

# **Développement durable de l'aquaculture dans le delta du Mékong : Quelle place pour la télédétection dans le projet pluridisciplinaire GAMBAS de la Communauté Européenne ?**

**Yves AUDA<sup>\*</sup>, J. POPULUS, F. BLASCO**

CESBIO BPi 2801 (UMR 5126 CNRS), 18 Avenue Edouard Belin, 31401 TOULOUSE Cedex 9  
courriel : [Yves.Auda@cesbio.cnrs.fr](mailto:Yves.Auda@cesbio.cnrs.fr)

## **Résumé**

GAMBAS est un programme de la Commission Européenne de recherche sur le développement durable de l'aquaculture dans le delta du Mékong. La pluridisciplinarité des équipes impliquées dans ce programme a permis de cerner précisément l'impact de l'aquaculture sur l'écosystème « mangrove ». Dans cette action, la télédétection a joué un rôle fédérateur des connaissances acquises au cours des quatre années de collaboration franco-vietnamienne (2001-2004). Les données botanique, d'écologie aquatique et de socio-économie collectées dans une quarantaine de stations réparties dans deux provinces (Ca Mau et Tra Vinh) sont analysées conjointement grâce au lien spatial assuré par la télédétection. Plus précisément, une zonation écologique, un indice de confinement ..., sont quelques-uns des produits dérivés des données spatiales qui ont joué un rôle essentiel dans la compréhension du fonctionnement de ce socio-écosystème complexe.

*Mots-clés : mangrove, télédétection, Mékong(Vietnam)*

## **Introduction**

Durant ces vingt dernières années l'aquaculture de crevette s'est intensément développée en Asie. Cette activité liée à la production de crevettes a contribué trop souvent à la destruction des mangroves comme le montre notre étude réalisée dans le delta du Mékong, Vietnam. L'aquaculture pratiquée au Vietnam appartient principalement au mode extensif. Le renouvellement de l'eau dans le bassin se fait selon le rythme des marées sans utilisation de pompes. La densité des crevettes par bassin est relativement faible et la nourriture n'est apportée qu'en petite quantité. Cette nouvelle activité économique apporte dans les premiers temps des revenus supplémentaires au fermier. Mais la dégradation de l'environnement liée principalement à la destruction des mangroves conduit rapidement en quelques années à un dépérissement des cultures de crevette et à une perte de rentabilité économique. Par réaction, dans les années 1990, les fermiers ont eu tendance à passer à un mode d'aquaculture extensif +, voire intensif qui implique une densité de crevettes plus élevée et un apport conséquent de nourriture. Cette évolution n'a fait qu'aggraver la situation. Le projet européen GAMBAS qui s'est déroulé entre 2000 et 2003 avait pour objectif de mieux comprendre l'impact de l'aquaculture sur l'environnement à l'aide d'une approche pluridisciplinaire. Nous insisterons particulièrement sur le rôle fédérateur des Systèmes d'Information Géographique et de la télédétection et la façon dont des hydrobiologistes, des botanistes de la mangrove, des socio-économistes et des zootechniciens ont collaboré.

## **Les zones d'étude**

Deux zones d'étude très différentes de part leur écologie sont retenues pour le projet (figure 1). Tra Vinh est située entre les deux bras du Mékong. Ca Mau occupe la partie extrême sud du delta du Mékong. Ces deux zones sont traversées par des canaux de dimension variable,

parfois très étroits dans les sites les plus confinés. Les salinités de ces canaux varient en fonction de la saison sèche et humide. Elles sont étroitement dépendantes des apports d'eau douce du Mékong et des apports d'eau salée de la mer. TraVinh qui reçoit directement les eaux du Mékong montre toujours une salinité moins élevée que CaMau.



Figure 1 : Le delta du Mékong et les deux sites d'étude, TraVinh et Camau.

La forêt de mangrove est l'élément essentiel de ces écosystèmes car elle est indispensable à la préservation de ces milieux côtiers et intertidaux. Elle est aussi source de nourriture pour les populations locales. Elle pourvoie de nombreux matériaux (bois de construction, charbon de bois, ...). L'enjeu pour les populations locales, est donc d'exploiter la mangrove, d'en retirer des ressources sans détruire leur habitat. Dans ce contexte, le développement durable de l'aquaculture de crevette en zone de mangrove est-il possible ? La création de bassin aquacole présente deux effets néfastes pour les forêts de mangrove. Le premier est la destruction des arbres lors de la création des bassins. Le deuxième est lié à la modification des flux d'eau. Les bassins et digues créés pour l'aquaculture empêche la pénétration de la marée à l'intérieur de forêts situées au delà des bassins (figure 2). Cependant, le gouvernement impose au fermier lors de l'adjudication d'une exploitation de replanter une partie de l'espace en mangrove ce qui tempère l'impact négatif de la création de bassin. Notre projet vise à évaluer plus précisément l'impact de l'aquaculture sur les mangroves.

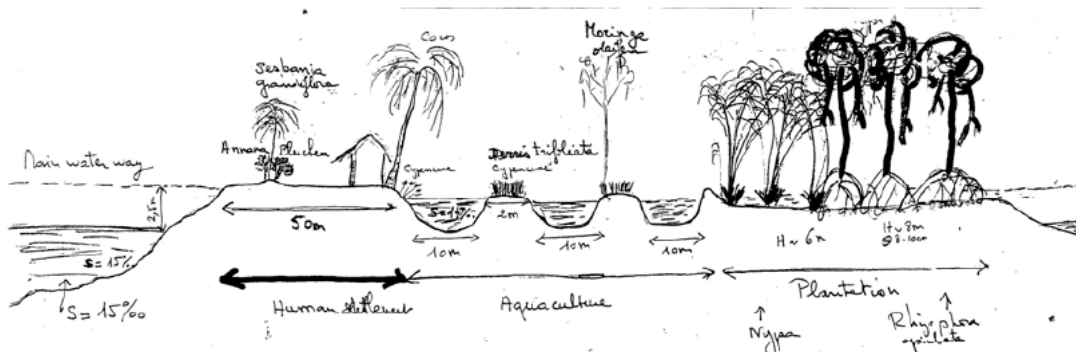


Figure 2 : Relevé de terrain illustrant la structuration du paysage autour des activités aquacoles.

### Matériels et méthodes

L'acquisition des données prend en compte le caractère pluridisciplinaire du projet. Une trentaine de stations sont définies à partir des sources disponibles lors de la définition du projet (données bibliographiques, cartes topographiques, cartes géologiques,). En chaque

station, sont mesurés 22 paramètres hydrobiologiques (salinité, turbidité, teneur en chlorophylle, ...). Pour ces mêmes stations, une équipe de pédologues réalise des prélèvements dans trois types de milieux (en bordure de berge, dans la partie bassin, et dans la zone de mangrove). Les premières mesures sont réalisées in situ (Ph, salinité de l'eau résiduelle) ; le reste des analyses est fait de retour au laboratoire (Ph, matière organique, rapport C/N, ...). Il est pris soin de réaliser des campagnes de mesure durant la saison sèche et durant la saison humide, de manière à intégrer toute la variabilité inter-saisonnière. Pour leur part, les socio-économistes enquêtent dans les fermes les plus proches des stations. Ils questionnent les fermiers sur leur mode de culture, sur les intrants et les sortants de leur exploitation, sur la production en crevettes et les bénéfices. L'ensemble de ces données est enregistré dans le Système d'Information Géographique auquel sont également intégrées les sources initiales et toutes les images satellitaires acquises au cours du projet.

Les méthodes comprennent quatre axes majeurs :

- i) Une analyse en composante principale pratiquée sur les données hydrologiques permet d'extraire les paramètres les plus explicatifs et construire une typologie des stations.
- ii) Une classification de tout l'espace reposant sur des critères écologiques de l'occupation du sol majoritairement dictée par l'état de la mangrove est réalisée à partir des images satellitaires.
- iii) Un indice de confinement est créé de manière à évaluer la qualité de l'eau en chaque station en fonction de son renouvellement. La distance hydraulique mesure à partir du linéaire des canaux extrait de l'image satellitaire la distance séparant le trajet par le canal de la station à la mer. La section transversale de la rivière est enregistrée à partir d'un écosondeur embarqué sur la pirogue. Plus l'indice est élevé, plus le renouvellement de l'eau est faible.
- iv) Des cartes de synthèse incorporent les analyses effectuées par les équipes. Elles permettent de situer l'ensemble des résultats dans un référentiel qui ne se limite plus à l'environnement des stations mais qui caractérise les régions. Elles constituent également un support adéquat pour la communication des résultats.

$$CI = \frac{D}{\sqrt{S}}$$

CI Indice de confinement  
D Distance hydraulique  
S Section transversale

## Résultats

### *Indice de confinement*

La pertinence de l'indice de confinement est illustré par la figure 3. Les canaux sont extraits de l'image satellitaire pour la zone de CaMau. Les photographies a, b, c et d montrent différents paysages. Les sections transversales C2 et C3 illustrent deux cas de figures très différents. Le profil C3 associé à la photo c indique d'un environnement très confiné tandis que le profil C2 associé à la photo d est ouvert et présente un taux de renouvellement de l'eau élevé. Les photos a et b témoignent d'environnements très confinés situés en extrémité de canaux où le renouvellement de l'eau est très faible.

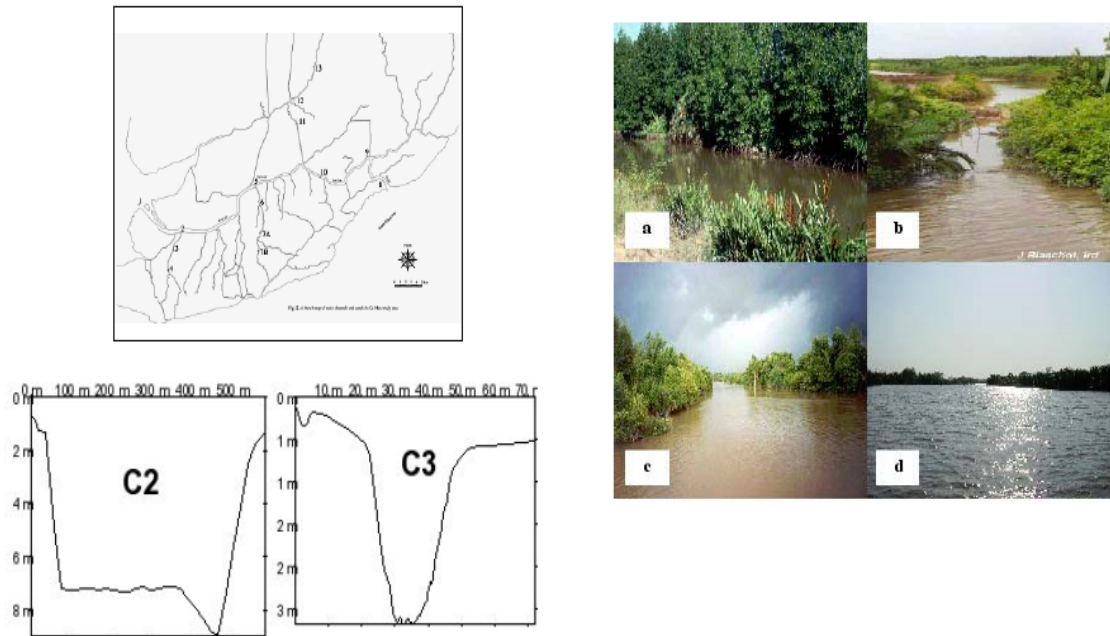


Figure 4. Réseau de canaux obtenus à partir de l'image Spot 4. Quatre photographies représentatives des paysages du delta du Mékong. Sections C2 et C3 des canaux illustrés respectivement par les images d et c.

Le confinement est une notion importante pour la gestion d'une aquaculture extensive. Comme aucune nourriture n'est apportée, l'initiation de la chaîne alimentaire par les organismes chlorophylliens devient essentiel au développement des organismes source de nourriture des crevettes. Un équilibre entre une eau suffisamment renouvelée pour éviter une eutrophisation et suffisamment riche en particules organiques indispensables à une bonne production primaire doit donc être trouvé. A TraVinh où les taux de matière en suspension dans l'eau sont relativement faibles, une relation étroite entre un taux de confinement élevé et une bonne production en crevette est observée.

#### Zonation hydrobiologique

Les paramètres hydrobiologiques enregistrés à TraVinh montrent de grandes variations saisonnières. En saison humide, la salinité, les quantités de matière organique en suspension diminuent. Il s'ensuit une baisse des quantités de chlorophylle et de la production primaire et par voie de conséquence de la production en crevette. Les effets de la saison humide sont moins marqués à CaMau parce que les effets des crues du Mékong se font moins sentir dans la partie extrême sud du delta qui n'est pas traversée par de grands bras de ce fleuve. A CaMau, le facteur limitant est plus lié à un manque d'oxygène et une grande quantité de matière en suspension qui gêne la pénétration de la lumière. Cette turbidité semble due au trafic intense des bateaux à moteur qui en érodent les berges.

Une typologie des 20 stations de TraVinh et des 15 stations de CaMau est réalisée par une analyse en composantes principales qui porte sur l'ensemble des paramètres hydrobiologiques et l'indice de confinement recueillis en saison sèche et en saison humide. La synthèse obtenue construit la figure 4.

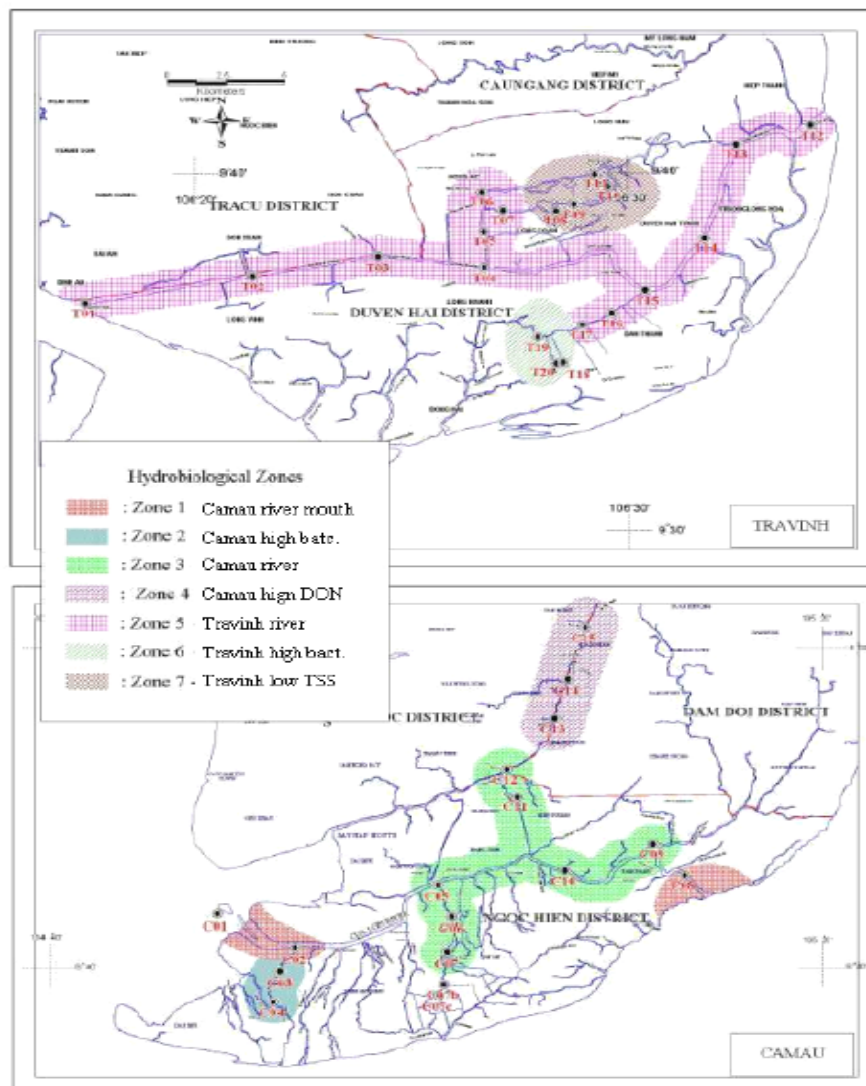


Figure 4 : Zonation construite à partir des données hydrobiologiques et d'écologie du paysage.

#### Données de production

La production en crevette des fermes environnant les stations est estimée suite à une enquête socio-économique. Différencier la production moyenne par récolte et la production annuelle donne une bonne idée de la performance des fermes. Les résultats sont présentés en reprenant la zonation hydrobiologique.

Tableau 1. Production des fermes environnant les stations hydrobiologiques.

zone		Z1 CM	Z2 CM	Z3 CM	Z4 CM	Z5 TV	Z6 TV	Z7 TV
Production saison sèche (kg/ha)	moyenne	55,18	60,72	134,33	156,03	352,22	706,32	278,32
	écart-type	37,96	65,44	106,02	116,95	242,70	467,94	262,52
Production annuelle (kh/ha)	moyenne	14,76	14,09	57,87	46,26	255,87	616,32	215,81
	écart-type	9,99	13,82	60,92	40,14	188,06	491,05	280,29

L'ordre de grandeur des écarts-types est égal à celui des moyennes ce qui indique une grande

variabilité entre les zones. Les productions sont meilleures à TraVinh qu'à CaMau. Elles sont même très importantes dans la zone 7 de TraVinh où les fermiers pratiquent une aquaculture extensive+ avec des densités de stockage de larves au m<sup>2</sup> très grandes.

#### Zonation écologique

Environ 60% de la mangrove a été détruite lors de la guerre d'Indochine par épandage d'herbicide ou de napalm. Après 1975, un programme de reforestation a été mené à bien par le gouvernement vietnamien tandis que pendant la même période l'aquaculture traditionnelle de crevette se développait. La majorité des mangroves actuelles, y compris celles considérées comme naturelles, sont le fruit de reforestation et n'ont pas plus de 30 ans au sud Vietnam. Elles sont composées quasiment d'une seule espèce *Rhizophora apiculata*.

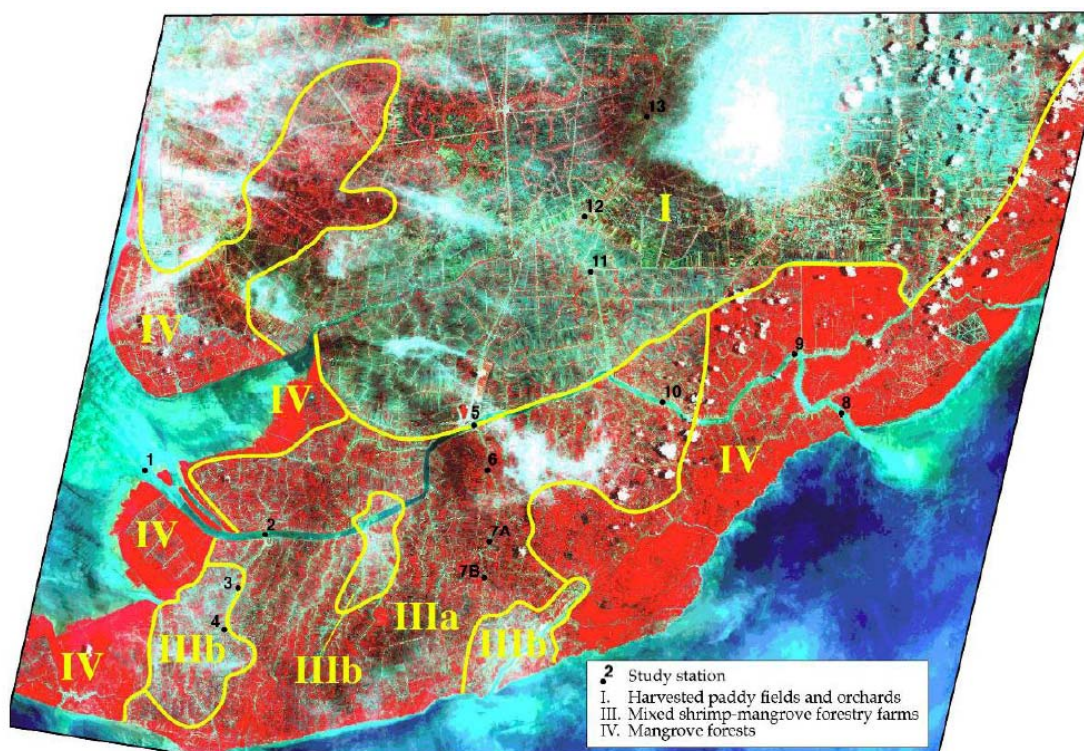


Figure 5 : zonation écologique réalisée à partir d'une image Spot 4 du 1 avril 2001.

Cartographier les zones de mangrove et établir leur santé est essentiel pour suivre l'évolution de l'occupation du sol dans le delta du Mékong, région où le gouvernement a voulu conserver la mangrove qui sont actuellement menacée par l'expansion de l'aquaculture. Nous espérons également tirer des enseignements de cette cartographie pour établir des relations de cause à effet entre préservation de la mangrove et production de crevette.

La zonation écologique s'appuie sur une image Spot 4. Les classes retenues délimitent les espaces en fonction de la densité des mangroves et de leur état. La proportion de bassin mitant le couvert végétal est un élément déterminant dans la définition des classes et des zones associées. L'espace est décomposé en quatre grandes zones : 1. Riziculture et verger 2. Bassin de crevettes, marais salants et quelques mangroves éparses, 3. Bassin de crevettes et mangroves, 4. Mangroves. Sur la figure 5, à CaMau, les zones I et II changent rapidement. Récemment, les digues ont été brisées pour permettre à l'eau salée de pénétrer dans les rizières et les transformer en bassins aquacoles. Dans la zone III, mangrove et bassins coexistent. Les mangroves couvrent la moitié de la superficie de cette zone. Toutes les espèces présentes sont

résistantes au sel. *Nypa fruticans* est absent ce qui est en accord avec les mesures de salinité de l'eau réalisées. La zone IV présente des mangroves originelles. Elle est très protégée en particulier à l'embouchure située près de la station 1.

### **Conclusion**

La plupart des mangroves du delta du Mékong sont des mangroves jeunes, replantées densément après la guerre d'Indochine. Elles appartiennent à deux espèces, *Rhizophora apiculata* et *Nypa fruticans*. Malheureusement, l'activité aquacole liée à la crevetticulture et dans une moindre mesure les marais salants conduisent à une régression de ces forêts. De plus, leur surexploitation liée à une densité de population élevée ne permet pas de conserver les arbres de grande taille. Une des conséquences est probablement la destruction des zones naturelles nourricières des crevettes indispensable au recrutement des post-larves à partir des canaux. Une trop grande pression de pêche dans les canaux peut également aggraver la situation. Redonner aux mangroves toute leur diversité spécifique devrait permettre de recréer ces zones nourricières. C'est une recommandation de tous les experts écologues. Le choix des zones à restaurer préférentiellement devra faire l'objet d'études complémentaires.

La qualité des écosystèmes côtiers dépend de leur capacité à renouveler l'eau, à gérer le système accrétion/érosion liée à l'accumulation de la matière organique et à éliminer les déchets produits essentiellement par l'homme. Ces paramètres conditionnent le caractère durable de l'écosystème et ils doivent être pris en compte dans une politique de développement de l'aquaculture. Dans ce contexte, l'indice de confinement est un des outils utiles au diagnostic. Il s'est montré bien adapté dans la description des stations de Tra Vinh où il était corrélé à la production primaire. Pour les stations de Ca Mau, son efficacité a été moindre. Les sédiments sans cesse remis en suspension par les bateaux à moteur perturbent l'écosystème, diminuent la performance des fermes et permettent mal de relier confinement avec production primaire.

En définitive, plusieurs recommandations peuvent être émises. Il est indispensable de limiter les risques pris par le fermier en fonction des caractéristiques de la zone où est située sa ferme. Dans le cas où la zone est très confinée, le renouvellement de l'eau ne peut être suffisant pour empêcher un développement de bactéries et d'organismes pathogènes (virus). Il est dans ces conditions préférable de ne pas pratiquer dans cette zone l'élevage de crevettes. Quand la zone est mieux adaptée, il est souhaitable de ne pas se tourner vers une crevetticulture intensive en augmentant les densités de stockage et en apportant de la nourriture. Ce mode intensif est voué à court terme à des pertes de récolte et à la mise en péril de l'exploitation. L'ensemble des paramètres hydrobiologiques et écologiques du delta du Mékong demandent de pratiquer une aquaculture selon un mode extensif, préservant le plus possible la mangrove. Toute surexploitation de ce milieu conduira à des échecs et à la faillite des fermiers locaux.

### **ont contribué à ce programme**

BAILLY Denis, BLANCHOT Jean, CHARPY Jean, Loïc, Ivan CONESA, Jacques FUCHS, Lucette JOASSARD, Jean-Louis MARTIN, Françoise MORNET, DUONG Trong Kiem, LE Lan Huong, LE Thi Thu Ha, LE Trong Dung, MONTEL Yves, NGUYEN Dinh Dan, NGUYEN Tac An, NGUYEN Thanh Van, NGUYEN Xuan Hoa, NGUYEN Phi Phat, PHAN Minh Thu, RAUX Pascal, TONG Phuoc Hoang Son

### **Bibliographie**

Fuchs J., Martin J.L., 1998. Assessment of tropical shrimp aquaculture impact on the environment in tropical countries, using hydrobiology, ecology and remote sensing as helping tools for diagnostics. Final reports of the E.U. Contract RS3 – CT 94-00284. Rapport interne de la Direction des Ressources vivantes de l'Ifremer DRV/RA/RST/98-05, 262 p.

- Johnston D.J., Trong N.V., Tien D.V., Xuan T.T., 200. Shrimp yields and harvest characteristics of mixed shrimp-mangrove foresty farms in southern Viet Nam: factors affecting production, *Aquaculture*, 188, 263-284.
- Lovatelli A., 1997. Status of aquaculture in Viet Nam. *Aquacult. Asia*, 2(3), 18-24.
- populus J, Nutpramoon R., Martin J.-L., Raux P., Tong P.H.S., 2003. GIS in support to data analysis for enhanced sustainability of shrimp farming in the Mekong delta, Viet Nam. *CoastGIS'03*, Genova, Oct. 2003.
- Thu P.M., Populus J., 2007. Status and changes of mangrove forest in Mekong Delta: Case study in Tra Vinh, Vietnal, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(2007) 98-109.
- Tong P.H.S., Auda Y., Populus J., Aizpuru M., Hashbi A., Blasco F.. 2004. Assessment from space of mangroves evolution in the Mekong delta, in relation to extensive shrimp farming. *Int. Journal of Remote Sensing*, vol. 25, N°21, 4795-4812.