

TELEDETECTION ET SIG - RECHERCHE D'INDICATEUR ECOSYSTEMIQUE PAR LA CARACTERISATION DES HABITATS : APPLICATION AU LAGON SUD- OUEST DE NOUVELLE CALEDONIE.

Guénolé Bouvet, Ifremer Brest, Technopole Brest-Iroise, 29280 Plouzané.

Jocelyne Ferraris, IRD Nouméa, 101 Promenade Pierre Larocque, 98848 Nouméa.

L'étude des systèmes en général, et des écosystèmes en particulier, consiste le plus souvent à découper la complexité qu'ils représentent en éléments plus simples (méthode analytique). Les techniques de géomatique permettent ce découpage : dans les SIG, les couches géographiques sont très souvent "monovariabiles". Parallèlement, les outils SIG sont particulièrement adaptés à la synthèse de ces couches géographiques : génération de nouvelles couches par opérations sur les données des premières. Cette approche plus globale facilite la compréhension des écosystèmes dans leur ensemble. Dans cette étude, on montre l'intérêt que représente le SIG pour effectuer un couplage entre les données existantes d'une base géographique et les données issues de la télédétection satellitaire pour le repérage d'habitats lagunaires.

La variabilité spatiale de l'environnement physique des milieux coralliens (engendrée par leur biodiversité) font d'eux des écosystèmes particulièrement complexes. Sous influences multiples, ils sont fragiles et particulièrement sensibles aux évolutions environnementales. La gestion du lagon de Nouvelle-Calédonie est d'autant plus complexe que les pressions anthropiques qui s'y exercent sont importantes et croissantes. Avec la population, les rejets domestiques augmentent (le recyclage des eaux usées est peu développé) et les conflits d'usage sont prononcés. Les intérêts des pêcheurs, des aménageurs, des activités agricoles et industrielles (exploitation du minerai de Nickel par exemple) et de l'éco-tourisme sont en contradiction et font de la gestion de cet environnement et de ses ressources une nécessité mais un véritable "casse-tête".

Plusieurs programmes locaux et nationaux s'intéressent donc à cette problématique et à la construction d'indicateurs pour l'aide à la gestion et à la décision. 1- Au niveau local, le programme ZoNeCo a pour but l'évaluation des ressources marines de la ZEE et des lagons de Nouvelle-Calédonie. La synthèse des données issues d'études sur l'environnement lagunaire et les ressources vivantes (dont beaucoup ont été menées par l'IRD) et d'enquêtes sur les pêches de subsistance, de loisir et professionnelle conduit nécessairement à une réflexion sur la notion d'observatoire. 2- Le chantier de Nouvelle-Calédonie du Programme National pour l'Environnement Côtier (PNEC) a pour objectifs :

- d'étudier les apports terrigènes et anthropiques et les influences des activités humaines sur les équilibres structurels et fonctionnels des organismes et des peuplements dans le lagon,
- d'aborder la formalisation d'indicateurs des milieux et des ressources récifo-lagunaires dans une perspective écosystémique.

Le programme ECOTROPE¹, mené à l'IRD de Nouméa (1996-2000), a initié une base de données géographiques sur le lagon sud-ouest afin d'intégrer toutes les données pluridisciplinaires disponibles sur cet écosystème. Dans le cadre du PEVS (Programme Environnement, Vie et Sociétés) du CNRS, le problème de la prise en compte de données sur les usages et leur couplage avec les statistiques a également été abordé.

C'est dans ce cadre que se situe l'élaboration de la méthode de repérage géographique des habitats présentée ici. On cherche à définir des indicateurs écosystémiques en se basant sur les critères spectraux des habitats (obtenus sur une image satellite). On entend par habitat une structure physique (sédimentologique, bathymétrique, etc.) caractérisée par son substrat (végétal : algues, herbiers, etc. ; ou animal : corail). On propose ensuite une amélioration de la méthode en intégrant les résultats du modèle dans la base géographique du programme ECOTROPE, via SIG, et en généralisant la démarche à l'ensemble du lagon.

¹ Ecosystèmes Côtiers Tropicaux du Pacifique sous influences terrigènes et anthropiques.

La méthode développée se veut être efficace (rapide et fiable), la plus automatique possible mais surtout la plus facilement exportable.

1. Matériel et méthodes

L'image de télédétection

La télédétection satellitaire est utilisée sur les milieux coralliens depuis le milieu des années 80 et on connaît aujourd'hui son intérêt pour étudier les habitats lagonaires (Green *et al.*, 2000). Au regard de la taille des zones traitées, c'est la technique la moins onéreuse et la plus facile à mettre en place. Les données SPOT ont servi à cartographier les communautés benthiques végétales (BELSHER *et al.*, 1990) et les substrats coralliens (Bour 1986 et 1997 in Petit 1990, Chauvaud *et al.* 2000). Landsat n'a que très peu été utilisé pour l'étude du benthos mais il est pourtant adapté (Lennon *et al.*, 1990 ; Armstrong, 1993).

SPOT et Landsat sont multispectraux. Les différences entre ces deux satellites se situent au niveau de la résolution spatiale : 20 m pour SPOT, 30 m pour Landsat7 ; et de la résolution spectrale : SPOT ne possède pas de capteur pour les longueurs d'ondes correspondant au bleu (longueurs d'onde les plus pénétrantes).

On a donc choisi de mettre au point la méthode de repérage géographique des habitats sur une scène Landsat7 ETM+ couvrant le lagon sud-ouest calédonien².

Le traitement statistique de l'image

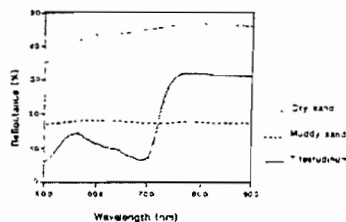


Figure 1 – Réflectance de phanérogames et substrats intertidaux (d'après Guillaumont *et al.*, 1997)

Les habitats lagonaires ont des réponses spectrales différentes suivant leur nature (cf. fig. 1). Pour pouvoir les différencier de façon efficace, on utilise ici les données des 4 premières bandes spectrales de l'image Landsat : le bleu, le jaune, le vert et le proche infra-rouge. Pour chaque pixel, on dispose de ces 4 informations.

La méthode est élaborée à partir des données d'un échantillon d'images supposées représentatives du lagon. La méthode est résumée sur la figure 2.

ACP et suppression du bruit

L'analyse exploratoire des données (par ACP) permet d'identifier de l'information bruitée qui est alors écartée des traitements statistiques de classification et segmentation. Pour éliminer le bruit dans la chaîne de traitement, on change alors de variables : au lieu d'utiliser les données brutes (ie. la valeurs des comptes numériques des pixels exprimées dans les quatre bandes spectrales) on prend les trois axes factoriels pertinents issus de l'ACP (ie. les 3 axes exprimant 99% de la variabilité).

² Cette image a été collectée dans le cadre du Long Term Acquisition Plan. De nombreuses zones coralliennes font partie des secteurs prioritaires dans l'acquisition des données Landsat.

Classification des pixels

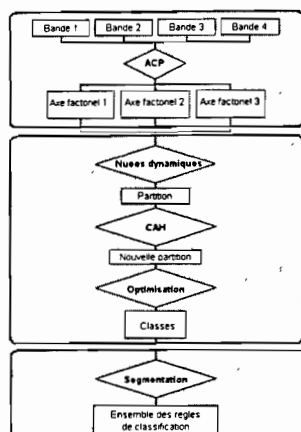


Figure 2 – Principe de la méthode

Les pixels sont classés de façon non supervisée. On peut décomposer la classification en 3 grandes étapes : 1- partition par nuées dynamiques avec un nombre de classes supérieur à celui escompté 2- classification hiérarchique ascendante sur la partition issues des nuées 3- détermination du nombre de classes. Ce nombre est déterminé de façon semi-automatique : par statistiques pures (en fonction de la valeur du coefficient d'aggrégation), on obtient des propositions de nombre optimal de classes (exemple : 3, 5, 7, 10) ; on choisit ensuite parmi ces propositions celle qui est la plus adaptée au nombre de classes que l'on souhaite identifier : le choix se fait alors de façon empirique (10 classes pour le modèle construit ici).

Segmentation

C'est la dernière étape du traitement. Elle permet d'exprimer l'appartenance d'un pixel à une classe de façon explicite, en fonction de la valeur de ses comptes numériques (CN) bruts exprimés dans chaque bande spectrale j. On obtient donc, pour un pixel P, une série de règles de décision du type :

$$- P \in K : \dots \text{CN}_{j,\min(K)} < \text{CN}_j(P) < \text{CN}_{j,\max(K)}, \text{ pour } j = 1, 2, 3 \text{ et } 4.$$

Un habitat est alors caractérisé par une série d'indices spectraux, l'indicateur étant la signature spectrale exprimée par la conjonction de ces indices.

C'est à ce niveau que se situe la différence avec les traitements traditionnels. Les logiciels de télédétection standards fournissent pour un secteur une image classifiée mais la classification reste "relative" : si l'utilisateur choisit de classer deux zones en 10 classes, les classes de la première zone n'auront pas de correspondances spectrales avec les classes de la deuxième. Ici au contraire, la méthode permet de réaliser une classification "absolue". Les conditions d'appartenance d'un pixel à une classe donnée sont indépendantes de la zone classifiée. Cependant elles restent dépendantes des conditions de prise de vue (c'est un problème à résoudre avant d'effectuer des comparaisons temporelles)

Fabrication d'une routine de traitement sur SIG

Les règles de décision obtenues pour les différentes classes sont implémentées sous la forme de macro (script) dans le SIG Savane (développé par l'IRD) et peuvent être appliquées sur n'importe quelle image de la scène Landsat7. C'est un des intérêts de l'utilisation d'un logiciel de SIG par rapport à un logiciel classique de télédétection.

2. Résultats

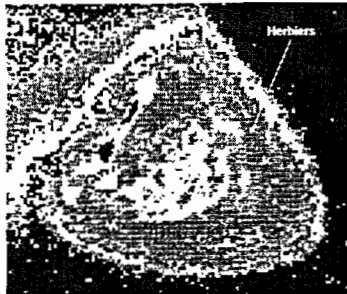


Figure 3 – Ilot Maître

On applique le script sur une zone récifale de platier (fig 3). L'interprétation de la classification est effectuée par comparaison avec la photographie aérienne de la zone (photointerprétation). Les classes correspondent aux habitats suivants : fonds sableux nus, herbiers de phanérogames denses, moyennement denses, peu denses.

L'application du script sur une zone similaire (platier récifal) située à un autre endroit dans le lagon sud-ouest est encourageante (fig. 4). Si on compare classification et résultat de la photo-interprétation, on s'aperçoit que les fonds sableux et les herbiers sont identifiées correctement.



Figure 4 – Ilot Larégène

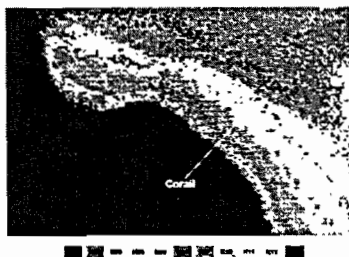


Figure 5 – Récif Aboré

Enfin, on lance le script sur une zone très différente : la barrière de corail (fig. 5). On atteint alors les limites des possibilités de discrimination : les coraux sont identifiés par les classes correspondant aux herbiers sur les fig. 3 et fig. 4.

L'indicateur spectral utilisé est donc limité. Les signatures spectrales des habitats “ corail sur barrière ” et “ herbier sur platier ” sont identiques. De plus, la profondeur rend flou l'indicateur.

3. L'amélioration du modèle : La prise en compte d'autres facteurs

Les habitats ont des propriétés spectrales propres mais parfois trop proches pour être discriminées. Cependant, les habitats sont aussi caractérisés par d'autres propriétés physiques. La bathymétrie peut par exemple être utilisée comme variable supplémentaire, intégrable aux traitements statistiques. On peut ainsi mélanger dans le modèle à la fois des considérations spectrales et bathymétriques. Cette amélioration n'est bien sûr envisageable que si l'on dispose des données avec une densité spatiale forte (un MNT à maille assez serrée).

Dans la base géographique du programme ECOTROPE, les données bathymétriques (sur les platiers et récifs) sont trop peu denses pour être utilisées de cette façon. Cependant, l'information ajoutée au modèle peut être aussi bien numérique (profondeur exprimée en mètre) que qualitative ("le pixel est sur la barrière" ou "le pixel est sur un platier", etc.). Il suffit donc de trouver la condition discriminante qui convient et de l'implémenter dans la routine (chaque pixel devra être renseigné).

En prenant en compte cette information, on peut discriminer des habitats spectralement "identiques".

CONCLUSION

La signature spectrale des habitats (sur imagerie Landsat7 ETM+) permet dans des faibles profondeurs (jusqu'à 3 m) de dégrossir de façon efficace et peu coûteuse le travail d'inventaire des habitats lagonaires. Le principe de la méthode développée est applicable à n'importe quel type d'imagerie. Parce que le traitement s'applique via SIG, on peut très facilement ajouter des données et améliorer la discrimination entre les habitats identifiés. L'indicateur devient alors composite : à la fois spectral et environnemental.

Les applications en halieutique sont directes : évaluation des stocks par estimation des densités de population par habitat (multipliées par la surface des habitats, les calculs de surface étant très faciles sur SIG) et suivi temporel de la qualité des habitats.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ARMSTRONG R.A. (1993). Remote sensing of submerged vegetation canopies for biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 14 (3), 621-627.
- BELSHER T., MEINESZ A., PAYRI C. et BEN MOUSSA H. (1990). Apport du satellite SPOT à la connaissance des écosystèmes récifaux coralliens. La végétation marine de l'île de Moorea, Polynésie française. *Oceanologica acta*, 13 (4) : 513-524.
- BOUVET G., FERRARIS J., ANDREFOUET S. (2001). Classification scheme for the assessment of New-Caledonia shallow seagrass beds using LANDSAT 7 ETM+ data ; sous-presse.
- CHAUVAUD S., BOUCHON C., MANIÈRE R. (2000). Cartographie des biocénoses marines de Guadeloupe à partir de données SPOT (récifs coralliens, phanérogames marines, mangroves) ; *Oceanologica Acta* vol. 24 – Supplement.
- GREEN, E.P., MUMBY, P.J., EDWARDS, A.J. and CLARK, C.D. (1996). A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources. *Coastal Management* 24: 1-40.
- GUILLAUMONT B., BAJJOUK T., TALEC P. (1997). Seaweed and remote sensing : a critical review of sensors and data processing ; *Progress in Physiological Research*, Vol 12 (F. E. Round/D.J. Chapman, eds) Biopress Ltd.
- LENNON P., LUCK P. (1990). Seagrass mapping using Landsat TM data : a case study in southern Queensland. *Asian Pacific Remote Sensing Journal* 2.
- PETIT M., STRETTA J-M. (1990). Halieutique, océanographie et télédétection ; *Société japonaise d'océanographie / Musée Océanographique de Monaco ; Bulletin de l'Institut Océanographique, Fondation Albert I^{er}, Prince de Monaco ; n° spécial* 6.

Bouvet G., Ferraris Jocelyne (2001)

Téledétection et SIG : recherche d'indicateur
écosystémique par la caractérisation des habitats :
application au lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie

In : Biseau A. (ed.), Blanchet Gilles (ed.), Forest A. (ed.),
Gascuel D. (ed.), Laloë Francis (ed.). *Halieutique :
complexité et décision*

Rennes : Association Française d'Halieumétrie, p. 111-
115

Forum Halieumétrique, 5., Lorient (FRA), 2001/06/26-
28.