Télédétection, 1999, vol. 1, p. 1-18
Des tirés à part sont disponibles auprès de l'éditeur
Droit de photocopie soumis à autorisation

© 1999 OPA (Overseas Publishers Association) N.V.
Publié sous licence par
Gordon and Breach Science Publishers
Imprimé en Malaisie

Interprétation d'images radar sur l'île d'Algodoal (Para – Brésil) en vue d'une cartographie des milieux naturels du littoral amazonien

FRANÇOIS-MICHEL LE TOURNEAU[a*],
RENÉ POCCARD CHAPUIS[b†] et JEAN-PAUL RUDANT[c‡]

[a]Laboratoire G-SAT, École Normale Supérieure, 45 rue d'Ulm, 75005 Paris, France, [b]Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Laboratoire d'utilisation des ressources et des politiques agricoles (URPA), Centre de recherche de Montpellier, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France et [c]Laboratoire Géomatériaux, Université de Marne la Vallée, 2 rue de la Butte Verte, 93166 Noisy Le Grand Cedex, France

(soumis le 11 mai 1998 ; accepté le 28 septembre 1998 ; révisé le 4 février 1999)

Les images radar sont une source de données importante pour le monde tropical humide, puisque le radar permet de produire des images sans être gêné par la forte nébulosité qui y règne, mais elles sont difficiles à exploiter. Pour ce faire il faut apprendre à interpréter les textures, c'est-à-dire les agencements de pixels de teinte proche, car l'intensité d'un pixel donné ne suffit pas à l'identifier.

Nous comparons ici les interprétations que l'on peut faire d'images des RSO des satellites ERS-1 et JERS-1 de l'île d'Algodoal au Brésil. Ces images ont été préalablement converties de 16 bits en 8 bits, et traitées de manière à atténuer le chatoiement. On remarque que le capteur RSO de ERS-1 est particulièrement performant pour la discrimination des milieux naturels littoraux, et qu'il nous donne de nombreux éléments pour la compréhension de la dynamique littorale. Le capteur RSO de JERS-1 est plus sensible aux activités humaines, il nous permet de cartographier les défrichements et les villages. Malgré ces différences, les secteurs de mangrove, le milieu le plus significatif de l'île sont bien repérés dans les deux images, même si la surface totale reconnue varie significativement. Les résultats obtenus permettent d'envisager une cartographie au 1 : 100 000 à partir d'interprétations visuelles d'images de ces deux capteurs.

Mots clés : radar à synthèse d'ouverture (RSO), interprétation d'images, cartographie des milieux naturels, Brésil, Pará

* Tél. (33) 01 47 07 85 91, courriel Francois.Michel.Le.Tourneau @ens.fr
† courriel rene@amazon.com.br
‡ courriel jpr@lgs.jussieu.fr

Interpretation of radar images of the Algodoal Island (Pará, Brazil) in order to achieve a mapping of the tropical environment of amazonian coastal zones

Synthetic aperture radar images are a powerful potential source of data about tropical zones, since microwaves are not hindered by clouds in the wavelengths used by these radars. However, the "speckle" – i.e. a coherent noise that is linked with the nature of the instrument – make them uneasy to interpret. We cannot solely rely on the intensity of a given pixel in order to identify its nature. In order to make a good interpretation, one must also consider a "texture", that is a peculiar arrangement of many close pixels of different intensities. Our study is a comparison between the interpretations made on two images, one produced by the SAR of the European satellite ERS-1 and the other by the SAR of the Japanese satellite JERS-1.

The images are first reduced from 16 to 8 bits by pixel and then treated with a speckle removal filter. These processings were made by using various softwares. After some testing, we decided that speckle removal filter for our purpose was an adaptative median. We then introduce the images in a Geographical Information System (namely *Mapinfo*). We use the coordinates given in the header of the ERS-1 SAR image in order to geoprocess this image. We then rectify the JERS-1 SAR image by taking Control Points on the ERS-1 SAR image. Thus, even if the absolute precision of the different covers is not perfect, the two images are completely compatible (However field studies lead us to think that the accuracy of these header coordinates is about 200 m for ERS-1). The images are then interpreted by mere photointerpretation and several layers are produced, each containing a kind of geographical objects : mangrove areas, forest areas, dune areas, etc. The map obtained from the ERS-1 SAR image shows that this instrument is especially good in the cartography of coastal geomorphological forms like dunes, sand beaches or ripplemarks zones. It does also give a clear view of the importance and localization of the mangrove areas which are present on the main part of the coast.

The JERS-1 SAR shows the human activities better, like clearings in the forest remnants or the small villages, which could not be detected in the other image. The mangrove areas, a critical topic in this context, are well detected in this image also, despite some differences in the evaluation of the area covered. On this topic, the comparison with an HRV XS image of SPOT enhanced by field studies proves that the evaluation given by the ERS-1 SAR is closer to reality than JERS-1 SAR's.

The map produced from each image is not as precise and complete as a topographic map, but it is a good instrument to study the different vegetative areas and the coastline. Thus this study tends to demonstrate that it is possible to produce maps at the scale of 1 : 100 000 of this kind of zones, which could be of great help for land planning and environment monitoring in Brazil.

Keywords: radar satellite imagery; interpretation of remote sensed images; cartography; Brasil; Pará

1. INTRODUCTION

L'île d'Algodoal, située sur le littoral nord de l'État du Pará, se présente sous la forme d'une avancée de terres émergées, à la rencontre des eaux turbides de l'Amazone et de celles, salées, de l'Atlantique équatorial. Cette île rassemble sur un espace limité une palette complète des différents milieux naturels du littoral amazonien, que l'on retrouve du Pará aux Guyanes. Dans cette zone dont le climat est franchement tropical, la nébulosité

est forte, ce qui en fait a priori une zone de prédilection pour l'usage des images radar. Les études menées dans le cadre de la mission SAREX (Bjerkelund *et al.,* 1992 et Beaudoin *et al.,* 1992) ou bien sur la Guyane Française dans la cadre du projet PPF 12 (Rudant *et al,.* 1996) nous amenaient à penser que cet instrument permettait une cartographie précise des milieux naturels.

Il nous semblait intéressant de voir si les observations faites à ces occasions se révélaient valables sur un terrain proche par le paysage mais très éloigné géographiquement et beaucoup plus diversifié. Par ailleurs l'existence d'une image HRV-XS de SPOT dont l'interprétation a été vérifiée sur le terrain, et la très riche expérience du terrain de l'un des auteurs, nous ont permis d'évaluer la justesse des interprétations et donc de faire un bilan de l'utilité de la carte que nous avons produite à partir des images radar pour étudier des zones similaires.

2. L'ÎLE D'ALGODOAL ET LES DONNÉES DISPONIBLES SUR CETTE ZONE

2.1. L'île d'Algodoal et ses milieux naturels

L'île d'Algodoal (Poccard, 1996) se trouve légèrement au sud de l'équateur (0,5° Sud) et par 48,5° de longitude Ouest (figure 1). Elle mesure environ 26 km^2, et n'est séparée du continent, au sud, que par un étroit canal de mangrove.

Très plane, l'île n'est protégée de l'érosion marine que par une épaisse et très résistante cuirasse latéritique, dont l'imperméabilité assure par ailleurs la pérennité d'une nappe d'eau douce. Celle-ci permet aux formations végétales de terre ferme de supporter la sécheresse estivale du littoral, et ainsi de se développer au contact direct des écosystèmes typiquement littoraux. L'abondance en eau douce fut aussi une condition essentielle à l'installation permanente des communautés humaines : aujourd'hui, 3 000 habitants, répartis en trois villages et vivant de pêche artisanale (Furtado, 1980), complétée par une agriculture de subsistance, modifient progressivement certains de ces écosystèmes.

Ainsi, il existe sur cet espace insulaire un équilibre provoquant le développement juxtaposé de la plupart des écosystèmes naturels ou modifiés du littoral amazonien. La présence sur l'île d'une telle diversité n'a pas

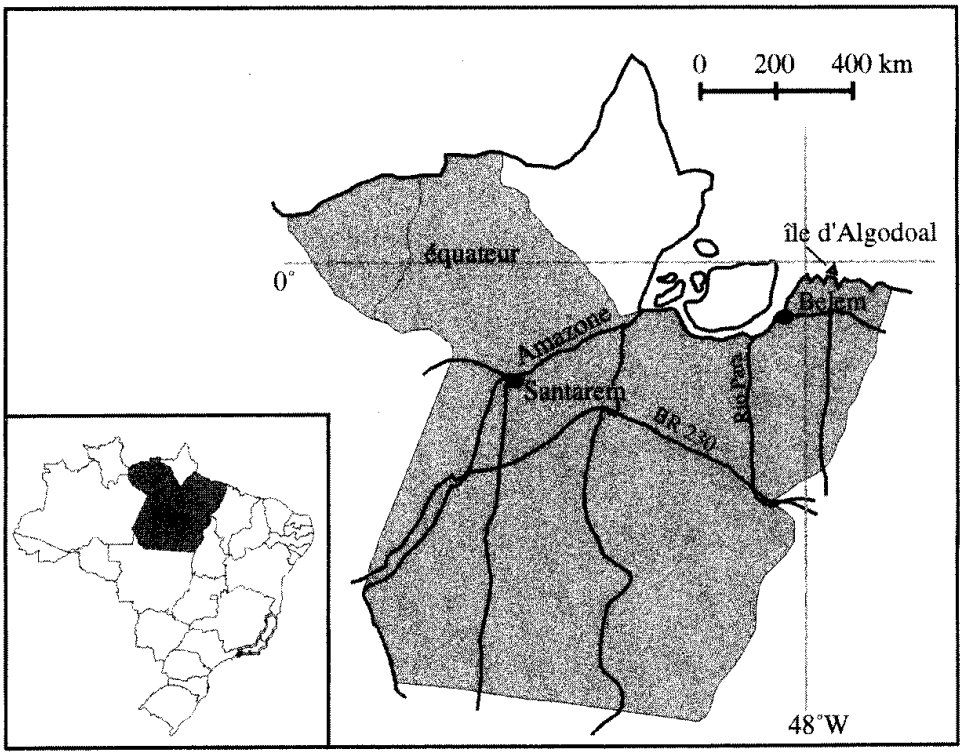


FIGURE 1 Localisation de l'île d'Algodoal au Brésil

échappé au gouvernement de l'État du Pará qui l'a déclarée « zone de préservation de la nature » et cherche comment y concilier développement et écologie (Diegues *et al.*, 1992).

Les habitants de l'île conçoivent leur espace insulaire autour d'une opposition entre le « bord » (le littoral) et le « centre » (l'intérieur de l'île) : cette approche est effectivement la plus pertinente pour une bonne description des milieux.

2.2. Les données disponibles sur la zone

Les données disponibles sur la zone ont été fournies par l'Agence spatiale européenne (E.S.A.) dans le cadre du projet P.P.F.12 (« Étude de l'environnement fluvial et littoral guyanais »). Ce projet a permis de montrer la faisabilité d'une couverture cartographique de la Guyane au 1 : 200 000, qui a été réalisée par la suite par l'I.G.N. (Cantou et Tonon, 1997). Elles se composent d'une image RSO du satellite ERS-1 du littoral du Pará (qui

fait partie d'une couverture complète du littoral amazonien), prise en juin 1992. Une image RSO du satellite japonais JERS-1, prise en mars 1993, a été acquise par la suite. Une classification d'une image HRV-XS datant de juin 1989 a pu être exploitée au Musée Goeldi de Belém à qui l'image appartenait. Nous possédons peu de détails sur cette classification, mais la carte des milieux naturels qui en a été tirée a été longuement vérifiée sur le terrain par l'un des auteurs. Nous utilisons pour cette étude le logiciel Mapinfo, acquis par la Section de géographie de l'École Normale Supérieure.

Ne possédant pas de points de référence (GPS, par exemple) sur le terrain, nous avons utilisé un système de calage relatif. L'image RSO de ERS-1 a été géoréférencée à partir des coordonnées calculées d'après l'orbite, dont la précision est de 100 à 200 m selon l'E.S.A. L'île d'Algodoal étant assez petite, nous avons fabriqué des imagettes pour chacune des images présentes. L'imagette RSO du satellite JERS-1 et la classification produite par le Musée Goeldi ont ensuite été recalées sur l'image ERS-1. Ainsi, si la localisation absolue des points peut être sujette à caution, le décalage entre la saisie de points sur une image et sa projection sur une autre n'excède pas quelques pixels.

2.3. Amélioration de la lisibilité des images

La dynamique des réponses qui parviennent au capteur radar est très étendue. Les images radar sont donc fournies avec un codage sur 16 bits par pixel, au lieu de 8 bits par pixel pour la plupart des images de satellite optique. Le passage de 16 à 8 bits par pixel est nécessaire pour l'affichage et l'interprétation. Il doit s'attacher à mettre en valeur les contrastes les plus significatifs et à réduire le plus possible les informations parasites.

Nous avons testé plusieurs algorithmes de réduction de 16 à 8 bits pour voir lesquels donnaient les résultats les plus lisibles. Deux objectifs étaient visés : la possibilité de distinguer le plus clairement possible des milieux visiblement différents et la meilleure utilisation possible de la dynamique des 8 bits. Les algorithmes les plus performants se sont en fait révélés les plus simples, probablement parce que les images RSO de ERS-1 et de JERS-1 utilisent une faible partie de la dynamique possible sur 16 bits. Ainsi des réductions linéaires avec un coefficient de 3 pour l'image RSO ERS-1, de 10 pour l'image JERS-1 et dans les deux cas une saturation à la valeur 255 de toutes les valeurs supérieures après réduction ont donné des

résultats tout à fait satisfaisants. La réduction à la racine carrée de la valeur, théoriquement recommandée, s'est avérée moins intéressante dans la mesure où elle tassait trop la dynamique des images. L'avantage de cette méthode peu sophistiquée est que l'on peut la répéter sur un lot d'images important en conservant la calibration à la différence, par exemple, des méthodes qui se fondent sur l'histogramme de chaque image.

La faible taille de la zone d'étude nous a d'autre part amenés à utiliser les images des deux capteurs en pleine résolution. De ce fait, la gêne due au chatoiement était maximale. Nous avons donc décidé d'utiliser quelques procédés simples de réduction du chatoiement. Les critères de sélection des ces filtres ont été les suivants : capacité à rendre plus nettes les différences entre les zones que l'on pressentait dans l'image bruitée et bonne utilisation de la dynamique possible en 8 bits, de manière à éviter d'obtenir un niveau de gris moyen uniforme sur toute l'image. Les tests ont porté sur les filtres proposés par les logiciels de traitement d'imagerie satellitale présents au laboratoire G-SAT.

Les filtres basés sur le principe du médian adaptatif (calcul de trois médians différents sur des sous-ensembles différents de la matrice de départ, comme les diagonales, ou les lignes horizontales et verticales contenant le pixel central) se sont avérés les plus intéressants pour l'interprétation visuelle. Ils permettent en effet de bien homogénéiser chaque zone tout en préservant les différences de texture entre chacune, à la différence d'un filtre de moyenne simple. Ils respectent également très bien les objets fins, qui souffrent le plus souvent dans les procédés de réduction du chatoiement (figure 2, sur laquelle les effets du filtrage sont exagérés de manière à être bien visibles). Ils demandent enfin une faible charge de calcul.

2.4. Principes d'interprétation

L'interprétation des images radar est malaisée du fait du chatoiement, les objets présents sur les images ne pouvant être identifiés seulement par leur radiométrie. Il faut utiliser la notion de « texture » pour les caractériser. Une texture est un agencement spatial associant sur une surface réduite des pixels de teintes différentes, mais dans une proportion qui permet de différencier cette association des autres. Ainsi on pourra dire que les mangroves se caractérisent par une texture brillante, c'est-à-dire dans laquelle

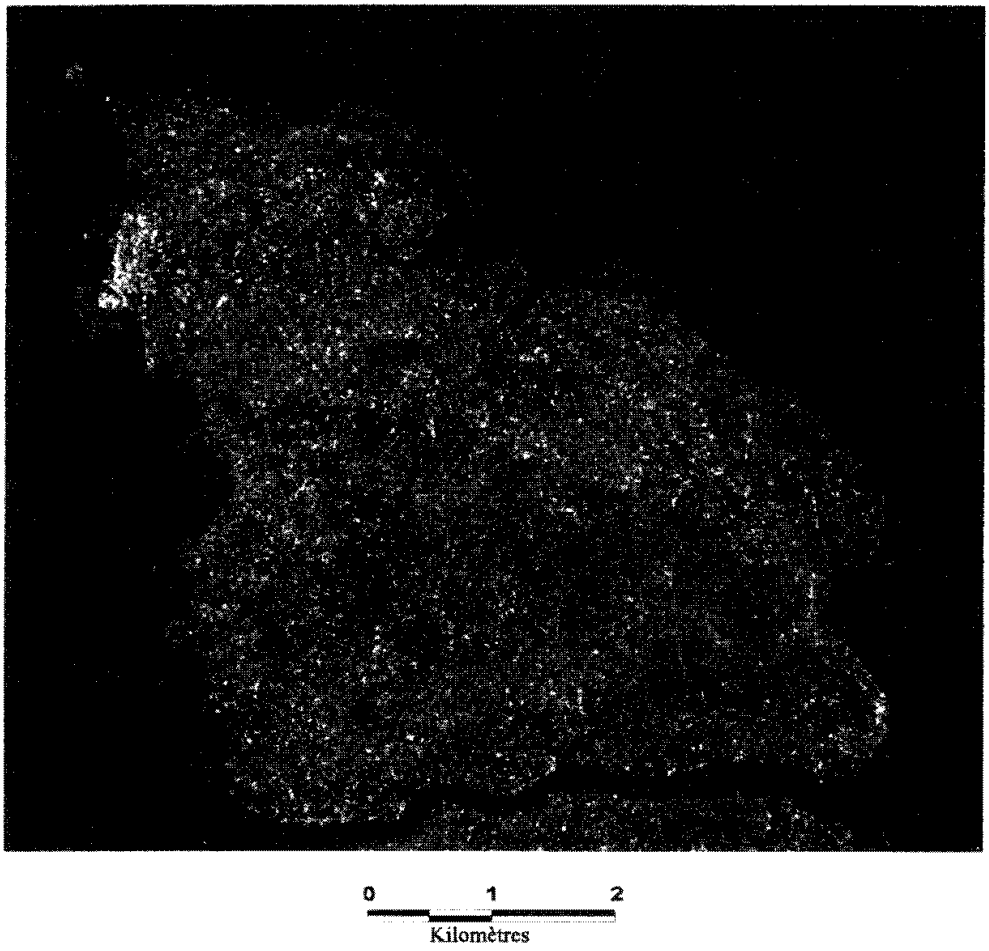


FIGURE 2 Image RSO de JERS-1 avant filtrage

on trouve une proportion importante de forte rétrodiffusion, alors que la texture des forêts est plus sombre.

Il nous faut interpréter les textures. L'une des grosses difficultés de cette interprétation n'est d'ailleurs pas tant la reconnaissance visuelle des différentes textures présentes dans l'image, car l'œil humain est très sensible aux agencements de pixels de niveaux de gris différents, que l'établissement des limites entre chacune. Parfois les milieux naturels sont suffisamment tranchés pour que les textures soient très dissemblables. Le contact entre mer et plage, par exemple, est le plus souvent bien net. Lorsque le contraste entre les deux milieux est moins aigu il devient alors très difficile de tracer une limite exacte. Cela introduit dans notre carte des milieux naturels une imprécision qu'il sera intéressant d'évaluer.

La rétrodiffusion de l'onde engendrée par le contact avec le sol est un des paramètres fondamentaux dont la connaissance permet d'interpréter avec justesse les phénomènes décrits dans l'image. Quelques paramètres jouent un rôle important dans cette retrodiffusion : la « rugosité » (Bonn et Rochon, 1992) et l'humidité de la surface imagée, l'importance des pentes et la densité du couvert végétal.

Les deux capteurs utilisent des longueurs d'onde différentes : 5,6 cm pour l'instrument RSO de ERS-1 et 23 cm pour le radar de JERS-1. Ils ont aussi des angles d'incidence différents : 23° pour le RSO de ERS-1 et 35° pour le RSO de JERS-1. La rugosité étant liée à la longueur d'onde, mais aussi à l'angle d'incidence, certains objets rugueux pour le RSO de ERS-1 (comme une surface d'eau avec des rides) seront lisses pour le RSO de JERS-1. D'autre part la différence d'angle d'incidence influe sur la pénétration du couvert forestier. Nous voudrions évaluer dans la présente étude les différences de perception du paysage qui peuvent se faire jour avec l'usage de l'un ou l'autre capteur. Sur la figure 3, on présente une synthèse des trois interprétations faites sur les images, auxquelles nous allons nous référer dans la suite du texte.

3. ÉTUDE DES MILIEUX DE L'INTÉRIEUR DE L'ÎLE

3.1. Les écosystèmes de terre ferme

Les faibles ondulations du relief, les affleurements de la nappe phréatique, la nature des sols, l'action des hommes, expliquent les localisations des savanes, marais, lacs, *igapós,* forêts primaires, forêts dégradées, zones cultivées, etc. qui recouvrent les terres fermes du centre de l'île.

Le lessivage des sols est un processus généralisé sur l'île, mais à différents degrés. Dans la zone la plus atteinte, la podzolisation est totale et le sol est un sable blanc, accumulé par le vent en dunettes, sur lesquelles s'agrippe une végétation ligneuse rachitique (secteur de la Pedra Chorona, à proximité de la côte ouest). Dans d'autres zones, sensiblement moins lessivées, des savanes ont pu se mettre en place se présentant comme des glacis couverts d'une strate herbacée basse et mal fermée (en touffes), plus ou moins arborée. Sur les sols de meilleure qualité c'est une véritable forêt ombrophile qui s'est développée, avec des individus jusqu'à 30 m de haut, une grande diversité de lianes et épiphytes, une canopée très fermée.

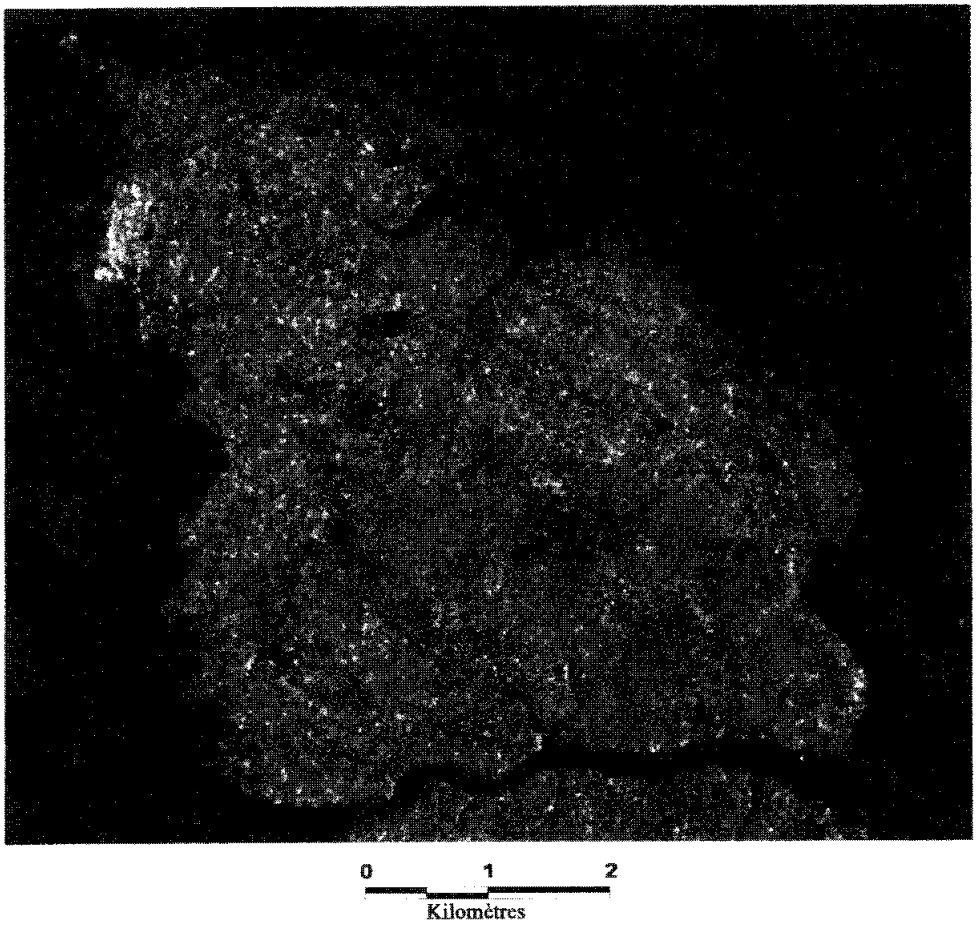


FIGURE 3 Image RSO de JERS-1 après application du filtre médian adaptatif

Sous la pression de l'agriculture itinérante sur brûlis, la forêt primaire est aujourd'hui réduite à quelques îlots, dans les secteurs les plus reculés ou bien sur des sols impropres à l'agriculture. Les forêts secondaires, par contre, sont étendues. Elles se présentent comme des taillis très touffus dans les premières années suivant l'arrêt des cultures, évoluant vers des morphologies arborées au bout d'une dizaine d'années. Elles alternent fréquemment avec des parcelles cultivées, en manioc le plus souvent, sur des surfaces de l'ordre d'un hectare. Des plages de sol nu sont visibles sur ces dernières la première année, puis disparaissent rapidement, envahies par les plantes adventices.

Sur les points bas du relief, la nappe souterraine affleure, donnant naissance à de minces cours d'eau s'écoulant vers la mangrove : cette présence

permanente d'eau douce en surface donne naissance à de petites forêts galeries, les *igapós,* correspondant à des massifs, longs de quelques centaines de mètres au maximum, d'une végétation arborée très exubérante.

En d'autres points de l'île, le relief dessine de petites cuvettes où s'accumulent les eaux pluviales, formant des lacs temporaires, ou permanents si la dépression est assez profonde. Des marais peuvent se développer sur leur pourtour.

3.2. Milieux repérés sur les images radar

À l'intérieur de l'île, la strate arborée est présente presque partout, parfois relayée par une strate arbustive, mais qui sur l'image donne des réponses similaires. D'où des difficultés d'interprétation, les textures étant peu contrastées. Ceci nous rappelle les études de Luckman *et al.* (1995), dans lesquelles on montrait qu'au-dessus d'un seuil de biomasse à l'hectare peu élevé (100 tonnes en bande L), la texture des images ne permet plus de discriminer deux formations forestières proches. On peut néanmoins associer les zones sombres à des formations végétales basses, telles que savanes, champs, marais, et les plages plus claires à des secteurs forestiers (forêts primaires, secondaires, arrières-mangroves, *igapós*).

Certains secteurs peuvent être bien individualisés : l'image RSO de JERS-1 permet de bien situer le secteur podzolisé proche de la côte ouest. Les lacs apparaissent également sombres, mais ceux qui sont bordés ou recouverts par une forêt galerie développée, ainsi que les *igapós,* ressortent mal, ils se confondent avec d'autres secteurs forestiers.

D'une manière générale, la cartographie du centre de l'île reste malaisée : les zones sombres s'individualisent, mais il est difficile de dire s'il s'agit d'une portion de savane ou d'une parcelle cultivée. Si la forme géométrique de la zone permet de penser qu'il s'agit d'un abattis, on ne peut distinguer s'il est encore en culture ou bien s'il s'agit d'une friche récente, d'autant plus que les rotations agricoles sont rapides. De même pour les surbrillances intermédiaires, qui peuvent correspondre à une forêt secondaire, une arrière-mangrove, un *igapó,* etc.

Retenons cependant que l'image radar, en particulier l'image RSO de ERS-1 permet un zonage approximatif du centre de l'île, où l'on peut distinguer quatre types d'espaces :

- les pointes de mangroves s'enfonçant dans l'intérieur de l'île ;
- les secteurs podzolisés ;

- les formations forestières sans distinction entre forêt primaire et forêt secondaire ;
- les savanes ou espaces anthropisés.

L'image RSO de ERS-1 est beaucoup plus précise pour ce qui est de la distinction entre les secteurs de mangrove et ceux de formation végétale de terre ferme. On peut supposer que ces changements se manifestent par une subtile modification de l'aspect de la canopée, qui est visible en bande C.

4. APPORTS DU RADAR SUR L'ÉTUDE DU LITTORAL

4.1. Les écosystèmes littoraux

Trois agents morphologiques principaux, la mer, les fleuves et le vent, sont les moteurs d'une dynamique importante qui explique la localisation des différents écosystèmes littoraux de l'île. On distingue donc ainsi trois domaines : la façade ouest de l'île, zone d'abrasion marine, la façade nord-est, zone d'accumulation marine et d'action éolienne, et le pourtour sud, sous influence fluviale.

La façade ouest se présente comme une succession de caps rocheux et d'anses sableuses. Les caps, en faisant obstacle aux courants littoraux, entraînent le dépôt des matériaux transportés en suspension, formant des plages composées de sable fin sur le haut de l'estran et de vases dans leur partie basse. Cependant, sous l'action combinée des vagues et courants notamment lors des grandes marées, la côte est progressivement érodée.

À l'inverse, la façade nord-est, face à l'océan et aux alizés, est une zone d'accumulation. Un puissant courant marin y dépose des sables très fins, qui seront ensuite repris par le vent pour former des dunes. Le paysage est marqué par une longue et très large plage, prolongée dans l'océan par des bancs de sable, battue par un vent incessant et ourlée de champs de dunes dans lesquels on distingue des zones de dunes fossiles (éloignées du rivage, couvertes d'une végétation arborée fermée) et des zones de dunes actives.

Le pourtour sud de l'île, mieux protégé des dynamiques marines, est sous une influence fluviale : les vases charriées en saison des pluies par les fleuves Marapanim et Maracanã s'y déposent, favorisant l'implantation de la mangrove. Seule formation végétale adaptée à l'eau salée, celle-ci enva-

hit tous les espaces intertidaux, et s'insinue jusqu'au coeur de l'île dont elle est le milieu naturel le plus étendu. On doit cependant distinguer la mangrove, inondée quotidiennement, et l'arrière-mangrove, atteinte seulement par les plus grandes marées, et où la canopée est moins fermée, les arbres étant séparés par des espaces herbeux. Elle est bordée, au sud de l'île, par des bancs de vases, ou vasières, visibles à marée basse, qui se déplacent lentement sous l'action des marées.

On distingue donc deux milieux concurrents dans l'étage intertidal : les milieux sableux, représentés par les deux types de plages décrits ci-dessus, et les milieux vaseux, le plus souvent colonisés par la mangrove. La même distinction se fait en arrière du trait de côte entre les champs de dunes et les mangroves, qui peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres.

4.1. Cartographie des plages et des zones d'accumulation

L'étude de la géomorphologie littorale est l'un des points forts des images radar fournies par le capteur RSO de ERS-1, d'autant que l'image reçue de ce capteur avait l'avantage d'avoir été prise à marée basse, découvrant ainsi tout l'espace intertidal. La plupart des zones littorales de l'île sont constituées de zones de plages ou de vasières composées d'éléments fins, lisses vis-à-vis du radar. Elles se présentent donc dans les images comme des étendues très sombres le long du littoral. On ne peut cependant différencier d'après leur apparence les vasières et les plages. Il faut déduire la nature des zones sombres de leur position et de leur forme : les plages se trouvent dans les baies sur le pourtour de l'île, les vasières au contact des mangroves.

La grande plage du nord de l'île d'Algodoal est bien visible sur l'image RSO de ERS-1. Elle n'est cependant pas uniforme. Elle est en effet traversée par de longues bandes qui apparaissent en surbrillance. Il est difficile de penser qu'il existe en ces endroits, qui appartiennent à l'espace intertidal, des bandes de végétation ou des affleurements rocheux. L'expérience du terrain nous apprend de surcroît que cette plage est parfaitement uniforme. Il faut donc en déduire que ces réflexions plus fortes sont liées à un relief de la plage, qui oriente la réflexion spéculaire dans la direction du satellite, créant ainsi la surbrillance. L'angle relatif entre ces bandes et la direction de visée du radar est d'environ 30° dans la partie sud de cette plage, alors qu'il est presque nul dans la partie nord.

Ainsi, concernant la grande plage d'accumulation au nord-est de l'île, on reconnaît bien les bancs de sable prolongeant la plage, signe d'une accumulation progressive, ainsi que les chenaux d'écoulement. La zone médiane où débouchent deux importants canaux de mangrove, est très tourbillonnaire à marée descendante et laisse sur le sable des formes multiples de cuvettes, rides de courant et bancs de sable, traduits sur l'image par des surbrillances diverses (figure 4).

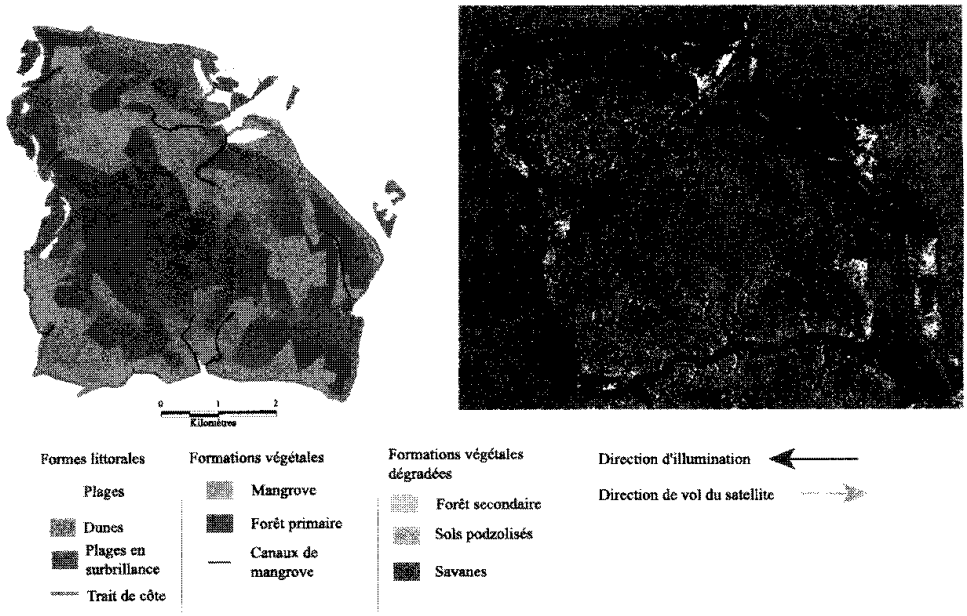


FIGURE 4 Image RSO de ERS-1 et son interprétation (voir planche couleur I en fin de revue)

Sur la façade ouest, les surfaces lisses apparaissant sous la forme de bandes noires, on distingue très bien la partie haute de l'estran dans les anses sableuses. Leur partie basse, nous l'avons vu, est composée des éléments les plus fins, donc facilement modelés en rides de courant par les vaguelettes de la marée descendante, phénomène traduit sur l'image par une légère surbrillance.

L'image RSO de JERS-1 prise à marée haute, montre par ailleurs les caps pierreux émergeant à la pointe de chaque anse, et qui soulignent l'abrasion par les vagues et les courants. On a donc bien en main tous les éléments nécessaires pour reconnaître les dynamiques d'érosion à l'ouest, d'accumulation au nord-est.

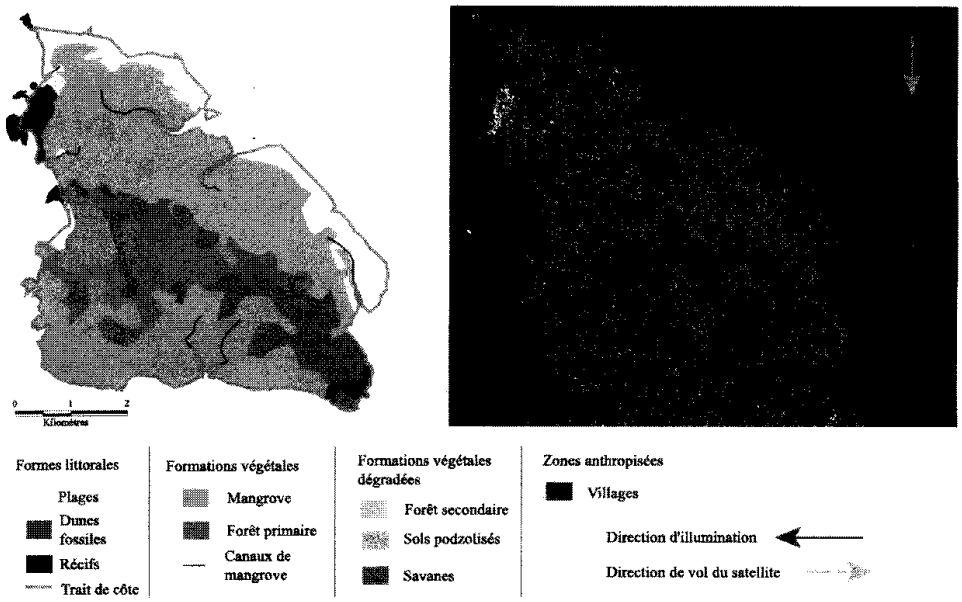


FIGURE 5 Image RSO de JERS-1 et son interprétation (voir planche couleur II en fin de revue)

4.2. Cartographie des mangroves

Les mangroves apparaissent nettement sur l'image RSO de ERS-1. Elles présentent une texture plus claire que celles qui apparaissent dans l'intérieur des terres, et on distingue clairement leur frontière avec l'eau ou avec les plages. Nous interprétons cet aspect clair des mangroves comme étant dû à des phénomènes de réflexions multiples, l'eau et le tronc des arbres pouvant dans certaines configurations se comporter comme un dièdre droit.

La cartographie des zones de mangrove se heurte cependant à la difficulté qu'il y a à voir le passage entre le mangrove et les zones de forêt secondaire (déjà souligné dans Bjerkelund *et al.*, 1992). Il faut donc considérer quel est le recoupement entre la saisie des mangroves que l'on peut faire dans chacune des images. La carte des milieux naturels tirée de la classification d'une image HRV-XS et complétée sur le terrain sera notre référence. On peut comparer la surface totale de mangroves identifiée dans chaque source :

- 7,4 km^2 pour HRV-XS ;
- 8 km^2 pour le RSO de ERS-1 ;
- 9,2 km^2 pour le RSO de JERS-1.

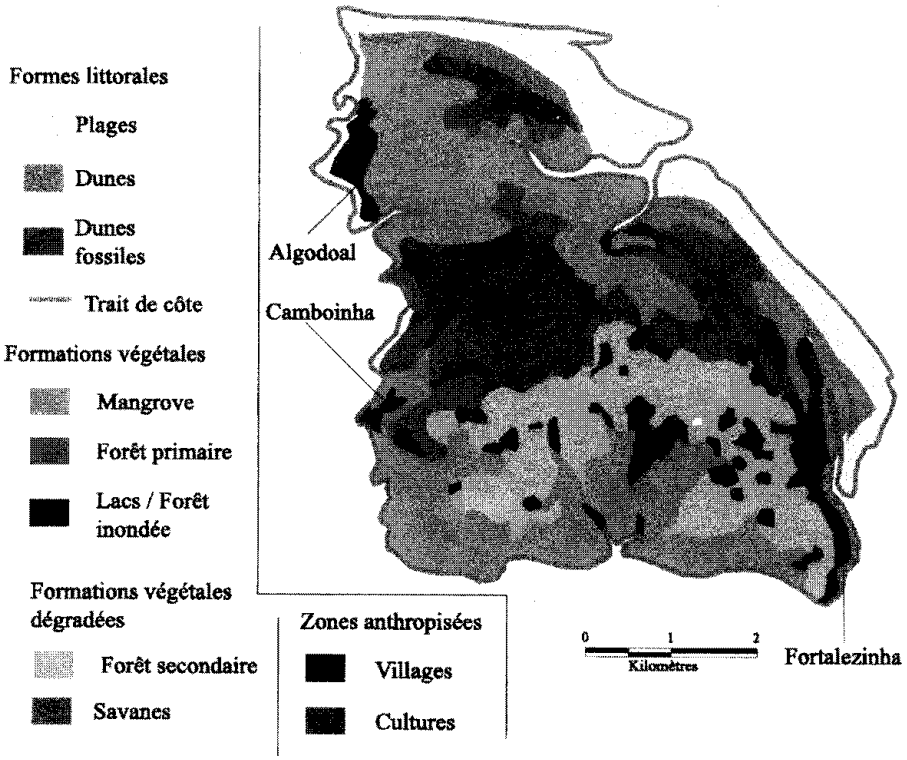


FIGURE 6 Carte des milieux naturels tirée d'une classification vérifiée sur le terrain d'une image HRV-XS de SPOT (voir planche couleur III en fin de revue)

Il y a donc un recoupement de 80 à 90 % entre les différents capteurs. Les différences peuvent s'expliquer de plusieurs manières. La mangrove n'est tout d'abord pas uniforme et il est probable que certaines parties plus abîmées ou moins denses donnent des réponses différentes selon les capteurs. Les images ne sont de plus pas prises à la même date et il est possible que la différence soit due à des effets saisonniers, notamment dans l'image RSO de JERS-1, prise lors de la saison des pluies et sur laquelle des parties importantes des différentes forêts sont probablement inondées. Enfin les lambeaux de forêt primaire ont une canopée très semblable à celle des mangroves, ce qui peut expliquer une partie des confusions.

On notera tout de même que le capteur RSO de ERS-1 donne une image plus contrastée des milieux naturels, avec une surface de mangroves beaucoup plus proche de l'image HRV-XS (et de la réalité du terrain) que l'image du RSO de JERS-1. Par ailleurs, les éléments les plus larges du réseau de canaux qui la parcourent ressortent bien sur cette image.

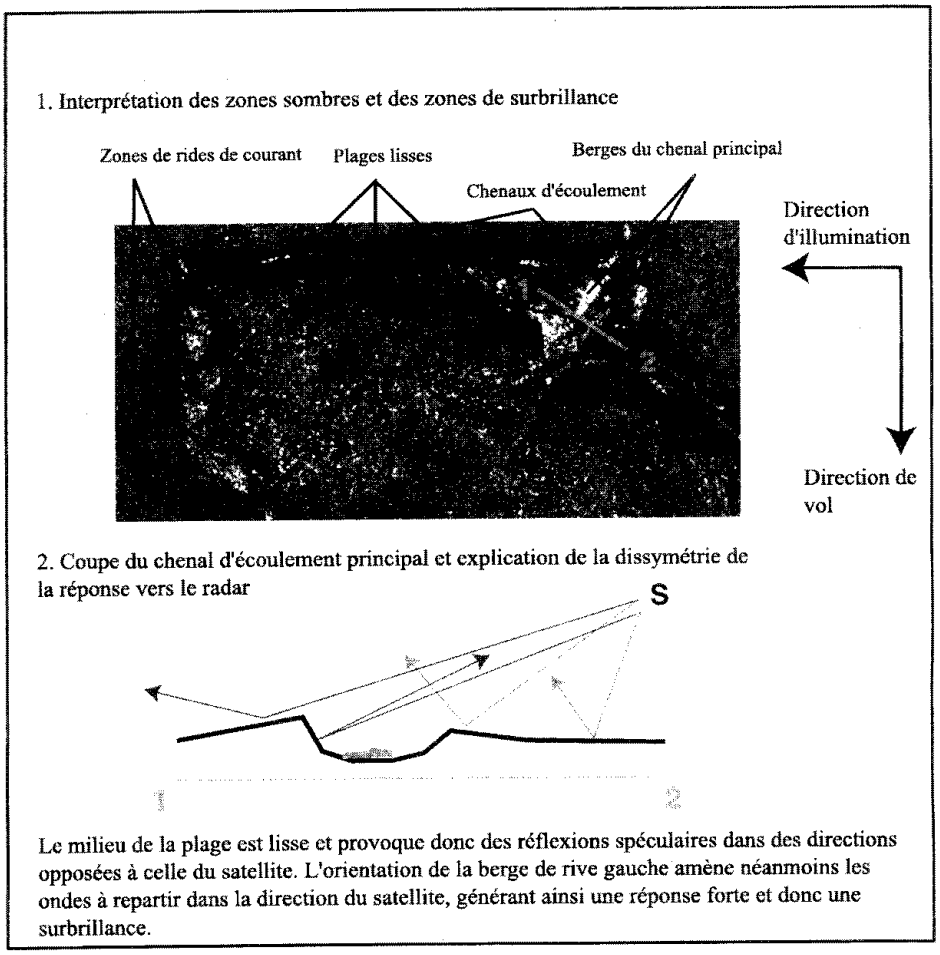


FIGURE 7 La géomorphologie littorale vue par le RSO de ERS-1

4.3. Difficultés de l'interprétation des images vis-à-vis de l'habitat

Les villages de l'île d'Algodoal apparaissent mal sur l'image RSO de ERS-1, ils sont beaucoup mieux repérés sur l'image RSO de JERS-1. Sur l'image produite par le satellite européen en effet, le village de Fortalezinha est inclus dans une zone blanche qui paraît beaucoup plus étendue que le village ne peut l'être. On peut penser que la surbrillance que devrait provoquer le village est confondue dans celle que provoque la plage, d'autant que la plupart des maisons sont construites sur la dune et que les rues y sont en sable. L'image RSO de JERS-1 permet de le saisir avec ses justes proportions. D'un autre côté le village d'Algodoal est très difficile-

ment repérable sur l'image RSO de ERS-1, alors qu'il est bien visible sur l'image RSO de JERS-1. En bande L en effet, le contraste entre les constructions et les zones sableuses est plus important et ressort donc mieux. De plus on sait que l'angle d'incidence plus élevé du RSO de JERS-1 est en général plus favorable pour la détection des zones bâties (Rudant *et al.* 1996). Il est donc impossible de tirer des images présentées ici de quelconques renseignements sur l'habitat de l'île, hormis le contour des villages. Cela étant, il faut bien noter que l'habitat de l'île d'Algodoal se confond facilement avec le milieu naturel. Les maisons sont faites de bois ou parfois de briques de terre et les toits sont faits de palmes, de couvert naturel et, rarement, de tuiles.

5. CONCLUSION

La dernière figure permet d'effectuer une comparaison des interprétations des trois sources d'information dont nous disposions. Dans l'ensemble, si les capteurs radar ont une moins grande finesse dans la distinction des milieux naturels proches, ils donnent néanmoins une image assez fidèle de l'île, surtout si l'on prend en compte les effets de la saison et le fait que l'évolution de l'île, tant dans sa géomorphologie que dans ses écosystèmes, est rapide.

Cette étude avait pour but de voir quelle était la finesse de la cartographie des milieux naturels que l'on pouvait réaliser par interprétation visuelle avec des images radar, notamment issues du RSO de ERS-1. Elle est le prélude à l'exploitation d'une mosaïque de plus d'une vingtaine d'images, couvrant une zone de plusieurs centaines de milliers de kilomètres carrés. L'intérêt des capteurs radar réside en effet probablement plus dans la possibilité qu'ils offrent de produire des images en toute circonstance et dans la possibilité de les assembler dans de grandes mosaïques cohérentes dans le temps que dans leur finesse sur les plus petits détails. Cet exemple nous amène à penser qu'une cartographie des paysages au 1 : 100 000 à partir de mosaïques radar est possible.

Références

Beaudoin, A., Deshayes, M., Hardy, S., Le Toan, T. and Girou, D. (1992) Use of SAR data for the mapping of shifting cultivation in french Guiana. p. 185–192 *in Sarex-92, South American Radar Experiment Workshop Proceedings,* ESA Workshop Preliminary Proceedings, Paris, 250 p.

Bjerkelund, C., Tittley, B. and Elizondo, C.L. (1992) Potential of airborne C-Band SAR Data for studying coastal dynamics along a section of the Pacific coast of Costa Rica. p. 119–130 *in Sarex-92, South American Radar Experiment Workshop Proceedings,* ESA Workshop Preliminary Proceedings, Paris, 250 p.

Bonn, F. et Rochon, G. (1992) *Précis de Télédétection ;* Vol. 1 Principes et méthodes, PUQ-AUPELF, Québec, 485 p.

Cantou, J.P. et Tonon, M. (1997) Cartographie radar de la Guyane : vers une chaîne de production opérationnelle de spatiocartes. *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection,* n° 148, p. 36–43.

Diegues, A.C., Cardoso, E.S. e Leitão, W. (1992) *Populações litorâneas, movimentos sociais e ecossistemas da costa Brasileira.* Centro de Culturas Marítimas, Université de São Paulo, 250 p.

Furtado, L.G. (1980) *Curralistos e redeiros de Marudá. pescadores do litoral do Pará.* Thèse de doctorat, Université de São Paulo, 350 p.

Luckman, A., Baker, J., Lucas, R. and Kuplich, T. (1995) Retrieval of the biomass of regenerating tropical forest in Amazonia using spaceborne SAR data. in *Extraction de paramètres biogéophysiques à partir de données RSO pour les applications terrestres,* CNES, Toulouse, p.155–171.

Poccard, R. (1996) *Géographie de l'île d'Algodoal,* Mémoire de maîtrise, Université de Paris IV, 150 p.

Rudant, J.P., Baltzer, F. et Pénicand, C. (1996) Apport des images radar ERS-1 et JERS-1 dans le domaine de la cartographie générale et thématique en contexte tropical humide. *Bulletin de la société française de photogrammétrie et télédétection,* n° 142, p. 15–26.