

P21

**APPORT DU SATELLITE SPOT A LA CONNAISSANCE DES ECOSYSTEMES
RECIFEAUX CORALLIENS. LA VEGETATION MARINE DE L'ILE DE MOOREA
(POLYNESIE FRANCAISE)**

**CONTRIBUTION OF SPOT SATELLITE DATA TO THE KNOWLEDGE OF CORAL
REEF ECOSYSTEMS. THE MARINE VEGETATION OF MOOREA ISLAND
(FRENCH POLYNESIA)**

**T. BELSHER (1), A. MEINESZ (2), C. PAYRI (3),
H. BEN MOUSSA (1)**

(1) IFREMER, Centre de Brest, DRO/EL, B.P. 70, 29280 Plouzané
FRANCE

(2) Université de Nice, Laboratoire Environnement Marin
Littoral, Parc Valrose, 06034 Nice Cédex FRANCE

(3) Antenne du Muséum/EPHE, Centre de l'Environnement, B.P.
1013, Moorea POLYNESIE FRANCAISE

RESUME

Le rôle joué par les algues benthiques dans l'écosystème corallien est multiple : protection des récifs, maillon de chaînes alimentaires, structure d'accueil de la faune, production de substances diverses. A ce titre, toute fluctuation mesurée à partir d'un état de référence peut être bio-indicatrice. Le satellite SPOT permet, grâce à ses capteurs à haute résolution et à son enregistreur, de fournir la cartographie globale des végétaux marins ainsi que celle des principaux composants de l'écosystème lagunaire de l'île de Moorea (Polynésie française). Cette première approche écologique par satellite se devrait d'être confortée, du fait du développement de pollutions d'origines diverses, par un suivi multitemporel.

19 FEV. 1996



O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

537

N° : 43084

Cote : A

ABSTRACT

Contribution of SPOT Satellite at the knowledge of the coral reef ecosystem. The marine vegetation of Moorea island.

Benthic algae hold an important place on the reef ecosystem. In particular, they can be considered as bio-indicators of possible or existing pollution. Thus, the measure and time variation of the area occupied by benthic algae can give an information on the state of health of the reef ecosystem. Computer assisted interpretation of SPOT Images results in the first global qualitative and quantitative map of the main benthic components of the lagoon of Moorea island (French Polynesia). This approach must be confirmed by a time monitoring.

INTRODUCTION

L'objectif a été de déterminer, dans le cadre du Programme d'Evaluation Préliminaire du satellite SPOT, les potentialités de ce satellite pour la cartographie qualitative et quantitative des peuplements végétaux marins d'une île haute de Polynésie française, Moorea, présentant un lagon de dimension suffisante. Le choix de cette île a également été guidé par l'existence de recherches antérieures sur les peuplements récifaux réalisées principalement sous l'égide de l'antenne de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (MNHN) à Moorea (Payri, 1982 : Payri et Meinez, 1985 ; Galzin et Pointier, 1985).

Les macrophytes marins constituent une cible télédélectable intéressante à plusieurs titres, dans la mesure où les fluctuations de la végétation algale sont reliables à l'évolution générale de l'écosystème (Payri, 1982). Ces fluctuations sont conditionnées non seulement par des facteurs naturels mais aussi par diverses sources de pollution telles que les extractions de coraux, les rejets non épurés (Salvat et al., 1979). Dans d'autres types de milieu, telle la mer Méditerranée, qui reçoit de nombreux rejets non traités, il en est de même (Belsher, 1979).

Une cartographie répétitive de la végétation algale peut donc permettre d'espérer faire la part des sources de pollution, de diagnostiquer l'état de l'écosystème et de prévoir en partie son évolution probable. L'exploitation des données du satellite LANDSAT (Binar et al., 1978 ; Pirazolli, 1982, 1985a et 1985b), puis de celles de simulation du satellite SPOT (Bour et al., 1985a, 1985b), ainsi que les études de référence de Payri (1982), (Payri et Meinez, 1985) sur la végétation marine de Moorea, ont été autant d'éléments favorables à l'exploitation des données réelles de l'imageur du satellite SPOT. Aussi, une scène sur l'île de Moorea a-t-elle été programmée dans le cadre du "PEPS VEGMA", programme

international d'évaluation du satellite SPOT sur la végétation marine.

MATERIEL ET METHODES

Acquisition des données satellitaires

La scène a été acquise par le satellite SPOT, en mode multispectral, le 11 août 1986 à 20h14mn44s GMT, soit 10h14mn44s heure locale. L'angle de prise de vue était de 6,6W. L'exploitation des images est conduite par l'intermédiaire des logiciels Gipsy et Gringo (Belbeoch, 1983).

Photo-interprétation

Le Service de l'Aménagement du Territoire (Papeete, Tahiti) nous a fait bénéficier d'une couverture aérienne à l'échelle du 1/30 000^{ème} (Mooréa/08/300 : chambre focale de 152mm) prise le 23/07/1986, entre 10h15 et 11h05 (heure locale) et destinée à la levée de la carte au 1/25 000^{ème} de l'île de Moorea.

Vérité de terrain

Les données de terrain ont été acquises au cours d'une mission réalisée du 8 février au 3 mars 1987. Afin de permettre la photo-interprétation et valider l'imagerie SPOT, 22 trajets, 15 reconnaissances ponctuelles et 440 mesures bathymétriques ont été réalisées.

Un catalogue des signatures spectrales des principaux constituants du lagon a également été constitué en fonction de la profondeur, à l'aide d'un radiomètre CIMEL.

Algorithmes de traitement

Une composition colorée a été créée à partir des images brutes des canaux XS1 (0,50 - 0,59 μ m), XS2 (0,61 - 0,69 μ m) et XS3 (0,79 - 0,89 μ m). Le proche infrarouge étant absorbé par l'eau, le canal XS3 permet de seuller les surfaces émergées. Un rehaussement de contraste adapté à chacune des parties terrestres et marines peut alors être effectué. Dans un premier temps, il a fallu tenir compte du fait que la végétation du récif barrière est sporadiquement et superficiellement émergée. Celle-ci a donc été traitée séparément, à l'aide de l'indice de végétation classique XS3-XS2/XS3+XS2, de celle implantée dans le lagon. L'information extraite a ensuite été ramenée sur l'image finale. Le canal XS1, du fait de sa meilleure pénétration dans l'eau, a permis d'éliminer les surfaces sous-marines situées hors du lagon,

objet principal de l'étude, c'est-à-dire en dessous de l'isobathe - 15m. Il a permis aussi de supprimer les quelques nuages occultant une partie du lagon et du domaine terrestre. Ainsi qu'il a été montré lors d'études réalisées sur des secteurs similaires, à l'aide de simulations SPOT (Bour et al., 1985a ; Thomassin et al., 1986), la corrélation importante entre XS1 et XS2 n'est pas favorable à une classification thématique des composants immergés du lagon. Aussi, après exploitation des données radiométriques de terrain, comparaison avec les réflectances déduites des données satellitaires, et étalonnage radiométrique approprié, une nouvelle image est créée, comprenant les canaux XS1, (XS1²/XS2), XS3. Une analyse en composantes principales est alors menée à partir des pixels correspondant à chacun de ces canaux. Enfin, l'information géographique terrestre et celle concernant les nuages, contenues dans le canal XS1, ont été ramenées en lieu et place du masque déterminé par seuillage en début de traitement.

RESULTATS

Données radiométriques de terrain

Végétation

L'indice de végétation $(XS3-XS2)/(XS3+XS2)$ est peu variable pour les peuplements étudiés (écart-type de 0,062 pour une moyenne de 0,677). Il est donc valable pour une estimation de la couverture végétale dans ce secteur. Quant au rapport XS1/XS2, qui constitue un indice pigmentaire (VIOLLIER et al., 1985), il permettrait éventuellement, dans de bonnes conditions de marée, de discriminer les sargasses des autres peuplements.

En définitive, l'eau du secteur de Moorea s'avère très transparente, la réflectance du sable restent de l'ordre de 20% pour une profondeur de 2,5m.

Quant aux coraux vivants, ils semblent avoir un comportement particulier : comme un végétal pour la lumière verte (XS1, forte absorption) et comme un substrat pour la lumière rouge (XS2, peu d'absorption). Cette hypothèse est à vérifier avec d'autres mesures.

Traitement d'images satellitaires

Les traitements réalisés, corrélés aux données de terrain, permettent d'identifier les différentes zones géomorphologiques du complexe récifal :

- La barrière récifale : elle délimite le lagon et entoure totalement l'île à une distance moyenne d'environ 800m. Douze passes d'importance inégale entaillent le récif barrière.

Le lagon : conformément à la terminologie de BATTISTINI et al., (1975), trois zones ont été distinguées, de la barrière récifale à la côte :

- le platier récifal, champ de pâtés coralliens dispersés sur une étendue sableuse ;
- le chenal lagonaire séparant platier récifal et récif frangeant, aux limites irrégulières et dont la profondeur atteint - 10m à Tiahura ;
- le récif frangeant formé de coraux dispersés ou jointifs et de sédiments meubles, à des profondeurs comprises entre - 0,2m et - 2m.

Sur l'image finale issue des traitements, seize thèmes sont discriminés. Pour la plupart d'entre-eux la superficie représentée est calculée. Une légende thématique explicite la carte de Moorea proposée (planches P21A et 21B).

Végétation

Les zones de végétation dense constituées essentiellement de Phéophycées (*Turbinaria ornata*, *Sargassum* sp.) et Rhodophycées (Mélobésiées) occupent une faible part de l'écosystème lagonaire de Moorea. Elles apparaissent localisées sur le platier du récif frangeant (134,72ha) et sur les pentes interne (185,48ha) et externe (28,92ha) du récif barrière. Celui-ci est également colonisé par une végétation sporadiquement émergée, qui, au moment de l'acquisition de l'image SPOT, couvrait une superficie de 57,80ha.

Les algues colonisant le platier sont généralement implantées sur des coraux morts. La précision et l'intérêt de ces données synthétiques doivent être tempérés par le fait que :

- des fluctuations saisonnières très importantes peuvent affecter le matériel végétal (Payri, 1982) ;
- les discriminations entre espèces que laissaient espérer les mesures radiométriques au sol n'ont pu être prises en compte du fait de la faible étendue des espèces concernées au moment de l'acquisition SPOT.

L'une des premières phases de traitement de l'imagerie SPOT, le rehaussement de contraste, a permis de mettre en évidence certaines conséquences des perturbations météorologiques enregistrées le 7 août 1986. A la suite d'un coup de vent, entraînant une augmentation du niveau de l'eau de 1m dans le lagon et une agitation conséquente, des algues ont été arrachées de la barrière récifale. Entremêlées à des débris divers, elles forment de gigantesques radeaux dérivant au gré de la circulation des eaux dans le lagon. Ces radeaux ont une réflectance propre au matériel végétal qui permet de les identifier avec d'autant plus de certitude sur la scène

SPOT que leur présence à la surface du lagon est tout-à-fait insolite (planche P21C).

Coraux vivants

La superficie occupée par les coraux non recouverts par la végétation, et assimilés à des coraux vivants, a été évaluée à près de 313ha, ce qui ne représente que 6,4% de la superficie du lagon. Les principaux secteurs d'extraction de sable corallien, qui sont une des causes de la diminution des coraux vivants, sont parfaitement identifiables, en particulier dans le secteur de la pointe Teepe (planche P21C), de même que sur les photos aériennes.

Bathymétrie

Le jour de la prise de vue par SPOT, les eaux du lagon étaient calmes et généralement claires. Aussi, la superposition des données bathymétriques issues de la carte SHOM (n° 6658 - îles de Moorea 1/50 000^{ème}) est-elle bonne entre 0 et 15m. Les traitements effectués et notamment l'analyse en composantes principales de l'image composée des canaux (XS1, (XS1²/XS2), XS3) traduisent en couleurs non seulement la nature des fonds, mais aussi leur profondeur, permettant de meilleures discriminations par rapport aux photos aériennes. L'un des exemples les plus significatifs est la passe de Taotoï : une protubérance apparaît au-delà de la passe entre les isobathes - 10 et 20m. Une plongée a permis de l'identifier comme haut fond formé par des sédiments composites amenés vraisemblablement par les eaux du chenal lagonaire (Denizot, comm. pers.). Dans la passe même, les hauts fonds délimités par l'isobathe - 2m au moment du levé de la carte par le SHOM se sont étendus (planche P21D). De manière générale, pour les récifs frangeants, les limites cartographiques sont en concordance avec celles issues du traitement de l'imagerie SPOT (planche P21D). Cependant, des exceptions dues vraisemblablement à des phénomènes locaux plus ou moins temporaires (ruissellements, turbidité...) démontrent la nécessité d'un suivi multitemporel.

CONCLUSION

Le système SPOT permet, pour la première fois, d'aborder l'étude de l'écosystème lagonaire de l'île de Moorea de façon globale dans les limites d'une scène multispectrale de résolution 20m, ainsi que dans celles, bathymétriques (entre 0 et - 15m) définies au préalable pour des raisons logistiques.

Au cours de cette étude, la superficie marine totale traitée, comprenant la quasi totalité du lagon, la barrière récifale, et une partie de la pente externe, a été de 5 358,36ha.

Les principaux types de substrats meubles (à coraux vivants dominants, à sable dominant, à vase dominante), dans la mesure où ils ne sont pas recouverts par la végétation, ont pu être discriminés. Ils occupent 1 072,20ha.

Les macrophytes marins, objectif principal de cette étude, apparaissent de façon globale. En effet, bien que les données radiométriques de terrain aient montré que certains peuplements exondables, en particulier à *Sargassum*, pouvaient être discriminés, il n'a pas été possible de le faire. Ceci tient principalement aux faibles superficies exondées concernées lors de la prise de vue SPOT.

Les macrophytes marins répartis de façon dense occupent 406,92ha dont 320,20ha concernent le lagon. La superficie de celui-ci ayant été évaluée à 4 864,88ha, ils ne représentent donc que 6,6 % de sa surface. La majeure partie de ces peuplements d'algues denses s'étant établie sur des coraux morts ils s'avèrent coloniser une superficie supérieure à celle occupée par les coraux vivants, soit 6,4 %. L'écosystème lagunaire de l'île de Moorea tendrait donc vers le déséquilibre. L'évolution de ces peuplements végétaux bio-indicateurs sera donc à suivre avec d'autant plus de précision et une maille temporelle fine qu'ils subissent des variations saisonnières importantes. Afin de les cerner au mieux, et de faire ainsi la part des fluctuations dues à la pollution du lagon, des acquisitions complémentaires, dans le mode multispectral et le mode panchromatique, de résolution 10m, du satellite SPOT, seront nécessaires.

Les principales zones d'extraction de sable corallien, exploitations sources de destruction et de pollution de l'écosystème corallien sont parfaitement identifiables et le suivi des dommages causés possible, de même que certaines des conséquences de perturbations météorologiques, telles que les radeaux formés par les algues détachées du substrat.

L'information bathymétrique, corrélée à la nature du fond, végétalisé ou non végétalisé, a également pu être obtenue et vérifiée grâce aux cartes existantes les plus récentes du moment, ainsi que l'accroissement, qui s'avère particulièrement rapide, des hauts fonds de la passe de Taotoï.

Enfin, en dehors du domaine marin, la superficie de l'île de Moorea, qui est officiellement de 133,50km², a pu être calculée quasi instantanément. Elle s'élève, d'après la donnée SPOT, à 133,84km².

Cette étude montre tout l'intérêt des satellites à haute résolution qui permettent de saisir rapidement les caractéristiques globales d'un écosystème lagunaire. Les multiples atolls et îles coralliennes du Pacifique et de l'océan Indien où la transparence de l'eau est en dehors des perturbations météorologiques, ou des champs d'activité humaine, toujours élevée, sont autant de sites potentiels pour l'imagerie SPOT dans le domaine côtier et récifal. L'analyse comparée des données successivement obtenues devrait

permettre, dans les années à venir, d'accroître les connaissances quant au fonctionnement de ce type d'écosystème et de favoriser ainsi la prise de mesures adéquates quant à leur protection.

REMERCIEMENTS

Il nous est agréable de remercier ici les personnels du laboratoire de traitement d'images de l'IFREMER (Centre de Brest), du Service de l'Aménagement du Territoire et de l'Antenne de l'EPHE (Polynésie française) ainsi que tous ceux qui ont cru aux possibilités de la télédétection spatiale à haute résolution et nous ont témoigné, d'une façon ou d'une autre, leur confiance. Cette étude a bénéficié de soutiens financiers en provenance de l'ATP Télédétection spatiale et de l'IFREMER. Le support logistique à Moorea a été celui de l'antenne de l'EPHE (MNHN) dans le cadre d'un contrat IFREMER/EPHE.

AVERTISSEMENT

Cette communication est un résumé d'une publication parue dans "Oceanologica Acta" (13, 4) en 1990, à laquelle on se réfèrera pour plus de détails.

REFERENCES

BATTISTINI B. et al., 1975. Eléments de terminologie récifale Indo-Pacifique. *Téthys*, 7(1), p. 1-111.

BELBEOCH G., 1983. Logiciel interactif de traitement d'images numériques GIPSY, version II. IFREMER, COB, Brest, Département Informatique, avril 1983, 292 p.

BELSHER T., 1979. Analyse des répercussions du rejet en mer du grand collecteur de Marseille sur la fraction algale des peuplements photophiles de l'infralittoral supérieur. *Tethys* 9(1), p. 1-16.

BELSHER T., 1987. Apport du satellite SPOT à la cartographie qualitative et quantitative des végétaux marins. Colloque intern. "SPOT 1 Utilisation des images, bilan, résultats. CNES/SPOT Image, Paris, nov. 1987, vol. Cepadues ed., Toulouse, p. 1105-1114.

BELSHER T., A. MEINESZ, C. PAYRI, H.B. BEN MOUSSA, 1990. Apport du satellite SPOT à la connaissance des écosystèmes récifaux coralliens. La végétation marine de l'île de Moorea, Polynésie française. *Oceanol. Acta*, 13(4), p. 513-524.

BEN MOUSSA H., 1987. Contribution de la télédétection satellitaire à la cartographie des végétaux marins : archipel de Molène (Bretagne/France) : *Thèse Aix-Marseille II*, 122 p. + annexes.

BINAR R., K. CARPENTIER, W. ZACHER, R. JARA, J. LIM, 1978. Coral Reef mapping using Landsat data : follow up studies, Proc. 12th *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, ERIM, Ann Arbor, Michigan, p. 2051-2070.

BOUR W., L. LOUBERSAC, P. RUAL, 1985a. Use of high resolution satellite imagery (SPOT Landsat) in the thematic mapping of three coral Reefs of New-Caledonia. Proc. 5th *Intern. Coral Reef Congress*, Tahiti, 2, 42 p.

BOUR W., L. LOUBERSAC, P. RUAL, 1985b. Reef thematic maps viewed through simulated data from the future SPOT satellite, application to the biotop of Topshell (*Trochus niloticus*) on the Tetembia Reef (New Caledonia). Proc. 5th *Intern. Coral Reef Congress*, Tahiti, 4, p. 225-230.

GALZIN H., J.P. POINTIER, 1985. Moorea Island, Society archipelago. Proc. 5th *Intern. Coral Reef Congress*, Tahiti, 1, p. 73-102.

PAYRI, C.E., 1982. Les macrophytes du lagon de Tiahura (île de Moorea - Polynésie Française). Inventaire floristique - répartition - biomasse - variations saisonnières - dynamique des populations de *Turbinaria ornata* (Phéophycée, Fucale). Thèse de 3^{ème} cycle. *Université des Sciences et Techniques du Languedoc*, 149 p.

PAYRI C.E., A. MEINESZ, 1985. Algae. In Fauna and Flora, a first compendium of french polynesian sea-dwellers. Proc. 5th *Intern. Coral Reef Congress*, Tahiti, 1, p. 498-518.

PIRAZZOLI P.A., 1982. Télédétection en milieu récifal, utilisation d'une image Landsat pour évaluer la bathymétrie dans l'atoll de Rangiroa (Polynésie française). *Oceanis*, 8(4), p. 297-308.

PIRAZZOLI P.A., 1985a. Bathymetric mapping of coral reefs and atoll from satellite. PROC. 5th *Intern. Coral Reef Congress*, Tahiti, 6, p. 539-544.

PIRAZZOLI P.A., 1985b. Cartographie bathymétrique de récifs coralliens et d'atolls par satellite. *Coll. Franco-Japon. Oceanogr.*, 6, p. 147-148.

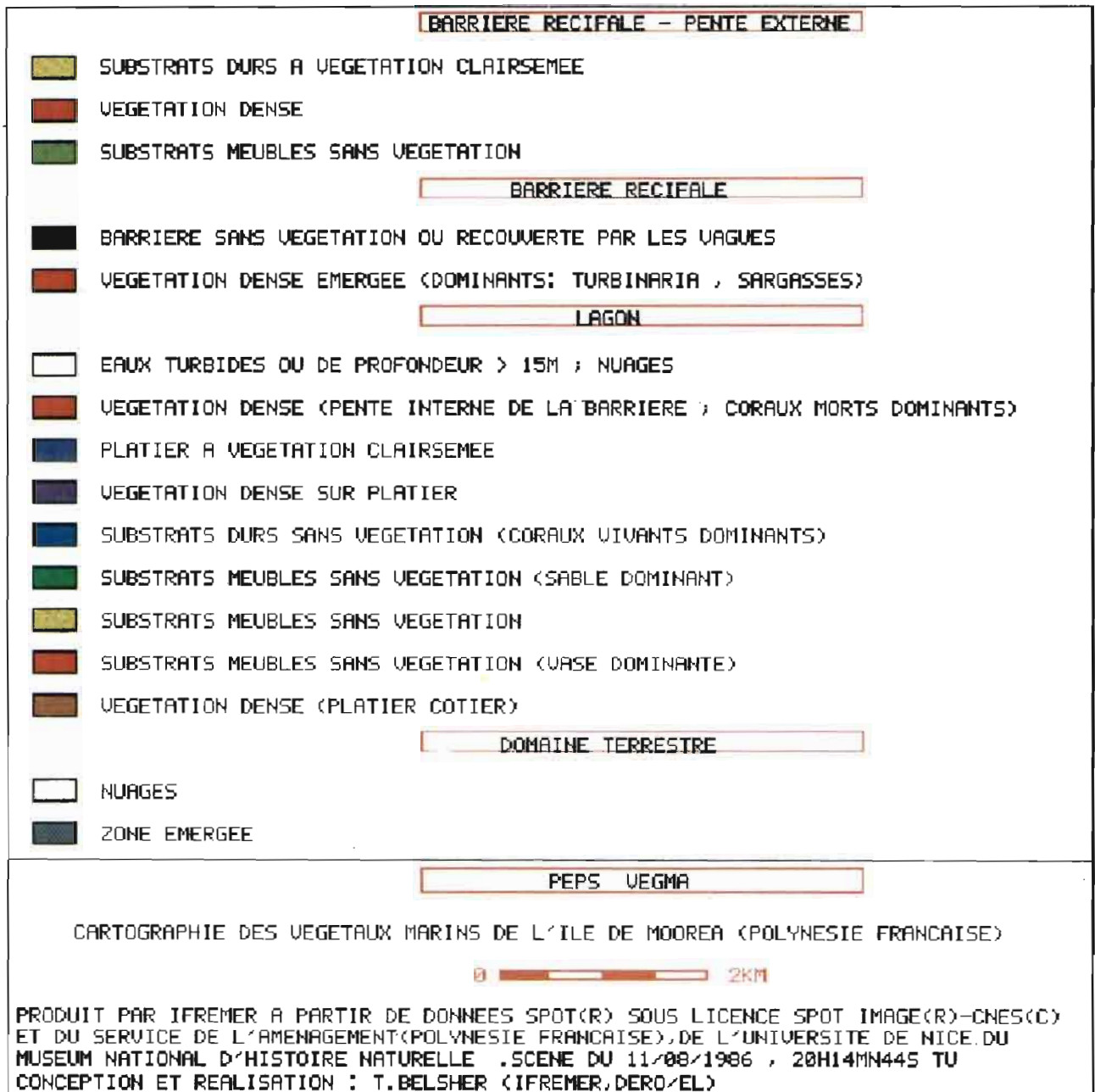
SALVAT B. et al., 1979. Conséquences écologiques des activités d'une zone d'extraction de sable corallien dans le lagon de Moorea (îles de la Société, Polynésie française). *Cahier de l'Indo-Pacifique*, 1(1) p. 83-126.

THOMASSIN B.A., B. COUT, L. LOUBERSAC, J. POPULUS, B. GUILLAUMONT, C. VERCELLI, 1986. Cartographie thématique des récifs coralliens par télédétection (simulation des données du satellite SPOT) : Problèmes méthodologiques en relation avec

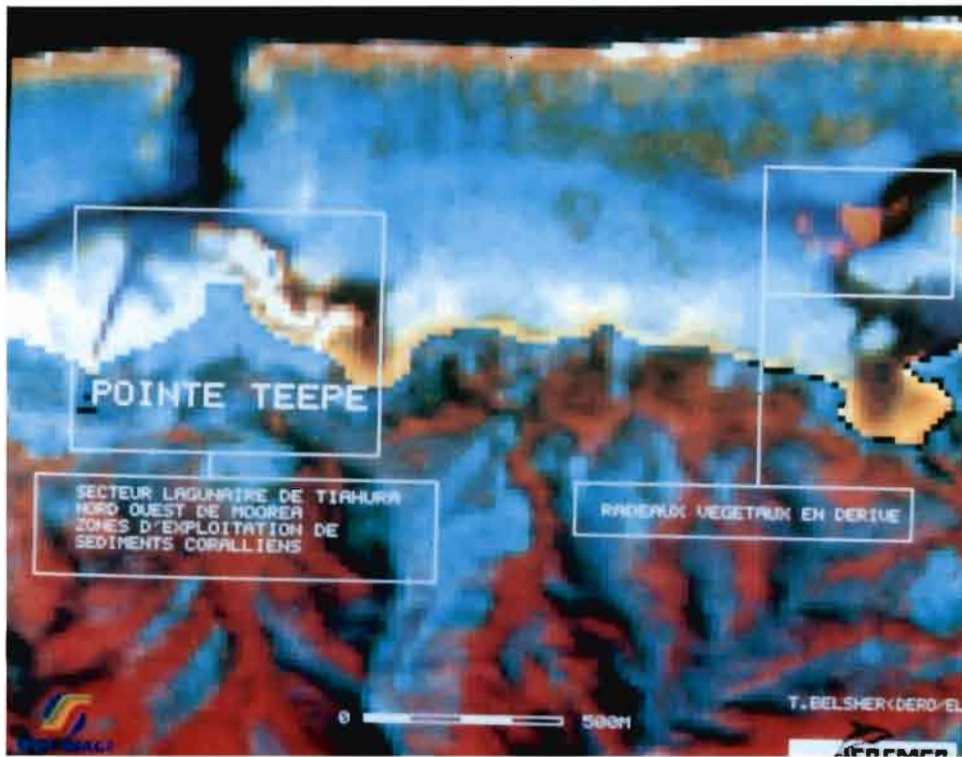
P21



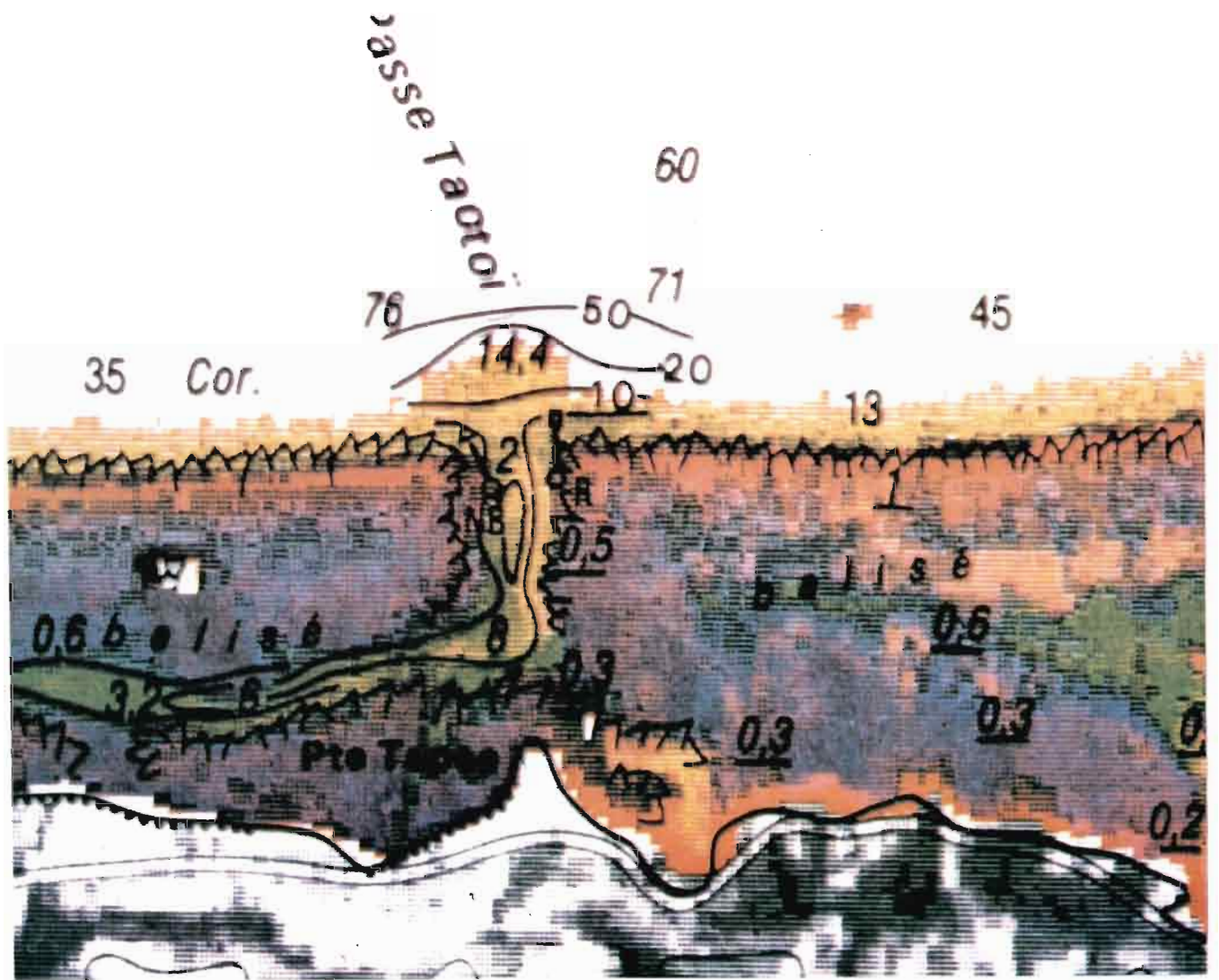
P21A : Traitement final de la donnée SPOT. Carte thématique de l'île de Moorea.



P21B : Légende thématique de la planche 21A.



P21C : Traitement de la donnée SPOT : radeaux végétaux et secteur d'extraction de coraux de Teepe.



P21D : Superposition des données bathymétriques SHOM au traitement final de l'image SPOT. Secteur nord-ouest de l'île de Moorea.

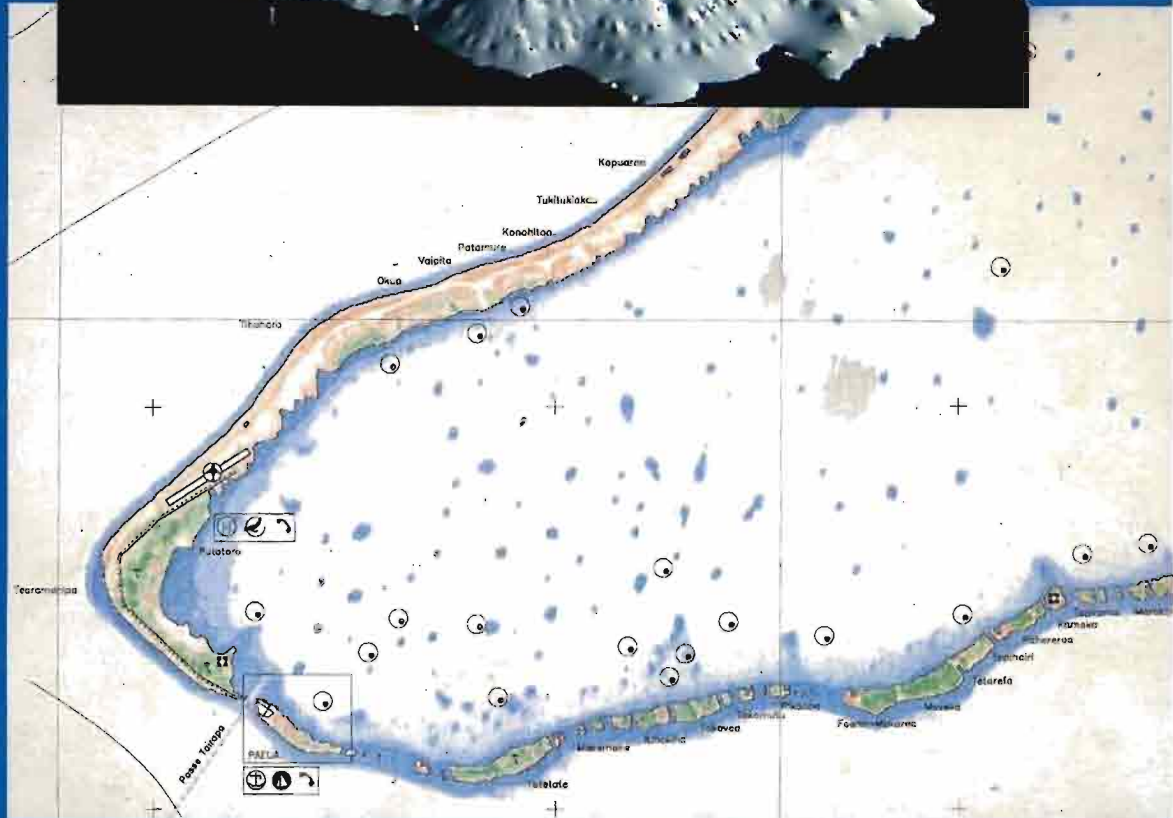
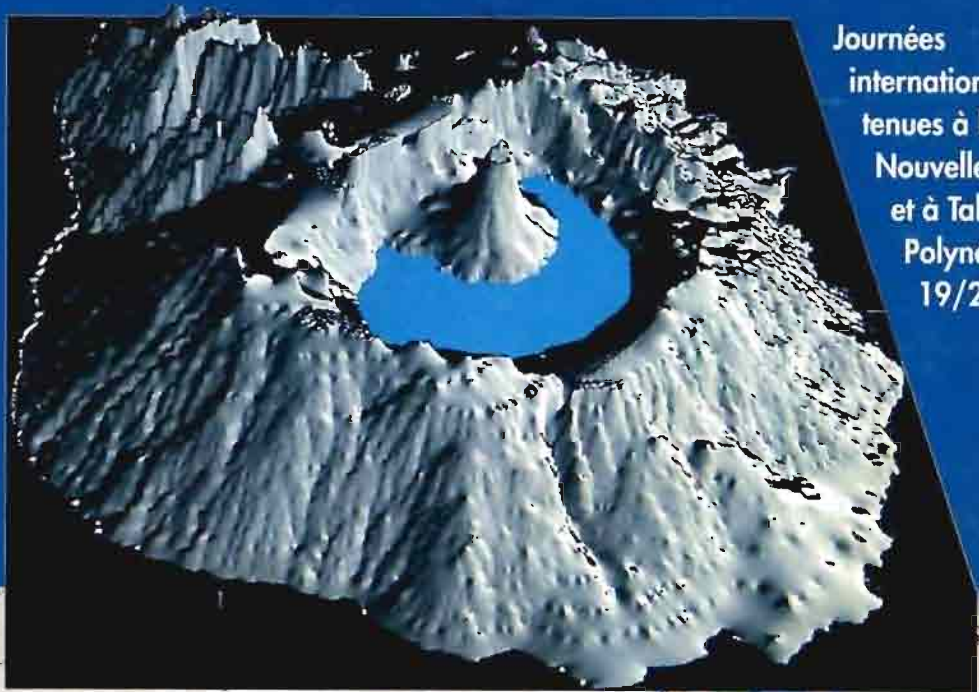
"PIX'ILES 90"

TELEDETECTION ET MILIEUX INSULAIRES DU PACIFIQUE : APPROCHES INTEGRES

REMOTE SENSING AND INSULAR ENVIRONMENTS IN THE PACIFIC :
INTEGRATED APPROACHES

International
workshop
held at Noumea
New Caledonia
and Tahiti
French Polynesia
Nov. 19/24 1990

Journées
internationales
tenues à Nouméa
Nouvelle-Calédonie
et à Tahiti
Polynésie Française
19/24 nov. 1990



ORSTOM



TERRITOIRE DE
POLYNÉSIE FRANÇAISE

"PIX'ILES 90"

**Journées internationales tenues à Nouméa - Nouvelle-Calédonie
et à Tahiti - Polynésie Française
19 / 24 novembre 1990**

**International workshop held at Noumea - New Caledonia
and Tahiti French - Polynesia
November 19 / 24 1990**



© ORSTOM, Nouméa, 1992

Imprimé par le Centre ORSTOM
de Nouméa
Septembre 1992

