqué aux données SPOT, dont les valeurs sont croissantes du noir vers le blanc sur le document (figure 4), montre des discontinuités dans la distribution des radiométries, dans la partie intermédiaire de l'estuaire proprement dit.

Ces observations sont utiles pour juger de la qualité du mélange des eaux et permet d'évaluer ainsi les limites d'un modèle mathématique linéaire de propagation des éléments dissous.

Une vérification de terrain serait très intéressante, mais on sait combien il est illusoire de réaliser des mesures le jour d'un passage satellite, à moins de mettre en place un dispositif permanent d'observation, ce qui ne se justifie pas encore pour nos études.

2.9. Qualité des eaux

Exploitation d'une simultanéité entre des mesures de qualité des eaux sur le Kourou et la vue Landsat : une coïncidence exceptionnelle.

Une partie des prélèvements d'eau réalisés pendant l'étiage de 76 sur le Kourou se sont déroulés la veille et le jour même du passage du satellite à 9h, heure locale, sur cinq sites répartis entre l'embouchure et 30 km en amont.

En dépit du faible nombre de pixels situés en rivière et sans effets de bordure, il a été testé une relation entre la radiométrie et la turbidité. Après plusieurs combinaisons de canaux, (permutations circulaires des canaux dans le calcul des index de végétation et de brillance), c'est dans la seconde composante d'une ACP sur les quatre canaux que l'on trouve une corrélation acceptable, dans laquelle le canal 6 s'est révélé être très important. Ce calcul est effectué à partir des valeurs radiométriques "brutes", comme l'a étudié RITCHIE (1987), qui démontre également l'importance du canal 6 (0,7 - 0,8 μm) pour définir ce type de relation.

La combinaison linéaire retenue sur les quatre canaux est de la forme :

$$P_i = S(i) + K(i, 1) * Q_4 + K(i, 2) * Q_5 + K(i, 3) * Q_6 + K(i, 4) * Q_7$$

avec P_i , valeur du pixel dans la seconde composante ($i = 2$),
 $S(i) = 103,187$,

$K(i,1)=0,7896$, $K(i,2)=0,7244$, $K(i,3)=-0,1787$, $K(i,4)=0,5776$,
 $Q_{4,7}$ valeur radiométrique de chaque canal MSS 4,5,6,7.

Les valeurs radiométriques, repérées sur chaque site, sont comparées aux mesures in situ. La relation obtenue est :

$$\log(T_{\text{urb}}) = 0,0495 * P_{2-4} - 4,6709 \quad r=0,99 \text{ (figure 5)}$$

Cet étalonnage permet ensuite de classer tous les pixels du fleuve (figure 6) et de son estuaire, en cinq groupes de turbidité, avec une incertitude importante (50 %), mais qui ne doit pas surprendre, vu les conditions expérimentales :

Gris 1	T <	10 mg/l
Gris 2	10 < T <	100 mg/l
Gris 3	100 < T <	1000 mg/l
Gris 4	1000 < T <	10000 mg/l
Gris 5	T >	10000 mg/l

La relation exploitée ici s'accorde avec celles qui sont exposées dans la littérature, de type $R = f(\log T)$, avec un résultat "cartographique" en accord avec les observations. A partir de la même combinaison linéaire des quatre canaux, la relation a été appliquée aux eaux de l'estuaire du Sinnamary (figure 7), montrant la même distribution décalée vers l'aval (classes 3, 4, 5), à cause du débit plus élevé.

CONCLUSIONS

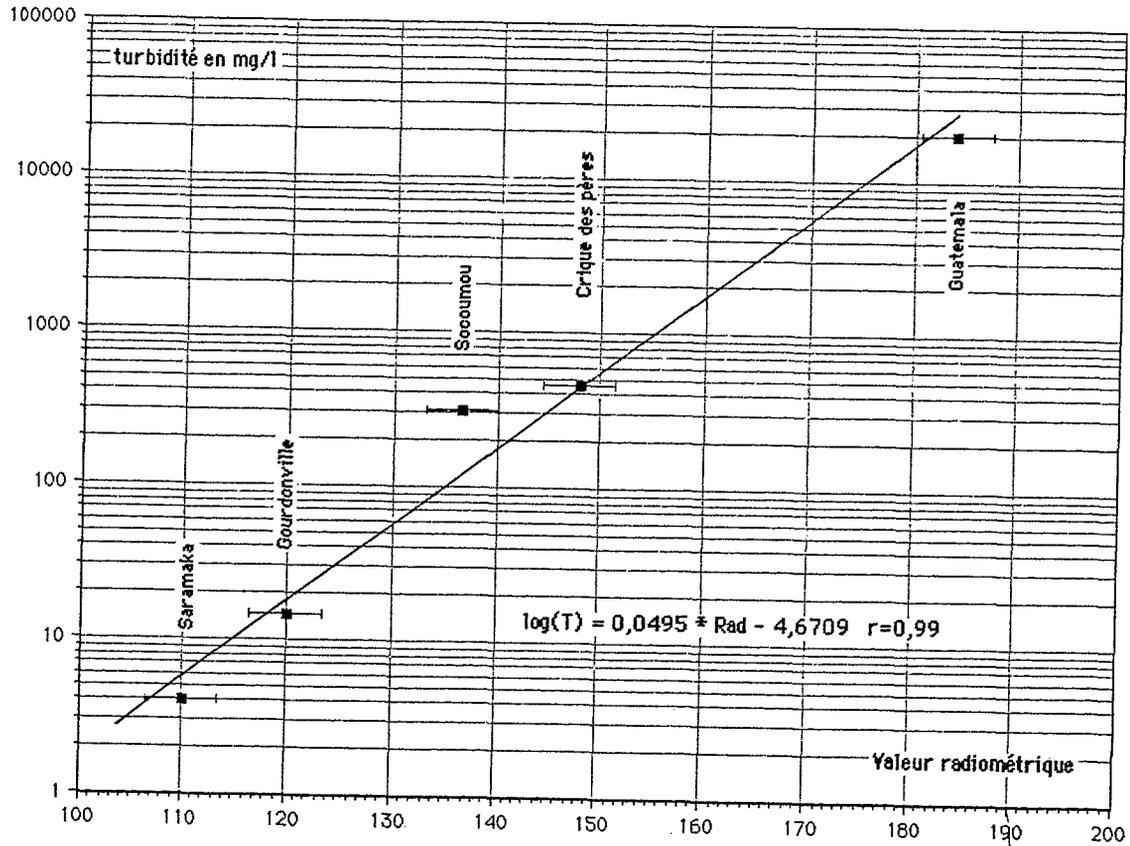
Toutes ces applications ont été développées avec le logiciel implanté dans le Péricolor (Géopéricolor) qui permet de réaliser la plupart des traitements utiles en phase d'analyse des relations radiométriques avec la thématique recherchée. Ainsi, la démarche souhaitée par un utilisateur non informaticien est rapidement confortée par le contact direct avec les données, qui lui permet de définir les principaux objectifs à atteindre, par rapport à sa problématique.

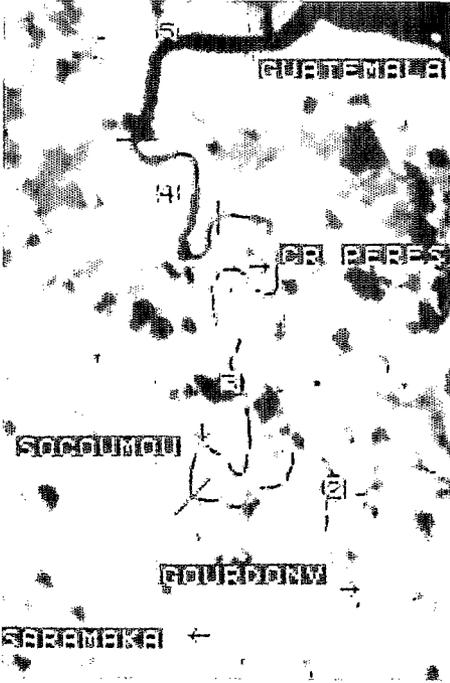
Cette encore une étape de "sensibilisation" et de prospection des possibilités de l'outil qu'il faut poursuivre, d'autant que les données sont en cours de collecte sur le Département. L'utilisation prochaine de données Landsat TM et l'extension des possibilités de traitement par le couplage à un mini-ordinateur, renforceront le potentiel technique et créatif, tout comme l'ouverture "horizontale" déjà engagée vers les autres disciplines.

En développant la banque de données satellitaires, il est constitué une banque de données sur l'environnement par le jeu des spécialistes présents capables de répondre demain aux problèmes de recherche pure, mais aussi aux effets des grands aménagements sur l'environnement : barrage de Petit Saut, base spatiale, développement des zones rurales, pénétrantes forestières.

En maîtrisant ce "savoir faire" propre au milieu, il devient possible de répondre à deux vocations spécifiques de l'Institut, en matière de recherche, d'échange et de transfert de technologie au niveau régional et international.

Fig 5: Relation radiométrie/turbidité





Copyright INPE 76.

Figure 6

Localisation des sites de prélèvement d'eau et limites des cinq zones de turbidité définies à partir de l'étalonnage radiométrique/turbidité, obtenue grâce aux vérités terrain réalisées le même jour que le passage du satellite (30 octobre 1976). En gris clair les faibles turbidités, en gris foncé les plus élevées.

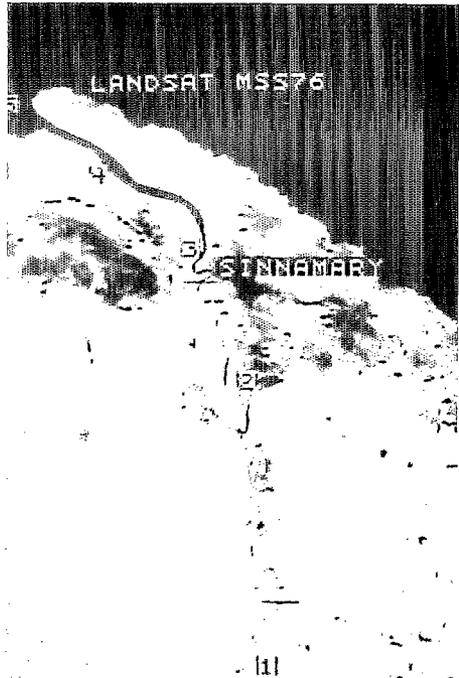


Figure 7

Sur la même image Landsat 76, application de la classification précédente à un estuaire dépourvu de vérités terrain simultanées (Sinnamary).

Copyright INPE 76.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOYE, M., & CRUYS, H. 1961. *New data of the coastal sedimentary formations in French Guiana*. Proceedings of the 5th Interguiana Geol. Conf. Geological Survey Depart., Georgetown. 145-168.
- EISMA D., 1988. *Dispersal of Amazon Supplied particulate matter*. Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System: River and Ocean. AGU. Charleston. Wild Dunes.
- L.H. DELFT. 1962. *Demerara Coastal Investigation*. Report on siltation of Demerara bar channel and coastal erosion in British Guyana. Delft Hydraulics Lab., The Netherlands, 240 p.
- LOINTIER, M. 1984. *Dynamique des eaux et de l'intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary (Guyane Fr.)*. ORSTOM. Cayenne.
- LOINTIER, M. & PROST, M.T., 1986. *Morphology and hydrology of an equatorial coastal swamp: example of the Sarcelle Swamp in French Guiana*. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, vol.4. 59-77. J. Rabassa Ed. A.A. Balkema Publ. Rotterdam.
- LOINTIER, M. & ROCHE, M.A., 1988. *Quatrièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM*. Colloques et Séminaires. 328 p.
- LOINTIER, M. & PROST, M.T., 1988. *Environnement côtier des Guyanes*. Rapport intermédiaire, ORSTOM, Nov. 1988, 70 p.
- LOINTIER, M. & PROST, M.T., 1988. *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. AGU. Charleston. Wild Dunes.
- PROST, M.T., 1988. *Shoreline changes in French Guiana*. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, vol 5. J.Rabassa Ed. A.A.Balkema Publ. Rotterdam.
- RITCHIE, J.C. et al., 1987. *Using Landsat MSS data to estimate suspended sediments in Moon Lake, Mississippi*. Remote sensing of Environment 23:65-81.
- ROCHE, M.A., 1977. *L'estuaire du Kourou en Guyane Française: possibilités d'alimentation en eau d'une usine de pâte de bois et risques de pollution par rejets industriels dans l'estuaire*. Rapport. ORSTOM. 80 pp.
- WADSWORTH A. & Petit M. 1987. *SPOT, un satellite pour l'océanographie ?* CNES. SPOT 1, utilisation des images, bilan, résultats.
- YAYER. 1937. *Compte-rendu de la mission pour l'établissement de la carte S.H.O.M. n° 5884 (région de Sinnamary)*.