

P4

LA SPATIOCARTE MARINE, UNE SOLUTION POUR LA CARTOGRAPHIE DES ATOLLS POLYNESIENS

THE MARINE IMAGE-MAP, A WAY TO MAP POLYNESIAN ATOLLS

A. FOURGASSIE

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
Mission océanographique du Pacifique, Nouméa
Echelon NOUVELLE-CALEDONIE

RESUME

La plupart des atolls polynésiens sont actuellement peu ou pas cartographiés. Les données topographiques ou bathymétriques recueillies par les méthodes classiques sont souvent trop parcellaires ou trop ponctuelles pour permettre la publication de cartes marines.

Les possibilités de l'imagerie SPOT sont maintenant bien connues aussi bien pour la topographie que pour la bathymétrie, et permettent d'envisager des exploitations cartographiques. Après avoir exposé les méthodes de traitement et leurs performances, différents types de produits cartographiques issus de SPOT sont présentés.

L'exemple des atolls d'Apataki, de Manihi et d'Ouvéa prouve que ces méthodes constituent une solution efficace pour la cartographie des îles du Pacifique.

La mise en place d'un programme de coopération entre le Territoire de Polynésie française, la Station Polynésienne de Télédétection et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, représenté par la Mission Océanographique du Pacifique, devrait permettre de réaliser rapidement une couverture cartographique complète de la Polynésie française.

19 FEV. 1996



329

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

N° : 43067

Carte : A

ABSTRACT

Many Polynesian atolls are still nearly uncharted. When topographic or bathymetric data exist, they are often too scarce to allow the edition of charts.

The great worth of SPOT imagery to thematic mapping is well known : topography and bathymetry can be obtained from a suitable processing of the SPOT data. These specific data processing methods and their performances will then be described.

Different types of cartographic products can be considered. An evidence of the validity of these solutions for the Pacific islands lays in both Apataki, Manihi and Ouvea examples.

A recent cooperation program between the Polynesian Territory, the "Station Polynésienne de Télédétection" and the "Mission Océanographique du Pacifique" should allow the complete cartographic coverage of French Polynesia in a short term prospect.

INTRODUCTION

Exploitation cartographique des données spatiales

La contribution de l'imagerie spatiale à la cartographie ne peut plus être considérée comme une nouveauté. Les spécialistes de la télédétection utilisent à cette fin les scènes satellitaires depuis 1972, date du lancement du premier satellite américain LANDSAT. La mise en orbite de SPOT en 1986 a permis de franchir une nouvelle étape décisive car il est maintenant possible d'atteindre des échelles de restitution de l'ordre du 1/50 000 compatibles avec la plupart des besoins (aménagement, tourisme, navigation...). Les progrès non moins spectaculaires de l'informatique rendent maintenant accessible à des laboratoires relativement légers le traitement des images spatiales.

Quels sont donc les moyens d'intégrer les nouveaux outils que sont les satellites d'observation de la terre et les systèmes de traitement d'images dans des processus de production cartographique. Trois méthodologies conduisant à trois types de produits peuvent être envisagées :

- **Carte classique** : Les informations spatiales sont considérées comme un complément aux données d'autres origines et sont, après interprétation, reproduites avec le graphisme de la cartographie classique. Cette technique est utilisée depuis près de 10 ans par le SHOM pour la cartographie marine, à partir d'images LANDSAT puis SPOT. La topographie d'une partie de la barrière de corail de Nouvelle-Calédonie ainsi que celle des îles et récifs Chesterfield situés entre la Nouvelle-Calédonie et l'Australie ont par exemple été obtenues

par ce procédé. Sur les cartes marines concernées (figure 1), seule une mention dans le titre permet de s'en apercevoir.

-Spatiocarte type "OUVEA" : Une nouvelle étape a été franchie avec l'élaboration en 1989 de la spatiocarte d'Ouvéa. (GARLAN, 1989). Cette carte a été réalisée par le SHOM à titre de démonstration à l'occasion du Programme d'Evaluation Préliminaire de SPOT (PEPS). L'information d'origine spatiale apparaît clairement mais les données provenant des levés hydrographiques classiques sont encore nombreuses et représentées avec le symbolisme usuel de la cartographie marine.

-Spatiocarte type "MANIHI" (Iconocarte) : Il est tentant d'aller encore plus loin et de produire des cartes pour lesquelles l'essentiel de l'information provient de l'interprétation d'images spatiales. C'est d'ailleurs la seule solution lorsque les levés classiques sont inexistantes ou fragmentaires et que des impératifs économiques nécessitent une action rapide. La réalisation de telles cartes, baptisées dans la suite iconocartes, est devenue, grâce aux performances actuelles des systèmes de traitement d'images, très rapide et permet d'envisager dans des délais raisonnables la couverture de vastes zones non hydrographiées. L'iconocarte de MANIHI a été préparée à titre expérimental par l'EPSHOM (Etablissement Principal du SHOM) pour le colloque "PIX'ILES 90" et est présentée dans le paragraphe **ELABORATION ET PRESENTATION DES PRODUITS CARTOGRAPHIQUES**. Il faut se rappeler que ces documents, s'ils n'offrent pas toutes les garanties que les navigateurs doivent exiger des cartes marines, peuvent néanmoins être très utiles pour de nombreuses applications (aménagement du littoral, tourisme, gestion et exploitation des ressources vivantes et minérales etc...).

Domaine d'application de la cartographie spatiale

Quelles sont donc les régions maritimes propices à l'exploitation cartographique de l'imagerie SPOT ? Plusieurs critères sont à prendre en compte :

- L'échelle optimale d'exploitation des scènes SPOT est de 1/50 000. Il est donc inutile de faire appel à cette méthodologie lorsqu'il est nécessaire d'établir une cartographie à grande échelle (par exemple 1/10 000) pour laquelle la résolution des images est trop faible ou si inversement on peut se contenter de cartes à petite échelle.

- La transparence de l'eau est un paramètre très important. Dans certaines régions il est en effet possible de voir le fond sur les images SPOT jusqu'à plus de 30 mètres, alors que dans les eaux très turbides la pénétration est pratiquement nulle.

- Les conditions moyennes d'agitation du plan d'eau ne sont pas à négliger. En effet, même si l'eau est très claire, la vision du fond sur la scène SPOT sera très altérée par mer agitée.

- La topographie des fonds joue également un grand rôle. Dans les conditions favorables décrites ci-dessus il est possible, comme on le verra plus loin, de mesurer les profondeurs à partir des données SPOT jusqu'à près de 30 mètres. La méthode présentera donc d'autant plus d'intérêt que le domaine à cartographier situé dans la gamme 0-30 mètres est étendu.

Ces différentes conditions sont toutes réunies dans les atolls des Tuamotu. La cartographie de base de ces vastes lagons est actuellement rudimentaire et serait très longue et coûteuse à réaliser avec les moyens traditionnels en raison des grandes distances entre ces îles, de leurs difficultés d'accès, de leur nombre et de leurs superficies. Elles constituent donc un champ d'application privilégié pour la cartographie spatiale à vocation maritime.

METHODES ET OUTILS

Rectification géométrique

Les scènes provenant de SPOT IMAGE traitées au niveau 2B ont une qualité géométrique suffisante pour une cartographie au 1/50 000. Cependant le développement d'un logiciel spécifique de redressement a été indispensable pour les raisons suivantes :

- En raison de la faible dynamique du signal SPOT sur les zones maritimes, il est avantageux de mettre en oeuvre le modèle de calcul de la bathymétrie sur les images les plus brutes possibles (niveau 1A), dont la géométrie n'est pas suffisante pour les applications cartographiques.

- Les atolls des Tuamotu ne bénéficiant pas actuellement d'une cartographie précise et ne possédant qu'une infrastructure géodésique peu développée et parfois même inexistante, il est souvent difficile de disposer d'un nombre suffisant de points d'appui bien répartis permettant l'élaboration du niveau 2B de SPOT IMAGE.

Un programme d'ajustement polynômial des déformations de l'image et un programme de modélisation de la prise de vue du satellite ont été développés par l'EPSHOM pour résoudre ces difficultés. Ils constituent le logiciel SYRIAC (**S**ystème de **R**ectification d'**I**mage **A**dapté à la **C**artographie) et sont présentés dans le paragraphe Rectification géométrique. Ils permettent le traitement des scènes aux niveaux 2A et 2B définis par SPOT IMAGE.

Principe de la mesure bathymétrique

Il est basé sur le modèle de réflectance de (Lyzenga, 1978) reliant l'intensité du signal radiométrique mesuré par

le satellite à la profondeur, et peut donner lieu à deux méthodes :

- La méthode physique nécessite la connaissance de tous les paramètres régissant ce modèle (propriétés optiques de l'eau, coefficient de réflexion du fond, transmittance de l'atmosphère, etc...), ce qui revient le plus souvent, faute de mieux, à les estimer et à les considérer comme constants sur des zones supposées homogènes.

- La méthode empirique consiste à ajuster les coefficients du modèle bathymétrique sur des données de vérité terrain en tenant compte si possible des variations de nature de fond. Celles-ci peuvent être obtenues par petits fonds (jusqu'à 5 à 8 mètres) à partir d'algorithmes basés sur l'exploitation simultanée des canaux XS1 et XS2. Par fonds supérieurs, des observations in situ de la nature du fond et des hypothèses sur son homogénéité sont nécessaires en raison de l'absence sur SPOT d'un canal supplémentaire (bleu) qui permettrait les traitements multispectraux pour ces profondeurs.

DONNEES

Données terrain

L'application optimale des méthodes présentées ci-dessus demande la connaissance de données de vérité terrain concernant :

- L'identification et le positionnement de pixels caractéristiques (points d'appui) repérés sur l'image. Un seul point d'appui est nécessaire pour effectuer le calage absolu d'une scène traitée au niveau 2A. Par contre, il faudra en général un minimum de 5 à 6 points d'appui bien répartis pour obtenir une image au niveau 2B.

- Les mesures de profondeur et les informations sur la nature du fond permettant la calibration du modèle bathymétrique.

Ces opérations sur le terrain (spatiopréparation) sont grandement facilitées par une analyse et un prétraitement approprié des scènes. A cette fin une coopération a été instaurée entre le SHOM représenté en Polynésie par la MOP et la SPT (Station Polynésienne de Télédétection). La mission de spatiopréparation débute par l'analyse de l'imagerie SPOT avec les moyens et les données de la SPT : amélioration de contraste, interprétation bathymétrique, sortie de zooms. Les hydrographes de la MOP se rendent ensuite sur le terrain avec ces documents et recueillent les informations de vérité terrain (sondages bathymétriques, localisation de pixels avec le système GPS, prélèvements d'échantillons (planches P4A, P4B et P4C). La même structure se développe actuellement en Nouvelle-Calédonie et associe le LATICAL (laboratoire de

traitement d'images de l'ORSTOM) et l'échelon de la MOP à Nouméa.

Données spatiales

Il est intéressant de disposer d'images panchromatiques et multispectrales :

- Le mode multispectral (XS) au niveau 1A constitue la donnée de base. Il permet, grâce à l'exploitation conjointe des canaux XS1 et XS2, les déterminations bathymétriques. Sa résolution de 20 mètres peut cependant être insuffisante pour la détection des petites structures comme certaines aiguilles coralliennes.

- Le canal panchromatique (P) de résolution 10 mètres pourra parfois faciliter cette détection. De plus il pourra être possible en utilisant conjointement ce canal P et le canal XS1 de différencier les natures de fond lorsque la profondeur est supérieure à 5 mètres et que le canal XS2 ne fournit plus d'information (Loubersac et al., 1989).

Ces données SPOT peuvent être rapidement obtenues pour les territoires français de Polynésie car ceux-ci bénéficient dès à présent, sous l'impulsion de la SPT, d'une archive de base SPOT presque complète.

TRAITEMENTS ET RESULTATS

Déclignage des images

Le bruit de lignage des images SPOT est dû aux légères différences existant entre les quatre barrettes de détecteurs du satellite. Les algorithmes usuels d'élimination de ce bruit sont trop sévères pour les applications bathymétriques car le signal SPOT possède une très faible dynamique dans les zones maritimes. Une méthode originale spécialement adaptée à ce milieu a donc été développée (Garlan, 1989).

Rectification géométrique (James et al., 1990)

Le logiciel SYRIAC développé par l'EPSHOM est basé sur :

- La modélisation polynômiale des déformations de l'image (méthode a).

Le nombre de points d'appui dépend du degré choisi pour les polynômes. Les meilleurs résultats ont été obtenus en adoptant le degré 2 à l'intérieur du polygone défini par les points d'appui et le degré 1 à l'extérieur de ce polygone.

- La modélisation des conditions de prise de vue (méthode b).

Les données nécessaires à cette modélisation (orbite, attitude, paramètres d'attitude du satellite, biais des capteurs...) font partie de l'information de base transmise par le satellite, et sont fournies avec les images de niveau 1A.

SYRIAC permet alors la rectification des images dans les cas suivants :

- Aucun point d'appui (emploi de la méthode b).

Cela correspond au niveau 2A de SPOT IMAGE. Les déformations internes de l'image rectifiée sont inférieures à 2 pixels. La localisation absolue de l'image n'est pas assurée avec précision.

- Un seul point d'appui (emploi de la méthode b).

La cohérence interne est la même que dans le cas précédent. La précision de la localisation absolue est celle du point d'appui.

- Nombre surabondant de points d'appui.

Un ajustement par moindres carrés des paramètres du modèle de prise de vue (méthode b) ou des coefficients du polynôme (méthode a) est alors effectué. La précision est étroitement liée à celle des points d'appui qui doivent être identifiés et localisés avec soin.

Le système GPS permet, dans les atolls ne possédant pas d'infrastructure géodésique, le positionnement rapide et précis des points d'appui. Pour tous les cas exposés ci-dessus, le système géodésique et la projection de présentation des produits finaux sont au choix de l'opérateur.

Bathymétrie

L'EPSHOM utilise la méthode empirique exposée dans le paragraphe Principe de la mesure bathymétrique. Pour s'affranchir du biais dû au choix des points de calage bathymétrique, les valeurs moyennes des sondes correspondant à des zones de radiométrie constante sont introduites dans le modèle. 10 à 20 valeurs permettent de bien étalonner ce modèle dans la gamme 0-25 mètres. Il est très utile de conserver une dizaine de points en contrôle pour juger la qualité des résultats. Ce modèle se traduit mathématiquement par :

$$Z = A * LN (R1 - R1inf) + B * LN (R2 - R2inf) + C$$

Les indices 1 et 2 se rapportent aux deux canaux XS1 et XS2, Riinf représente la radiométrie en profondeur infinie ($z > 40$ m) pour le canal i, z est la profondeur calculée pour le pixel de radiométrie Ri, les coefficients A, B et C sont obtenus par moindres carrés à partir des points de calage.

La précision de la méthode a déjà fait l'objet de plusieurs publications (Garlan, 1989 ; Garlan, 1990). L'erreur relative sur la profondeur, dans la tranche 5-22 mètres, est inférieure à 10 % dans plus de 85 % des cas. La précision est de l'ordre de 50cm pour les fonds inférieurs à 5 mètres et se dégrade rapidement au-delà de 22 mètres (environ 20 % pour 25 mètres de profondeur).

ELABORATION ET PRESENTATION DES PRODUITS CARTOGRAPHIQUES

Techniques mises en oeuvre

Après les traitements détaillés ci-dessus, on obtient :

- Une image numérique redressée. Cela signifie que l'on peut associer à chaque pixel de l'image des coordonnées se rapportant à un référentiel et à une projection cartographique donnée.

- Un fichier maillé de la bathymétrie pour la partie maritime.

Différentes opérations sont encore nécessaires pour obtenir une carte :

- Traitement approprié de la partie terrestre. On peut choisir une représentation en fausses ou de préférence en vraies couleurs. Dans les deux cas il est utile de procéder à des améliorations de contraste pour mieux faire ressortir certains détails topographiques.

- Assurer l'interface entre les fichiers images et les systèmes d'impression. Les cartes sont produites à partir de plusieurs planches d'impression correspondant chacune à une couleur. Ces planches sont élaborées sur des traceurs laser grand format qui devront donc accepter en entrée les fichiers images.

- Intégration des données externes (non déduites de SPOT). Celles-ci sont de plusieurs types : gabarit, informations provenant de levés classiques (routes, zones urbanisées, renseignements thématiques divers pour la partie terrestre ; courbes isobathes, balisage, nature de fond pour la partie maritime, toponymie, etc...). Une norme "Pacifique" spécifiant la représentation de ces différentes informations est en cours d'élaboration.

Présentation de la carte de Manihi

Deux versions de cette carte ont été élaborées. L'information d'origine spatiale est la même dans les deux cas mais sa présentation est différente.

- La version SPT (Planche P4D) représente la partie terrestre de l'atoll en vraies couleurs. L'intérêt est évident et l'esthétique y trouve son compte, mais cela pose le problème des redevances qui pourraient être dues à SPOT IMAGE.

- La version SHOM (planche P4E), bien qu'elle ne constitue pas un document nautique officiel, a une facture plus proche de la carte marine traditionnelle. Il est évident que, si le document réglementaire reste l'ancienne carte (fig. 2), le navigateur trouvera de nombreux avantages à utiliser conjointement le nouveau produit.

Dans les deux cas l'information issue de SPOT a été complétée par de nombreuses informations sur l'aménagement de l'atoll (tourisme, aquaculture...) et sur la toponymie.

Présentation des cartes d'Ouvéa et d'Apataki (planches P4F et P4G)

Ce sont des cartes marines réglementaires, et à ma connaissance les premiers documents nautiques officiels représentant de façon visible l'information spatiale. Elle complète les données provenant de levés classiques dans les endroits où celles-ci sont peu denses ou inexistantes. Il est possible, là où les deux types de données sont présentes, de juger la fiabilité de l'information issue de SPOT. Il faut noter que celle-ci n'a pas été représentée sur les cartouches qui ont des échelles supérieures au 1/40 000 et donc incompatibles avec la résolution du satellite. Un avertissement est donné dans le titre pour informer les navigateurs qui ne sont pas encore familiarisés avec cette nouvelle technique de cartographie.

Application : couverture cartographique de la Polynésie française

Un inventaire a permis de dénombrer les scènes SPOT permettant de couvrir la Polynésie française et en particulier l'archipel des Tuamotu. Celui-ci est composé d'environ 80 atolls dont la plupart existent déjà dans l'archive SPOT (plus de 70 scènes sur la Polynésie) gérée par la SPT. La matière première existe. Il reste donc à se mettre au travail et effectuer les traitements. Deux actions simultanées sont envisagées.

- Le SHOM va évidemment poursuivre pour ses propres besoins le développement de la cartographie satellitaire. Cependant sa responsabilité en matière de sécurité de la navigation ne lui permet pas de produire et de commercialiser sous le nom de cartes marines des documents comme celui de Manihi, qui ne répondent pas aux normes internationales de la cartographie marine. Il continuera donc de diffuser des documents officiels dont la préparation fera de plus en plus souvent appel aux données spatiales (exemple des cartes marines d'Apataki et d'Ouvéa). Le processus d'élaboration de telles cartes est malheureusement assez long car il nécessite

d'intégrer sur un même document des données provenant de sources très diverses et d'en contrôler soigneusement la validité. Le SHOM entretient un portefeuille de 1 200 cartes marines couvrant presque toutes les mers du globe qui ne lui permet pas, dans ces conditions, de mettre en place rapidement une couverture cartographique complète de la Polynésie française.

- Par contre, les iconocartes de type "Manihi", si elles n'ont d'un point de vue nautique aucune valeur réglementaire, permettent de diffuser rapidement l'information SPOT interprétée dans une optique d'hydrographie côtière. La publication de ces cartes va faire l'objet d'une coopération entre la SPT, le SHOM et le Territoire de Polynésie française, dont les modalités seront définies en tenant compte de l'expérience acquise après l'élaboration des cartes de Manihi par l'EPSHOM et par la SPT et de l'accueil réservé à ces nouveaux produits pendant les journées "PIX'ILES 90".

CONCLUSION

L'exploitation de l'imagerie SPOT se révèle donc une méthode efficace aussi bien pour la préparation et la mise à jour des documents nautiques réglementaires que pour la réalisation de produits cartographiques d'un type nouveau tirant pleinement profit des potentialités des données spatiales. Les avantages les plus marquants par rapport aux autres techniques d'hydrographie côtière sont :

- La rapidité du traitement pour des zones étendues.
- Le volume relativement restreint des travaux sur le terrain nécessaires à la préparation et au complètement des cartes.
- Le faible coût, sans commune mesure avec celui des levés classiques.

La structure mise en place en Polynésie française est non seulement apte à satisfaire les besoins cartographiques de ce territoire mais peut également répondre aux demandes provenant des états insulaires du Pacifique qui pourront ainsi bénéficier du label de qualité de la SPT et du SHOM.

REFERENCES

GARLAN T., 1989. Cartographie spatiale du littoral corallien : topographie et bathymétrie. *Rapport final du PEPS n° 203. Rapport d'étude 006/89, EPSHOM Brest : 21 p.*

GARLAN T., 1990. The Nautical Space Chart : *US Hydrographic Conference, Norfolk, 1 au 4 mai 1990.*

JAMES J., G. DUBOIS, T. GARLAN. 1990, Rectification géométrique des images SPOT par modélisation de la prise de vue. *Rapport d'étude 005/90, EPSHOM Brest* : 34 p.

LOUBERSAC L., O. LEMAIRE, H. VARET, P.Y. BURBAN, F. CHENON, 1989. Nature des fonds et batymétrie du lagon de l'atoll d'Aitutaki (Iles Cook) d'après des données SPOT-1. *Photo - Interprétation 89-5 et 6 fasc. 4 pp 29-40.*

LYZENGA D.R., 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied Optics, V 17, n° 3* : 379-383.

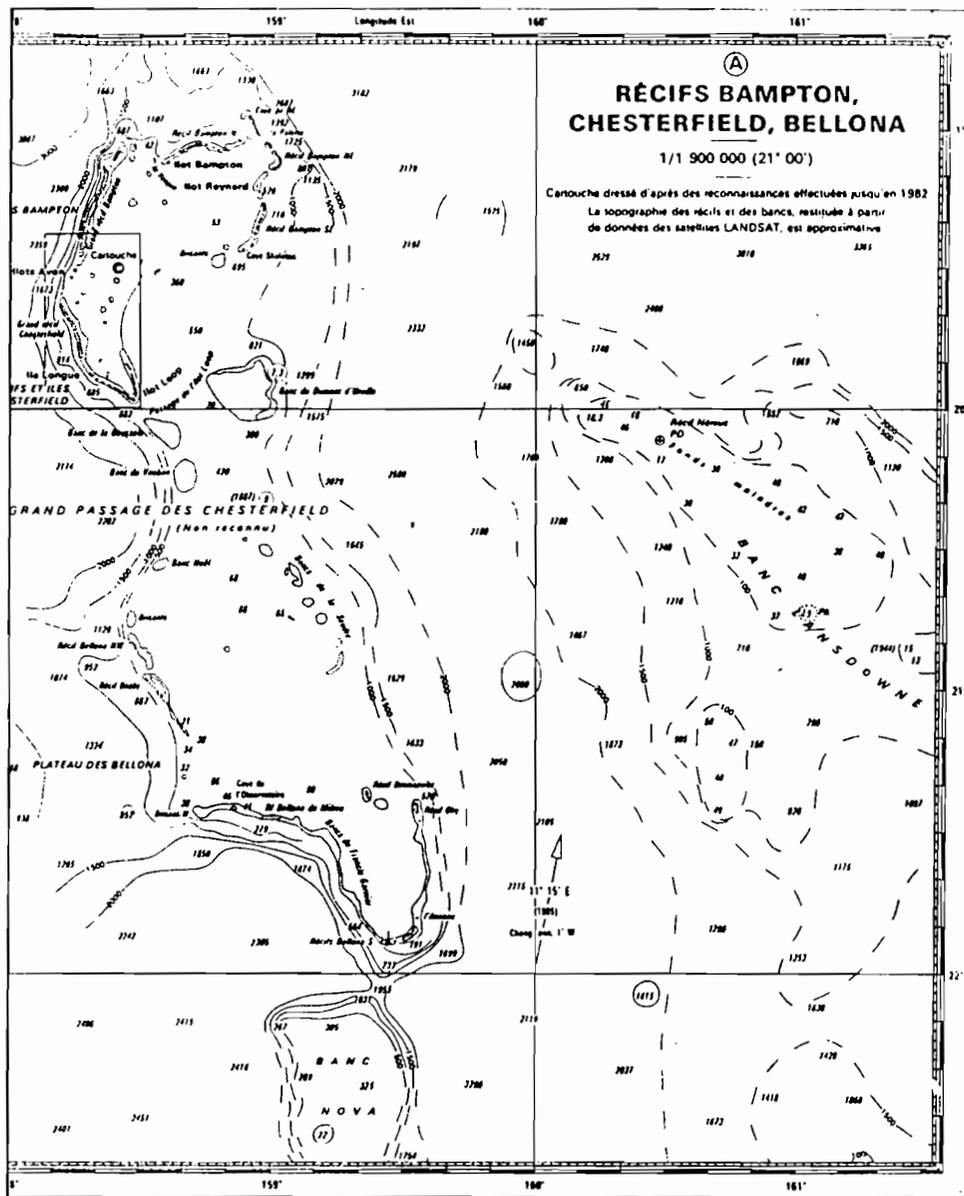


Figure 1 : Carte classique des recifs Bampton, Chesterfield et Bellona pour laquelle la topographie d'une partie des formations coralliennes a été restituée à partir d'images LANDSAT.

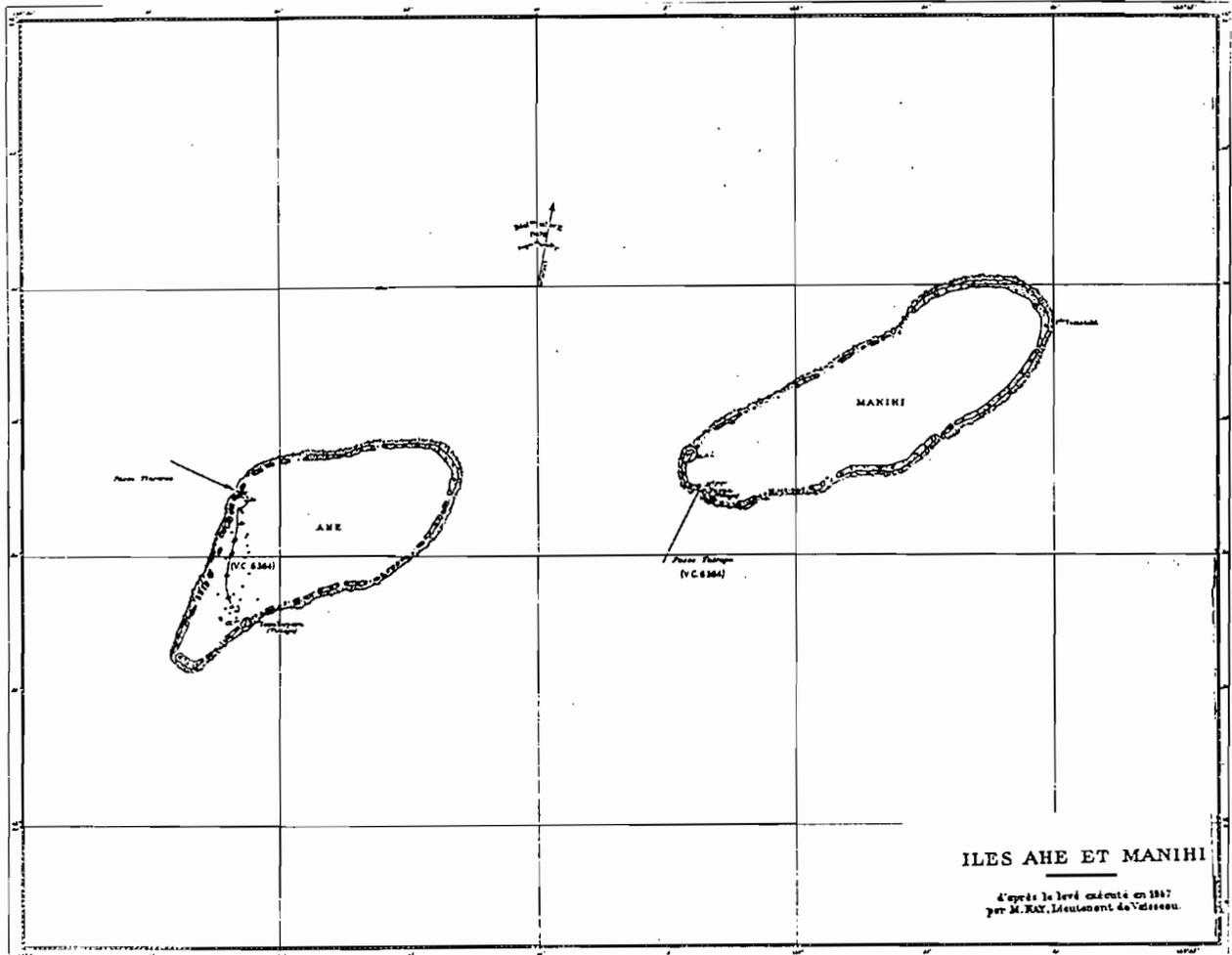


Figure 2 : Carte SHOM 6110 des îles de Ahe et Manihi (original 1/175 000 d'après levé exécuté en 1947.

P4

P4A : Campagne de terrain.

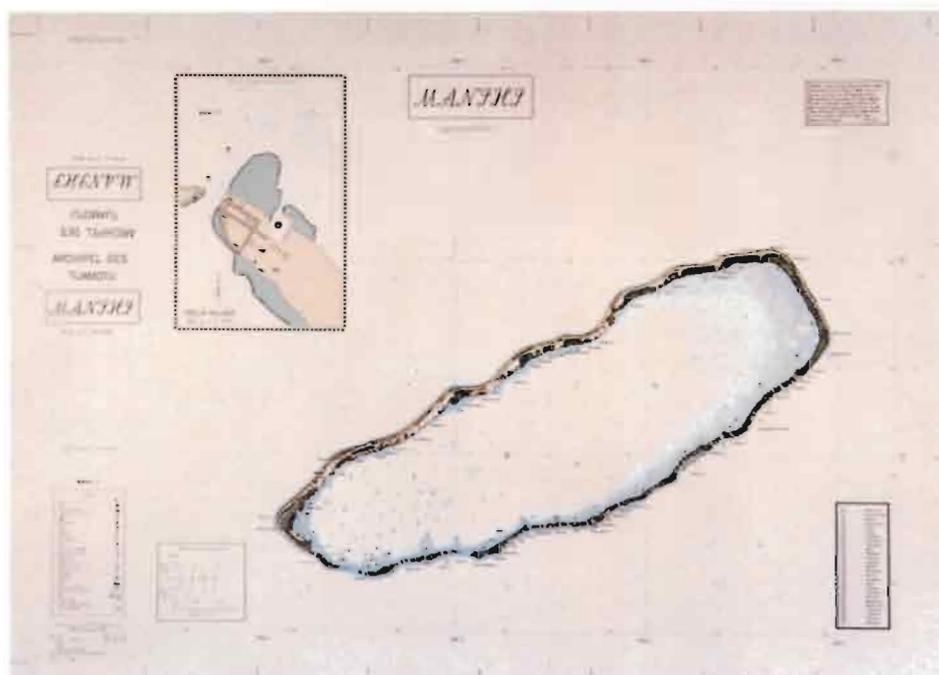


P4B : Mesures GPS

P4C : Vedette en sondage dans un lagon.



P4



P4D : Iconocarte de Manihi (version S.P.T.).

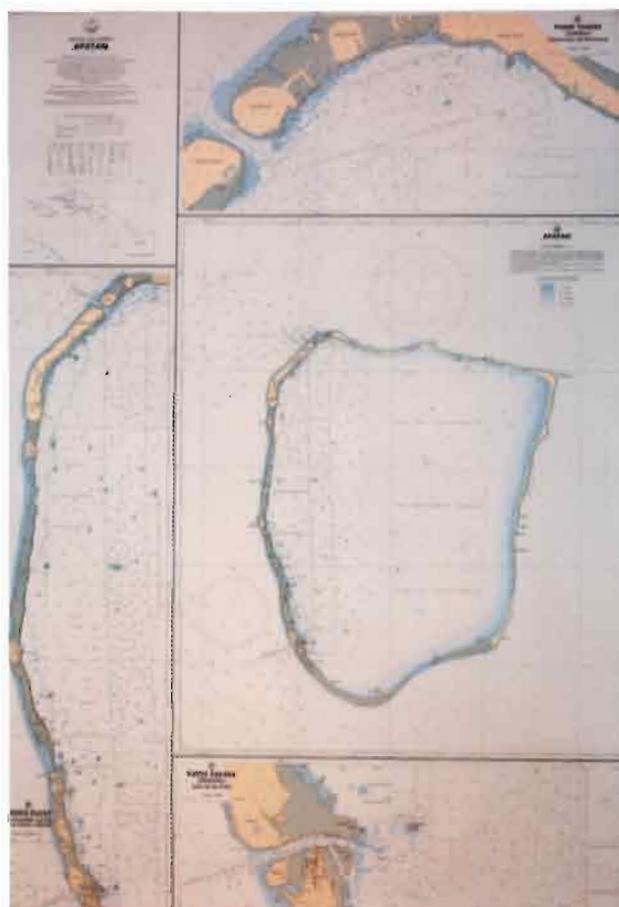


P4E : Iconocarte de Manihi (version SHOM).

P4



P4F : Carte marine 7 218 : Ouvéa.



P4G : Carte marine 7 248 : Apataki.

"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

