





## **TABLE DES MATIERES**

<b>ANNEXE 1 - TELEDETECTION</b>	<b>4</b>
<b>ANNEXE 2 - MORPHOLOGIE MATHEMATIQUE</b>	<b>10</b>
<b>ANNEXE 3 - MATRICES DE CONFUSION</b>	<b>12</b>
<b>ANNEXE 4 - ESTIMATION DE LA QUALITE DES METHODES DE DETECTION DES ETANGS SELON LES IMAGES</b>	<b>19</b>
<b>ANNEXE 5 - QUESTIONNAIRES UTILISES SUR LE TERRITOIRE DE TUMBES</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXE 6 - CARTES D'OCCUPATION DU SOL DES MUNICIPALITES DU DELTA DE LA PAMPANGA</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE 7 - LE GLANAGE</b>	<b>39</b>
<b>ANNEXE 8 - QUESTIONNAIRE UTILISE SUR LE TERRITOIRE PHILIPPIN</b>	<b>43</b>
<b>ANNEXE 9 - ARTICLE PARU DANS WATER RESOURCES RESEARCH</b>	<b>73</b>
<b>ANNEXE 10 - POSTER</b>	<b>87</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>89</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>90</b>

# Annexe 1 - Télédétection

## Rappels physiques de la télédétection et caractéristiques des images satellites

La télédétection utilise les propriétés d'émission et/ou de réflexion des ondes électromagnétiques par les objets disposés à la surface terrestre (Girard et Girard 1999). Ce sont donc les propriétés optiques des objets qui constituent l'information principale en télédétection. Les ondes transportent de l'énergie et se propagent sans atténuation dans le vide mais sont plus ou moins absorbées dans différents milieux. A la différence d'autres ondes, tel que les ondes sonores ou sismiques, qui ont au contraire besoin d'un milieu favorable pour se propager, tel que l'eau, l'air ou des matériaux solides (Bonn et Rochon 1993). Le terme électromagnétique vient du fait que l'énergie transportée par les ondes ne se manifeste que dans son interaction avec la matière. Ainsi, les ondes électromagnétiques affectent les propriétés magnétique et électrique de la matière. Les ondes électromagnétiques sont représentées par deux vecteurs perpendiculaires indissociables dont l'amplitude varie périodiquement avec le temps : champ électrique et le champ magnétique (Bonn et Rochon 1993). Elles sont caractérisées par une fréquence, une amplitude, une longueur d'onde, une période et une vitesse de propagation. La période est le temps durant lequel l'onde fait une oscillation complète alors que la fréquence est l'inverse de la période. La longueur d'onde est la distance parcourue à la vitesse  $v$  par l'onde durant une période  $T$  ( $\lambda = v T = 2 \pi / k$ ).

Le rayonnement d'un objet est la combinaison de son énergie radiative propre qu'il émet et de l'énergie solaire qu'il renvoie dans l'atmosphère. En effet, tout corps (dont la température est supérieure à 0K) émet un rayonnement électromagnétique en transformant une partie de l'énergie thermique en énergie radiative. Il réfléchit aussi une partie du rayonnement solaire incident. Le rayonnement enregistré par les capteurs est appelé luminance. Le principe des capteurs est le suivant : sur une superficie donnée, le champ de vision du capteur, ce dernier recueille des mesures énergétiques des éléments de surface (pixels) dont les dimensions sont définies par l'angle solide du capteur et par son altitude.

La télédétection a révolutionné les études de l'environnement terrestre par sa capacité d'identification des objets selon leur comportement spectral. Avant son avènement, les photographies aériennes étaient la principale source d'information. Le premier capteur multispectral équipant un satellite est le capteur MultiSpectral Scanner (MSS) lancé en 1972 (Green *et al.* 1996). Les images satellites sont caractérisées par plusieurs types de résolutions : temporelle, radiométrique, spatiale et spectrale. La résolution temporelle est le temps qui sépare deux enregistrements au dessus d'un même lieu à la surface de la terre. La résolution temporelle du satellite Landsat 5 embarquant le capteur Thematic Mapper est par exemple de 16 jours. La plupart des satellites sont dits héliosynchrones, c'est-à-dire qu'ils passent au dessus du même point au même moment de la journée, bien que des perturbations de leur orbite puissent entraîner de faibles variations. La résolution spectrale se réfère au nombre et à la largeur des bandes spectrales dans lesquelles les capteurs enregistrent le rayonnement électromagnétique. Les capteurs multispectraux sont capables d'enregistrer le rayonnement électromagnétique dans plusieurs bandes spectrales, quatre en ce qui concerne le capteur MSS et sept pour le capteur TM. Chaque bande correspond à une partie bien définie du spectre électromagnétique (Figure Annexes 1). La résolution radiométrique est le nombre de niveaux utilisés par le capteur dans chaque bande pour rendre compte des données enregistrées et reflète ainsi sa sensibilité. L'information enregistrée par le capteur TM est par exemple codé en 8 bits. L'image de sortie se compose donc de pixels dont les informations sont réparties sur

256 niveaux, et ayant des valeurs entre 0 et 255 ( $2^8$ ). Enfin la résolution spatiale correspond à la taille de l'entité élémentaire de l'image, le pixel (par exemple 79 m\*56 m pour MSS, 30 m\*30 m pour TM). Le niveau de détail de l'image dépend donc de la taille des pixels.

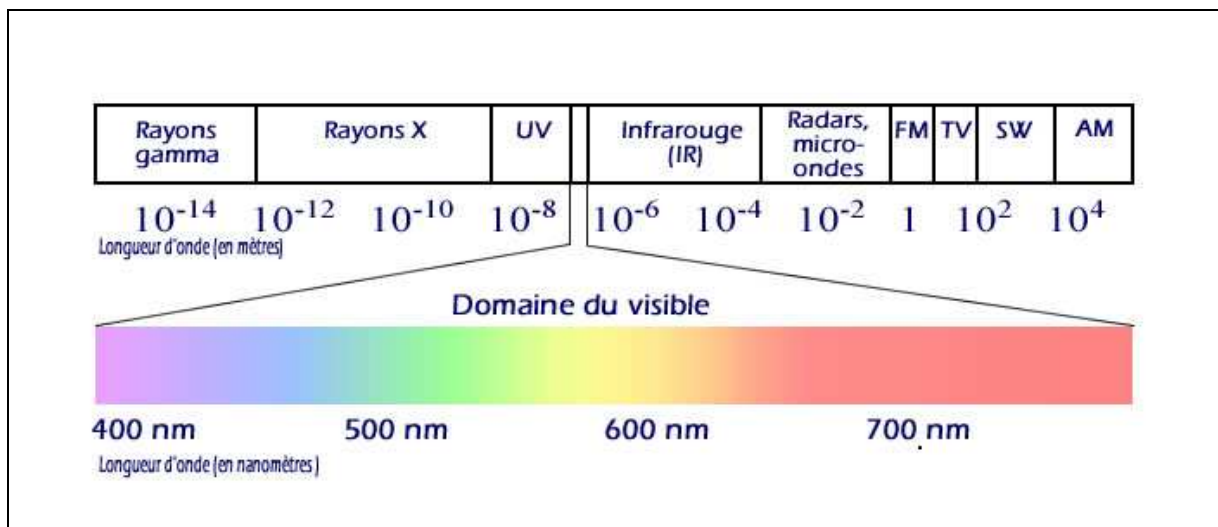


Figure Annexes 1 - Le spectre électromagnétique

## Les longueurs d'ondes

Le rayonnement électromagnétique solaire possède des longueurs d'onde comprises entre  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$  (rayons cosmiques) et plusieurs kilomètres (ondes radio). Parmi les longueurs d'ondes les plus utilisées : rayons x, ultra-violet, visible, infrarouge solaire, infrarouge thermique, hyperfréquences. Les études environnementales traitent principalement du rayonnement électromagnétique dans le visible et l'infrarouge.

### Le visible

Environ 42% de la lumière solaire est acheminé dans les longueurs d'onde du visible. Dans le spectre visible, la moitié environ de l'énergie est utilisée par les végétaux chlorophylliens pour synthétiser la biomasse. Le spectre visible est de loin la partie du spectre solaire la plus utilisée par les végétaux. Les pigments chlorophylliens montrent ainsi un maximum d'absorption dans le rouge et dans le bleu. Le spectre visible compte trois longueurs principales à chacune desquelles est associée une couleur : le rouge ( $\lambda=700$  nm), le vert ( $\lambda=546$  nm) et le bleu ( $\lambda=436$  nm).

### L'infrarouge

L'infrarouge est absorbé par l'air, le sol et surtout par l'eau. C'est une onde électromagnétique qui a une longueur d'onde plus élevée que celle du visible, et donc une fréquence inférieure que la bande rouge qu'elle succède et qui explique son nom. L'infrarouge se subdivise en proche infrarouge (0,78  $\mu\text{m}$  à 1,4  $\mu\text{m}$ ), en infrarouge moyen (1,4 à 3  $\mu\text{m}$ ) et en infrarouge lointain (3  $\mu\text{m}$  à 1 000  $\mu\text{m}$ ).

## Les comportements spectraux des objets de surface terrestre

La télédétection permet d'étudier les objets de surface. Le pouvoir de pénétration des ondes dans un corps sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, soit de quelques micromètres

dans le visible jusqu'à un centimètre pour les hyperfréquences (Girard et Girard 1999). En télédétection optique, l'enregistrement de la luminance se fait de manière passive et nécessite donc l'absence d'une couverture nuageuse. En effet, les nuages empêchent l'enregistrement du rayonnement dans le spectre visible et infrarouge car ils sont dotés d'un fort pouvoir réfléchissant dans ces longueurs d'onde. Cet effet disparaît dans le cas des capteurs actifs, qui émettent dans les hyperfréquences, ce qui en fait un outil particulièrement adapté à l'étude des objets situés dans la bande intertropicale.

Chaque objet terrestre possède une signature spectrale qui lui est propre. Cette signature dépend toutefois du moment d'acquisition, de la date d'acquisition, des propriétés de l'objet, de la position de ce dernier, de l'angle de vue et du rayonnement incident.

Si les objets présentent un comportement spectral qui varie selon plusieurs paramètres, il n'en demeure pas moins que des objets de natures différentes présentent des différences de comportement spectral plus grandes que les différences entre des objets de même nature. Ce sont ces différences que les instruments de télédétection se proposent d'exploiter. Pour cela, il faut connaître les principales caractéristiques spectrales des objets en fonction de leur nature. Les grandes catégories d'objet de surface sont au nombre de trois : végétation, sol et eau.

### **Comportement spectral de la végétation**

Les propriétés optiques des couverts végétaux dépendent des plantes qui la composent, de leur arrangement spatial et du sol sous-jacent (Girard et Girard 1999). Malgré des variations, les courbes de réflectance (part du rayonnement réfléchi) des formations végétales présentent des formes à peu près similaires. Dans les principales longueurs d'onde, les comportements observés sont les suivants (Girard et Girard 1999) :

- dans la partie visible du spectre solaire, la végétation présente un comportement en relation avec la présence de pigments chlorophylliens ;
- dans le proche infrarouge, la végétation présente un comportement qui dépend de la structure des tissus ;
- dans l'infrarouge moyen c'est la teneur en eau qui fait varier le comportement spectral.

La plus grande partie de l'énergie visible renvoyée par les organes chlorophylliens se situe dans le vert, raison pour laquelle les végétaux nous apparaissent verts. En effet, le spectre d'absorption de la chlorophylle montre un maximum dans le bleu et dans le rouge et un minimum dans le vert. Dans le visible, le comportement spectral d'un végétal sénescé ou desséché est complètement différent de celui d'un végétal vert et turgescent. Dans l'ensemble du spectre visible, les valeurs de réflectance des feuilles vertes sont ainsi toujours inférieures à celles des feuilles sèches.

Dans le proche infrarouge, les pigments chlorophylliens n'interviennent plus. C'est principalement la structure des feuilles qui fait varier la réflectance dans cette longueur d'onde, en particulier les différents tissus et les arrangements de cellules et des espaces intercellulaires. Le parenchyme lacuneux est le principal tissu foliaire qui entraîne une variation de la réflectance. Ce tissu présente, en effet, des irrégularités et des lacunes qui peuvent contenir de l'air ou de l'eau, provoquant ainsi une variation de l'indice de réfraction et donc de la réflectance. Certains stades physiologiques, tels que la maturation ou la sénescence, s'accompagnent de changements de la teneur en pigments et de la structure interne des tissus foliaires qui provoquent une variation de la réflectance. Dans le cas des mesures faites au laboratoire, les végétaux sénescés, jaunes et secs, présenteront alors une réflectance plus élevée que les végétaux verts et turgescents, dans le visible ainsi que dans le proche infrarouge. Il existe toutefois des différences importantes entre les mesures faites en laboratoire et les mesures effectuées à l'extérieur, ne serait ce que par rapport à la résolution

spatiale. Ainsi, à l'extérieur, les formations sénescents présentent toujours une réflectance moins élevées dans le proche infrarouge en raison de la contribution du sol sous-jacent qui est plus importante compte tenu du pouvoir couvrant moindre des feuilles. De la même manière, la présence de matière sèche sur pied, non chlorophyllienne, mélangée à une phytomasse aérienne chlorophyllienne modifie le comportement spectral de l'ensemble du couvert. Sur les scènes satellites à résolution moyenne, les formations végétales vertes sont donc souvent associées à des réflectances moindre dans le visible et plus forte dans le proche infrarouge que les formations de végétaux sénescents ce qui permet de les distinguer les unes des autres. Ces différences ont été exploitées au cours de la présente étude.

### **Comportement spectral des sols**

Le sol est un milieu hétérogène complexe composé d'une phase liquide, d'une phase gazeuse et d'une phase solide (matière organique et minéraux) (Bonn et Rochon 1993). La réponse spectrale d'un sol dépend de ses composants ainsi que de leur agencement ; les facteurs principaux sont la teneur en matière organique, le taux d'humidité, et la rugosité. Le comportement spectral des sols correspond généralement à une courbe croissante de 400 à 1450 nanomètres, et ce, quelque soit le sol considéré. Dans le visible et dans le proche infrarouge, la réflectance est par exemple plus forte que dans le cas de la végétation et des plans d'eau. Une plus grande rugosité du sol entraîne ainsi des zones d'ombres qui abaissent sa réflectance. La rugosité peut être liée à la microtopographie (présence de cailloux, roches) ou aux actions de l'homme, tel que le labour. La présence de matière organique ainsi qu'un taux d'humidité important entraîne une augmentation de l'absorption et donc une réduction de la réflectance dans les parties visible et infrarouge du spectre. Le canal rouge est d'ailleurs considéré comme une bande utile par les plupart des auteurs, alors qu'ils ne s'entendent pas toujours sur le fait de savoir si le visible ou l'infrarouge est le plus approprié pour identifier les sols (Bonn et Rochon 1993). Pour autant la pénétration des ondes dans le sol est égale à leurs longueurs d'onde, soit quelques nanomètres jusqu'à quelques centimètres pour les hyperfréquences. L'humidité détectée n'est donc que superficielle et rien de peut indiquer, en utilisant la partie visible et infrarouge du spectrale, le taux d'humidité du sol, qui est une caractéristique intéressant l'agriculture par exemple. En revanche, les hyperfréquences qui ont des longueurs d'onde plus élevées permettent une évaluation du taux d'humidité sur une épaisseur plus importante du sol.

### **Comportement spectral de l'eau**

C'est un composé chimique dont les caractéristiques spectrales nous intéressent au premier plan. Son comportement spectral se différencie assez nettement de ceux de la végétation et des sols. Les bandes d'absorption de l'eau sont situées à 950, 1150, 1450, 1950 et 2350 nanomètres, qui correspondent aux longueurs d'onde du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen. Cela signifie que dans ces deux parties du spectre, la réflectance de l'eau est très faible, contribuant à faire de ces longueurs d'onde les plus appropriées pour détecter des plans d'eau. Toutefois, dans le milieu naturel, l'eau est rarement présente à l'état pur de sorte que les molécules d'eau ne sont pas les seuls éléments réflectifs d'un plan d'eau. La présence d'éléments dans la colonne d'eau, à sa surface et sur le fond ainsi que les paramètres lié à sa propriété de fluide entraînent des changements de réflectance. Ainsi, la houle créée par le vent modifie la rugosité de surface des plans d'eau. Comme pour les sols, une rugosité importante provoque une diminution de la réflectance du fait des zones d'ombres. Dans le cas de trains de houle, on pourra observer sur des images multi-spectrales ou panchromatiques une succession de zones plus ou moins réflectives, organisées linéairement, donnant un aspect zébré à l'ensemble. Cette caractéristique permet par contre d'analyser les processus de réfraction et de diffraction qui s'exercent sur les littoraux. L'eau est dotée d'une certaine densité, plus

importante dans le cas de l'eau de mer qui contient des sels en solution. De nombreux objets, naturels ou anthropiques, peuvent ainsi flotter à sa surface ce qui rend alors difficile l'étude de la colonne d'eau sous-jacente. Un taux de recouvrement par la végétation élevée influence alors la réflectance enregistrée. Lors de cas d'eutrophisation, les plans d'eau peuvent ainsi être totalement recouverts par des plantes, souvent de manière temporaire, jusqu'à leur mort et leur régénération ultérieure. De nombreux éléments peuplent la colonne d'eau tels que les sédiments en suspension, les substances dissoutes, le phytoplancton. Ils contribuent, ensemble ou séparément, à modifier la réflectance selon leur nature et leur concentration. Une densité importante de phytoplancton commandera par exemple des modifications de la réponse spectrale vers un rapprochement de la réponse des végétaux chlorophylliens. En période de pluies, les cours d'eau, présentent une charge sédimentaire importante et possèdent, en conséquence, une réflectance accrue dans les parties du visible et de l'infrarouge du spectre en comparaison à une situation normale. Enfin, lorsque la hauteur de la lame est faible, le signal enregistré est la combinaison du rayonnement réfléchi par le corps d'eau et par le sol, ce qui peut fournir une information quant à la profondeur du fond et sa nature (Girard et Girard 1999). Si la détection de l'eau dans l'environnement est à priori facilitée par une réflectance caractéristique dans plusieurs longueurs d'onde du spectre, les nombreux éléments qui interagissent avec ce fluide compliquent donc la tâche.

## **Quelques techniques utilisées**

### **L'ACP**

L'analyse en composante principale crée des nouveaux canaux qui correspondent à de nouvelles dimensions dans l'espace euclidien. L'objectif est de rassembler une grande partie de l'information sur un nombre réduit de dimensions (et donc de canaux). Certaines bandes spectrales sont très corrélés, par exemples les bandes du visible, de sorte que leur utilité pour la discrétisation des pixels sous forme de classes est réduite. Le placement des nouveaux axes s'élabore de façon à ce que la variance et donc la dispersion de l'information sur un axe et entre les axes soient les plus fortes possibles. La valeur propre qui caractérise les axes factoriels permet de connaître la part d'information totale contenue sur chaque axe. Généralement, sur des images à cinq ou sept bandes spectrales, les trois premiers axes factoriels rassemblent la très grande majorité de l'information et présentent donc des valeurs propres très élevées. L'ACP permet ainsi de réduire le nombre de bandes et donc les temps de traitement. Elle permet aussi une meilleure distinction des objets grâce à l'augmentation des contrastes radiométriques entre les objets.

### **K-MEANS**

La classification non-supervisée par centres mobiles crée un nombre déterminé de classes en s'appuyant sur un algorithme qui cherche à minimiser la variance intra-classe et à maximiser la variance inter-classes dans l'espace euclidien. La première étape consiste à placer de manière aléatoire un nombre déterminé de centres de classes dans l'espace euclidien. L'algorithme calcule ensuite les variances intra- et interclasses et par itérations cherche respectivement à les minimiser et à les maximiser jusqu'à aboutir à une classification où les variances sont optimales.



- Girard**, M.-C., et **Girard** C.M., 1999, Traitement des données de télédétection, Dunod, Paris, 529 p.
- Green**, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., et Clark, C.D., 1996, A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources, Coastal Management, 24 (1), 1-40
- Green**, E.P., 2000, Satellite and airborne sensors useful in coastal applications, in (ed) Edwards, A.J., Remote sensing handbook for tropical coastal management, Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris, pp. 41-56

## Annexe 2 - Morphologie mathématique

Extraits de,

Mering, C., 1998, Images satellitaires et analyse spatiale, Université Denis Diderot Paris VII (HDR), 689 p.

La Morphologie Mathématique est une discipline de l'Analyse d'Image, qui est apparue dans les années 60. Matheron et Serra, les deux créateurs de la Morphologie Mathématique, ont développé une école de recherche et un laboratoire, le Centre de Morphologie Mathématique de l'Ecole des Mines, consacré à cette discipline. Depuis les années 80, à partir de ses nombreux développements, et grâce aux progrès de l'informatique, la Morphologie Mathématique est devenue un outil de base à la fois extrêmement courant et puissant, pour de nombreux laboratoires, en France et dans le monde. De nombreux ouvrages de synthèse lui sont consacrés (Serra, 1982,1988; Coster et Chermant, 1989; Schmitt et Mattioli, 1993). Les méthodes de la Morphologie Mathématique [MM] permettent à l'opérateur de structurer progressivement l'image selon les critères morphologiques qu'il juge pertinents.

Obtenir une information morphologique sur un ensemble X est équivalent à étudier les effets d'une transformation par un ensemble B (l'élément structurant) sur l'ensemble X.

$B_x$  est l'élément structurant B appliqué au point x de X.

L'élément structurant sera toujours défini par une forme simple avec un point de référence, ou origine.

### L'érosion et la dilatation

Pour effectuer une *érosion*, on vérifiera pour chaque point x de l'espace si B, centré en x, est inclus dans X. Si B, n'est pas inclus, on attribuera à X la valeur 0. L'ensemble des points x de l'espace pour lesquels la relation est vérifiée forme un nouvel ensemble Y.

$$Y = E_B(X) = \{x / B_x \subset X\} \quad (1)$$

L'ensemble *érodé* de X, noté  $E^B X$  aura une surface plus petite que celle de X, tout en conservant la même structure.

De la même façon pour effectuer une *dilatation*, on vérifiera si B, centré en x rencontre X (c.a.d. si l'intersection entre B et X est différent de l'ensemble vide).

$$Y = D_B(X) = \{x / B_x \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

L'ensemble *dilaté* de X, noté  $D^B X$  aura une surface plus grande que celle de X, tout en conservant la même structure.

### L'ouverture et la fermeture

A partir de l'*érosion* et de la *dilatation*, on définit deux autres transformations *en tout ou rien* qui sont l'*ouverture*  $X_B$  [érosion puis dilatation de X] et la *fermeture*  $X^B$  (dilatation puis érosion de X).

$$X_B = D_B \{E_B(X)\} \quad (3)$$

$$X^B = E_B \{D_B(X)\} \quad (4)$$

L'ensemble ouvert  $X_B$  est plus régulier, moins riche en détail, et moins étendu que l'ensemble initial  $X$  (il est inclus dans celui-ci). L'*ouverture* adoucit les contours, coupe les isthmes étroits, supprime les petites îles et les caps étroits. L'ensemble fermé  $X^B$  est également plus régulier et moins riche en détails que l'ensemble initial, tout en étant plus étendu que celui-ci ( $X$  est inclus dans  $X^B$ ). La Fermeture lisse les contours en bouchant les concavités, bouche partiellement les trous et reconnecte les particules proches.

Contrairement à l'*érosion* et à la *dilatation* qui peuvent être itérées une infinité de fois, l'Ouverture et la Fermeture sont idempotentes c'est à dire que, lorsqu'elles sont itérées avec le même élément structurant, le résultat de la transformation est identique à l'ensemble d'origine, ce qui peut s'écrire:

$$\{X_B\}_B = X_B \quad (5)$$

$$\{X^B\}^B = X^B \quad (6)$$

## La Reconstruction

Ces deux dernières transformations permettent de structurer l'image en simplifiant les contours des objets mais sans modifier de façon importante leur géométrie ni leur taille. Cependant dans certains cas, il s'agit simplement de "nettoyer" un ensemble, c'est-à-dire d'éliminer les "petites" composantes connexes tout en préservant intégralement les contours des plus grandes composantes connexes, ce que ne réalise pas l'*ouverture*.

On utilise pour cela une procédure dite de *reconstruction* dont le principe est le suivant : après avoir éliminé les petites composantes de l'ensemble  $X$  de départ par une érosion à l'aide d'un élément structurant convexe  $B(n)$  de taille  $n$  convenable, c'est-à-dire permettant d'éliminer la plus grande des petites composantes, on dilate l'ensemble  $Y$  restant (appelé ensemble *marqueur*) à l'aide de  $B$  puis on effectue l'intersection ensembliste entre  $D^B Y$  et  $X$  et on recommence l'opération jusqu'à ce que l'image ne subisse plus de modifications : il s'agit en effet d'une procédure qui converge convergente, c'est-à-dire qu'elle finit par se stabiliser à partir d'une certaine étape où l'image n'est plus modifiée. On appelle aussi cette transformation l'*ouverture par reconstruction*.

Cette procédure peut aussi être utilisée pour boucher les trous d'une certaine taille qui peuvent exister à l'intérieur des entités connexes d'un ensemble  $X$ ; il suffit pour cela de l'appliquer à l'ensemble complémentaire  $X^C$ .

## Annexe 3 - Matrices de confusion

### Image Landsat MSS 1977

Précision générale : 84,56% (356/421 pixels)

Coefficient de Kappa : 0.8099

Classes	Vérité terrain (pixels)							Total
	Eau	Zone humide	Sol nu	Mangrove	Forêt sèche	Cultures	Végétation	
Non classé	0	0	17	0	0	0	0	17
Eau	30	9	0	0	0	0	0	39
Zone humide	0	28	0	0	0	0	0	28
Sol nu	0	1	89	0	11	0	0	101
Mangrove	0	0	0	116	13	0	0	129
Forêt sèche	0	1	0	0	35	0	3	39
Cultures	0	0	0	1	1	47	8	57
Végétation	0	0	0	0	0	0	11	11
<b>Total</b>	30	39	106	117	60	47	22	421

Tableau Annexes 1 - Matrice de confusion (MSS 77)

Classes	Précision producteur (%)	Précision utilisateur (%)
Eau	100	76,92
Zone humide	71,79	100
Sol nu	83,96	88,12
Mangrove	99,15	89,92
Forêt sèche	58,33	89,74
Cultures	100	82,46
Végétation	50	100

Tableau Annexes 2 - Précisions producteur et utilisateur (MSS 77)

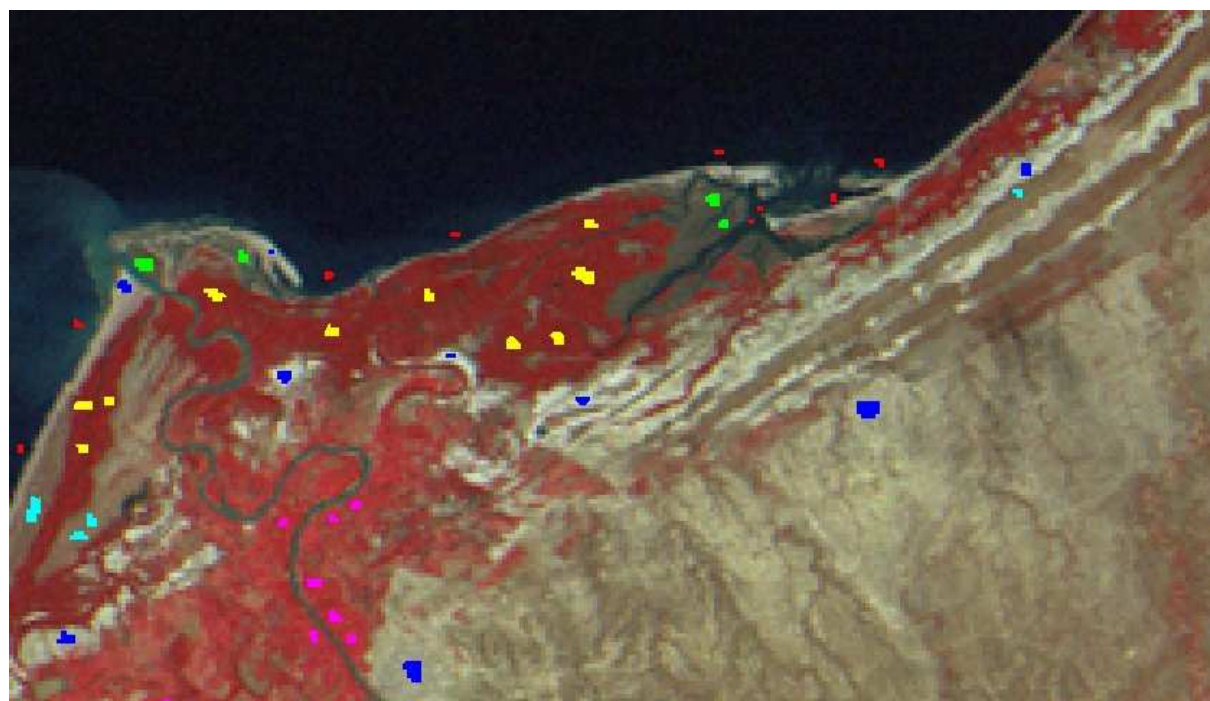


Figure Annexes 2 - Localisation des zones de vérité terrain (MSS 1977)

# Image Landsat MSS 1982

Précision générale : 86,5 % (455/526 pixels)

Coefficient de Kappa : 0.8314

Classes	Vérité terrain (pixels)						Total
	Eau	Zone humide	Sol nu	Mangrove	Végétation	Cultures	
Non classé	0	0	16	0	0	38	54
Eau	51	0	0	0	0	0	51
Zone humide	0	39	0	0	0	0	39
Sol nu	0	1	165	0	1	0	167
Mangrove	0	0	0	105	14	0	119
Végétation	0	0	1	0	30	0	31
Cultures	0	0	0	0	0	65	65
<b>Total</b>	51	40	182	105	45	103	526

Tableau Annexes 3 - Matrice de confusion (MSS 82)

Classes	Précision producteur (%)	Précision utilisateur (%)
Eau	100	76,92
Zone humide	71,79	100
Sol nu	83,96	88,12
Mangrove	99,15	89,92
Forêt sèche	58,33	89,74
Cultures	100	82,46
Végétation	50	100

Tableau Annexes 4 - Précisions producteur et utilisateur (MSS 82)

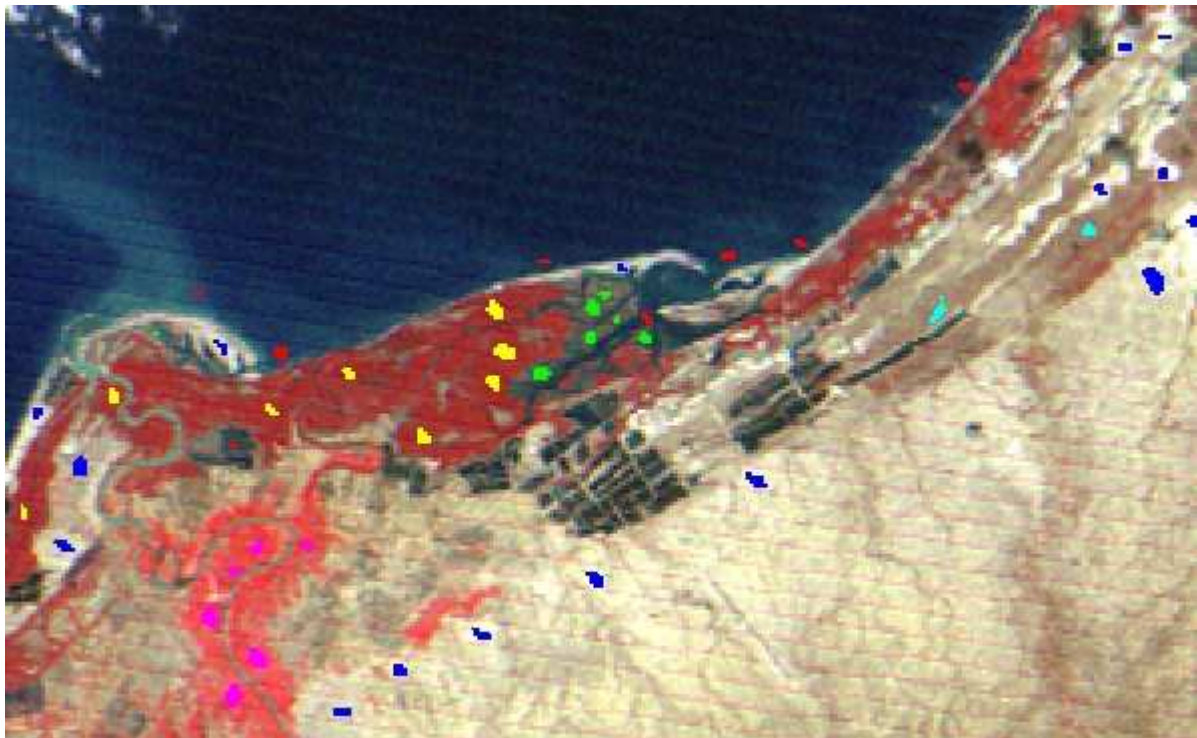


Figure Annexes 3 - Localisation des zones de vérité terrain (MSS 1982)

# Image Landsat MSS 1983

Précision générale : 74,19 % (368/496 pixels)

Coefficient de Kappa : 0.6857

Classes	Vérité terrain (pixels)							Total
	Eau	Eau turbide	Zone humide	Sol nu	Mangrove	Forêt sèche	Végétation	
Non classé	29	0	0	0	0	0	0	29
Eau	68	0	0	0	0	0	0	68
Eau turbide	0	125	4	0	0	0	0	129
Zone humide	0	0	40	0	0	0	0	40
Sol nu	0	0	0	26	0	0	0	26
Mangrove	0	0	0	0	101	55	0	156
Forêt sèche	0	0	0	0	0	7	37	44

Tableau Annexes 5 - Matrice de confusion (MSS 83)

Classes	Précision producteur	Précision utilisateur
	(%)	(%)
Eau	70,1	100
Eau turbide	100	96,9
Zone humide	86,96	100
Sol nu	100	100
Mangrove	99,02	64,74
Forêt sèche	11,29	15,91
Végétation	2,63	25

Tableau Annexes 6 - Précisions producteur et utilisateur (MSS 83)

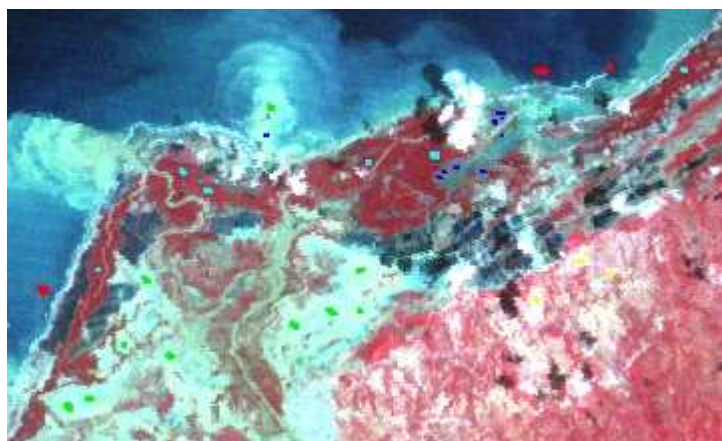


Figure Annexes 4 - Localisation des zones de vérité terrain (MSS 1983)

La faiblesse du coefficient de kappa s'explique ici par la confusion des zones de végétation. En dépit de tentatives d'amélioration de la classification en regroupant d'abord les classes de végétation puis en réalisant une analyse en composantes principales suivie d'une classification non supervisée, il n'a pas été possible d'améliorer la classification des zones de végétation. Toutefois, compte tenu du contexte à la date à laquelle a été acquise l'image, l'intérêt de la carte d'occupation du sol résidait dans la possibilité de détecter les zones inondées. Celles-ci sont, comme on peut le constater, classées de manière satisfaisante, rendu l'intérêt d'une meilleure détection de la végétation secondaire.

## Image Landsat ETM+ 2000

Précision générale : 98,36 % (7208/7328 pixels)

Coefficient de Kappa : 0.9792

Classes	Vérité terrain (pixels)						Total
	Eau	Zone humide	Sol nu	Mangrove	Végétation	Cultures	
Non classé	0	0	84	0	0	0	84
Eau	2534	22	0	0	0	0	2556
Zone humide	1	634	0	0	0	0	635
Sol nu	0	0	930	0	0	0	930
Mangrove	0	0	0	1357	0	6	1363
Végétation	0	0	1	0	526	0	527
Cultures	0	0	0	6	0	1227	1233
<b>Total</b>	<b>2535</b>	<b>656</b>	<b>1015</b>	<b>1363</b>	<b>526</b>	<b>1233</b>	<b>7328</b>

Tableau Annexes 7 - Matrice de confusion (ETM+ 2000)

Classes	Précision producteur (%)	Précision utilisateur (%)
Eau	99,96	99,14
Zone humide	96,65	99,84
Sol nu	91,63	100
Mangrove	99,56	99,56
Végétation	100	99,81
Cultures	99,51	99,51

Tableau Annexes 8 - Précisions producteur et utilisateur (ETM+ 2000)

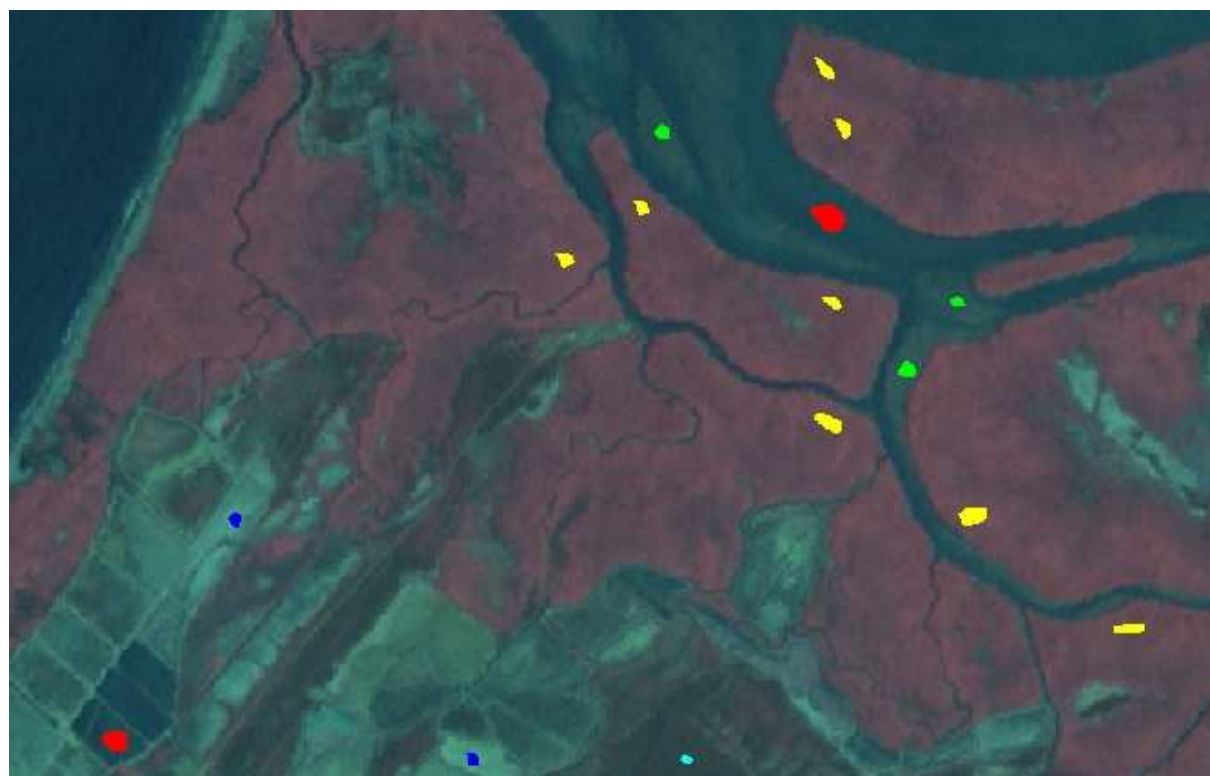


Figure Annexes 5 - Localisation des zones de vérité terrain (ETM+ 2000)

# Image SPOT 5 2003

Précision générale : 93,94 % (2530/2693 pixels)

Coefficient de Kappa : 0.9299

Classes	Vérité terrain (pixels)								Total
	Eau	Sol nu humide	Sol nu humide	Mangrove	Forêt sèche	Cultures	Végétation	Nuages	
non classé	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau	400	41	0	0	0	0	0	0	441
Sol nu humide	0	305	0	0	0	0	0	0	305
Sol nu humide	0	28	134	0	0	0	0	0	162
Mangrove	0	0	0	511	0	0	9	0	520
Forêt sèche	0	0	0	0	241	0	0	0	241
Cultures	0	0	0	0	0	308	36	0	344
Végétation	0	0	0	0	0	0	250	0	250
Nuages	0	0	49	0	0	0	0	381	430
<b>Total</b>	400	374	183	511	241	308	295	381	2693

Tableau Annexes 9 - Matrice de confusion (Spot ( 2003))

Classes	Précision producteur (%)	Précision utilisateur (%)
Eau	100	90,7
Sol nu humide	81,55	100
Sol nu humide	73,22	82,72
Mangrove	100	98,27
Forêt sèche	100	100
Cultures	100	89,53
Végétation	84,75	100

Tableau Annexes 10 - Précisions producteur et utilisateur (Spot 5 2003)

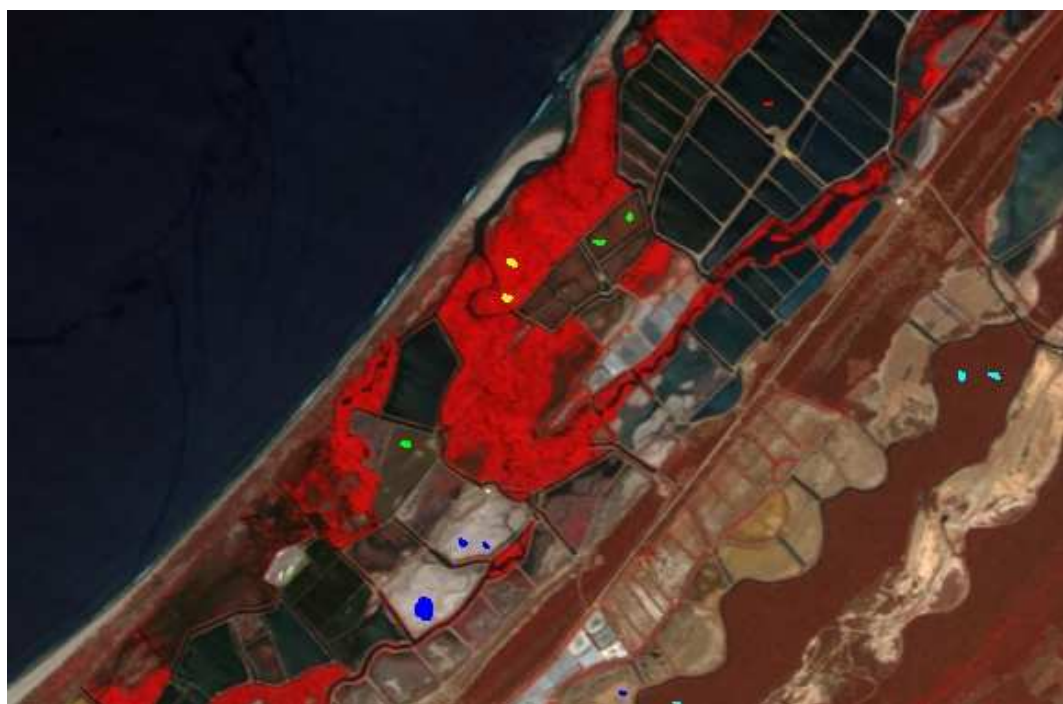


Figure Annexes 6 - Localisation des zones de vérité terrain (Spot 5 2003)



## Image SPOT 5 2004

Précision générale : 90,5627% (3042/3359 pixels)

Coefficient de Kappa : 0.8886

Classes	Vérité terrain (pixels)								Total
	Eau	Zone humide	Sol nu	Mangrove	Forêt sèche	Cultures	Végétation	Nuages	
non classé	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau	584	106	0	0	0	0	0	0	690
Zone humide	0	157	0	0	0	0	0	0	157
Sol nu	0	1	454	0	0	0	0	188	643
Mangrove	0	0	0	666	0	0	0	0	666
Forêt sèche	0	0	0	0	321	0	0	0	321
Cultures	0	0	0	0	19	611	2	0	632
Végétation	0	0	0	0	1	0	177	0	178
Nuages	0	0	0	0	0	0	0	72	72
<b>Total</b>	<b>584</b>	<b>264</b>	<b>454</b>	<b>666</b>	<b>341</b>	<b>611</b>	<b>179</b>	<b>260</b>	<b>3359</b>

Tableau Annexes 11 - Matrice de confusion (Spot 5 2004)

Classes	Précision producteur (%)	Précision utilisateur (%)
Eau	100	84,64
Zone humide	59,47	100
Sol nu	100	70,61
Mangrove	100	100
Forêt sèche	94,13	100
Cultures	100	96,68
Végétation	98,88	99,44

Tableau Annexes 12 - Précisions producteur et utilisateur (Spot 5 2004)

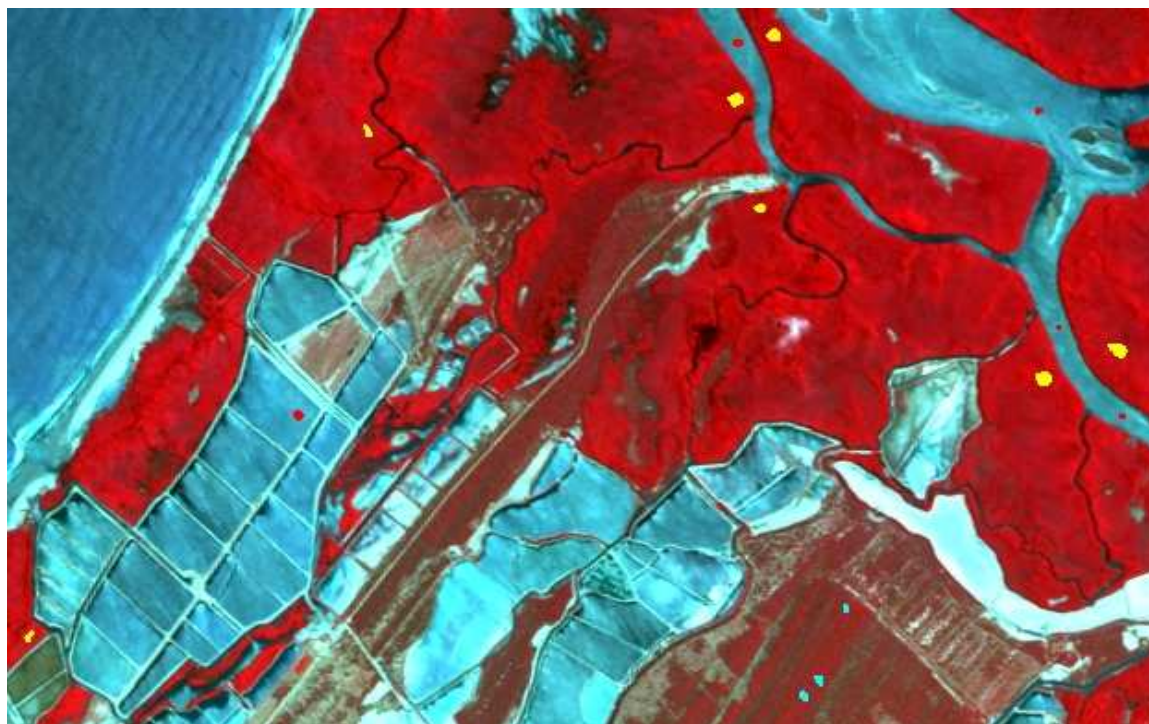


Figure Annexes 7 - Localisation des zones de vérité terrain (Spot 5 2004)

## Image SPOT 5 2007

Précision générale : 93.1468% (3629/3896 pixels)

Coefficient de Kappa : = 0.9163

Classes	Vérité terrain (pixels)							Total
	Eau	Zone humide	Sol nu	Mangrove	Forêt sèche	Cultures	Végétation	
Non classé	23	0	0	0	0	0	0	23
Eau	436	150	0	0	0	0	0	586
Zone humide	0	206	0	0	0	0	0	206
Sol nu	0	0	479	0	7	0	11	497
Mangrove	0	0	0	1132	0	0	0	1132
Forêt sèche	0	0	0	0	459	0	34	493
Cultures	0	0	0	2	3	772	15	792
Végétation	0	0	0	0	22	0	145	167
<b>Total</b>	<b>459</b>	<b>356</b>	<b>479</b>	<b>1134</b>	<b>491</b>	<b>772</b>	<b>205</b>	<b>3896</b>

Tableau Annexes 13 - Matrice de confusion (Spot 5 2007)

Classes	Précision producteur (%)	Précision utilisateur (%)
Eau	94,99	74,4
Zone humide	57,87	100
Sol nu	100	96,38
Mangrove	99,82	100
Forêt sèche	93,48	93,1
Cultures	100	97,47
Végétation	70,73	86,83

Tableau Annexes 14 - Précisions producteur et utilisateur (Spot 5 2007)



Figure Annexes 8 - Localisation des zones de vérité terrain (Spot 5 2007)

## Annexe 4 - Estimation de la qualité des méthodes de détection des étangs selon les images

### Image Landsat TM 1991

Les deux méthodes de seuillages sont plus performantes au regard du nombre d'objets identifiés. Sur le premier site (ouest), on relève peu de différences entre les méthodes. La plupart des étangs ont été détectés individuellement par toutes les méthodes. Sur le second site, en revanche, les deux méthodes de seuillage manuel ont permis de détecter un plus grand nombre d'étangs, en particulier les petits étangs localisés au nord, malgré des écarts de surface avec la réalité assez importants pour les plus petits d'entre eux. Sur le dernier site, on constate que les grands étangs ont bien été détectés par toutes les méthodes mais que les plus petits ne le sont que par les méthodes de seuillage. En contrepartie d'un plus grand nombre d'étangs identifiés par les méthodes de seuillage, l'écart moyen est, lui aussi, légèrement plus important.

La classification non supervisée est la plus performante sur le plan des écarts moyens. Cela signifie que les étangs identifiés le sont en nombre plus restreint qu'avec les autres méthodes mais que les superficies obtenues sont les plus proches de la réalité. Bien que les écarts entre les méthodes ne soient pas extrêmement importants, on peut néanmoins préconiser cette méthode si l'objectif premier est d'obtenir des surfaces se rapprochant de leur valeur réelle. Son choix est aussi adapté lorsque les étangs à détecter sont de grande taille, c'est-à-dire supérieurs à 4 ou 5 hectares. Cette méthode est moins performante en ce qui concerne la détection des petits étangs et des étangs séparés par des digues de largeur limitée. Ces derniers sont confondus avec les plans d'eau adjacents. Ainsi, les étangs groupés apparaissent sous la forme d'un ensemble contigu de pixels d'une même classe. Les mixels, qui correspondent aux pixels d'interface, c'est-à-dire chevauchant le plan d'eau et la digue, appartiennent donc le plus souvent à la classe d'eau. La méthode de classification dirigée présente des caractéristiques proches de la classification non dirigée, avec toutefois un écart moyen des valeurs de surface plus élevé. La performance de cette méthode repose essentiellement sur les zones d'entraînement choisies. Un trop grand nombre de zones d'intérêts peut aboutir à une mauvaise classification en confondant les pixels et les mixels d'eau. Ce trait s'accroît avec la taille de l'image et le nombre d'étangs. En effet, plus l'image est grande, plus l'hétérogénéité spectrale des étangs est forte et plus la probabilité de confondre pixels et mixels est forte. Le choix de cette méthode devrait donc être précédé d'une analyse rigoureuse de l'image afin d'évaluer le degré d'homogénéité de la réponse spectrale des étangs. En cas de relative homogénéité, les zones tests ont une probabilité plus forte d'être représentatives de la variabilité de l'ensemble. Les deux méthodes de seuillage manuel auraient donc des qualités supérieures pour détecter un plus grand nombre d'étangs tout en prenant en compte leur limite spatiale, c'est-à-dire les distinguer de leurs bords. Le canal utilisé pour le seuillage simple est le canal de l'infrarouge moyen (TM5). Les valeurs de seuils sont identiques sur les trois sites (0 - 25). Il est, en effet, important pour ces méthodes de seuillage de considérer les seuils de chaque site. Des différences importantes de seuils mèneraient à des résultats confus à l'échelle de la zone d'étude et en tout cas différents de ceux effectués sur chaque site. Pour l'indice NDWI, les seuils ont aussi été similaires d'un site à l'autre (0,4-1) et sont donc applicables à l'ensemble de l'image. Les deux méthodes de seuillage sont assez sensibles aux valeurs de seuil, qu'il faut donc déterminer empiriquement. Leur qualité se juge donc aussi à la variation des valeurs de la fenêtre numérique. Ces deux méthodes ont permis de détecter un plus grand nombre d'étangs, en particulier les petits ainsi

que d'autres de plus grand taille, dont la différence de réflectance avec les digues adjacentes est moins forte que dans d'autres endroits (par exemple sur le site B).

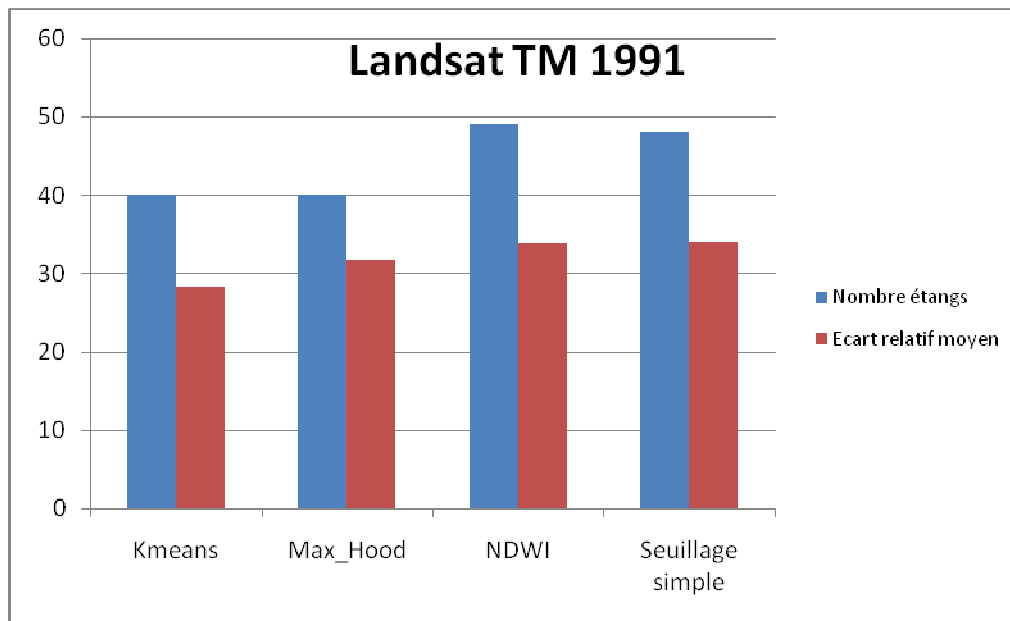


Figure Annexes 9 - Nombre d'étangs et écart de superficie relatif moyen de l'image Landsat TM 1991

## Image ETM+ de 2000

Au regard du nombre d'étangs détectés, les méthodes de classification s'avèrent moins performantes. La méthode de classification non supervisée possède l'écart moyen le plus faible, confirmant ce qui a été dit précédemment sur le fait qu'elle détecte moins d'objets mais qu'elle les détecte plus fidèlement. Les méthodes de seuillage sont les plus performantes. En ce qui concerne le seuillage de TM5, les valeurs supérieures du seuil ont varié d'un site à l'autre (de 36 à 44) tandis que celles de l'indice NDWI a fluctué dans des proportions moins fortes (de 0,45 à 0,47).

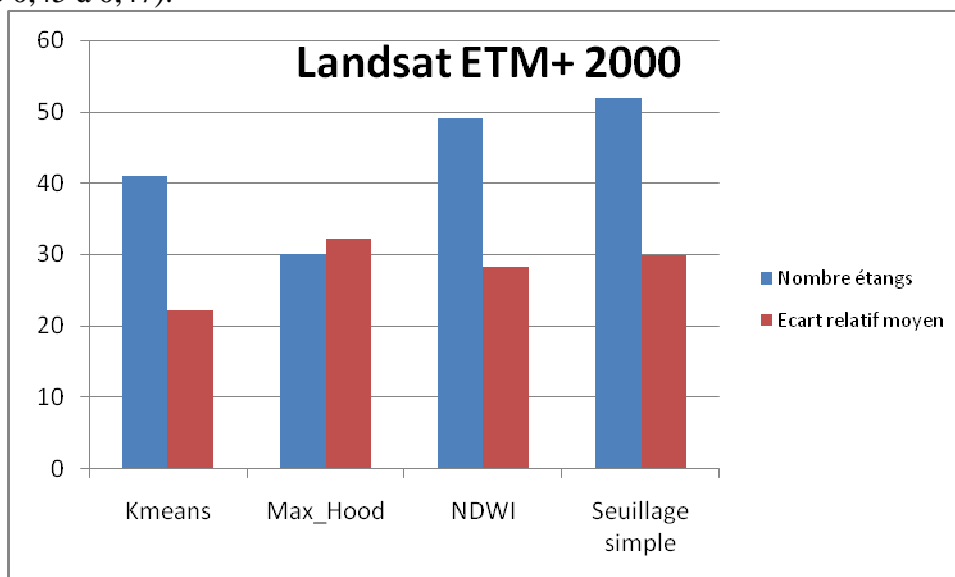


Figure Annexes 10 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image Landsat ETM+ 2000

## Image SPOT 5 de 2003

La méthode par classification non supervisée est clairement la moins efficace. Les autres méthodes sont proches les unes des autres en termes d'objets identifiés — avec néanmoins un avantage de la méthode par NDWI sur les deux paramètres de comparaison : le nombre d'objets et l'écart relatif moyen des superficies. Le passage à une résolution spatiale de 10 mètres diminue d'environ 10 % cet écart moyen, comparativement avec l'image TM à résolution spatiale de 30 m.

En ce qui concerne les seuils manuels, les fluctuations de la valeur haute du seuillage effectué sur le canal XS3 sont faibles (23 à 28), de même que celles du seuil bas de l'indice NDWI (XS1 et XS3), de 0,32 à 0,335.

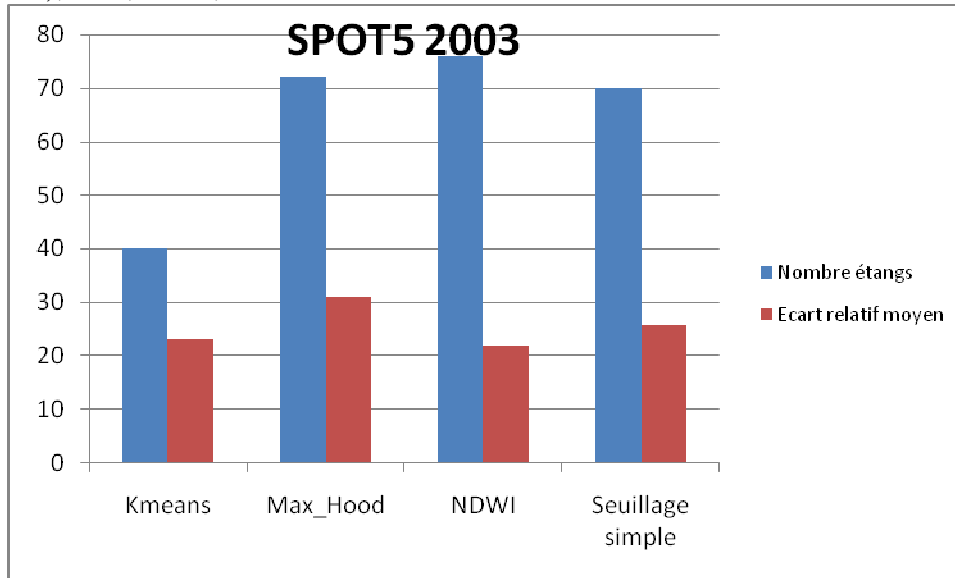


Figure Annexes 11 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT5 2003

## Image SPOT 5 fusionnée de 2003

L'image fusionnée possède la résolution spatiale de l'image panchromatique, c'est-à-dire 2,5 m. Il est donc intéressant de juger de la qualité intrinsèque des méthodes sur cette image mais aussi d'analyser les différences avec les résultats obtenus sur l'image à 10 m. Les variations entre le nombre d'étangs détectés par les différentes méthodes se sont amoindries, passant de 36 à 17. La hiérarchie est néanmoins conservée. On note, cela dit, une nette amélioration de l'écart moyen relatif concernant la méthode de classification non supervisée et pour le seuillage du canal XS3. Dans le premier cas, l'écart moyen passe de 22,94 à 6,94 et dans le second cas de 25,61 à 14,43. Toutefois, si le nombre d'étangs détectés par la méthode de classification non supervisée augmente, celui de la méthode de seuillage, lui, diminue.

L'accroissement de la résolution spatiale ne s'accompagne pas d'une amélioration proportionnelle des résultats. En effet, la réflectance présente de plus fortes variations spatiales lorsque la taille des pixels se réduit. Les plans d'eau ne dérogent pas à la règle et présentent une réponse spectrale qui est loin d'être uniforme sur l'ensemble de leurs surfaces. De ce fait, les méthodes testées semblent plus particulièrement adaptées à des hautes ou moyennes résolutions plutôt qu'à des images à très haute résolution.

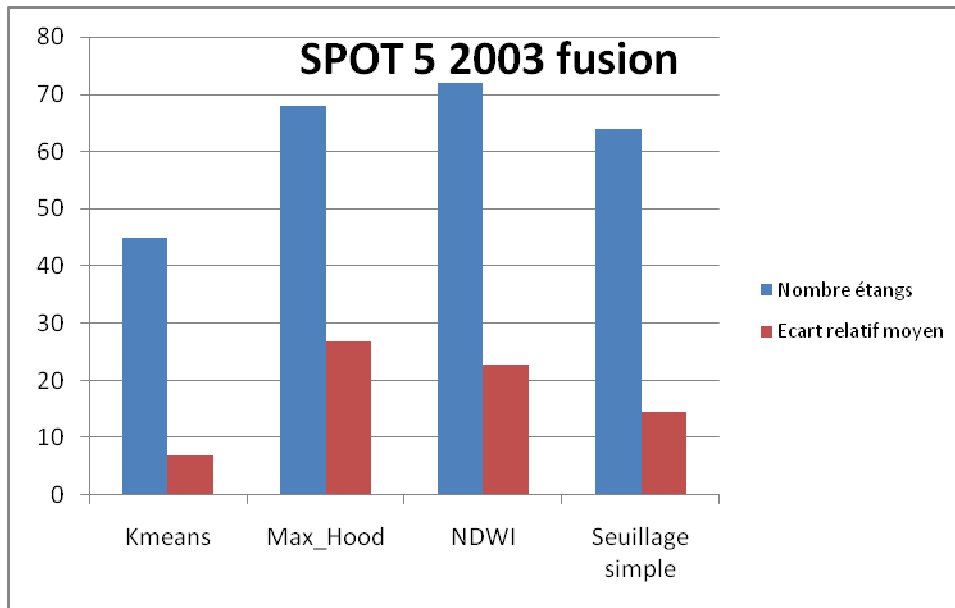


Figure Annexes 12 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2003 fusionnée

## Image SPOT 5 de 2004

Sur l'image Spot 5 de 2004, la méthode par NDWI apparaît la plus efficace. Elle permet non seulement de détecter un plus grand nombre d'objets (130 sur 183), tout en le faisant, dans le même temps, avec un écart moyen relatif de 21 %. Cette méthode, par NDWI est la seule qui permet d'identifier les petits étangs de production sur le site C.

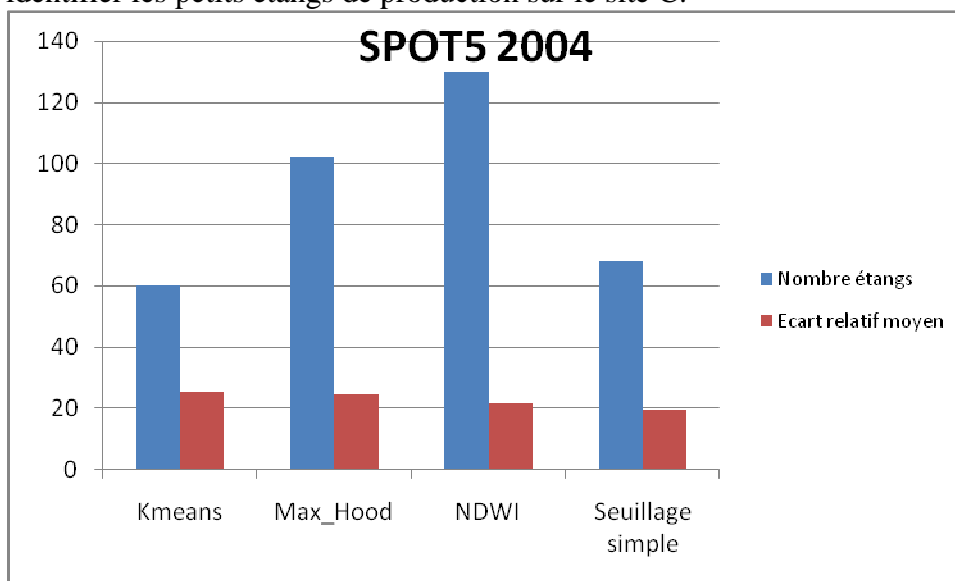


Figure Annexes 13 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2004

## Image SPOT 5 fusionnée de 2004

Les résultats des traitements de l'image 2004 fusionnée corroborent ceux de l'image de 2003, à savoir que seule la classification non supervisée voit ses résultats s'améliorer en termes du nombre d'étangs. Le nombre d'étangs détectés par NDWI est, quand à lui, passé de 130 à 85. Cette méthode perd donc de son efficacité à très haute résolution. De plus, certains étangs localisés dans le nord n'ont pas été reconnus. Ceux-ci présentent, en effet, plus de variations spectrales sur leur surface. Les remous de l'eau créés à la surface par les aérateurs (permettant l'apport d'oxygène dissous) sont ainsi beaucoup plus visibles sur les images fusionnées, ce

qui modifie significativement la performance de l'indice. L'écart moyen diminue cependant pour toutes les images, avec un minimum de 11 % pour le seuillage simple.

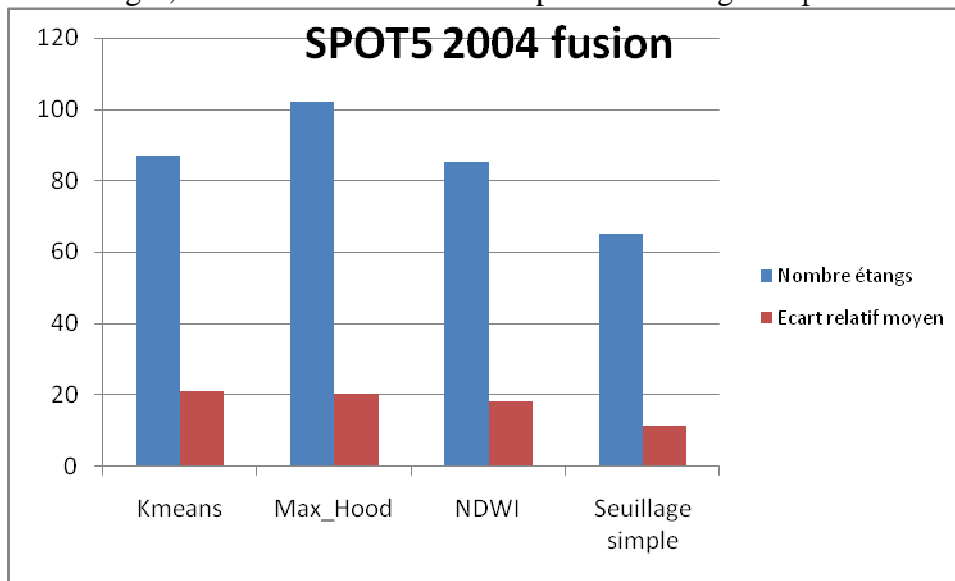


Figure Annexes 14 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2004

### Image SPOT 5 de 2007

On fait ici la même constatation que pour les autres images SPOT 5. La méthode par seuillage du NDWI est la plus performante. En effet, sur les 219 étangs présents, 142 ont été identifiés avec un écart moyen des surfaces de 18,7%.

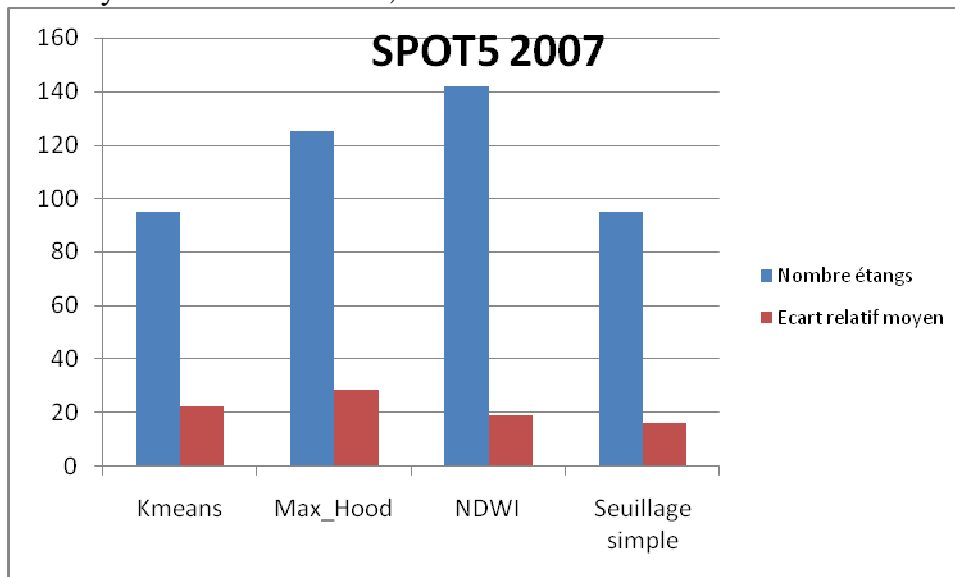
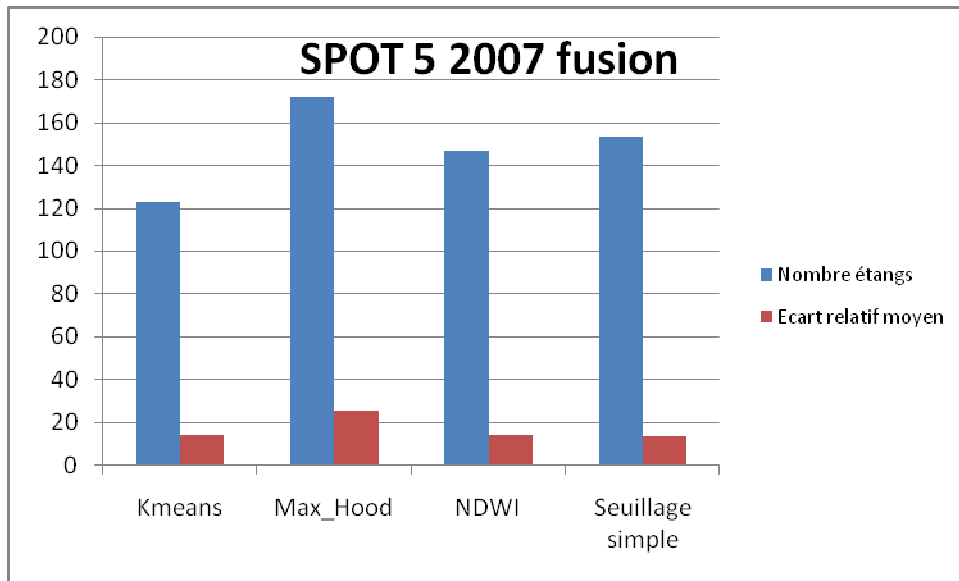


Figure Annexes 15 -Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2007 fusionnée

### Image SPOT 5 fusionnée de 2007

Les résultats de la classification supervisée sont contrastés. Cette méthode détecte un nombre élevé d'étangs mais présente aussi des écarts moyens beaucoup plus élevés que les autres méthodes (25,1 contre 13 à 14 pour les autres méthodes). Les deux méthodes de seuillage sont statistiquement proches, néanmoins, à la différence du seuillage simple qui utilise des valeurs min et max fluctuantes, les valeurs utilisées pour le seuillage du NDWI sont identiques pour les trois sites (0,35-1).



**Figure Annexes 16 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2007 fusionnée**



## Annexe 5 - Questionnaires utilisés sur le territoire de Tumbes

### Questionnaire destiné aux chefs d'exploitation

General							
<b>Dueño</b>							
Lugar de residencia							
Lugar de nacimiento							
Otras actividades							
<b>Fecha de adquisición de la langostinera</b>							
<b>Otras langostineras</b>							
Extensión espacial							
<b>Superficie al origen</b>							
<b>Superficie actual</b>							
Extensivo		Semi-intensivo		Intensivo		Total	
<b>Número de estanques</b>							
Extensivo		Semi-intensivo		Intensivo		Total	
<b>Superficie propia</b>							
Extensivo		Semi-intensivo		Intensivo		Total	
<b>Superficie alquilada</b>							
Extensivo		Semi-intensivo		Intensivo		Total	
<b>Conversión de semi-intensivo a intensivo</b>							
Fecha(s)							
Superficie							
<b>Ampliación de la langostinera</b>							
Fecha(s)							
Superficies							
Tipo de cultivo							
Producción							
<b>Volumen total 2006</b>							
<b>Volumen total 2005</b>							
<b>Volumen total 2004</b>							
<b>Volumen total 2003</b>							
<b>Volumen total 2002</b>							
<b>Perspectiva volumen 2007</b>							
<b>Volumen 2006</b>							
Extensivo		Semi-intensivo		Intensivo		Total	
Entero		Entero		Entero		Entero	
Colas		Colas		Colas		Colas	
<b>Rendimiento en promedio (kg. / ha)</b>							
Extensivo				Semi-intensivo		Intensivo	

<b>Número de campanas al año/ Días de cultivo</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Peso final de langostinas</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Densidad de siembra (ind. / m<sup>2</sup>)</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Tasa de supervivencia</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Utilización de fertilizante</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
Sí		No		Sí		No		Sí		No					
<b>Factor de conversión alimentación</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Fuente de agua</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
Estero		Pozo		Estero		Pozo		Estero		Pozo					
<b>Semilla</b>															
Laboratorios Ecuador				%				Laboratorio Perú				%			
<b>Fuente de energía utilizando</b>															
Bombas						Otras (aireadores, etc...)									
Petróleo		Electricidad		Petróleo		Electricidad		Petróleo		Electricidad					
<b>Tasa diario de recambio del agua</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Trabajadores</b>															
<b>Número total de trabajadores</b>															
Permanente								Temporal							
<b>Número trabajadores dedican a un tipo de cultivo</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Número de trabajadores par función</b>															
Vigilancia				Producción				Administrativo				Otros			
<b>Número o porcentaje de trabajadores que duermen al campo</b>															
<b>Costos</b>															
<b>Costos de producción de una campana (por hectárea)</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							
<b>Costo medio de un kilo de langostina</b>															
Extensivo				Semi-intensivo				Intensivo							

<b>Riesgos</b>						
<b>Tasa de reducción de la actividad durante la mancha blanca</b>						
<b>Número de trabajadores durante la mancha blanca</b>						
<b>Impacto del niño 1983</b>	Débil		Medio		Fuerte	
<b>Impacto del niño 1997</b>	Débil		Medio		Fuerte	
<b>Daños</b>						
<b>Esquema de la langostinera</b> <b>(estanques, bombas, infraestructuras, esteros y canales de descargas)</b>						

# Questionnaire destiné aux travailleurs des exploitations aquacoles

## PERFIL

1. ¿Que edad tiene?.....

2. Natural de:

Departamento:.....

Provincia:.....

Distrito:.....

Caserío:.....

3. Estado Civil

Soltero

Casado

Conviviente

4. Nivel de Instrucción

Primaria

Superior  
universitaria no

Superior universitaria

Secundaria

Ninguna

5. Número de Hijos:.....

6. Cuántos de sus hijos trabajan:.....

7. ¿Actualmente, donde vives? (ciudad).....

8. Su vivienda es:

Propia

Cuarto alquilada

Casa alquilada

De parientes

9. Tipo de vivienda:

Material noble

Material de la región

10. ¿Hace cuanto tiempo vive en la ciudad?.....

11.

¿Con quién

vive?

Solo

Con uno o varios

Con uno o varios

Con esposa e hijos

miembro de familia

amigos

## MIGRACION

12. ¿En que ciudad (departamento/distrito) vivió antes?.....

13. ¿Por qué salio de su lugar de origen? (Puede ser hasta tres razones)

Para ejercer este trabajo

Malas relaciones con  
parientes o vecinos

Cambiar de lugar

Para encontrar un  
trabajo

Para ayudar a la familia

Búsqueda de  
oportunidades educacionales  
adecuadas

Para mejorar nivel  
económico

Para reunirse con la  
familia

Demás.....

**14. ¿Por qué elegís Tumbes como lugar de emigración?**

- Casualidad
- Presencia de la actividad langostinera
- Hay más trabajo
- Presencia de paisanos
- Presencia de una persona conocida
- Proximidad
- Por su ubicación
- No tenía otra opción
- Por obligación
- Demás.....

**15. ¿Quién toma la decisión de migrar?**

- Personal
- Los Padres
- Otros

**16. Usted migro**

- Solo
- Con familiares
- Con esposa
- Con esposa e hijos
- Con amigos

**17. ¿En que año?.....**

**18. ¿Cuál fue su primero trabajo en Tumbes?.....**

**19. ¿Antes migrar, conocía usted las oportunidades del sector langostinero?**

- Sí
- No

**20. ¿Cómo usted ha encontrado este empleo?**

- Anuncio
- Por un miembro de la familia
- Por un amigo
- Demás (precise usted).....

**21. ¿Cuanto tiempo más piensa quedarse en Tumbes.**

- Hasta 6 meses
- De 1 año a 5 años
- Quiero vivir en Tumbes
- De 6 meses a 1 año
- Más de 5 años
- No sé

**22. ¿Desearías regresar a su lugar de origen?**

- Si
- No

**23. ¿Usted contribuye económicamente en su lugar de origen?**

- A negocio propio (cuál)
- Al negocio familiar
- A la familia
- ..... (cuál)
- No
- .....

**TRABAJO A LA LANGOSTINERA**

**24. ¿Cual es su función o funciones en la langostinera y en que tipo de cultivo?**

Función(es)..... Tipo de cultivo .....

**25. ¿Hace cuanto tiempo trabaja en la langostinera?.....**

**26. ¿Hace cuanto tiempo trabaja en el sector langostinero?.....**

27. ¿Qué trabajo ejercía antes de trabajar en el sector langostinero ?.....

28. ¿Usted perdió su trabajo con la mancha blanca?

- Si  No

29. ¿Alguien más de su familia trabaja en el sector langostinero?

Parentesco	Lugar/Trabajo

30. ¿Su trabajo en la langostinera, es:

- Permanente  Temporal

31. Su trabajo en la empresa es:

- Formal (contrato)  Informal  No sè

32. ¿En su trabajo le piden permanencia (dormir) en el campo?

- Si  No

33. ¿Cuántas horas al día trabaja?.....hrs.

34. ¿Cuántas horas a la semana trabaja?.....hrs.

35. ¿Cual es su salario mensual (soles)?.....soles

36. ¿Si contribuye a su familia/negocio en su lugar de origen, con que parte?  
.....soles

37. ¿Cuáles piensa que son los factores positivos del trabajo?

- Salario  Ambiente natural  Demás (precise usted).....  
 Horarios  Trabajar en equipo  
 Estabilidad  Beneficios sociales

38. ¿Cuáles piensa que son los factores negativos del trabajo?

- Trabajo repetitivo  Dormir en el campo  Demás (precise usted).....  
 Calor del campo  Salario  
 Condiciones salariales  Horarios  
 Físicamente difícil  Enfermedades

39. ¿Usted tiene ingresos extras, en que?

- Si (cuál o cuales).....  No

40. ¿Que piensa del trabajo en el sector langostinero?

- Muy bueno  Regular  Muy malo  
 Bueno  Malo

41. ¿Usted desearías cambiar de trabajo?

- Si  
 No

**42. ¿En que ha cambiado su vida trabajar en la langostinera?**

- Mejor oportunidad de educación a mis hijos
- Tener casa propia
- Ampliar mi casa
- Estabilidad
- Mejorar la calidad de alimentación de mi familia
- Tener lo que me hacia falta (electrodomésticos)
- En alejarme de mi familia
- No tener tiempo para compromisos sociales
- No poder realizar otro trabajo paralelo
- No ha cambiado nada
- Demás...

## **Annexe 6 - Cartes d'occupation du sol des municipalités du delta de la Pampanga**



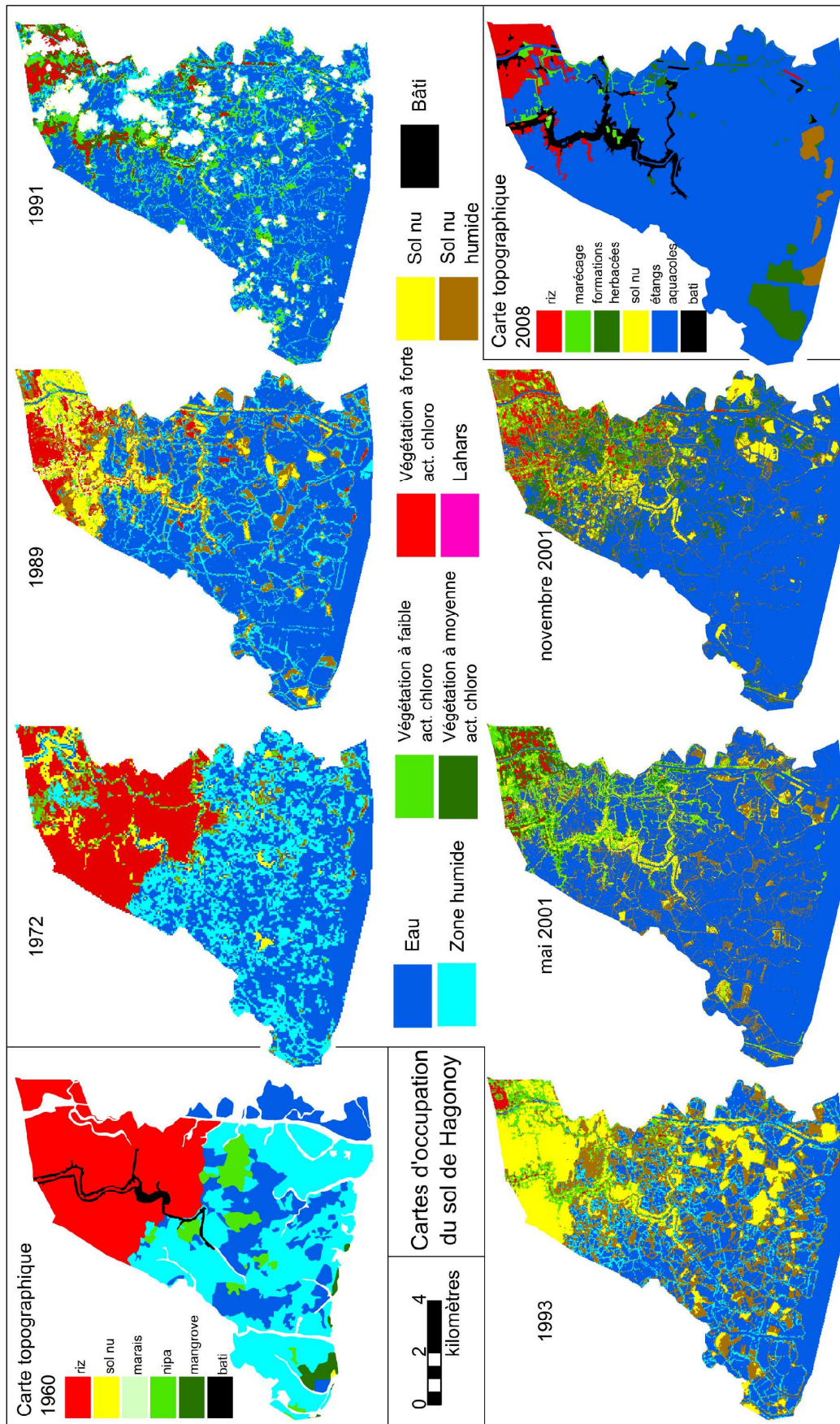


Figure Annexes 17 - Cartes d'occupation du sol de Hagonoy

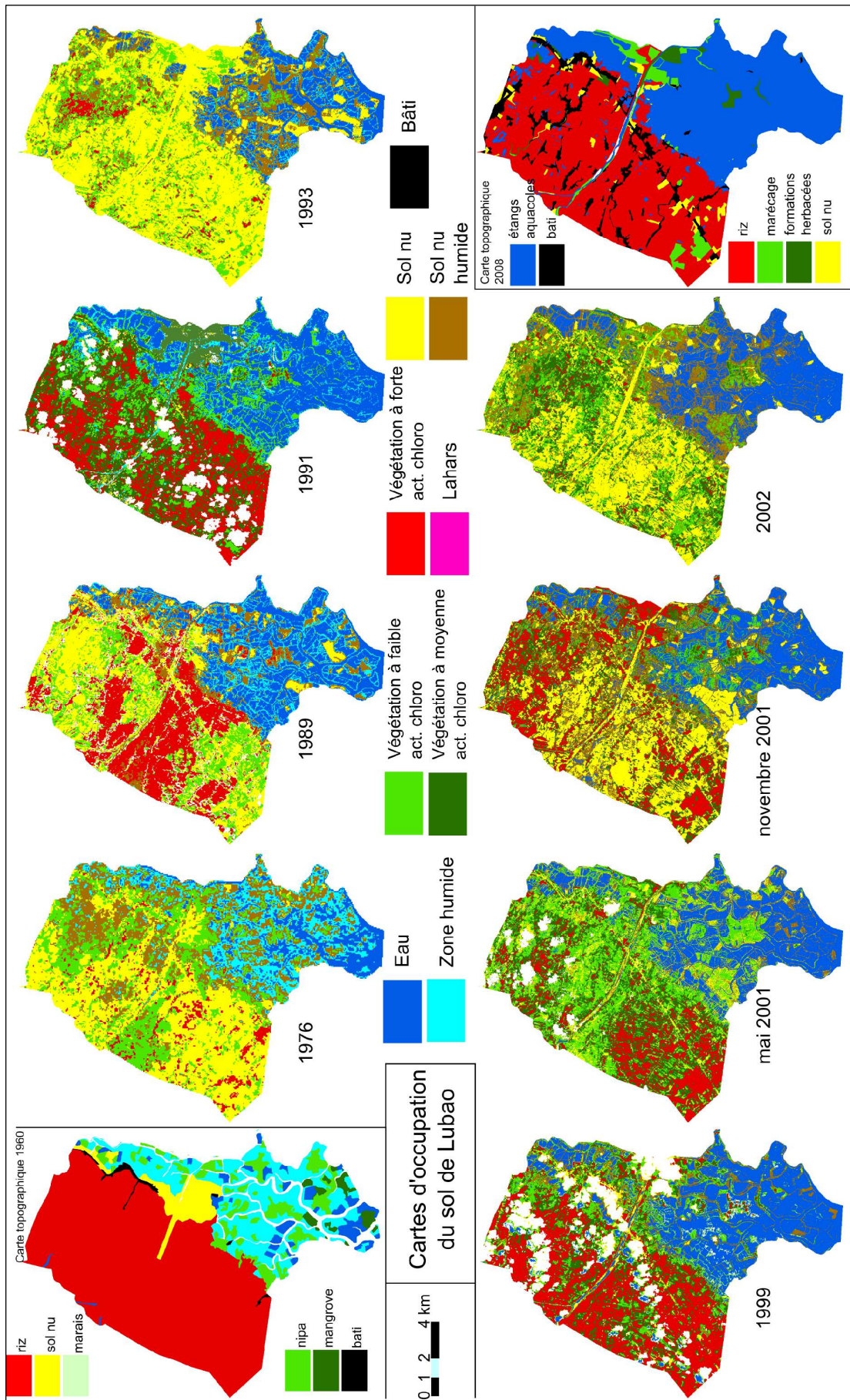


Figure Annexes 18 - Cartes d'occupation du sol de Lubao

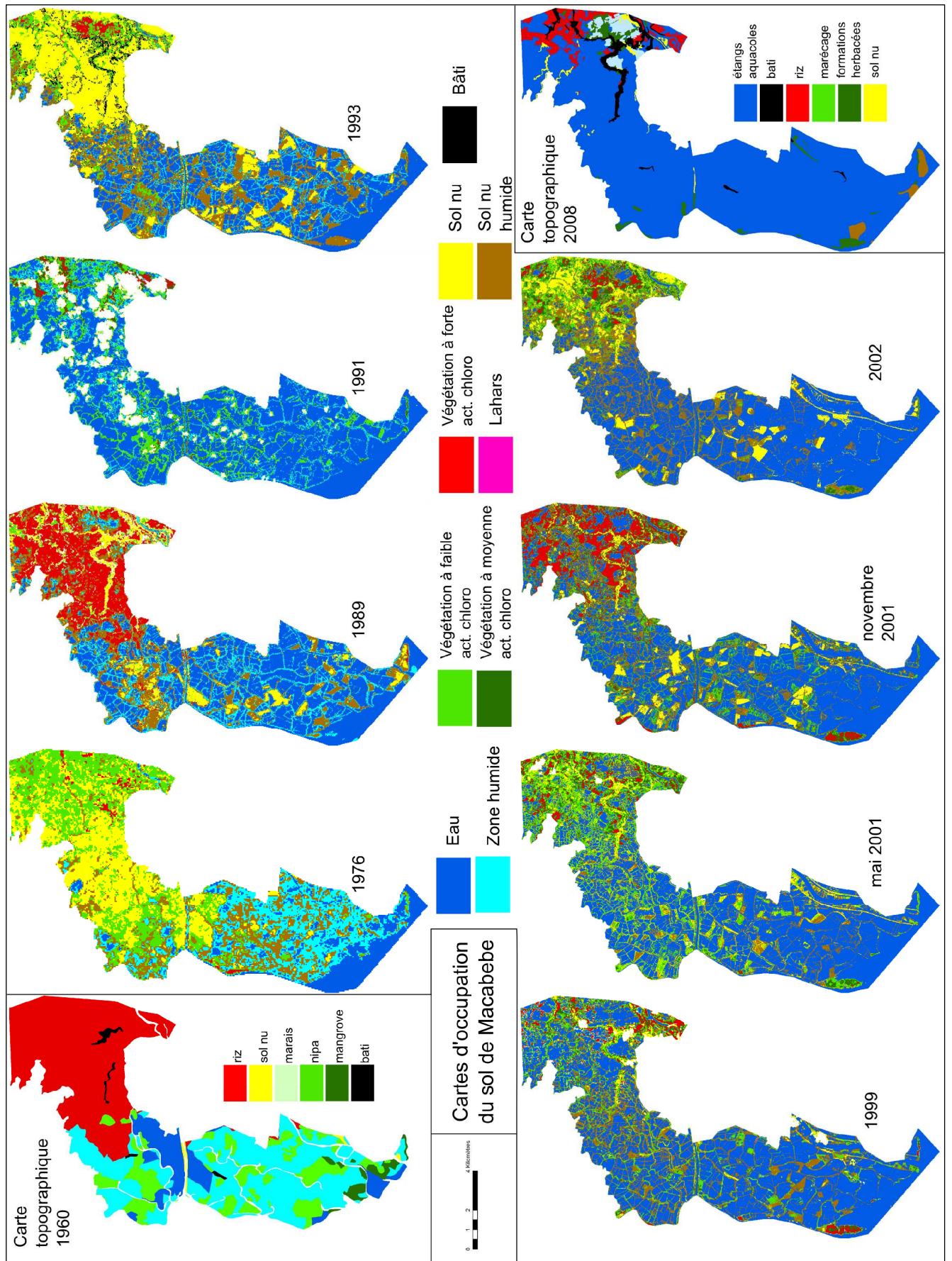


Figure Annexes 19 - Cartes d'occupation du sol de Macabebe

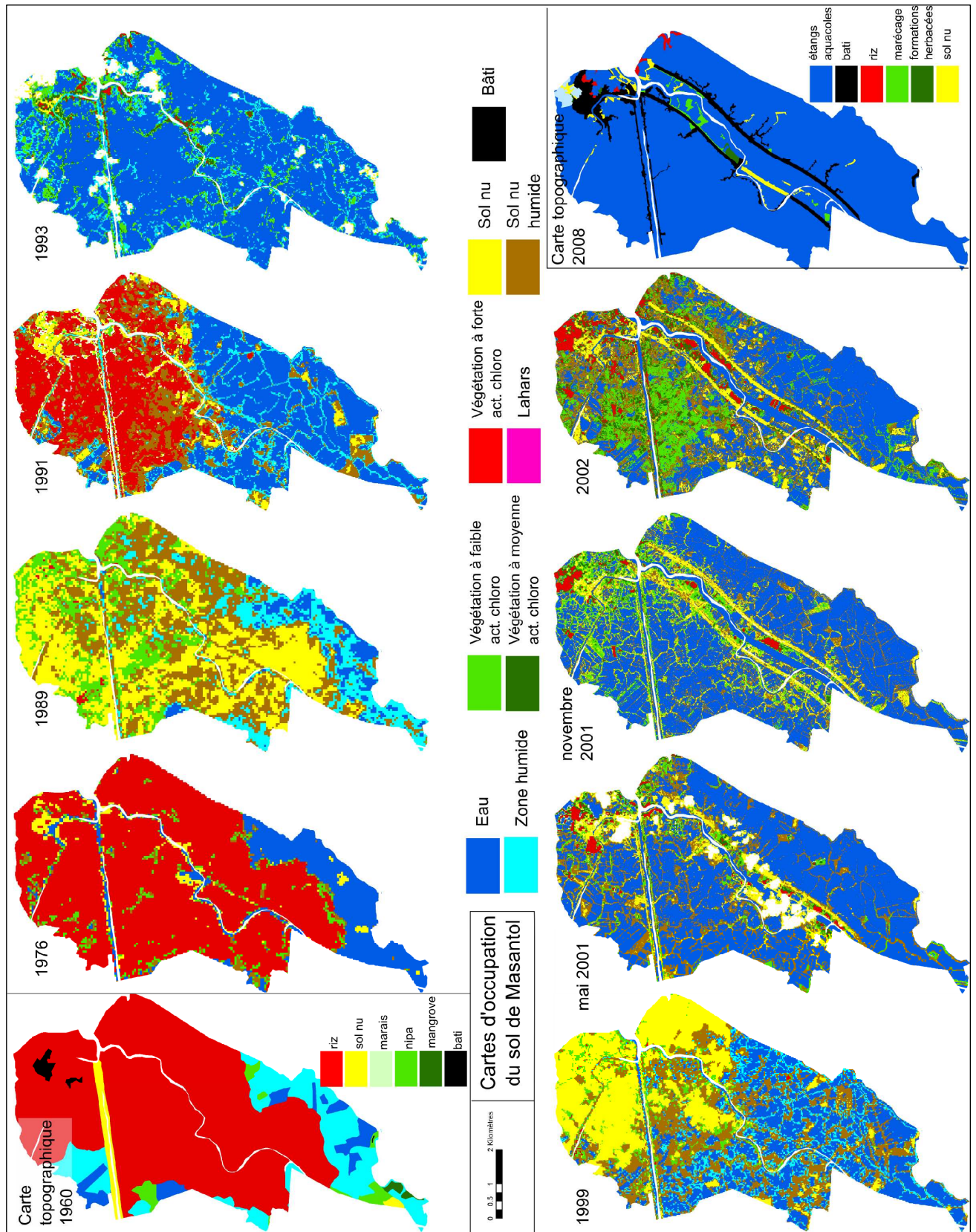


Figure Annexes 20 -Cartes d'occupation du sol de Masantol

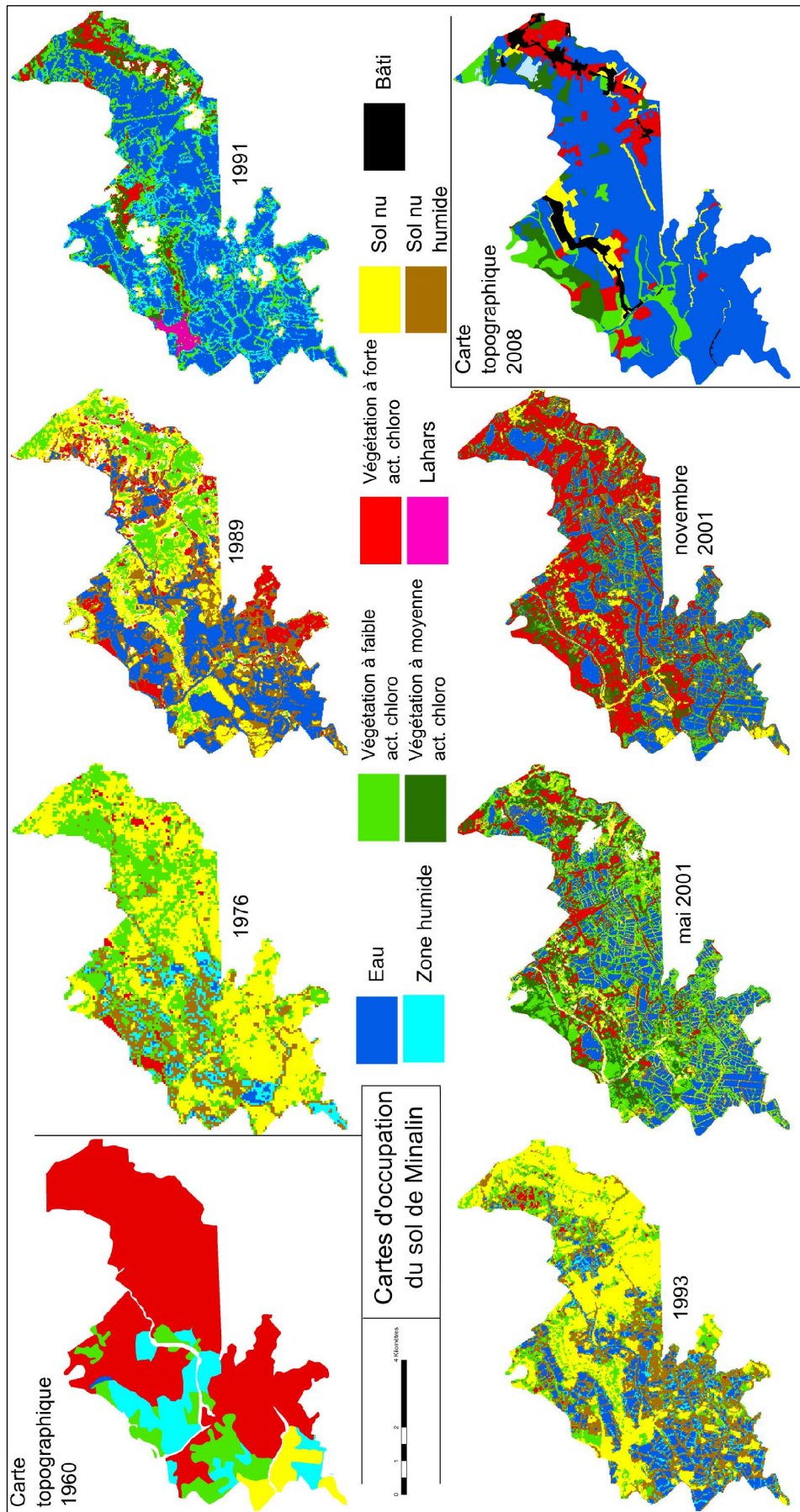


Figure Annexes 21 - Cartes d'occupation du sol de Minalin

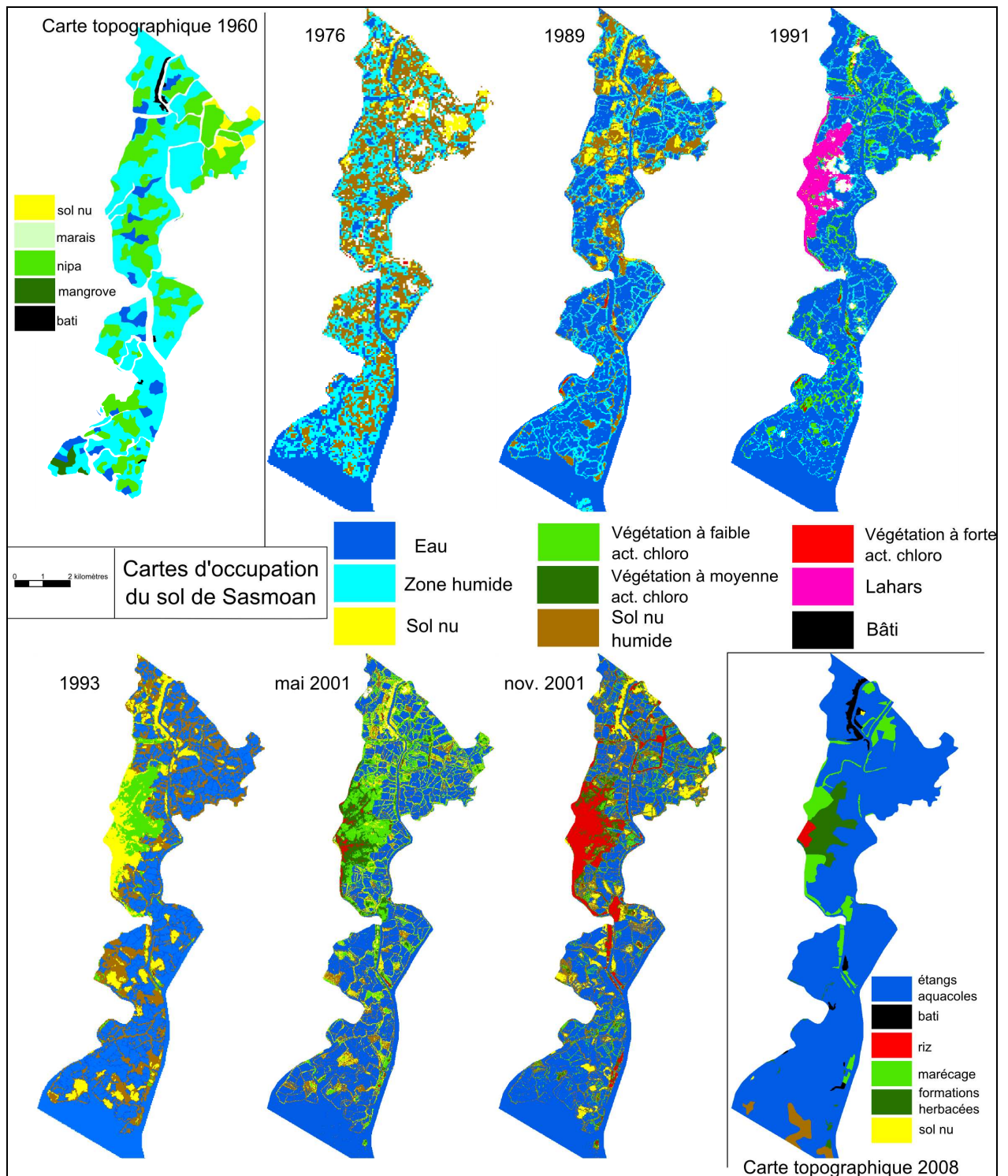


Figure Annexes 22 -Cartes d'occupation du sol de Sasmoan

## Annexe 7 - Le glanage

### *Le glanage en Europe*

Que ce soit en Angleterre et en France, le glanage a fait l'objet d'un large *corpus* de lois, de réglementations et de définitions juridiques. Une des premières définitions pour ce qui concerne la France, du glanage, du grappillage et du chaumage « il est d'usage qu'après la moisson, les pauvres vont glaner, c'est à dire, ramasser les épis échappés aux moissonneurs, comme après la vendange, ils vont grappiller, ou cueillir les grappes que les vendangeuses ont dédaignées. Il est même des provinces où après la moisson, les pauvres chaument, ce qui est l'action d'extraire le chaume qui reste attaché à la terre après la faucille du moissonneur » (Capeau 1824). Cela s'explique par le fait que cette activité nécessite, plus que d'autres peut-être, d'être régulée car mal perçue du fait que les glaneurs exploitent, sans contreparties, le fruit du travail d'autrui. La régulation est donc un moyen de sécuriser la production face à des actions qualifiées de survie ou de vol selon la perspective adoptée (la perception du vol étant par ailleurs valable pour les deux parties). Les réglementations européennes en la matière ont de nombreux points de convergence. Sont en effet interdites de glanage toutes les personnes dotées des capacités physiques qui leur permettent de participer à la récolte officielle sous réserve de demande de la part du seigneur. Pour s'assurer du niveau réel d'invalidité, on trouve même dans les paroisses anglaises et françaises, des comités composés d'huissiers, de gardes champêtres, et de curés chargés de vérifier le statut physique du postulant au glanage (Ault 1961, Popkin 1980). Le glanage est une activité réservée aux personnes qui ne possèdent pas de force de travail échangeable sur le marché du travail : les estropiés, les jeunes, les personnes âgées, les invalides. L'impossibilité d'échanger sa force de travail sur le marché constitue la principale source de pauvreté (King 1991). Les personnes en bonne conditions physiques sont donc exclues du glanage<sup>1</sup>. En Angleterre le droit de glaner est réservé aux membres de la communauté (Ault 1961). Le glanage constitue un outil de soutien aux plus pauvres et aux plus démunis dans un esprit de charité chrétienne, afin de les protéger durant l'hiver (King 1991). Il serait même un droit du pauvre (Ault 1961).

Les périodes durant lesquelles le glanage est autorisé sont restreintes et y contrevenir est passible d'une amende. En France, en 1782, un arrêt du parlement sur le glanage relève qu' « il a été fait défenses à toutes personne en état de travailler et de gagner leur vie, pendant le temps de la moisson, de glaner sous peine de 10 livres d'amendes » (Jourdan *et al.* 1827). La loi fixe aussi les limites techniques du droit de glaner « [...] on ne pourroit glaner dans les champs et prairies, qu'après que la récolte en auroit été entièrement enlevée; à fait défenses de glaner avant le soleil levé, et après le soleil couché ; sous peine d'amende [...] » (Jourdan *et al.* 1827). En Angleterre, il faut attendre trois jours entre la fin de la récolte et la pâture des bêtes sur les champs récoltées afin de laisser le temps aux glaneurs de ramasser tout ce qu'ils peuvent (Ault 1954). Les glaneurs doivent donc attendre que les gerbes constituées soient enlevées des champs.

Les oppositions au glanage restent néanmoins fortes dans les campagnes anglaises où les seigneurs disent du glanage que c'est la pire des traditions surtout là où il est fêté (Fox 1988). A partir du 18<sup>ème</sup> siècle, les fermiers considéraient le glanage comme un crime (King 1989). Les conflits se multiplièrent entre les propriétaires terriens et les glaneurs, jusqu'au vote d'une loi en 1788 stipulant que le glaneur doit demander la permission au propriétaire avant de pouvoir glaner. Cette loi n'a jamais été suivie d'effets majeurs car elle était trop difficile à appliquer. Elle a même plutôt débouché sur des actions collectives, coordonnées, parfois

---

<sup>1</sup> Dans les textes officiels, il est fait référence au salaire quotidien, qui en Angleterre, est de 1 penny par jour plus la nourriture ou 2 pence sans nourriture (Ault 1961).

violentes, de la part des glaneurs qui envahirent les champs au moment même de la récolte officielle (King 1989). A la justice de l'Etat s'oppose donc la justice du ventre. La restriction des libertés a donc provoqué une radicalisation chez les deux parties. Les transgressions ont été très nombreuses, durant tout le Moyen-Age, l'Ancien Régime et même après. Dans le sud de la France par exemple, à Castres précisément, « les gens du faubourg n'attendent que le moment de la récolte pour faire irruption dans les champs de maïs. Ils se mêlent aux travailleurs, les suivent à la piste, les harcèlent, luttent avec eux de vitesse pour faire main basse sur les épis » (Ministère Agriculture 1845). Le 18<sup>ème</sup> siècle a ainsi connu une multiplication des conflits, d'autant que l'Etat a souvent cherché à protéger les fermiers et que l'accès aux ressources (par l'intermédiaire du pâturage, glanage, maraudage dans les bois) est soumis à des règles et nécessite l'acquisition de droits (Vardi 1993).

Le glanage était donc une importante activité de subsistance qui a fourni de l'argent et des aliments aux foyers ruraux les plus pauvres, ceux qui ne possédaient pas de terres en particulier. Les produits du glanage ont constitué jusqu'à 10 %, voire plus, des ressources d'un foyer sur toute l'année (King 1991). Dans le cas de conditions favorables, les glaneurs ont toutefois pu gagner autant sinon plus qu'un moissonneur (Ault 1961). C'est aussi une activité qui a parfois été source de prestige lorsque les glaneurs montraient une bonne capacité à ramasser (King 1991). Pour beaucoup de foyer, le glanage était plus qu'une activité marginale pour de nombreux foyers. L'activité était d'autant plus essentielle que la loi réduisait grandement les libertés durant les périodes de récoltes. En effet, au moment des récoltes, il était interdit pour les travailleurs de quitter le village et d'aller chercher d'éventuels revenus plus élevés (Ault 1954). Ils devaient donc être disponible à tout moment sans avoir pour autant l'assurance de travailler. Le glanage était donc une question de survie, surtout pendant la période qui précédait l'hiver. Ces hivers européens rigoureux n'étaient en effet pas de périodes fastes.

Les produits glanés se composaient majoritairement de céréales. Si le blé était la céréale la plus couru en raison de ses qualités alimentaires pour les hommes, l'orge et l'avoine étaient aussi recherchées. Le blé jouait un rôle essentiel de par le pain qu'on en tirait, aliment de base des campagnes, d'autant plus important lorsque les salaires étaient bas et qu'il y avait peu de travail (King 1991). L'orge était principalement utilisée comme nourriture pour les poulets, cochons et autres animaux de basse-cour (King 1991).

Les femmes composaient l'essentiel des contingents de glaneurs. Les veuves et les femmes d'ouvriers agricoles étaient majoritaires dans les campagnes. Les glaneuses les plus nombreuses étaient toutefois les femmes d'artisans car celles-ci ne sont généralement pas mobilisables pour la moisson officielle et avaient donc le temps de glaner (King 1989). Une autre raison du nombre élevé de femmes est la relative clémence des propriétaires et de la justice à leur encontre (King 1989). Des travaux ont ainsi montré que dans les campagnes anglaises des années 1830, le glanage était l'une des principales activités des femmes (King 1991).

Comment expliquer alors la fin du glanage en Europe ?

Le début du déclin du glanage remonte au 18<sup>ème</sup> et s'est amorcé avec le développement du capitalisme qui a modifié les comportements. La recherche des profits et la hausse de la productivité sont devenues des objectifs prioritaires. Le capitalisme, et les changements sociétaux qui ont accompagné son développement, ont largement modifié plusieurs droits coutumiers, dont le glanage, en raison de la collusion entre les intentions traditionnelles et les intentions individualistes (Vardi 1993). Les communautés rurales ont alors été fragilisées et



les solidarités se fissurèrent, en particulier suite à l'augmentation des inégalités entre capitalistes et prolétaires (King 1989). Les communautés étaient en effet traditionnellement muées par un sens commun de la responsabilité destiné à améliorer le bien-être général (Vardi 1993). Le glanage en était une des expressions les plus tangibles. L'industrialisation, la division du travail, la hausse de la productivité comptent parmi les premiers changements qui ont profondément modifiés, directement et indirectement, la vie dans les campagnes. Le glanage était de moins en moins bien considéré, et acquit même le statut de crime en Angleterre (King 1989). En France, après la révolution, se sont développées de nouvelles méthodes de récolte nécessitant une main d'œuvre plus importante. Ceci engendra des migrations de travail saisonnières, particulièrement importantes à partir des années 1850, qui ont détourné les hommes du glanage (Grantham 1980). Les ouvriers agricoles n'étaient ainsi pas originaires du lieu de travail, ce qui a aussi baissé de façon substantielle le nombre de grains laissés dans les champs après la récolte (Grantham 1980). La disparition progressive des petits moulins où les glaneurs avaient l'habitude d'amener les épis glanés constitue un second facteur important de l'arrêt progressif de l'activité (Grantham 1980). Cette disparition s'explique par la constitution de moulins de tailles industrielles qui ont mis en péril la rentabilité de l'activité meunière artisanale. Simultanément, un autre coup porté à l'activité est le développement des transports et l'abaissement de la part du coût de transaction dans le coût du produit final. La conséquence concrète est qu'il devint alors moins cher d'importer des tuiles que d'utiliser des toits de chaume et que le charbon devint la source d'énergie la moins chère (Grantham 1980). Une autre ressource tirée du glanage, la chaume, avait donc perdu de sa valeur suite à l'amélioration des transports. L'activité aurait pu connaître son salut grâce à l'augmentation des productions et des surfaces emblavées. Cela aurait ainsi augmenté la disponibilité de produits par personne. Pourtant l'augmentation de la population constatée à la même époque a entravé cette dynamique, de même que les innovations et les changements techniques tel que le passage de la faucille à la faux, ont provoqué une réduction des grains laissés dans les champs vers la fin du 18<sup>ème</sup> (King 1991). Les améliorations techniques apportées aux machines à récolter se sont multipliées au cours du 19<sup>ème</sup> siècle et ont encore réduit la part des sous produits tout en réduisant les rendements du glanage (King 1991). En Angleterre, le glanage disparaît complètement dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle.

En résumé, c'est le développement d'une agriculture plus intensive, à haute productivité qui a été l'élément décisif dans la fin progressive du glanage. L'agriculture intensive provoqua des migrations saisonnières de la force de travail. Les personnes avaient ainsi plus de liberté pour se déplacer et pour travailler. L'augmentation du capital d'investissement a aussi nécessité de protéger la production. Les innovations technologiques, dans le domaine des transports en particulier, en modifiant le rapport coût-distance ont aussi joué un rôle premier.

### ***Le glanage dans d'autres parties du monde***

Le glanage n'était pas exclusivement pratiqué en Europe. Dans certaines parties de l'Asie, les traditions populaires accordent une place particulière au glanage comme un signe de générosité communautaire, en particulier à Tonkin, Annam, et Java (Scott 1975). A Java, le glanage des panicules de riz, appelé *ngasak* est une tradition très ancienne, très importante pour les personnes qui ne peuvent pas participer aux récoltes régulières (Stoler 1977). On retrouve comme dans les cas européens cette référence aux personnes qui ne sont pas en capacité d'échanger leur force de travail. A Java, la disparition progressive des glaneurs est liée au développement de l'irrigation et le passage à deux récoltes annuelles (Stoler 1977). Quand une seule récolte était pratiquée, les panicules non récoltées étaient laissées en plein champ donnant le temps nécessaire aux glaneurs de ramasser ce qu'ils pouvaient sans avoir à demander la permission. Lors du passage aux deux récoltes annuelles, le temps entre les récoltes a été utilisé pour rétablir la fertilité du sol en accélérant la minéralisation de la

matière organique (brulis, enfouissement) ce qui a alors réduit le temps disponible aux glaneurs d'effectuer leurs tâches (Stoler 1977). Dans ce cas, l'intensification agricole, suite à la croissance démographique, a été une cause importante du glanage. Dans le même temps, l'intensification a aussi signifié une demande en travail accrue.

### ***Le glanage et l'aquaculture***

On trouve peu de références du glanage dans le domaine aquacole. Une d'entre elles concerne l'ostréiculture dans la baie de Raritan aux USA. C'est au début du 19<sup>ème</sup> siècle avec les premières expériences de collecte des naissains naturels puis leur stockage sur piquets que l'aquaculture débuta. Cette simple opération a consisté à privatiser les communs. Après les récoltes officielles, le glanage des huîtres était autorisé (McCay 1984). L'existence du glanage s'expliquait alors par les mauvaises techniques de grossissement et de récolte.

### ***Bibliographie***

- Ault**, W.O., 1961, By-laws of gleaning and the problems of harvest, *Economic History Review*, 14(2), pp. 210-217
- Capeau**, M., 1824, *Traité de la législation rurale et forestière*, tome 1, Ricard, Marseille, 719 p.
- Grantham**, G.W., 1980, the persistence of open-field farming in nineteenth-century France, *The Journal of Economic History*, 40 (3), pp. 515-531
- Fox**, H.S.A, 1988, Social relations and ecological relationships in agrarian change: an example from medieval and early modern England, *Geografiska Annaler, Series B, Human Geography*, 70 (1), pp. 105-115
- Jourdan**, A., Isambert, Decrusy, 1827, *Recueil général des anciennes lois françaises depuis l'an 420 jusqu'à la révolution de 1789*, Belin-Leprieur, Paris, volume 28
- King**, P. 1989, Gleaners, farmers and the failure of legal sanctions in England 1750-1850, *Past and present*, 125, pp. 116-150
- King**, P. 1991, Customary rights and women's earning: the importance of gleaning to rural labouring poor, 1750-1850, *The Economic History Review*, 44(3), pp. 461-476
- McCay**, B.J., 1984, The pirates of piscary: ethnohistory of illegal fishing in New Jersey, *Ethnohistory*, 31 (1), pp. 17-37
- Popkin**, S., 1980, The rational peasant, *Theory and society*, 9 (3), pp. 411-471
- Scott, J., 1975, Exploitation in rural class relations: a victim's perspective, *Comparative Politics*, 7(4), pp. 489-532
- Stoler**, A.L., 1977, Rice harvesting in Kali Loro : a study of class and labor relations in rural Java, *American Ethnologist*, 4 (4), pp. 678-698
- Vardi**, L., 1993, Construing the harvest: gleaners, farmers, and officials in early modern France, *The American Historical Review*, 98 (5), pp. 1424-1447

## **Annexe 8 - Questionnaire utilisé sur le territoire philippin**

PART ONE

### Household Characteristics

DATE: PLACE/ Barangay:
---------------------------

Where are you living? (Saan po kayo nakatira?)

Municipality: .....

Barangay: .....

Sitio(purok):.....

Since how many years are you living in this barangay? Gaano na po kayo katagal nakatira sa Barangay na ito? \_\_\_\_\_

If you moved during your life, can you specify the different period and associated location and works you done,

Year	→
Location	
Activity	

Composition of the HH

HH member's relation w/ head  Relasyon sa "ulo ng tahanan"	Profession / economic activities  Hanapbuhay o trabaho	Age  Edad	Sex  Kasarian	Level of education (higher or ongoing) Pinakamataas na natapos sa eskwelahan	Place of birth  Lugar ng kapanganakan

Is there one/several members leaving regularly the households?  
May isa o maraming miyembro ba ng tahanan ang lagi at regular na umaalis?  
Y / N

If yes,  
. sino \_\_\_\_\_ . bakit \_\_\_\_\_ . kailan \_\_\_\_\_

. sino \_\_\_\_\_ . bakit \_\_\_\_\_ . kailan \_\_\_\_\_  
. sino \_\_\_\_\_ . bakit \_\_\_\_\_ . kailan \_\_\_\_\_

Do you experience some illness? \_\_ Y/ N

Who                      and                      what                      kind                      of                      illness?

---

---

PART TWO

## Household Capital

**Physical capital**

Housing

Ownership	Walls	Roof
_____ (1) Owned <i>Pag mamay ari ninyo</i>	_____ (1) Concrete	_____ (1) Concrete
_____ (2) Rented <i>Inuupahan</i>	_____ (2) Semi-concrete	_____ (2) Tiles
_____ (3) Family house <i>Pagmamayari ng pamilya ninyo</i>	_____ (3) Mud	_____ (3) Tin
_____ (4) Leased <i>Naka lease para sa loob ng ilang</i>	_____ (4) Tin	_____ (4) Straw
_____ (5) For free <i>Pinatitirahan ng libre</i>	_____ (5) Wood	_____ (5) Leaves
Area of house	_____ (6) Bamboo	_____ (6) Others
Area of backyard	_____ (7) Others	

Do you possess or rent another house? \_\_ Y / N

Mayroon pa po ba kayong ibang pag aaring bahay o inuupahang bahay?

**Equipment (Owned or Rented)**

Household	o-r	#	Transport	o-r	#	Fishing/Farming	o-r	#
“ref”			Motorsiklo			bintol		
telebisyon			Kotse			gasolina bomba		
Freezer			Fiber-glass bangka			Electric bomba		
Cell phone			Wood bangka			Electric fishing (kuryiente)		
Air-con			Bisikleta			baklad		
						biakusan		
						biakos		

If bangka owned/rented, what uses?

\_\_ public transportation

\_\_ fishing

\_\_ transport of harvested production

\_\_ community purpose

\_\_ sulib transportation

\_\_ for rent

\_\_ other

Anong source of energy:

for cooking / Para sa pag luluto : \_\_\_\_\_

for lighting / para sa ilaw : \_\_\_\_\_

Do you have access to electricity? Mayroon po ba kayong sariling linya ng kuryenta ? \_\_ Y / N

If using firewood,

Kung gumagamit ng panggatong,

. origin / saan po ito galing: \_\_\_\_\_

. type / anong klaseng kahoy o panggatong po ito?: \_\_\_\_\_

How many times by day are you using gatong? \_\_\_\_\_

. way of getting: \_\_ buy - bartering - harvesting

(paano po ninyo nakukuha ang mga panggatong ninyo: binibili - barter - nagpapalit/ inaani)







House: amount \_\_\_\_\_ Length: \_\_\_\_\_ Terms of contract \_\_\_\_\_  
 Agricultural land: amount \_\_\_\_\_ Length: \_\_\_\_\_ Terms of contract \_\_\_\_\_  
 Aquacultural land: amount \_\_\_\_\_ Length: \_\_\_\_\_ Terms of contract \_\_\_\_\_

Are you renting actually some goods? \_\_ Y / N

Goods	Value of rent	Sino	Terms of contract

Have you inherited anything from your parents, parents of your wife or anybody else? \_ Y/ N

\_\_\_\_\_

Do you have a bank account? \_\_ Y / N

If yes, since how many years? \_\_\_\_\_

Do you actually have some repayments of a former contracted debt? Y / N

If yes, for what good/service and how much? \_\_\_\_\_

PART THREE

### Income Generating Activities

Cash-income generating activities

Pinagkakakitaan

HH member	Activity	Seasonality (when activity is carried out)	Income	Estimate of time invested – number of hours / day/month	Location	Length	Importance (+/-)

What are the best and worst months during the year in term of income?

Month Buwan	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Note (+/-)												
Explanation												

What is the monthly family gross income? \_\_\_\_\_

Gaano kalaki ang inyong kabuuang buwanang kita (kasama ang lahat ng maghahanap buhay o nagtrabaho)

Did it increased since one year? \_\_\_\_\_ since five years? \_\_\_\_\_

Do you received remittances, pension, or money from renting

type	Amount by time unit	frequency	sino

Can you access credit from:

Source	Y/N	What form? (money, goods, services)	Cost of credit / Commitment	Do you use? (Y/N)
Commercial Bank				
Government Bank				
Gov't Organisation				

NGO
Cooperatives
Private Lenders
friend
relative
Sari-sari
Consignacion
degaton
Others, specify:

Do you share any business or economic activity with  
 \_\_\_ a relative? Y / N                      \_\_\_ a friend? Y / N                      \_\_\_ a partner? Y / N

If yes, which activities:  
 Relative \_\_\_\_\_  
 Friend \_\_\_\_\_  
 Partner \_\_\_\_\_

And terms of commitments:  
 Relative \_\_\_\_\_  
 Friend \_\_\_\_\_  
 Partner \_\_\_\_\_

Approximately, how much do you save in a month? Mga magkano po ang naiipon ninyo o ng pamilya ninyo sa isang buwan? \_\_\_\_\_

How are you managing the savings:  
 \_\_\_ keep it                      \_\_\_ gifts                      \_\_\_ on a bank account  
 \_\_\_ education                      \_\_\_ fiesta                      \_\_\_ others  
 \_\_\_ alimention                      \_\_\_ payment of debts  
 \_\_\_ invests                      \_\_\_ purchases

If invests, what are your lasts invests? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

PART FOUR

**Cash Expenditure  
(Mga Pinagkakagastusan)**

Type of expenditure	Estimate cost/ period	Seasonality of expenditure	Gender decision	Location
Staple food (rice) <b>Bigas</b>				
Fish <b>Isda</b>				
Meat <b>Karne</b>				
Fruit and vegetables <b>Prutas at gulay</b>				
Other foods <b>Iba pang pagkain e.g. cakes, merienda etc</b>				
Drinks/beers <b>Tubig at iba pang inumin</b>				
Education <b>Pagpapaaral sa eskwelahan</b>				
Health <b>Kalusugan hal. Ospital gamut</b>				
Consumer goods (clothes) <b>Damit, sapatos, aksesorya etc</b>				
Communication (phone) <b>Gastos para sa cell phone hal. Load, bagong telepono etc</b>				
Firewood/kerosene <b>Panggatong, gaas o gasoline pang luto</b>				
Electricity <b>Kuryente</b>				
Water <b>Tubig</b>				
Transport <b>Pamasahe or gastos para sa mga paglalakbay</b>				
Wedding/funerals/ personal <b>Kasalan, o paglibing, etc</b>				
Gifts <b>Pan regalo</b>				
Recreational activities (videoke, fiesta) <b>Gastos sa mga fiesta, handaan etc</b>				
House repairs/improvements <b>Gastos para sa bahay o pagpapaayos ng bahay</b>				
Investments <b>Gastos para sa negosyo o</b>				

<b>iba pang plano para pag kakitaan</b>	
Gamblings <b>Pgg susugal</b>	
Repayment of loans <b>Pagbabayad ng utang</b>	
Others <b>Iba pang gastos</b>	
Salaries	
Fisheries licences	

Amongst these, which expenditure(s) have increased most sharply

Since 1 year: \_\_\_\_\_

Since 5 years: \_\_\_\_\_

Since 10-20 years: \_\_\_\_\_

In case of income shortages, what are the expenditures whom you generally reduce?

Kapag kapos ang kita, alin sa mga pinagkakagastusan ang mga tinitipid?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Do you experience some variations of the expenditures along the year? \_\_Y / N

Month Buwan	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Note (+/-)												
Explanation												

PART FIVE

**Household, Aquaculture, And Aquatic Resources**

Among these activities, which ones are you doing or done by the past:

- |  |                                    |   |
|--|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Mangangapa      | <input type="checkbox"/> Caretaker | <input type="checkbox"/> Fishpond leaser        |
| <input type="checkbox"/> Fishpond owner  | <input type="checkbox"/> Fisherman | <input type="checkbox"/> Fishpens owner/renter  |
| <input type="checkbox"/> Fishpond renter | <input type="checkbox"/> Degaton   | <input type="checkbox"/> other (oyster, arawan) |

Seasonnal calendar

Month Buwan	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tasks												

**For fishponds and fishpens owners, renter, leaser and caretaker:**

If one or several member of the HH own, rent or lease a fishpond? Y / N

Mayroon bang miyembro ng pamilya na mayari o naguupahan o nag-lease ng palaisdaan

Characteristics of farm(s)

HH member involved	ownership	Area of farm	Number of ponds	Nature of production	Date of beginning	Water source
Sino sa pamilya?	Ang palaisdaan ba O/R/L?	Gaano kalaki ang palaisdaang pinag tratrabahuan?	Ilang palaisdaan?	Anong mge uri ng isda o alaga?	Simula kailan?	

Inputs

Inputs	X if use	Seasonnality of buying	Where/to who is it buy	Cost by unit	Tendency of use (+/-)	Availability
Mga kailangan sa pag sisimula		Gaano kadalasang pag bili	Saan o kanino binibili	Presyo kada kilo?	Paglaki o pag liit ng pag gamit	Consistent/seasonal/shortage
Seeds, fry, post-larvas						
. tilapia						
. sugpo						
. bangus						
. mudcrab						
. hipon						

_____						
Feeds						
. commercial						
. lumut						
. sulib						
_____						
_____						
Fertilising						
. organic						
. chemical						
Probiotics						
Antibiotics						
Drugs						
Cleaning (cyanid, tea seed, lime)						
Herbicide						
Gasolina						
Kuryente						
Bamboo Kawayan						
Labourers Manggagawa o katulong						
Services (bangka, excavator, jeep)						

Are you using some agriculture products for feeding (rice bran, rice straw)? \_\_ Y / N

If yes, which ones and for what production system?

Can you describe the feeds use for these species?

Tilapia  
 Starter \_\_\_\_\_  
 Grower \_\_\_\_\_  
 Finisher \_\_\_\_\_

Bangus  
 Starter \_\_\_\_\_  
 Grower \_\_\_\_\_  
 Finisher \_\_\_\_\_

Shrimp  
 Starter \_\_\_\_\_  
 Grower \_\_\_\_\_  
 Finisher \_\_\_\_\_

Tasks (Mga Gawain)	Number of person involved (Ilang tao ang kasangkot)	Nature of person involved (Relasyon sa “ulo ng tahanan”)	Geographical origin of workers	Time spend in the farm	Cost per person (Sahod o sweldo para sa trabahador)
<b>Pond preparation</b> Pag sasaayos ng palaisdaan					
<b>Feeding</b> Pagpapakain					
<b>Guarding</b> Pag babantay					
<b>Management of pond during growth</b> Pag aalaga o pag sasaayos					
<b>Harvest</b> Pag aani					
<b>Seed buying</b> Pag bili					
<b>Selling</b>					

#### Target species

Species	tilapia	shrimp	bangus	mudcrab	mudfish	catfish	
Density of seeding							
Size of fry, PL							
Salinity							
Feeds used							
yield							
Number of crops / year							
Way of selling* (%)							
Market / consignacion							
Selling price							
Trend price (+/-)							
Mangangapas Y/N							

\* D: direct, MM: middle-men, DG: de gaton, AC: selfconsumption, B: bartering, E: exchange, G: gifts

Did you do some specifics works in your farm (dikes, dig, etc) during  
the last 12 months \_\_\_\_\_  
the last 5 years \_\_\_\_\_

Did you experienced during the lasts years:

\_\_\_ Shortage of water                      \_\_\_ Change of salinity                      \_\_\_ lack of seed quality  
\_\_\_ Low water quality                      \_\_\_ problems of seed supply                      \_\_\_ fishkills



- proliferation of digman
- increasing costs
- floodings
- increase of wild species
- thefts
- lahars
- decreasing yields
- decreased price selling
- variation of temperature

If harvesting non-target species

Specie	Quantity, volume/ harvest	Size	value	Trend (+/-)	Finality (sell, eat, give, barter, throw)

Have you received training or assisted to a seminar by the past?  
 Nakatanggap napo ba kayo ng training o napasama sa isang seminar tungkol sa aquaculture?

---

What are the way(s) you get information about farm management?

- Reference book
- Private/ Govt Technician
- Consignacion
- Friend
- Degaton
- By experience
- Other operator
- Middle-men
- None

If changes, what did you change in your fishpond management?

- grow species
- density of seeding
- middlemen
- feeds
- supply hatchery
- markets
- length of crops
- workers

Are you giving some fishes?  Y /  N

To whom?

- friend
- neighbour
- relative
- poorest

What species are you giving? \_\_\_\_\_

What volume? \_\_\_\_\_

Among the followings, could you tell the impacts on your activity and the strategies you adopted?

(Paki sabi po ang)

Pinatubo eruption \_\_\_\_\_

Typhoon \_\_\_\_\_

Floods \_\_\_\_\_

Climatic seasons \_\_\_\_\_

Credit-access \_\_\_\_\_

Price of inputs \_\_\_\_\_

Price of selling \_\_\_\_\_

Do you, or the owner, permit mangangapas inside your farm after harvest

- Never
- Sometimes
- Always
- Seldom
- Frequently

What are the factors playing on this decision

- Size of the farm/pond
- volume of harvest
- Price of the market
- Season
- Species harvest

If caretaker, what are the terms of contract with the owner?

---



If not, could you precise the barangay/municipality where you work?

---

Equipment (lambat, electric fishing, bangka, baskets)

Material	ownership	Frequency of use	Price	Duration	Purpose

If not used, why don't you used lambat (price, custom...)? \_\_\_\_\_

How do you usually go to the place of catch?

- walking  terrestrial transport  
 rented bangka  other  
 de gaton bangka

What affect your decision about the location you go? \_\_\_\_\_

Are you working in

- mangrove: Never – Seldom – Sometimes – Frequent  
 fishponds: Never – Seldom – Sometimes – Frequent  
 river: Never – Seldom – Sometimes – Frequent  
 canals: Never – Seldom – Sometimes – Frequent  
 lake: Never – Seldom – Sometimes – Frequent  
 sea: Never – Seldom – Sometimes – Frequent

How many times by week are you working in fishponds?

---

Can you rank the more catching species according to the ecosystem? fishpond

	Canals	River
1 _____	1 _____	1 _____
2 _____	2 _____	2 _____
3 _____	3 _____	3 _____
4 _____	4 _____	4 _____
5 _____	5 _____	5 _____

Along the year, which species are the most abundant?

buwan	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Species (number)												

Can you rank the species you better want to catch?

For self-consumption	Selling	Bartering
1 _____	1 _____	1 _____
2 _____	2 _____	2 _____
3 _____	3 _____	3 _____

What species are

Less abundant than before \_\_\_\_\_  
 More abundant than before \_\_\_\_\_

For what product(s) are you generally bartering?

---

Are the price proposed by the de gatton stable? \_\_\_\_\_

Have you ever experienced a conflict with others mangangapas working in the same area?  
\_\_\_\_\_

Do you think there is an increase or decrease of the number of mangangapas? \_\_\_\_\_

Do you think there is an increase or decrease of fishes? \_\_\_\_\_

Is there more or less fishponds owner permitting manganganpas in their farm since few years?  
\_\_\_\_\_

After Pinatubo erupted, what did you experienced?

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> activity stopped for a long time  | <input type="checkbox"/> different fishes          |
| <input type="checkbox"/> activity stopped for a short time | <input type="checkbox"/> more difficulties to work |
| <input type="checkbox"/> decrease of fishes                | <input type="checkbox"/> higher level of water     |
| <input type="checkbox"/> change temporarily of work        | <input type="checkbox"/> lower level of water      |
| <input type="checkbox"/> diversification of work           | <input type="checkbox"/> others: _____             |
| <input type="checkbox"/> none changes                      |  |

Among the followings, could you tell the impacts on your activity and the strategies you adopted?

(Paki sabi po ang)

Pinatubo eruption \_\_\_\_\_

Typhoon \_\_\_\_\_

Floods \_\_\_\_\_

Climatic seasons \_\_\_\_\_

Credit-access \_\_\_\_\_

Price of inputs \_\_\_\_\_

Price of selling \_\_\_\_\_

What are the actual difficulties of your work

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> lack of fishes       | <input type="checkbox"/> low price proposed by de gatton  |
| <input type="checkbox"/> too many mangangapas | <input type="checkbox"/> low price proposed by the market |
| <input type="checkbox"/> high level of water  | <input type="checkbox"/> refusals of fishpond owner       |
| <input type="checkbox"/> shallow waters       | <input type="checkbox"/> others: _____                    |

Direct selling

type	location	Frequency*	species	volume	price
Sari-sari					
Local market					
Consignacion					
Degaton					

\*A: always, S: sometimes, SE: seldom, N: never

Are you giving some fishes? \_\_ Y / N

To whom?

- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> friend   | <input type="checkbox"/> neighbour |
| <input type="checkbox"/> relative | <input type="checkbox"/> poorest   |

What species are you giving? \_\_\_\_\_

Are you bartering some fishes? \_\_ Y / N

For which products are you bartering? \_\_\_\_\_

Can you give exemple(s) of bartering :  
 If direct selling, how do you know if the price proposed is good ?

**For degaton:**

When did you start this activity? \_\_\_\_\_

Are you working

- Alone  with several business partner  
 with one business partner  one or several relatives

Equipment necessary to do your work

Material	ownership	Frequency of use	Price	Duration	Purpose

How many mangangapas are working with you? \_\_\_\_\_

Does it changes along the year?  Y / N

Are all the mangangapas from the same barangay than yours?  Y / N

If not, which barangay/ municipality? \_\_\_\_\_

Do you have a limit of number of mangangapas?  Y / N, is yes, ilan? \_\_\_\_\_

How do you recruit them?

- they come spontaneously  thanks to the consignacion  
 common friend  others \_\_\_\_\_

Is your work with the mangangapas your main activity?  Y / N

Level of activity

buwan	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Activity*												

\*(0, +, ++, +++)

What is the percentage of the production coming from

- river  lake  sea  
 fishpond  canals  mangrove

Markets

Species	Origin*	Average size	Market	Volume	Average price	Trend of price


\*M: mangangapa, F: fisherman, FP: fishpond operator, O: other

Can you rank the more abundant species

1 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_  
 2 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_  
 3 \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_

With how many fishponds operators are you working? \_\_\_\_\_

Does this number have increased along the time? \_\_ Y / N

Do you experience some refusals? \_\_ Y / N

If refusal from the operators, can you sometimes convince them to let you work in their fishponds? \_\_ Y / N

With which consignacion are you working and for which products?

Consignacion \_\_\_\_\_ Product \_\_\_\_\_  
 Consignacion \_\_\_\_\_ Product \_\_\_\_\_  
 Consignacion \_\_\_\_\_ Product \_\_\_\_\_  
 Consignacion \_\_\_\_\_ Product \_\_\_\_\_

Do you change sometimes of consignacion? \_\_ Y / N

How do you choose the consignacion with whom you work?

\_\_ fidelity                      \_\_ extra-services                      \_\_ family link  
 \_\_ friendship                      \_\_ better price                      \_\_ other: \_\_\_\_\_

Where do you get information about the price? \_\_\_\_\_

Have you ever encountered some problems with some mangangapas? \_\_ Y / N

What \_\_\_\_\_ nature?  
 \_\_\_\_\_

Is there a big concurrence between de gaton? \_\_ Y / N

Is there more or less de gaton than before? \_\_\_\_\_

Have you ever encountered some problems with some other de gaton? \_\_ Y / N

What \_\_\_\_\_ nature?  
 \_\_\_\_\_

Is your work harder than few years before? \_\_ Y / N

Can \_\_\_\_\_ you \_\_\_\_\_ explain?  
 \_\_\_\_\_

Among the followings, could you tell the impacts on your activity and the strategies you adopted?

(Paki sabi po ang)

Pinatubo eruption \_\_\_\_\_

Typhoon \_\_\_\_\_

Floods \_\_\_\_\_

Climatic seasons \_\_\_\_\_




\* sea, river, canal, lake, mangrove, fishpond

Level of activity along the year

buwan	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Activity*												

\*(0, +, ++, +++)

Among the followings, could you tell the impacts on your activity and the strategies you adopted?  
(Paki sabi po ang)

- Pinatubo eruption \_\_\_\_\_
- Typhoon \_\_\_\_\_
- Floods \_\_\_\_\_
- Climatic seasons \_\_\_\_\_
- Credit-access \_\_\_\_\_
- Price of inputs \_\_\_\_\_
- Price of selling \_\_\_\_\_

Are you giving some fishes? \_\_ Y / N

To whom?

- \_\_ friend \_\_\_\_\_
- \_\_ relative \_\_\_\_\_
- \_\_ neighbour \_\_\_\_\_
- \_\_ poorest \_\_\_\_\_

If, yes, what species of fishes? \_\_\_\_\_

Are you bartering some fishes? \_\_ Y / N

For which products are you bartering? \_\_\_\_\_

Can you give exemple(s) of bartering :

\_\_\_\_\_

Do you have any permit/licence to pay regularly? \_\_\_\_\_

**For leaser:**

Since how many years are you leasing the pond? \_\_\_\_\_

Can you explain the terms of contract? \_\_\_\_\_

Do you have some commitment? \_\_\_\_\_

What is the price of the leasing? \_\_\_\_\_

Do you have some visit from some officials? \_\_ Y / N

If yes, what frequency and which organisms?

Frequency \_\_\_\_\_ Organisms \_\_\_\_\_

Frequency \_\_\_\_\_ Organisms \_\_\_\_\_



PART SIX

HOUSEHOLD AND AGRICULTURE

Are you involved in any agriculture activity? \_\_ Y / N

What is your status?

\_\_ Farmer / renter

\_\_ permanent worker

\_\_ farmer/owner

\_\_ Seasonal worker

Production

Crop	Soil	Yield	# crops year	Supply seed	Irrigated Y/ N	Source of water	Fertilisant Y / N	Trend of yield	Finality*

\* SC: self-consumption, DS: direct selling, MM: middle-men selling, B: bartering, G: giving

Markets

Crop	Market	Volume	Average price	Trend of price

Do you experience some water shortage? \_\_ Y / N

When

and

why?

---



---

Do you experience some salinity problem on your farm? \_\_ Y / N

If yes, kailan? \_\_\_\_\_

How do you cope with this? \_\_\_\_\_

Do you have some permanent workers on your farm? \_\_ Y / N

Do you have some temporary workers on your farm? \_\_ Y / N

If yes, for which task do you require them?

---

Is one or several member of your family working permanently on your farm? \_\_ Y / N

If yes, ilan? \_\_\_\_\_

If yes, what is his/her position? \_\_\_\_\_

Do you supply them accommodation? \_\_ Y / N



What crops did you convert? On which area? \_\_\_\_\_

What did you know about aquaculture before converting?

nothing

friend experience

few

a lot: \_\_\_\_\_

Did you dig for the conversion? \_\_\_\_\_

If yes, how deep? \_\_\_\_\_

How did you get the excavator? \_\_\_\_\_

Did you received financial or technical aid from

government agency

fishpond operator

private company

other

How was your first crop? \_\_\_\_\_

What species did you first grow? \_\_\_\_\_

Did you change over time? \_\_\_\_\_

What is the cost of the conversion?

Did you take a credit for this invest? \_\_\_\_\_

How long did the conversion takes? \_\_\_\_\_

What strategies you adopted during the conversion for coping with the income shortages?

\_\_\_\_\_

Are you finally happy of the conversion?

Why?

PART SEVEN

**Household, daily life and coping strategies**

Alimentation

Food item	Frequency*	Quantity	How do u get it? **	Where do u get it?	Availability
<b>Isdâ</b>					
Tilapia					
Bangus					
Bulig/dalag (mudfish)					
sugpo					
hipon					
Hito					
Pusit					
Alimasag (crab)					
Palos (eel)					
Talaba					
Tahong					
Shell					
bigas					
other					
<b>Karné</b>					
Manok					
Kambing (goat)					
Baka					
Baboy					
Pato					
Other					
<b>Prutas</b>					
Saging (banane)					
Buko					
Milon					
Ubas					
Mansanas					
Dalandan (orange)					
Mangga					
Pakwan (wmelon)					
Pina					
Sampalok					
<b>Gulay</b>					
<b>Siriyal</b>					

Kanin, bigas	
Mais	
<b>Various</b>	
Itlog	
Other	

\* D: day; W: week; M: month

\*\*B: Buy; BA: Bartering; D: Donation; H: harvest

\*\*\* P: pond; S: sea; M: mangrove; C: canals; T: temporary openwater body

Can you rank the factors affecting the fishes you buy for everyday consumption:

Price                                     Taste                                     other  
 Easy to cook                                     Size  
 Availability                                     Nutritious

Can you rank the fishes you buy for fiesta:

\_\_\_\_\_ 1                                    \_\_\_\_\_ 3                                    \_\_\_\_\_ 5  
\_\_\_\_\_ 2                                    \_\_\_\_\_ 4                                    \_\_\_\_\_ 6

Have you increased, decreased, or stabilize consumption of this food since last years,

Isdâ \_ I / D / S                                    Prutas \_ I / D / S                                    Siriyal \_ I / D / S

Karné \_ I / D / S                                    Kanin \_ I / D / S                                    Gulay \_ I / D / S

Did any of you work on other people's farms in exchange for food?  Y / N

Nag trabaho napo ba kayo para sa ibang sakahan o isadaan?

Did you get any food out of hunting (*specify*)?  Y / N

Noong nag trabaho kayo para sa ibang sakahan o palaisdaan, ano po ang inyong naging kabayaran e.g.pag kain, sinelas etc?

Did you get any food out of gathering (chico)?  Y/N

Noong nag trabaho po kayo bilang taga-ani; ano po ang inyong naging kabayaran?

Did you get any goods (incl. foodstuff) by exchanging them for other goods (bartering)?

Kayo po ba ay nakiki pag palitan ng kalakal o gamit?

*If yes: Which goods did you give and which goods did you receive?*

Anu anong mga gamit o kalakal ang pinapalit at pinapalitan ninyo?

Did you receive any food aid (not only this year)? Nakatanggap napo ba kayo ng "relief goods"?

Y / N

When or during when? Kailang o tuwing kailan? \_\_\_\_\_

What is the source of drinking water?

Open-well                                     Consigned bottle                                     Open-water bodies  
 Deep well                                     Tap water                                     Waterways

How often do you go to

an other barangay? \_\_\_\_\_ for what purpose? \_\_\_\_\_

municipality? \_\_\_\_\_ for what purpose? \_\_\_\_\_

provincial capital? \_\_\_\_\_ for what purpose? \_\_\_\_\_

\_\_ Manila? \_\_\_\_\_ for what purpose? \_\_\_\_\_

Are you personally affected by natural hazards? \_\_ Y / N

If \_\_\_\_\_ yes,

NH	Housing impact	Human impact	Aquaculture impact	Last events
Typhoon				
Floods				
Volcano				
Seism				
Others				

What are you doing for coping with these hazards before it occurred?

- Nothing
- more prayers
- anticipated harvest
- escape
- protection measure
- asking help from gvt
- asking help to well-off people
- Other

If involved in aquaculture, what are the specific actions you use for coping with hazard?

---



---

Have you been affected by the construction of the dyke?

If yes:

- relocation
- decreasing fish
- increasing turbidity
- other

What is your opinion about the dyke?

Do you have specific plans for investment in the near future e.g. crop intensification, diversification, loan, material buying, migration etc?

Mayroon po ba kayong mga pinaghahandaan o iniisip na plano pang hanapbuhay tulad ng pagpapalago ng sakahan o palaisdaan?

---



---



---

What are the most important constraints for you?

Anu ano ang mga dahilan ng pagiging mailap or mahirap ng mga planong ito?

- Credit access (Kulang sa kapital o pang utang)
- Changing weather / events (Mga pababago sa panahon)
- Availability of natural resources (Kakulangan ng lupa, kakahuyan, puno etc)
- Quality of water (Maduming tubig)
- Family expenditure (Malaking gastos sa tahanan o pamilya)
- Lack of government support (Kakulangan ng suporta ng gobyerno)
- Lack of education or knowledge (Kakulangan ng kaalaman)
- Lack of hope/ pessimism (Kawalan ng pag asa)
- Political fear (Pagkatakot sa bantang political)
- Lack financial and technical support (Kakulangan ng pinansyal at teknikal na suporta)
- high price of life
- price of education

What is your perception of:

- lack of fish

-aquaculture

- Changes in barangay

-future for the barangay

	Catch Y / N	Eat Y / N	Importance of specie
Alamang Aligasin			
Alimango			
Alimasag			
Apahap			
Asohos			
Ayungin			
Balanak			
Banak			
Bangayngay			
Bangus			
Biang kalus, kawayan			
Bidbid			
Biya			
Biyang kawayan			
Buanbuan			
Buntutin			

Common carp			
Dalag			
Dilis			
Dulum			
Gasang			
Hito			
Imelda carp			
Kabasi			
Kanduli			
Kibot			
Kitang			
Lapu lapu			
Banagan			
Malakapas			
Malibanos			
Mamali			
Pabuka			
Palos/igat			
Pingaw			
Pingo			
Puti			
Samaral			
Sap sap			
Siliniasi			
Sugpo			
Suluwe			
Suwahe			
Tahong			
Talaba			
Talamusak			
Talangka			
Tamban			
Tilapia			
Ulang			



# Annexe 9 - Article paru dans Water Resources Research



WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 44, W05411, doi:10.1029/2007WR006065, 2008

## Synoptic assessment of water resource variability in reservoirs by remote sensing: General approach and application to the runoff harvesting systems of south India

François Mialhe,<sup>1</sup> Yanni Gunnell,<sup>2</sup> and Catherine Mering<sup>1</sup>

Received 27 March 2007; revised 24 September 2007; accepted 13 February 2008; published 16 May 2008.

[1] This paper presents a methodological procedure based on remote sensing and image analysis techniques designed to map and quantify water stocks in small irrigation reservoirs over vast, user-defined regions. Because the method is based on unsupervised pixel classification schemes, it is analytically transparent and entirely replicable and can therefore be used in most settings as a tool for integrated water resource management, planning, or policy making, with benefits to irrigation, land use, agriculture, and water-related social issues. Satellite images of semiarid south India are used here to quantify fluctuating water volumes in ~2500 reservoirs. In this pilot study, the detection of temporal trends and spatial discontinuities in land use at successive dates within reservoir beds is a proxy for assessing the performance of reservoirs and for formulating hypotheses on the environmental, socioeconomic, or anthropological reasons behind the inferred levels of infrastructural maintenance or disuse. The synoptic approach paves the way for future efforts as better ground truth data become available.

Citation: Mialhe, F., Y. Gunnell, and C. Mering (2008), Synoptic assessment of water resource variability in reservoirs by remote sensing: General approach and application to the runoff harvesting systems of south India, *Water Resour. Res.*, 44, W05411, doi:10.1029/2007WR006065.

### 1. Introduction

[2] Resolutions formulated at the 2003 Kyoto World Water Forum establish that water resource management should shift its long-standing emphasis on regulation by government to regulation by governance. Advocacy for notions such as integrated water management and participatory irrigation is now widespread. This recent approach encourages a revival of the common-property approach to water resources [e.g., *Sakurai and Palanisami, 2001*], which has been prevalent for centuries in some rural communities around the world [e.g., *Barrow, 1999; Gunnell and Anupama, 2003*], and promotes water user associations. With this focus in mind, natural resource inventories and land capability surveys for fine-scale watershed management require that a consensus be reached on a limited range of methods and standardized land classification categories in order to facilitate research, information transfer, training, and planning.

[3] An increase in the productivity of water in response to growing populations and water demand in dry areas of the semiarid tropics in particular requires a search for techniques designed to monitor water availability and system efficiency and to map problem areas for policy intervention and adaptive management. South India is one region of the world where water-harvesting reservoirs are widespread and

is the chosen setting in which the methodology developed here has been implemented. This paper uses this region (Figure 1) as an example to show how the synoptic qualities of satellite imagery help to obtain quantitative estimates of water stocks in reservoirs.

[4] In south India, tanks are traditional water storage reservoirs designed to harvest and store rainfall and surface runoff (Figure 2). They are designed to mitigate the impact of seasonal and interannual rainfall variability on water by extending its availability for agriculture through storage. So-called nonsystem tanks are supplied by small catchments that capture overland flow and that may include irrigated land. They lack access to perennial water sources unless they are supplied by a perennial river via a canal, in which case they are known as system tanks. Strong evaporative losses during the dry season and no carryover of live storage between seasons also mean that stocks are entirely depleted and varyingly replenished on a yearly basis.

[5] Tank irrigation is profitable, particularly to small farmers [*Palanisami and Meinzen-Dick, 2001; Balasubramanian and Selvaraj, 2003*], and its sustainability in India is reflected in its 2000-year history [*Gunnell et al., 2007*]. These reservoirs are widespread in the states of Andhra Pradesh [*Prasad et al., 1993; Rao et al., 1993; Rao and Chakraborti, 2000*], Tamil Nadu, and Karnataka [*Palanisami and Meinzen-Dick, 2001*]. In Tamil Nadu, ~39,000 tanks command ~30% of the total irrigated land area [*Anbumozhi et al., 2001; Ranganathan and Palanisami, 2004*], but this ratio has been declining in the last 25 years because of a range of socioeconomic causes broadly related to demographic pressure, the decline of surface water as a common property resource, extended periods of drought [*Gunnell et al.,*

<sup>1</sup>Department of Geography, UMR 8586, CNRS, Université Paris VII-Diderot, Paris, France.

<sup>2</sup>Department of Geography, UMR 8591, CNRS, Université Paris VII-Diderot, Paris, France.

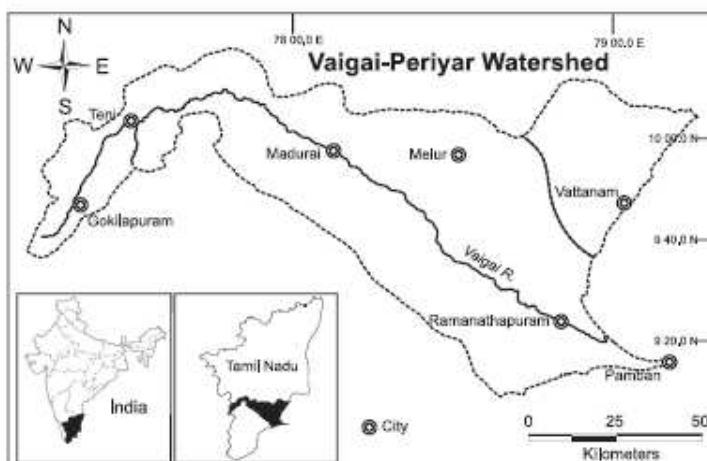


Figure 1. Study area.

2007], and, more generally, poor governance [Mosse, 1997; Palanisami and Meinzen-Dick, 2001; Sakurai and Palanisami, 2001; Balasubramanian and Selvaraj, 2003; Sharma, 2003; Kajisa et al., 2004].

[e] Extensive water-harvested areas can be readily monitored from space at minimal cost. In spite of the existing technology to do so, however, synoptic, spatially distributed quantitative analyses of surface water resources based on remote sensing are uncommon [Ambast et al., 2002]. Existing work on reservoir mapping tends to rely on supervised classifications [e.g., Liebe et al., 2005], which require a training data set and are therefore costly and time consuming in field work prior to image processing. Water harvesting in India has been studied mostly from the ground by social scientists, economists, and agronomists. Field-based case studies are predominantly concerned with land tenure, social anthropology, or cost-benefit and viability analyses on a local scale [Palanisami and Easter, 1987; Vaidyanathan, 2001; Mosse, 2003]. Rare literature on the hydrology of reservoir irrigation mostly deals with water mass balance at the single-reservoir scale [e.g., Jayatilaka et al., 2003; Li and Gowing, 2005] using a range of local-scale environmental data that are often unavailable in many regions of the world. What such models gain in quantitative precision they therefore lose in breadth, swiftness of implementation, and applicability as decision- and policy-making

tools. Here we develop an analytically transparent and replicable methodology based on unsupervised classification schemes with potential for use in other settings around the world.

## 2. Method

### 2.1. General Approach

[7] Tank storage is extremely sensitive to rainfall variability and is vulnerable to abstraction losses. Water in tanks is retained after the end of the rainy season, which extends from late September to early January (Figure 3a) for a period ranging from weeks to months that also depends on soil properties and water consumption rate. When analyzed using satellite images with comparable anniversary registration dates, the state of an individual tank at the end of the rainy season can provide an appreciation of its economic performance.

[8] Over time, tank storage capacity diminishes because of siltation, but this and other negative impacts can be redressed by periodic desilting work, which has kept the system in operation for centuries. Therefore, once climatic variability has been filtered out as a contributing factor to observed reservoir water levels, land cover changes within tank beds and trends in water levels represent two good proxies for appraising levels of collective involvement in

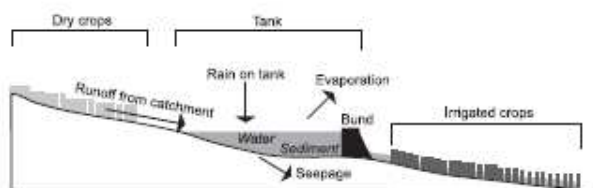
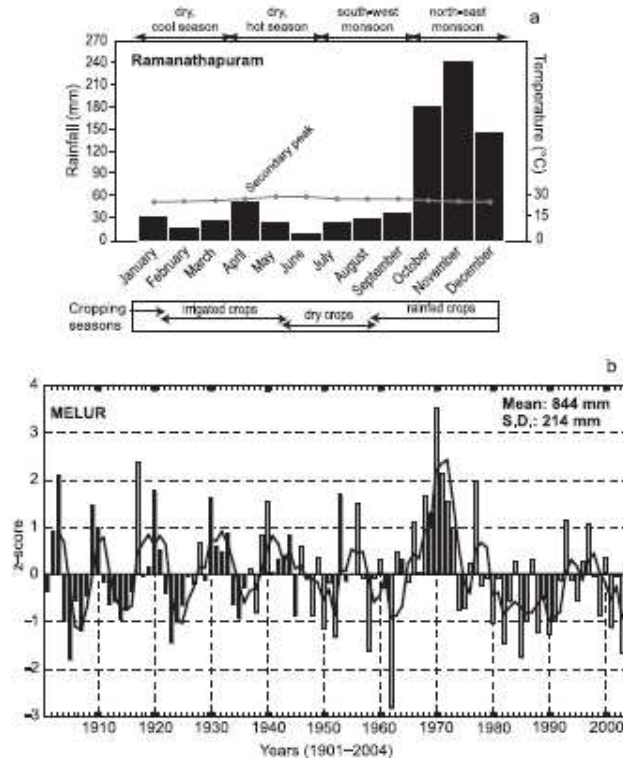


Figure 2. Schematic cross section of a tank. Topographic slope is greatly exaggerated.



**Figure 3.** Climate in study area. (a) Rainfall diagram of Ramanathapuram (located in Figure 1), representing the seasonal cycle throughout the study area. (b) Normalized interannual variability of rainfall at Melur (see Figure 1), here based on a 103-year instrumental rainfall record. Black curve is 3-year moving average.

maintaining reservoir efficiency at individual reservoir to regional scales. An estimate of reservoir storage can be calculated in geographic information system (GIS) based maps of aquatic surface areas obtained by terrain classification algorithms, with scope for producing a database of water stock fluctuations indexed on rainfall surpluses or deficits from year to year over broad regions. Independent knowledge of mean reservoir depths can be used to calculate volumetric water stocks. Error on estimates is inevitable but can be mitigated when possible by field data.

[9] This kind of data is particularly useful to water planning and agricultural forecasting bodies in settings like India, where statistics on tanks are either unavailable or poorly integrated because responsibility for tank management is split between several independent administrations. Contingency plans for famine relief and the need for compensatory efforts in other forms of irrigation (river-fed reservoirs and groundwater irrigation) can be better anticipated. Another benefit accruing from synoptic knowledge of surface water reserves is that it can also assist politicians in exhorting farmers to modulate the exploitation of ground-

water reserves, which in India are increasingly being mined to critically unsustainable levels as an open access resource insufficiently regulated by legislation.

## 2.2. Image Selection and Use of the Rainfall Record

[10] The Vaigai basin (Figure 1) drains an area of 7393 km<sup>2</sup> with a mean population density of 300 inhabitants per square kilometer. Over 50% of the working population is employed in agriculture; that is, ~1 million people are directly dependent on water for agriculture. The coastal plain to the north, which does not belong to the Vaigai watershed, was also included in this study because it is one of the historical heartlands of tank irrigation in south India and displays such a high spatial density of tanks that little room is left for other forms of land use or natural habitat (Figure 4).

[11] Rice is both the staple food and the principal agricultural product in the study area. In Tamil Nadu, rain-fed paddy crops (samba season) are sown in September and harvested in January. During the navarai season (January to April), a second, reservoir-irrigated crop may be

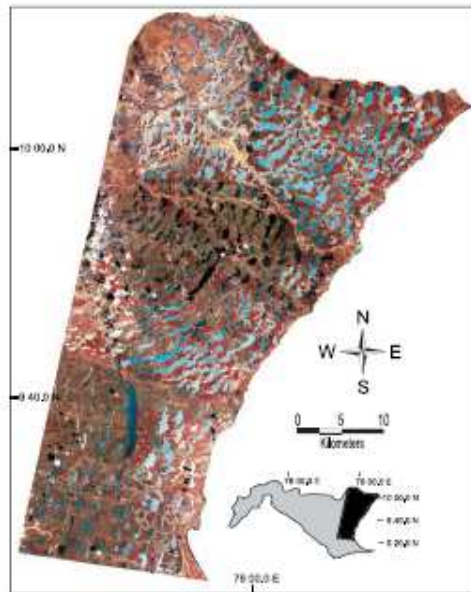


Figure 4. False color composite (red-green-blue: NIR-red-green) of the northeast part of the study area using the 21 January 1979 MSS image. Note differences in tank shape where thin, crescent-shaped water bodies tend to indicate loss of tank capacity due to siltation. In such cases, residual accommodation space for water occurs immediately behind the tank bund.

attempted if reservoir storage has been adequately replenished by rainfall during the preceding wet season.

[12] Independent knowledge of rainfall data is critical because it allows comparison of reservoir levels of the same area during different years and helps to discriminate between rainfall-related causes of water storage deficit and other socioeconomic causes. These might include a decline in standards of infrastructure maintenance or loss of storage capacity due to reservoir siltation. We analyzed trends in seasonal rainfall excesses and deficits on the basis of normalized rainfall data and 3-year moving averages for four stations in the Vaigai watershed (Ramanathapuram, Kamadi, Vattanam, and Melur). Available records span 60–103 years (Figure 3b). This approach helps to capture rainfall variability for each station and to establish how the satellite image acquisition dates rank on the rainfall deficit scale provided by the  $z$  deviate scores. In this region, maximum reservoir levels should be expected around mid-January, i.e., just after the end of the rainy season. In order to test the capacity of remote sensing at detecting small to moderate variations in water stocks, we deliberately targeted rainfall years for which rainfall deviations from the long-term average were neither excessively positive nor excessively negative because there is little value in comparing full reservoirs (high-surplus year) with empty ones (drought

year). We will show that the method is sufficiently sensitive to detect small spatial and temporal changes.

[13] In summary, quantifying the variability of water stocks and tank-irrigated cropping areas between different dates helps to assess the relative impacts of climatic variability and human factors. Water stocks are expected to be positively correlated with seasonal rainfall and levels of collective involvement in infrastructure maintenance.

### 2.3. Image Processing

#### 2.3.1. Preprocessing of the Landsat Series

[14] Eleven Landsat multispectral scanner (MSS), thematic mapper (TM), and Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) georeferenced images covering the entire study area were selected (Figure 5) and calibrated to convert digital numbers to exoatmospheric reflectance. Given the registration dates of the MSS images (Figure 5) and their coincidence with a year of excess rainfall, these were chosen as the reference state for delimiting tank beds and assessing trends in land cover change and water stocks over time. We assumed from the regional literature that a very large majority of tanks at all registration dates were in use, with few renovation schemes between 1973 and 2001.

[15] MSS scenes consist of four bands corresponding to green and red in the visible spectrum ( $0.5\text{--}0.6\ \mu\text{m}$ , green and  $0.6\text{--}0.7\ \mu\text{m}$ , red) and to two connected bands in the near-infrared (NIR) spectrum ( $0.7\text{--}0.8\ \mu\text{m}$  and  $0.8\text{--}1.1\ \mu\text{m}$ ). TM images consist of seven channels, including three bands in the visible spectrum ( $0.45\text{--}0.52\ \mu\text{m}$ , blue;  $0.52\text{--}0.6\ \mu\text{m}$ , green; and  $0.63\text{--}0.69\ \mu\text{m}$ , red), one NIR band ( $0.76\text{--}0.9\ \mu\text{m}$ ), one midinfrared (MIR) band ( $1.55\text{--}1.75\ \mu\text{m}$ ), one short-wave infrared (SWIR) band ( $2.08\text{--}2.35\ \mu\text{m}$ ), and one thermal infrared (TIR) band ( $10.4\text{--}12.5\ \mu\text{m}$ ). In addition to

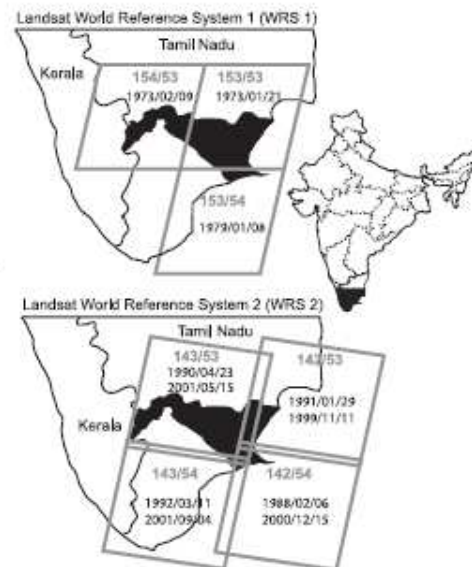


Figure 5. Coverage and acquisition dates of Landsat images used in the study.

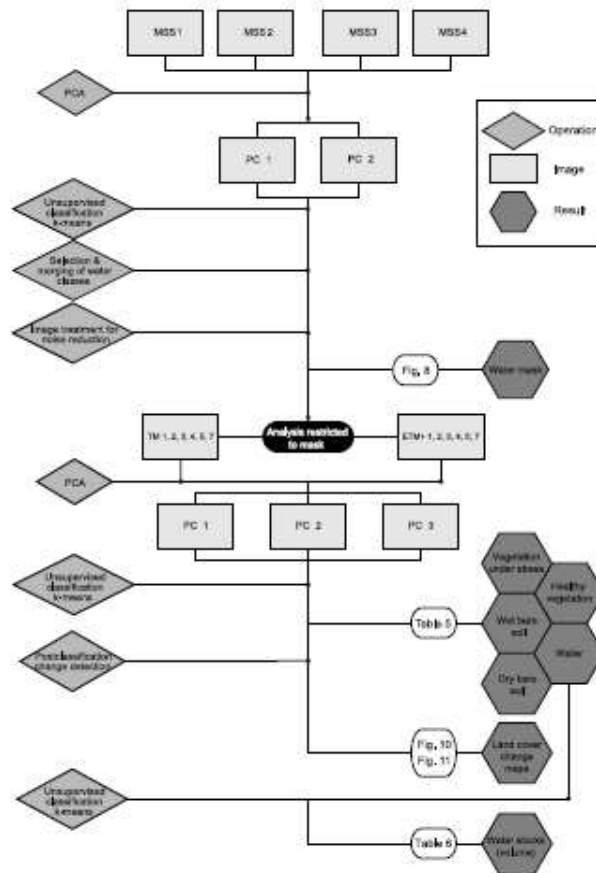


Figure 6. Flowchart summarizing methodology used in the study.

these, ETM+ images contain a 15-m spatial resolution panchromatic band (0.52–0.9 μm, panchromatic).

2.3.2. Detection of Aquatic Surfaces

[16] The sequence of data processing operations followed in this study is summarized in Figure 6. The flowchart can be used to follow through the steps described in the following sections. The detection of water surfaces by remote sensing is not a trivial exercise because open water presents a wide range of reflectance patterns determined by the interplay between surface, volume, and bottom reflectance values. These parameters are varyingly influenced by standing or floating vegetation, turbidity, dissolved matter, and algal content and affect the penetration of light. Furthermore, naturally blurred boundaries between soil, vegetation, and water make the extraction of water bodies from satellite scenes quite difficult.

[17] Several methods suitable for the detection of aquatic surfaces and the delineation of coastlines from remotely sensed images exist [Frazier and Page, 2000; Ouma and

Tateishi, 2006]. Three of these were applied here to the MSS images for comparative purposes. The first refers to a normalized difference water index (NDWI). The original NDWI needs to be obtained from NIR and MIR bands [Gao, 1996], but the MIR band is unavailable in MSS images. This, therefore, restricts the applicability of the technique to images that postdate the launch of Landsat TM. For that reason, we used a revised NDWI after Ouma and Tateishi [2006], which uses the green (G) and NIR bands in the equation  $NDWI = (NIR - G)/(NIR + G)$ . These two bands are available in the MSS images used here (bands 4 and 7). Because water presents higher reflectance values in the green band than in the NIR band, the index harnesses that sharp difference through the band ratio and is thus well suited to the detection of aquatic surfaces. To produce a binary mask for an image, class separation is performed by setting a low threshold on the obtained index (Table 1). This threshold was visually delimited using a false color composite image (red, MSS 7; green, MSS 5; and blue, MSS 4).

Table 1. Statistics Summarizing the Tank Detection Methods for MSS 153/53

	Methods		
	PCA	NDWI	Thresholding <sup>a</sup>
Threshold	na <sup>b</sup>	-0.97 to -0.69	0 to 0.05
Number of tanks detected	2312	2398	3169
Total water area, km <sup>2</sup>	725	688	1019
<i>Mean Spectral Response (SD)<sup>c</sup></i>			
MSS 4	0.33 (0.09)	0.30 (0.10)	0.25 (0.09)
MSS 5	0.24 (0.08)	0.22 (0.09)	0.17 (0.08)
MSS 6	0.15 (0.06)	0.13 (0.06)	0.11 (0.04)
MSS 7	0.04 (0.02)	0.03 (0.01)	0.03 (0.01)
<i>Mean Spectral Response in Cloudy Area (SD)<sup>c</sup></i>			
MSS 4	0.32 (0.09)	0.29 (0.11)	0.19 (0.05)
MSS 5	0.24 (0.09)	0.21 (0.11)	0.12 (0.04)
MSS 6	0.15 (0.06)	0.13 (0.07)	0.10 (0.02)
MSS 7	0.04 (0.02)	0.04 (0.02)	0.04 (0.01)
<i>Mean Spectral Response of Image Differences (SD)<sup>d</sup></i>			
MSS 4	0.35 (0.05)	0.23 (0.12)	na <sup>b</sup>
MSS 5	0.28 (0.05)	0.16 (0.13)	na <sup>b</sup>
MSS 6	0.20 (0.04)	0.12 (0.09)	na <sup>b</sup>
MSS 7	0.07 (0.01)	0.04 (0.02)	na <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Thresholding is for MSS 7.

<sup>b</sup>Na, not applicable.

<sup>c</sup>Values given are the mean followed by the standard deviation (SD) in parentheses.

<sup>d</sup>Test zone 1 included in PCA procedure but not in NDWI. Test zone 2 included in NDWI procedure but not in PCA.

[18] The second method, hereafter called the threshold method, is also based on thresholding and involves setting a low threshold (Table 1) on MSS channel 7 (0.8–1.1  $\mu\text{m}$ ). Because of the strong absorbance of water bodies in this channel, it is a relevant way of distinguishing between wet and dry surface features [Frazier and Page, 2000].

[19] The third method is based on principal component analysis (PCA) computed from the four MSS channels followed by an unsupervised  $k$  means classification of the first resulting components. Contrary to the two previously mentioned methods, PCA is not specifically designed for the recognition of water bodies but remains a very general and efficient technique for the detection of features that exhibit weak radiometric contrast with their neighborhoods. The results of the PCA are the principal components, which lead to the extraction of new, decorrelated channels [Richards, 1999]. Given that the first few components contain most of the information present in the data, the remaining ones are ignored in subsequent pixel classification procedures (Figure 6). On the MSS images, the first two components generally contained more than 98% of the information. Concern with implementing an unsupervised classification was motivated by the aim to elaborate a general and replicable methodology based on automatic classification procedures applied to a vast geographic region. Therefore, no prior field work was tied to this analysis although interpretations used empirical knowledge acquired by the authors both in the field and through the literature.

[20] Binary images of aquatic surfaces were generated by each of the three methods described above for comparative purposes (Figure 7). The following stage consisted in

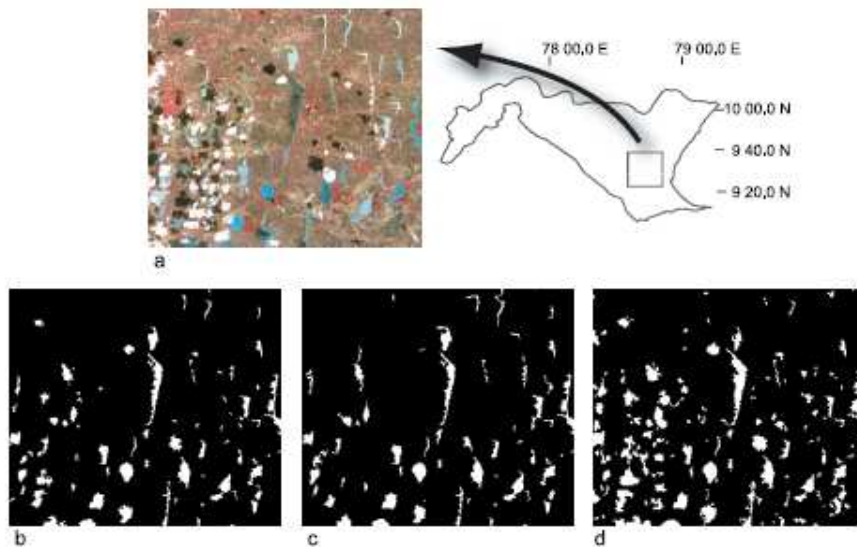


Figure 7. Sample of (a) initial MSS image illustrating comparative accuracy of the three automated procedures used to detect tanks beds. Resulting binary images display the (b) NDWI, (c) PCA, and (d) MSS 7 thresholding approaches. Note difference in surface area of cloud shadows and of thin, elongated tanks as an illustration of the relative behaviors of each method.

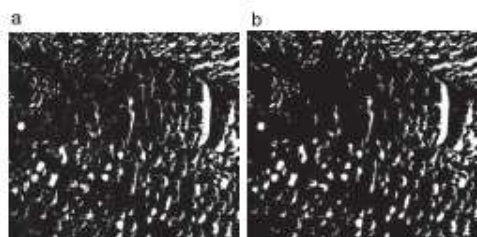


Figure 8. Binary images (a) before and (b) after noise removal by application of PCA and mathematical morphology procedures (see text).

eliminating from the binary images any small entities likely not to be tanks, such as natural depressions or flooded paddy fields. In order to avoid modifying the size and morphology of the tanks, a geodesic reconstruction [Serra, 1982] was performed in which the original image is first eroded and then reconstructed by successive geodesic dilations. A hole-filling transformation was subsequently carried out (Figure 8), which consists of filling entities that were counted out as nonaquatic because of local anomalies in the water body (aquatic vegetation, etc.) or because of pixel size but were necessarily part of the tank area because tanks rarely contain islands.

[21] The relative performances of the three pixel classification methods were evaluated by analysis of the means and standard deviations of their spectral responses in each MSS band. Validation was further backed up by visual analysis of the tanks seen in the false color composite of Figure 4. The most accurate image of tank water surfaces obtained was subsequently used as a mask of the tank beds and was vectorized for further analysis with the Landsat TM and ETM+ data (Figure 8b).

### 2.3.3. Detection of Land Mosaics Within the Tank Beds

[22] In order to determine the range of surface features within the areas defined as tank beds after MSS image processing, the entire set of Landsat TM and ETM+ was analyzed. A PCA followed by a  $k$  means classification in 10 classes was performed on pixel sets of the TM and ETM+ images contained within the masks previously obtained from the MSS classification. On the basis of its spectral signatures, each class was interpreted and recoded in one of five classes predefined for their relevance to land use and land cover change: dry bare soil, wet bare soil, water, healthy vegetation, and vegetation under stress. Classes presenting high spatial and spectral heterogeneity were merged and iteratively reclassified. Given the wide spectral window represented by these five classes, all pixels could be allocated to one of the categories. This simple and easily replicated classification was also suited to the goal of generating change detection maps.

### 2.3.4. Change Detection Procedure

[23] On the basis of the land surface classification, a change matrix was generated for some pairs of TM and ETM+ images corresponding to different dates. This data-merging technique allows so-called change detection maps to be generated, i.e., color-coded maps that display from-to categories of land cover change between two chosen dates.

Because it compares images that have already been classified, this procedure is relatively insensitive to variation in the spectral characteristics of objects between two dates, which makes it one of the most precise methods available for detecting surface changes [Mas, 1999]. Choice of similar registration dates was essential to maintain vegetation and hydrologic surface conditions as comparable as theoretically possible. For that reason, change detection was restricted to image pairs with small calendar offsets. This excluded TM and ETM+ scenes 143/54.

### 2.3.5. Quantification of Water Stocks

[24] Assessing the depths of water bodies is a difficult task because different factors contribute to modifying the spectral response. However, obtaining depths for individual tanks over a vast region through field surveys when no databases are available is even more impractical.

[25] In order to estimate water depths from satellite imagery, we chose a method based on a simple rule. Differences between the observed spectral response and the theoretical spectral signature of pure water are commonly generated by the interference between the surface, volume, and bottom reflectance of a water body. Accordingly, the critical parameter affecting the calculation of water volumes based on water depth estimates is the variability in spectral response of the tank bed. Given the radiometric properties of water, the variability of interest essentially concerns the visible spectrum and is predominantly controlled by soil color. Because the predominantly light-colored soils in the study area have a higher spectral response than water in the visible spectrum, the simple rule applied here is that water depth in a tank is inversely proportional to spectral response in the visible spectrum (see auxiliary material, Figures S1 and S2<sup>1</sup>). Binary masks corresponding to the previously defined aquatic surfaces were generated for each image on this basis. An unsupervised classification of visible MSS, TM, and ETM+ bands based on the  $k$  means algorithm involving two classes (i.e., deeper and shallower water bodies) was performed within each mask across the entire regional mosaic.

[26] For obvious reasons, physical water depths could not be measured independently in the field on the image registration dates. This depth detection method is, therefore, inevitably relative in the sense that the attribution of water depth values to each class is a function of the spectral responses of the other classes. The method therefore provides maps of spatial variation in relative water depth. Additional accuracy in the classification of water depths, however, can be gained from empirical knowledge. The literature [e.g., Vaidyanathan, 2001] indicates that mean tank water depths in this part of Tamil Nadu rarely exceed 1.5 m. Even though tank design capacity is often larger, these depth values reflect capacity loss from decades of siltation and poor infrastructure maintenance. A mean total volume of water at any given time can thus be calculated from the scale of a single tank to that of an entire region.

[27] Here, as an example of what can be achieved, we divided the tank water surfaces into two depth classes, arbitrarily setting the mean of the shallower class at 0.50 m and that of deeper water bodies at 1.5 m. The tank

<sup>1</sup>Auxiliary materials are available in the HTML. doi:10.1029/2007WR006665.

Table 2. Runoff Coefficient in Catchment Areas

	Clay	Clay Loam	Sandy Loam
Bare soil	0.7	0.6	0.4
Vegetation	0.5	0.4	0.2

areas classified as either deep or shallow on this basis were then multiplied by mean depth to obtain volumetric water stocks. In the case of the MSS images, the availability of comparable registration dates made it possible to calculate the total water stock for the entire study area. Meanwhile, for the TM and ETM+ images, which suffer from more significant offsets in registration dates, water volumes were calculated within the spatial limits defined by each individual scene. The accuracy of calculations is obviously highly dependent on the availability of tank depth databases, but emphasis here is chiefly on methodology. Values can be adjusted as data sources improve in user-defined areas of interest.

### 2.3.6. Implementation of a Regional Water Balance as an Independent Test

[28] In order to independently test the accuracy of water stock evaluation by remote sensing, we attempted a summary regional water balance in a GIS for the 1972 and 1978 rainy seasons that immediately preceded the MSS acquisition dates. Water balance equations for a catchment are commonly given as  $P = (QR) + E \pm \Delta V$ , where  $P$  is precipitation,  $Q$  is runoff,  $R$  is a runoff coefficient ( $0 \leq R \leq 1$ ),  $E$  is total evapotranspiration loss, and  $V$  represents storage. Tank water stocks on the registration dates were calculated by considering that  $V_i = P_i - (E_i + S_i)$ , where  $V_i$  is water volume,  $P_i$  is rainfall over the tank surface,  $E_i$  is evaporation of the tank water, and  $S_i$  is seepage loss.

[29] A precipitation map was prepared by nearest-neighbor interpolation of data known for 10 rainfall stations. The catchment area for all tanks was also estimated. Given the low-gradient topography of the plain, it proved impossible to reliably establish microcatchment boundaries from digital elevation models such as the Shuttle Radar

Topography Mission (90-m resolution) because flow grid algorithms perform poorly on flat topography at that resolution. Instead, a buffer zone mimicking the catchment areas was drawn around the tanks in the GIS. Buffer radius,  $r$  (m), was set to be proportional to tank surface area,  $A$  ( $m^2$ ). Using the ad hoc formula  $r = kA$ , the aggregate buffer area obtained with  $k = 10^{-3} (m^{-1})$  provided a value of  $3496 \text{ km}^2$  for a total tank water surface area of  $855 \text{ km}^2$ , i.e., a catchment-to-tank surface area ratio of 1:4. This is in broad agreement with empirical evidence for the region. Although for technical reasons the buffers do not strictly coincide with the true geographic boundaries of the catchment areas, the practical adequacy of observing a realistic catchment-to-tank surface area ratio is sufficient for the purpose of establishing a simple water balance at this regional scale. Furthermore, the buffer approach is consistent with evidence that closely spaced tanks form tank groups that collectively share a vast, continuous catchment area [Morse, 2003]. In those areas, double counting of buffers was avoided.

[30] In order to incorporate runoff coefficients into the water balance, two vector layers were generated in the GIS for land cover and soil texture, respectively. Land cover classes were calculated on the basis of a normalized vegetation index (NDVI) defined as  $\text{NDVI} = (\text{MSS 6 minus MSS 5}) / (\text{MSS 6 plus MSS 5})$ . An NDVI threshold set on  $+0.3$  adequately distinguished between bare soil ( $<0.3$ ) and vegetated areas ( $>0.3$ ). Soil texture was obtained by digitizing and georeferencing the 1:500,000 Soil resource map of Tamil Nadu [Natarajan et al., 1996]. Three texture classes defined as clay, clay loam, and sandy loam were extracted on the basis of exhaustive inventories provided by Natarajan et al. [1996] and were attributed to the runoff coefficients commonly recommended for Indian soil conditions [e.g., Tideman, 1996]. Polygon overlay and intersection produced six runoff classes (Table 2).

[31]  $P_i$  was obtained by multiplying the tank surface areas by rainfall depths as provided by the interpolated rainfall map. For evaporation and seepage, data available for tanks in Sri Lanka under climatically similar conditions were used [Jayatilaka et al., 2003]. Daily evaporation rates are 4–

Table 3. Regional Water Balance for the Rainy Seasons Preceding Capture of MSS 153/53 and 154/53

	Sep	Oct	Nov	Dec	15 Jan
		<i>Input<sup>a</sup></i>			
Rain on tank, $m^3$	84,704,076	358,781,641	151,440,273	161,144,956	0
Runoff, $m^3$	171,652,617	724,174,710	327,955,947	354,575,372	0
		<i>Loss<sup>a</sup></i>			
Evaporation, $m^3$					
6 mm $d^{-1}$	153,987,495				
5 mm $d^{-1}$		128,322,913			64,161,456
4 mm $d^{-1}$			102,658,330	102,658,330	
Infiltration, <sup>b</sup> $m^3$	51,184,599 (50)	251,454,509 (25)	226,220,283 (20)	263,588,626 (20)	247,548,262 (25)
Water balance at end of month, $m^3$	51,184,599	754,363,528	904,881,134	1,054,354,506	742,644,787

<sup>a</sup>As commonly observed, the tanks are considered totally empty at the beginning of September. To obtain water volumes, the reference tank area used was the aquatic surface area measured on the MSS image registration dates. This is an approximation inasmuch as it overlooks the growth of water surface area between September and January, which is unknown but would affect infiltration and evaporation because these are some functions of surface area. Magnitudes of inaccuracy related to this will depend on the form of the depth-to-area curve over time, with smallest error if tank area grows much faster than tank depth.

<sup>b</sup>Infiltration is calculated as daily rate (given in parentheses) multiplied by 30 d on the basis of data provided by Jayatilaka et al. [2003]. Values decline as a function of temperature with the cooler months.



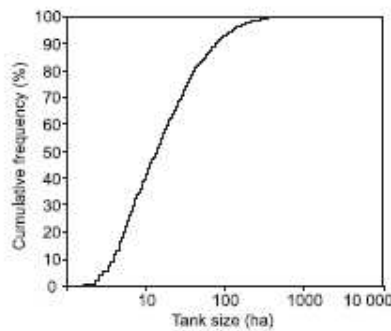


Figure 9. Cumulative distribution of tank sizes across study area as detected after PCA classification on the MSS images.

6 mm depending on the month, and monthly seepage losses occur at rates of 20–50% of the water stock (Table 3).

### 3. Results

#### 3.1. Comparison Between Image Processing Methods

[32] In order to determine the most accurate method of tank detection, we performed a comparison between the binary images produced by each of the three water detection methods described in section 2.3.2. Tests were deliberately performed on the MSS 153/53 image because it not only presented signs of heterogeneity in water body spectral responses but also exhibited some cloud cover in its southwest corner. Because of the common occurrence of clouds in tropical settings and the potential for mistaking cloud shadows for water surfaces due to an overlap in spectral response patterns, it seemed useful to test the capacity of reservoir detection methods to avoid confusion with cloud shadows. After removal of noise by geodesic operations (see section 2.3.2), an analysis of spectral signatures backed up by visual analysis allowed a comparison to be drawn between each of the three methods. Table 1 shows that means of the spectral response values obtained with the PCA and NDWI methods for the entire image were very similar in all the bands. Moreover, the ranges defined by these two methods match well with the outlines of different water bodies identified visually as tanks on a false color composite of MSS 153/53. In contrast, the threshold method presented lower values of means in the first three bands. This indicates that this method does not detect shallower water bodies located on brighter soils because these soil types increase the spectral responses in all MSS bands, and particularly in MSS 7, which is the discriminating channel for such surface features. Thresholding also tended to classify as aquatic surfaces wet dark soils that have a low spectral response in MSS 7, thereby artificially overestimating the extent of tank areas (see Table 1). Mean values obtained for the cloudy area only reinforced this bias.

[33] The other two methods produced much closer means, but the NDWI generated higher standard deviation. Standard deviation analysis provides information on levels of class heterogeneity. For a more accurate comparison, we excluded the geographic overlap areas between images and

computed mean and standard deviation values for areas classified by only one method at a time (representing 8.41 km<sup>2</sup> for the PCA method and 7.01 km<sup>2</sup> for the NDWI method; see Table 1). The NDWI showed not only higher standard deviation values but also lower means, indicating the relative inability to filter out some cloud shadows. The PCA produced slightly higher means than in the previous experiment because the radiance of lateritic soils present in the cloudy areas increased reflectance values. However, PCA also generated lower standard deviation values, thus implying a greater homogeneity in spectral responses.

[34] In summary, although the NDWI method seems well suited to the detection of water bodies in cloud-free zones, its performance is challenged in the presence of cloud shadows. Thresholding of MSS 7 proved suitable for detecting water pixels but, in agreement with caveats formulated by *Frazier and Page* [2000], tended to include a relatively high proportion of pixels that did not belong to water bodies. Ultimately, even though some pixels remained misclassified, the PCA method performed best in distinguishing cloud shadows from water surfaces (as seen in Figures 4 and 7). Table 1 also shows that both the PCA and NDWI methods provide more conservative estimates of water surface areas than the threshold method. This is important because the risk of overestimating water reserves as a consequence of artifacts in data processing is detrimental to the precautionary requirements of water resource management, forecasting, and planning (compare Figures 7b, 7c, and 7d). Because of its all-around stability, accuracy, mathematical transparency, and replicability, the PCA method came out as the most recommendable for the detection of water surfaces based on reflectance values and was preferred in the subsequent steps of the change detection procedure.

#### 3.2. Water Resources

##### 3.2.1. Detection of Reservoir Beds

[35] Out of the 11,310 km<sup>2</sup> of the total study area, tanks cover 7.6% of the land surface. In general, it is established that in south India the ratio between tank command area and water spread area is close to 1 [*Mosse*, 1997]. It can therefore be estimated that the tank-irrigated area during the 1970s was ~85,500 ha, so the area devoted to tanks and their irrigated perimeters was ~15% of the total land area. However, given the spatial heterogeneity in tank size, the cumulative distribution of tanks is not linear (Figure 9). Table 4 shows in detail that large tanks (>100 ha) make up 44% of the total water storage area despite representing just 7% of the total number of reservoirs. In contrast, small tanks (<10 ha) make up 41% of the total number of reservoirs but only concern 7% of the land area devoted to water storage.

Table 4. Spatial Attributes of Tanks on MSS Images

Tank Size, ha	Number of Tanks	Total Water Surface Area, km <sup>2</sup>	Relative Water Surface Area, %
<10	1017	57	7
10–100	1297	419	49
>100	180	379	44
Total	2494	855	100

Table 5. Surface Features of Tank Beds on Paired Dates

Scene	Number of Months After or Before End of Monsoon <sup>a</sup>	Year	Surface Features, %					Total
			Vegetation		Bare Soil		Water	
			Under Stress	Healthy	Dry	Wet		
142/53	+1	1991	6.3	5.4	41.3	14.5	32.5	100
	-1.75	1999	21.5	23.3	14	10	31.2	100
142/54	+1	1988	11.3	13.4	7.2	45.1	23	100
	-0.5	2000	17.2	12.3	22.2	36.8	11.5	100
143/53	+3.75	1990	18.4	6.6	17.6	52.5	4.9	100
	+4.5	2001	11.1	7.4	33.4	38.4	9.7	100

<sup>a</sup>Months after are represented by plus signs, and months before are represented by minus signs.

### 3.2.2. Surface Features in Tank Beds From Landsat TM and ETM+ Images

[36] Among the five land surface categories defined in section 2.3.3, healthy vegetation is defined by high reflectance values in the NIR and low reflectance values in the MIR (see auxiliary material, Figure S2). It typifies plants during their growth seasons, a time when they also exhibit a relatively broad surface area. This category corresponds to (1) grassy cover colonizing exposed tank beds, (2) irrigated crop encroachment onto the tank bed, and/or (3) trees planted on tank foreshores as a component of social forestry programs. The presence of healthy vegetation during the dry season, for instance, indicates some form of agricultural land use. Distinction between these categories would require greater pixel resolution than is provided by the images used, but high-resolution imagery such as that provided by Google Earth confirms that all three of these situations exist.

[37] Vegetation under stress contrasts with healthy vegetation by subdued reflectance values in the NIR and higher values in the MIR (see auxiliary material, Figure S2). It would correspond to woody or herbaceous plants in the process of aging or desiccation. Ground cover in such areas is incomplete, and the spectral response is thus blurred by the exposure of bare soil. In any season, the presence of this

land use category suggests at least temporarily limited tank use or maintenance.

[38] Dry bare soil is characterized by high reflectance in both the visible and IR spectra (see auxiliary material, Figure S2) and indicates prolonged empty tank conditions. MIR values are critical in the appraisal of humidity because MIR corresponds to a band of almost complete water absorption. Wet bare soil differs from dry soil by lower reflectance values in the visible and MIR bands (see auxiliary material, Figure S2) and describes varying states of saturation depending on soil texture and field capacity.

[39] Table 5 provides synoptic quantitative information on change in tank bed features over time. Given that scene 142/53 (1999) was acquired before the end of the rainy season, the difference in aquatic area between 1991 and 1999 does not indicate a decrease in the primary function of the tanks. Scenes corresponding to 143/53 were acquired during the dry season and are therefore of little use in assessing postmonsoon water levels. Finally, differences between the two images of scene 142/53 are minimal and are chiefly explained by rainfall totals (see Table 5). At this scale, the maximum relative aquatic surface area obtained from the images was ~32.5% (on TM 142/53). It can be inferred that the principal period of decline in tank water

		Initial State: 1991 (TM 142/53)				
		Water	Wet bare soil	Vegetation Under stress	Healthy vegetation	Dry bare soil
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Final state: 1999 (ETM+ 142/53)	Unclassified	1.2	1.3	0.8	1.2	1.2
	Water	50	32.7	12	7.6	20.6
	Wet bare soil	9.7	13.3	8.9	8.1	9
	Vegetation Under stress	14.5	20.1	27.3	24	24.8
	Healthy vegetation	15.7	24.4	46.5	54	19.3
	Dry bare soil	7.3	6.8	2.1	2.9	24.6
	Clouds	1.5	1.3	2.4	2.3	0.7
	Class Total	100	100	100	100	100
	Class Changes	49.9	86.7	72.7	46.1	75.4
	Image Difference	-5.1	-31.7	+245.7	+328.3	-66.4

Figure 10. Change detection matrix of surface features (1991–1999) on scene 142/53. Class changes is the percentage of the initial class that evolved toward a different surface feature. Image difference is the evolution of a surface feature over the entire image area between initial and final state and is expressed in percent.

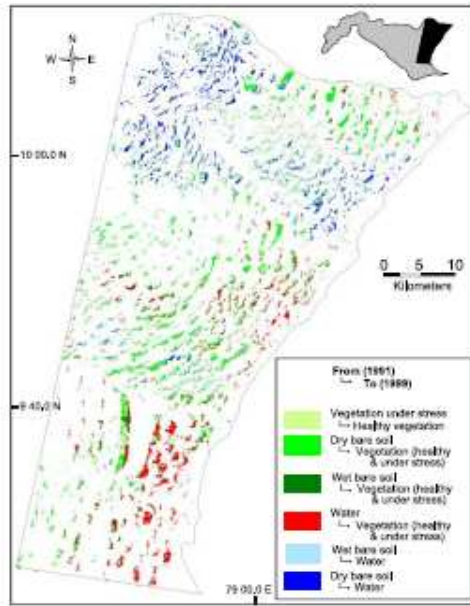


Figure 11. Change detection map of tank beds on scene 142/53 between 1991 and 1999. Area is identical to that displayed in Figure 4.

storage occurred between the 1970s and early 1990s. Most of the decrease observed between the early and late 1990s can be explained by monsoon variability. Nevertheless, other surface features, particularly vegetation, remain good proxies for assessing the challenges facing tanks as water storage devices.

### 3.2.3. Change Detection of Soil Surface Features Within Tank Beds

[40] Change statistics are compiled in Figure 10. They describe detected changes in surface features on tank beds within each of the five previously defined land cover classes (see section 2.3.3). Twenty ( $(5 \times 5) - 5$ ) dynamic classes were thus generated. The accuracy of this change detection method is clearly a function of the quality of the classification method previously carried out.

[41] Change detection maps are one of the key outputs of multitemporal image analysis. However, the large number of change detection classes is restricted here to relatively small surface areas, i.e., tank beds, and therefore raises problems of visual representation. Two approaches were possible in this respect. One would have been to produce detection maps restricted to one class at a time. Collectively, the maps would have contained all the information but would have remained unattractive. The other method, used here, attempts to display on a single map the quantitatively most significant changes alongside changes that are deemed qualitatively unique or unexpected (Figure 11). The number of change classes is therefore much reduced, and the map output is more intelligible.

[42] In Figure 11, all classes represent from-to changes exceeding 20% of the initial state. Both of the vegetation classes were clustered because the presence of either category in a tank bed reflects a relative decline in the primary function of the tank, i.e., water storage. Not only does the change detection matrix (Figure 10) highlight a net increase in vegetation cover (vegetation under stress, +245% and healthy vegetation, +328%), mainly at the expense of bare soil (wet, -31% and dry, -66%), but the map additionally indicates that vegetation shows little sign of recession wherever it had already established itself in 1991. In this particular example, also note from Figure 10 that total aquatic surface areas have only fallen by 5% between the two dates. However, the map shows that the spatial distribution of aquatic surfaces has changed. Together, these indications suggest that the observed change in spatial patterns may have more to do with land use and social parameters than with rainfall. Figure 11 highlights a contrast between three distinct zones: in the south, areas either previously flooded or exhibiting bare soil in 1991 were vegetated in 1999; in the center, bare soil in 1991 had become vegetated in 1999; and in the north, aquatic surfaces during the same period increased over exposed bare soil.

[43] The detected progression of vegetation in tank beds that were flooded in 1973 was independently confirmed by the computation of an NDVI. The difference between the initial (1991) and final (1999) indices produces a map (see auxiliary material, Figure S3) that reveals a net increase in biomass in several areas of the image but most conspicuously within the tank beds. Mapping changes in surface features reveals local dynamics, spatial discontinuities, and homogeneous small areas. All of these are useful to water resources research because they may reflect common cultural values, agricultural practices, or ecological adaptations.

### 3.2.4. Estimation of Water Stocks by Remote Sensing

[44] Overall, within the uncertainty limits of the synoptic method employed, the 1973 mean total volume of tank water (obtained as the averaged sum of class means) stored in the study area at the end of the rainy season was  $846 \times 10^6 \text{ m}^3$ , representing an average tank depth of  $\sim 0.88 \text{ m}$ . Given the characteristics of the 1972 and 1978 rainfall years, this value is an estimate of the basin's potential for tank irrigation at above-average tank capacity. Below we illustrate the kind of additional information that can be extracted from the approach presented.

[45] Certain water stock values are directly comparable (Table 6). For instance, compared to the situation on 21 January 1973, water stocks on 29 January 1991 were reduced by  $0.277 \text{ km}^3$  because of a relative rainfall deficit having occurred in late 1990. A paddy crop in Tamil Nadu requires  $\sim 1200 \text{ mm}$  of water [Gourou, 2000], and seasonal consumptive use for other crops can be calculated in this way on the basis of the widely used Blaney-Criddle method [Blaney and Criddle, 1962]. By extrapolation, the deficit in tank water for 1991 implies a reduction in tank-irrigated paddy crops of  $23,083 \text{ ha}$  out of the  $253,300 \text{ ha}$  total for scene 142/53. Such deficit situations would call for some compensatory mechanism from irrigation sources other than tanks. A relative water deficit also occurred in 1999, with a calculated volume loss of  $0.050 \text{ km}^3$  compared to 1991. Note, however, that the 11 November 1999 registration date falls only halfway through the rainy season.

Table 6. Volumetric Water Stocks in the Tanks of the Study Area on Different Dates<sup>a</sup>

Scene (World Reference System 2)	Sensor	Date	Seasonal Rain Already Fallen on Image Acquisition Date, mm	Number of Months After and Before the End of the Monsoon Season <sup>b</sup>	Mean Volume, 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
142/53	MSS	21 Jan 1973	575	+0.75	460
	TM	29 Jan 1991	555	+1	183
143/53	ETM+	11 Nov 1999	335	-1.75	133
	MSS	21 Jan 1973 and 8 Jan 1979	682	+0.25 and +0.75	686
	TM	23 April 1990		+3.75	33
142/54	ETM+	15 May 2001		+4.5	38
	MSS	21 Jan 1973 and 29 Jan 1979	682	+0.25 and +0.75	103
	TM	6 Feb 1988	763	+1	29
	ETM+	15 Dec 2000	549	-0.5	11

<sup>a</sup>Rainfall stations used are Ramanathapuram (scene 142/53), Melur-Kamadi (scene 143/53), and Ramanathapuram-Vattanam (scene 142/54). Mean seasonal rainfall (October to December) for Ramanathapuram (1941–2000), 578 mm; Melur (1901–2004), 411 mm; Vattanam (1941–2000), 500 mm; and Kamadi (1941–2000), 375 mm.

<sup>b</sup>Months after are represented by plus signs, and months before are represented by minus signs.

[46] For scene 143/53, only surface water resources for 1990 and 2001 are comparable week for week. The relatively higher water levels in 2001 reflect an upturn in rainfall after a prolonged period of relative deficit during the 1990s. However, the presence of tank water in April, i.e., 4 months after the rainy season but also soon after the secondary rainfall peak that normally occurs around that time (see Figure 3a), could be the result of an efficient management of the tank system and its water resources. The water-filled tanks during this season are small. Such size-related heterogeneity indicates that smaller tanks are more efficient than larger reservoirs at storing runoff associated with limited rainfall episodes such as this springtime rainfall peak. This advantage is likely related to smaller runoff concentration times in small catchments.

[47] With only a small offset in anniversary dates, the three images corresponding to scene 142/54 can also undergo comparison. Despite comparable rainfall settings in 1988 and 2000, a 72% difference and an 89% difference in water stocks are observed between the 1973 reference values and those of 1988 and 2000, respectively. Such a sharp difference could, for instance, be interpreted as a decline and express growing disaffection among farming communities for tank irrigation, accompanied by infrastructural degradation, a related decline in tank storage capacity, and a corresponding reliance on private bore well irrigation.

[48] In summary, the tentative socioeconomic interpretations given here are predicated on the widely documented basis that social disaffection for tank maintenance has grown over the last few decades. Clearly, at least in theory, alternative explanations could be hypothesized: for instance, different rules of water use between communities could explain some of the observed variability in water stocks at a given date. Ultimately, the accuracy of any of these interpretations requires testing with ground surveys, but the purpose of this essentially methodological study is to show the value of remote sensing as a tool in water resources research for outlining working hypotheses, mapping geographic anomalies, detecting potential problem areas, and designing field surveys more efficiently.

### 3.2.5. Estimation of Water Stocks by the Water Balance Approach

[49] The water balance approach (Table 3) yielded a water stock of  $\sim 0.743$  km<sup>3</sup>, which differs from the remote sensing-based calculation by  $\sim 0.104$  km<sup>3</sup>. Despite the

sensitivity of the water balance model to input parameter values such as buffer size (i.e., catchment-to-tank size ratio), runoff coefficient, or evaporation and seepage rates, the results obtained independently by those two water accounting methods are therefore of the same order of magnitude and suggest reasonable accuracy.

## 4. Discussion

[50] The remote sensing procedure chiefly requires an identification of parameters causing variations in spectral response as a function of water depth. Relative depth mapping is only possible because Indian tanks are relatively shallow water bodies. It would not work for water depths exceeding a few meters, which also means that in the case of tanks, error margins are limited; that is, there is a ceiling on error that prevents water stock estimates from being absurdly inaccurate. As such, the remote sensing approach appears to be easier to implement than a water balance method because it involves the acquisition of a smaller number of parameters from independent sources. The risk of error propagation in subsequent calculations is therefore also probably smaller.

[51] Precision on water stock calculations is partly related to the intrinsic limitations of satellite imagery for calculating aquatic surface areas. Regarding spatial resolution, for instance, some pixels located at the tank edge with MSS are likely to have been wrongly detected as either water or soil with the consequence of overestimating or underestimating tank area. Very small water bodies could also be missed, although in south India, reservoirs below the detection threshold of Landsat MSS and TM are dedicated to drinking water storage and therefore are irrelevant to this study. Another difficulty is that satellite imagery will not easily distinguish system tanks from nonsystem tanks without independent knowledge and may thus mistake some rain-fed tanks (which, however, represent an overwhelming majority) for river-fed reservoirs. Nevertheless, it remains possible to increase image resolution by using other satellite sources, and future tests should be able to constrain the magnitude of these imprecisions. A trade-off, however, between the higher resolution of recent satellite sensors and the historical time depth provided by the older MSS Landsat data is inevitable.

[52] Likewise, temporal resolution can be increased by using closely spaced pass dates, for instance, over the

Table 7. Synthesis of Land Use Dynamics in Tank Beds Detected Between 1973 and 2001

Process	Land Use in Tank Bed	Socioeconomic Interpretation <sup>a</sup>
Steady water storage capacity	High priority attached to water conservation	Collective tank maintenance upheld, social cohesion
Encroachment by herbaceous vegetation	Low priority attached to water conservation, reduced storage	Disaffection for tank irrigation, overtaken by groundwater irrigation
Lasting colonization by woody vegetation and other land uses	Low priority attached to water conservation; social forestry, agriculture, and buildings in tank bed	Decline of the tank as an irrigation tool, diversification of land use in tank bed

<sup>a</sup>The socioeconomic interpretation is hypothetical.

course of a cropping season. This could even provide the basis for a movie of tank water depletion over time and would be a way of detecting geographic patterns of asynchronicity in water release practices, possibly revealing variability in social rules. A denser grid of rainfall stations and water depth databases made available by appropriate authorities would also be desirable because this ultimately determines the calculation of the key parameter of interest, namely, water volumes.

[53] In summary, despite scope for improved calibration of quantitative results against higher-resolution data, this pilot study has brought out sharp subregional contrasts in terms of water resource potential and change in water-harvesting conditions over time. Table 7 summarizes the main evolutionary trends observed. The proposed approach is a step toward helping water management authorities on the ground to collect and compile data that will be relevant to the improvement of the remote sensing-based approach we advocate.

[54] Tank rehabilitation is only one of the possible solutions toward improving sustainable water resource management in south India. However, because of ongoing groundwater mining and high rainfall variability, tank upkeep is more than just an optional fallback. Lasting changes detected in the surface features of tank beds reflect local changes in village socioeconomic life that call for ground investigation and the possible implementation of appropriate policies or incentives. The synoptic appraisal of water-harvesting infrastructures may also assist in planning new structures for suitable land systems in other semiarid regions of the world [e.g., Tauer and Humborg, 1993]. Water harvesting structures similar to Indian tanks, although not always functionally or structurally identical, exist, for instance, in parts of northeast Brazil, Ghana, Sri Lanka, Sudan, Thailand, and northern India [e.g., Prinz, 1996; Thiruvengadachari and Sakthivadivel, 1997; Barrow, 1999; Antonino et al., 2005; Liebe et al., 2005].

## 5. Conclusion

[55] The synoptic, multispectral, multiresolution, and multivariate approach developed in this study serves the purpose of establishing regional water resource inventories. It also assists in mapping spatial heterogeneities in water stocks and land use detected over user-defined time intervals. Results have suggested that climatic variability may not be the only cause of fluctuating water levels. Contrasts in the evolution of nonaquatic surface features within the confines of reservoir beds were shown to be potentially useful indicators of tank system degradation and economic performance. As such, remote sensing and GIS integration

provide powerful tools for building hypotheses and for crafting efficient field surveys designed to investigate how institutional, social, or economic factors affect the relationship between local populations and their water resources. Among available methods of water detection in remote sensing, unsupervised pixel classification based on PCA appears to generate the most stable and accurate results in most respects. It is replicable and can therefore easily be tested in other settings where decision making in integrated rural management is a priority.

[56] Acknowledgments. We appreciated the thorough and challenging reviews from Hugh Turall, Associate Editor Steve Margolis, and two anonymous individuals, who contributed to improving the quality of this manuscript.

## References

- Ambast, S. K., A. K. Keshari, and A. K. Gosain (2002), Satellite remote sensing to support management of irrigation systems: Concepts and approaches, *Irrig. Drain.*, *51*, 25–39, doi:10.1002/ird.26.
- Anbumozhi, V., K. Matsumoto, and E. Yamaji (2001), Towards improved performance of irrigation tanks in semi-arid regions of India: Modernization opportunities and challenges, *Irrig. Drain. Syst.*, *15*, 293–309, doi:10.1023/A:1014420822465.
- Antonino, A. C. D., C. Hammecker, S. M. L. G. Montenegro, A. M. Netto, R. Angulo-Jamillio, and A. A. B. O. Lira (2005), Subirrigation of land bordering small reservoir in the semi-arid region in the Northeast of Brazil: Monitoring and water balance, *Agric. Water Manage.*, *73*, 131–147, doi:10.1016/j.agwat.2004.10.001.
- Balsubramanian, R., and K. N. Selvaraj (2003), Poverty, private property and common pool resource management: The case of irrigation tanks in south India, *Working Pap. 2-03*, 61 pp., S. Asian Network for Dev. and Environ. Econ., Kathmandu.
- Barrow, C. J. (1999), *Alternative Irrigation: The Promise of Runoff Agriculture*, 172 pp., Earthscan, London.
- Blaney, H. F., and W. D. Criddle (1962), Determining consumptive use and irrigation water requirements, *Tech. Bull. 1275*, Agric. Res. Serv., U.S. Dep. Of Agric., Washington, D. C.
- Frazier, P. S., and K. J. Page (2000), Water body detection and delineation with Landsat TM data, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, *66*, 1461–1467.
- Gao, B. C. (1996), NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sens. Environ.*, *58*, 257–266, doi:10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
- Goutou, P. (2000), *Riz et Civilisation* (in French), 299 pp., Fayard, Paris.
- Gunnell, Y., and K. Anupama (2003), Past and present status of runoff harvesting systems in dryland peninsular India: A critical review, *Ambio*, *32*, 320–324, doi:10.1639/0044-7447(2003)032[0320:PAPSOR]2.0.CO;2.
- Gunnell, Y., K. Anupama, and B. Sultan (2007), Response of the south Indian runoff-harvesting civilization to northeast monsoon rainfall variability during the last 2000 years: Instrumental records and indirect evidence, *Holocene*, *17*, 207–215, doi:10.1177/095963607075835.
- Jayatilaka, C. J., R. Sakthivadivel, Y. Shinogi, I. W. Makin, and P. Witharana (2003), A simple water balance modeling approach for determining water availability in an irrigation tank cascade system, *J. Hydrol.*, *273*, 81–102, doi:10.1016/S0022-1694(02)00360-8.
- Kajisa, K., K. Palanisami, and T. Sakumi (2004), Declines in the collective management of tank irrigation and their impact on income distribution and poverty in Tamil Nadu, India, *Discuss. Pap. Ser. Int. Dev. Strategies 2004-08-005*, 29 pp., Found. for Adv. Stud. on Int. Dev., Tokyo.

- Li, Q., and J. Gowing (2005), A daily water balance modelling approach for simulating performance of tank-based irrigation systems, *Water Resour. Manage.*, **19**, 211–233, doi:10.1007/s11269-005-2702-9.
- Liebe, J., N. van de Giesen, and M. Andreini (2005), Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: A case study in the Upper East region of Ghana, *Phys. Chem. Earth*, **30**, 448–454.
- Mia, J.-F. (1999), Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques, *Int. J. Remote Sens.*, **20**, 139–152, doi:10.1080/01431699213659.
- Mosse, D. (1997), Ecological zones and culture of collective action: The history and social organization of a tank irrigation system in Tamil Nadu, *S. Indian Stud.*, **3**, 1–88.
- Mosse, D. (2003), *The Role of Water: Statecraft, Ecology and Collective Action in South India*, 337 pp., Oxford Univ. Press, New Delhi.
- Natarajan, A., P. S. A. Reddy, A. D. Mosi, and J. Sehgal (Eds.) (1996), Soil resource map of Tamil Nadu, *Map 9*, 4 sheets, 1:500,000, Natl. Bur. of Soil Surv. and Land Use Plann., Nagpur, India.
- Ouma, Y. O., and R. Tateishi (2006), A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: An empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data, *Int. J. Remote Sens.*, **27**, 3153–3181, doi:10.1080/01431660500309934.
- Palanisami, K., and K. W. Easter (1987), Small-scale surface (tank) irrigation in Asia, *Water Resour. Res.*, **23**, 774–780, doi:10.1029/WR023i005p00774.
- Palanisami, K., and R. Meinzen-Dick (2001), Tank performance and multiple uses in Tamil Nadu, south India, *Irrig. Drain. Syst.*, **15**, 173–195, doi:10.1023/A:1012927722965.
- Prasad, K. S. S., S. Gopi, and R. S. Rao (1993), Watershed prioritisation using remote sensing techniques—A case study of the Mahabubnagar district, Andhra Pradesh, India, *Int. J. Remote Sens.*, **14**, 3239–3247, doi:10.1080/0143169308904438.
- Prinz, D. (1996), Water harvesting: Past and future, in *Sustainability of Irrigated Agriculture*, edited by L. S. Pereira, pp. 135–144, A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Ranganathan, C. R., and K. Palanisami (2004), Modelling economics of conjunctive surface and groundwater irrigation systems, *Irrig. Drain. Syst.*, **18**, 127–143, doi:10.1023/B:IRRI.0000040251.52864.7e.
- Rao, R. S., M. Venkataswamy, C. Mastan Rao, and G. V. A. Ramu Krishna (1993), Identification of overdeveloped zones of ground water and the location of rainwater harvesting structures using an integrated remote sensing based approach—A case study in part of the Anantapur district, Andhra Pradesh, India, *Int. J. Remote Sens.*, **14**, 3231–3237, doi:10.1080/0143169308904437.
- Rao, V. V., and A. K. Chakraborti (2000), Water balance study and conjunctive water use planning in an irrigation canal command area: A remote sensing perspective, *Int. J. Remote Sens.*, **21**, 3227–3238, doi:10.1080/014316600750019859.
- Richards, J. A. (1999), *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, 240 pp., Springer, Berlin.
- Sakumi, T., and K. Palanisami (2001), Tank irrigation management as a local common property: The case of Tamil Nadu, India, *Agric. Econ.*, **25**, 273–283, doi:10.1111/j.1574-0862.2001.tb00207.x.
- Serra, J. (1982), *Image Analysis and Mathematical Morphology*, 600 pp., Academic, London.
- Sharma, A. (2003), Rethinking tanks: Opportunities for revitalizing irrigation tanks—Empirical findings from Anantapur district, Andhra Pradesh, India, *Working Pap.*, **62**, 16 pp., Intl. Water Manage. Inst., Colombo.
- Taser, W., and G. Humborg (1993), *Irrigation par Ruissellement au Sahel: Télédétection et Systèmes d'Information Géographique pour Déterminer les Sites Potentiels*, 192 pp., Cent. Tech. de Coop. Agricole et Rurale, Wageningen, Netherlands.
- Thiruvengadachan, S., and R. Sakthivadivel (1997), Satellite remote sensing for assessment of irrigation system performance: A case study in India, *Res. Rep.*, **9**, 23 pp., Intl. Irrig. Manage. Inst., Colombo.
- Tideman, E. M. (1996), *Watershed Management: Guidelines for Indian Conditions*, 372 pp., Omega Sci., New Delhi.
- Vaidyanathan, A. (2001), *Tanks of South India*, 178 pp., Cent. for Sci. and Environ., New Delhi.

Y. Gunnell, Department of Geography, UMR 8591, CNRS, Université Paris VII-Diderot, Case Courrier 7001, 2 Place Jussieu, F-75205 Paris Cedex 13, France. (gunnell@paris7.jussieu.fr)

C. Mering and F. Mialhe, Department of Geography, UMR 8586, CNRS, Université Paris VII-Diderot, Case Courrier 7001, 2 Place Jussieu, F-75205 Paris Cedex 13, France.

## **Annexe 10 - Poster**

Présenté à International Symposium – Scottish Aquaculture A sustainable Future, 21-22 avril 2009, Edimbourg





## Liste des Figures

Figure Annexes 1 - Le spectre électromagnétique .....	5
Figure Annexes 2 - Localisation des zones de vérité terrain (MSS 1977).....	12
Figure Annexes 3 - Localisation des zones de vérité terrain (MSS 1982).....	13
Figure Annexes 4 - Localisation des zones de vérité terrain (MSS 1983).....	14
Figure Annexes 5 - Localisation des zones de vérité terrain (ETM+ 2000) .....	15
Figure Annexes 6 - Localisation des zones de vérité terrain (Spot 5 2003).....	16
Figure Annexes 7 - Localisation des zones de vérité terrain (Spot 5 2004).....	17
Figure Annexes 8 - Localisation des zones de vérité terrain (Spot 5 2007).....	18
Figure Annexes 9 - Nombre d'étangs et écart de superficie relatif moyen de l'image Landsat TM 1991 .....	20
Figure Annexes 10 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image Landsat ETM+ 2000 .....	20
Figure Annexes 11 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT5 2003.....	21
Figure Annexes 12 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2003 fusionnée .....	22
Figure Annexes 13 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2004 .....	22
Figure Annexes 14 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2004 .....	23
Figure Annexes 15 -Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2007 fusionnée .....	23
Figure Annexes 16 - Nombre d'étangs et écart relatif moyen de l'image SPOT 5 de 2007 fusionnée .....	24
Figure Annexes 17 - Cartes d'occupation du sol de Hagonoy.....	33
Figure Annexes 18 - Cartes d'occupation du sol de Lubao .....	34
Figure Annexes 19 - Cartes d'occupation du sol de Macabebe.....	35
Figure Annexes 20 -Cartes d'occupation du sol de Masantol .....	36
Figure Annexes 21 - Cartes d'occupation du sol de Minalin.....	37
Figure Annexes 22 -Cartes d'occupation du sol de Sasmoan.....	38
Figure Annexes 23 - Poster présenté à l'International Symposium (Scottish Aquaculture Researc Forum.....	88

## Liste des tableaux

Tableau Annexes 1 - Matrice de confusion (MSS 77) .....	12
Tableau Annexes 2 - Précisions producteur et utilisateur (MSS 77) .....	12
Tableau Annexes 3 - Matrice de confusion (MSS 82) .....	13
Tableau Annexes 4 - Précisions producteur et utilisateur (MSS 82) .....	13
Tableau Annexes 5 - Matrice de confusion (MSS 83) .....	14
Tableau Annexes 6 - Précisions producteur et utilisateur (MSS 83) .....	14
Tableau Annexes 7 - Matrice de confusion (ETM+ 2000) .....	15
Tableau Annexes 8 - Précisions producteur et utilisateur (ETM+ 2000).....	15
Tableau Annexes 9 - Matrice de confusion (Spot ( 2003) .....	16
Tableau Annexes 10 - Précisions producteur et utilisateur (Spot 5 2003).....	16
Tableau Annexes 11 - Matrice de confusion (Spot 5 2004).....	17
Tableau Annexes 12 - Précisions producteur et utilisateur (Spot 5 2004).....	17
Tableau Annexes 13 - Matrice de confusion (Spot 5 2007).....	18
Tableau Annexes 14 - Précisions producteur et utilisateur (Spot 5 2007).....	18

**UNIVERSITE PARIS.DIDEROT (Paris 7)**

**ECOLE DOCTORALE 382**  
**Economies Espaces Sociétés Civilisations : pensée critique,**  
**politique et pratiques sociales.**

**DOCTORAT**  
**Géographie et Environnement**

**MIALHE François**

---

**Le développement de l'aquaculture saumâtre**  
**dans l'Aire Pacifique**

---

**Evolution des paysages, dynamiques socio-économiques et**  
**impacts environnementaux dans deux territoires au Pérou et aux**  
**Philippines**

# **ANNEXES**

**Thèse dirigée par MERING Catherine**