

Typologies et biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie

Programme ZoNéCo – Opération 2006

Rapport intermédiaire : Approche par la télédétection

1	Introduction	2
2	Etude bibliographique	2
2.1	Classification non supervisée	2
2.2	Classification supervisée	2
2.3	Classification utilisant les néo-canaux	4
2.4	Classification par la texture	5
2.5	Classification par l'approche objet	5
2.6	Préparatifs pour la classification	5
2.7	Traitements post-classification	7
2.8	Validation	8
2.9	Récapitulatif des méthodes de classification	9
3	Matériels	11
3.1	Zones d'étude	11
3.2	Images SPOT 5	11
3.3	Signatures spectrales	13
3.4	Données annexes	18
4	Méthodologie	19
4.1	Tests sur la zone de Dumbéa	19
4.2	Classification de la zone de Moindou en utilisant la méthodologie élaborée sur la zone de Dumbéa	Erreur ! Signet non défini.
5	Résultats	20
5.1	Zone de Dumbéa	20
5.2	Zone de Moindou	Erreur ! Signet non défini.
6	Discussion	Erreur ! Signet non défini.
7	Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
8	Références	22
9	Annexes	24
9.1	Métadonnées des images SPOT	24
9.2	Classifications non supervisées à 50 classes de la zone de Dumbéa	30

1 Introduction

Dans le cadre du projet ZoNéCo sur la typologie est la biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie, une étude est menée sur la possibilité de cartographier les mangroves à partir des images SPOT 5 déjà disponibles qui couvrent l'ensemble du territoire. L'objectif est de développer une méthodologie qui soit applicable à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie et qui donc n'utiliserait que des données exogènes existant pour tout le territoire. De nombreuses méthodes de classification d'images ont été appliquées aux mangroves. Il faut donc tester ces méthodes sur une zone pilote en Nouvelle-Calédonie puis voir si elles sont extrapolables à l'ensemble du territoire. Une recherche bibliographique sur les méthodes de classification des mangroves est donc nécessaire avant de commencer les tests. Ce rapport récapitule les différentes méthodes utilisées jusqu'à présent pour la classification des mangroves par télédétection et donne quelques références bibliographiques pour chaque méthode.

2 Etude bibliographique

Tout d'abord, il est important de noter que toute classification des formations de mangroves doit tenir compte des autres types d'occupation des terres présents sur l'images satellite : mer, autres formations végétales, sol nu et bâtiments car leur omission détériorerait la qualité de la classification obtenue (2004).

Plusieurs méthodes de classification d'images satellites ont été testées dans le cadre des forêts de mangroves : la classification non supervisée, la classification supervisée, les néo-canaux, l'approche par la texture et l'approche objet.

2.1 Classification non supervisée

Dans leur synthèse bibliographique sur les méthodes de traitement d'images pour la cartographie des mangroves, Green et al. (1998) avaient recensé 4 études ayant utilisé la classification non supervisée. Woodfine (1991) ne parvint pas à distinguer les mangroves des autres formations forestières de façon satisfaisante sur son image Landsat TM. Chaudury (1990) put distinguer 4 classes selon l'espèce dominante de la mangrove en utilisant une image SPOT XS. Loo (1992) et Vits et Tacks (1995) réussirent à classer des images SPOT XS et Landsat TM en respectivement 3 et 4 classes structurales selon la densité et la hauteur des arbres. Vits et Tacks (1995) obtinrent une précision de 95% avec SPOT XS et 97% avec Landsat TM. L'accès à ces 4 publications n'ayant pas été possible, on ne sait pas quelle méthode de classification non supervisée a été utilisée pour chaque étude. Il pourrait par exemple s'agir des méthodes « isodata » ou « k-means » (Tou et Gonzalez 1974) fournies dans le logiciel de traitement d'images ENVI.

2.2 Classification supervisée

La classification supervisée est très largement employée pour classer les formations de mangroves. Des photographies aériennes ou des données de terrain sont usuellement utilisées pour définir les zones d'entraînement ainsi que pour évaluer la précision de la classification obtenue. Les différentes méthodes rencontrées dans la littérature pour la classification des mangroves sont le maximum de vraisemblance, la distance minimale, la distance de Mahalanobis, les règles de décision et l'angle spectral. D'autres méthodes sont disponibles

dans les logiciels de traitement d'images (ENVI, ERDAS) mais n'ont pas fait l'objet de publication dans le cadre de la classification des mangroves à ma connaissance. Il est donc intéressant de les tester également dans le cadre du projet ZoNéCo. Ces méthodes sont brièvement présentées dans le paragraphe 2.2.6.

2.2.1 Maximum de vraisemblance

Le maximum de vraisemblance est fréquemment utilisé pour classifier les mangroves. Wang et al. (2004a; 2004b) ont obtenu des précisions variant de 72 à 89% pour la classification des mangroves selon 3 espèces dominantes à partir d'images IKONOS et QuickBird. Leurs travaux ont montré que la prise en compte du canal PAN augmente la précision de la classification (Tableau 2). Gao (1999) a également obtenu de meilleurs résultats en utilisant le canal PAN en plus des canaux XS sur la classification d'une image SPOT (Tableau 2). Par la suite, Gao et al. (2004) appliquèrent un filtre au résultat de la classification par maximum de vraisemblance d'une image SPOT. Ils obtinrent une précision globale de 75%, avec des précisions de 46,7 et 68,3% pour l'utilisateur pour les deux classes de mangroves (chétive et luxuriante).

2.2.2 Distance minimale

Gao (1999) a essayé à la fois le maximum de vraisemblance et la distance minimale. Pour sa zone d'étude à Auckland (Nouvelle-Zélande), cette dernière produisait systématiquement de moins bons résultats et l'a donc abandonné. Saito et al. (2003) ont aussi constaté des confusions entre les classes de mangroves en utilisant la méthode de la distance minimale. Cependant, Rasolofoharino et al. (1998) avaient observé que la distance minimale distinguait bien les forêts denses et matures, les mangroves sénescents et les zones inondables tandis que le maximum de vraisemblance permettait de discriminer les tannes et les différents stades de succession de la mangrove. Pour eux, les deux méthodes sont complémentaires.

2.2.3 Distance de Mahalanobis

Saito et al. (2003) classifièrent leurs images ASTER et SPOT en utilisant la distance de Mahalanobis. Ils jugèrent les résultats obtenus pour les zones côtières satisfaisants mais observèrent des confusions entre les classes continentales.

2.2.4 Règles de décision

Gao et al. (2004) ont réalisé une classification utilisant des règles de décision. L'avantage de cette méthode est qu'ils ont pu inclure des données exogènes telles que le trait de côte dans le processus. Pour chaque classe, ils ont défini des seuils maximum et minimum pour la réflectance du pixel et spécifié la valeur de la couche « trait de côte », formant ainsi un jeu de règles de décision par classe. Chaque pixel est ensuite confronté aux jeux de règles et classifié.

2.2.5 Angle spectral

Dans la méthode de l'angle spectral, chaque pixel est considéré comme un vecteur dans un espace dont la dimensionnalité est égale au nombre de canaux de l'image. La coordonnée du vecteur dans chaque dimension est la réflectance du pixel dans le canal correspondant. Les

signatures spectrales de la librairie sont également représentées par des vecteurs. La similarité d'un pixel à une classe est mesurée par l'angle entre le vecteur du pixel et le vecteur de la signature spectral de la classe, appelé angle spectral.

Cette méthode a été mise en œuvre par Hirano et al. (2003) sur une image hyperspectrale AVIRIS pour le parc national des Everglades en Floride. Ils ont réussi à classifier la mangrove selon 3 espèces dominantes et 2 hauteurs (arboré et arbustif) avec des précisions du producteur variant de 73,5 à 95,7% pour la strate arborée et de 40 à 48% pour la strate arbustive selon l'espèce dominante.

2.2.6 Méthodes non citées dans la littérature

Certaines méthodes fournies dans les logiciels de traitement d'images n'ont pas été citées dans la littérature concernant les méthodes de classification des mangroves : méthode du parallélépipède, encodage binaire, réseau de neurones et « feature space ».

2.3 Classification utilisant les néo-canaux

Thollot et al. (1990) utilisèrent le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) :

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \text{ (où NIR = proche infrarouge et R = rouge) pour répartir la mangrove en 3}$$

classes de densité. Ils ne donnent malheureusement aucune indication sur la précision de la classification obtenue.

Meza Diaz et Blackburn (2003) ont réalisé une synthèse bibliographique sur les néo-canaux existant pour la végétation et les ont appliqués au cas des mangroves. Le Tableau 1 récapitule les différents indices de végétation.

Tableau 1 : Les indices de végétation et leur formule (NIR = proche infra-rouge, R = rouge, L = facteur d'ajustement du sol, a et b = ordonnée à l'origine et pente de la ligne de sol, i = numéro du canal, λ_i = longueur d'onde au centre du canal, ρ' = dérivée première de la réflectance et ρ'' = dérivée seconde de la réflectance).

Nom	Abréviation	Formule	Référence
Ratio vegetation index	RVI	$RVI = \frac{NIR}{R}$	(Rouse et al. 1973)
Normalized vegetation index	NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	(Jordan 1969)
Perpendicular vegetation index	PVI	$PVI = \frac{NIR - aR - b}{\sqrt{1 + a^2}}$	(Richardson et Weigand 1977)
Difference vegetation index	DVI	$DVI = NIR - R$	(Tucker 1979)
Soil adjusted vegetation index	SAVI	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \cdot (1 + L)$	(Huete 1988)
Transformed soil adjusted vegetation index	TSAVI	$TSAVI = \frac{a(NIR - aR - b)}{R + aNIR - ab}$	(Baret et al. 1989)
Soil adjusted vegetation ratio index	SAVI ₂	$SAVI_2 = \frac{NIR}{R + \frac{b}{a}}$	(Major et al. 1990)

First-order derivative green vegetation index derived using local baseline	1DL_DGVI	$1DL_DGVI = \sum_{i=1}^n \rho'(\lambda_i) - \rho'(\lambda_1) \Delta \lambda_i$	(Elvidge et Chen 1995)
First-order derivative green vegetation index derived using zero baseline	1DL_DGVI	$1DZ_DGVI = \sum_{i=1}^n \rho'(\lambda_i) \Delta \lambda_i$	(Elvidge et Chen 1995)
Second-order derivative green vegetation index derived using zero baseline	2DZ_DGVI	$2DZ_DVGI = \sum_{i=1}^n \rho''(\lambda_i) \Delta \lambda_i$	(Elvidge et Chen 1995)

2.4 Classification par la texture

En cours.

2.5 Classification par l'approche objet

En cours.

2.6 Préparatifs pour la classification

Avant de traiter l'image pour la classifier, il faut la géo-rectifier et lui appliquer une correction radiométrique. En plus de ces corrections « de routine », il faut parfois effectuer quelques opérations pour préparer la classification. Par exemple en diminuant le bruit présent dans l'image ou en utilisant des néo-canaux ou une analyse en composante principale pour améliorer la visualisation de l'image et donc la qualité de la délimitation des zones d'entraînement pour la classification supervisée. Si la résolution de l'image est trop faible, il est possible d'utiliser l'index de pureté du pixel pour trouver des pixels purs de chaque classe pour entraîner la classification.

2.6.1 Pour améliorer la visualisation et faciliter la digitisation des zones d'entraînement

2.6.1.1 Néo-canaux

Rasolofoharinoro et al. (1998) utilisèrent le NDVI et l'indice de brillance (brightness index BI) $BI = \sqrt{NIR^2 + R^2}$ pour constituer une composition colorée améliorant la visualisation de leur image SPOT. Le masque de la zone intertidale et les zones d'entraînement furent ensuite digitisés sur cette composition. Rasolofoharinoro et al. constatèrent que le NDVI discrimine bien les formations végétales denses, l'eau et les tannes tandis que le BI discrimine les sols nus de la mangrove.

Les néo-canaux peuvent également être utilisé comme des canaux spectraux sur lesquels on peut réaliser des classifications supervisées ou non supervisées (Thollot et al. 1990).

2.6.1.2 Analyse en composantes principales

Thollot et al. (1990) préparèrent leur image SPOT pour la classification en masquant les zones qui ne contenaient pas de mangrove. Ils réalisèrent ensuite une analyse en composantes

principales (ACP) pour obtenir une meilleure visualisation de l'image et mieux choisir les zones d'entraînement de la classification par maximum de vraisemblance.

2.6.1.3 Analyse en composantes principales sur canaux et néo-canaux

Suivant la méthodologie de Gray et al. (1990), Green et al. (1998) effectuèrent une ACP sur les (néo-)canaux 1, 2, 3, 2/3 et 3/1 de SPOT et 3, 4, 5, 3/5 et 5/4 de Landsat. Pour les deux capteurs, les trois canaux de l'ACP (1, 2 et 4 pour les deux capteurs) résumant la majorité de l'information spectrale de l'image furent réunis dans une image composite sur laquelle fut appliquée une classification par maximum de vraisemblance.

2.6.1.4 Index de pureté du pixel

L'index de pureté du pixel (IPP) est un moyen de trouver des pixels spectralement purs dans une image multi ou hyperspectrale. Les pixels ayant un IPP élevé sont considérés comme purs et utilisés comme des zones d'entraînement pour la classification supervisée (Hirano et al. 2003).

2.6.1.5 Classification non supervisée

Les techniques de classification non supervisée permettent de regrouper les pixels ayant des signatures spectrales similaires. Elles ont été utilisées par quelques auteurs comme aide à la délimitation des zones d'entraînement pour la classification supervisée (Chauvaud et al. 1998).

2.6.2 Amélioration spatiale ou spectrale

2.6.2.1 Réduction du bruit : fraction minimale de bruit

Dans le cas d'une image hyperspectrale ayant de nombreux canaux, il est nécessaire de réduire le bruit. Ceci peut être fait en utilisant la méthode de la fraction minimale de bruit (FMB) (Hirano et al. 2003).

2.6.2.2 Filtre 3 x 3 d'amélioration des bordures

Dans leur synthèse bibliographique, Green et al. (1998) rapportent que Woodfine (1991) utilisa un filtre 3 x 3 d'amélioration des bordures avant de réaliser une classification non supervisée. Ce filtre est particulièrement intéressant pour les pixels mixés de la bordure de la zone de mangrove : la signature spectrale de ces pixels devient plus proche ou plus éloignée de celle des mangroves.

2.6.2.3 Transformation intensité - teinte - saturation

Dans leur synthèse bibliographique, Green et al. (1998) rapportent que Vits et Tracks (1995) améliorèrent la couleur de leur image SPOT par une transformation intensité - teinte - saturation (ITS). Ils réalisèrent ensuite une classification non supervisée sur la nouvelle image.

Green et al. (1998) utilisèrent aussi la méthode de transformation ITS mais pour fusionner leur image Landsat TM avec une SPOT et ainsi obtenir une image avec les données spectrales

de Landsat et la résolution spatiale de SPOT. Cette méthode ne permet d'utiliser que 3 canaux Landsat lors de la transformation. C'est sur l'image obtenue que Green et al. testèrent différentes méthodes de classification.

2.6.2.4 Analyse en composantes principales

Toujours pour obtenir une image avec les données spectrales de Landsat et la résolution spatiale de SPOT, Green et al. (1998) utilisèrent également une ACP. Lors de la transformation inverse, ils substituèrent le canal panchromatique de SPOT au premier canal issu de l'ACP. Cette méthode permet de travailler avec l'ensemble des canaux Landsat et d'utiliser toute l'information spectrale disponible.

Chauvaud et al. (1998) réalisèrent aussi une ACP sur leurs 3 canaux visibles. Ils appliquèrent leur méthodologie de classification sur le résultat de l'ACP.

2.7 Traitements post-classification

2.7.1 Filtrage

Certains auteurs (Saito et al. 2003; Thollot et al. 1990) filtrèrent le résultat de la classification pour éliminer les pixels isolés. Gao (1999) utilisa des filtres de majorité pour corriger les pixels de zone résidentielle faussement classifiés en mangrove : un filtre de 5 x 5 pour les résultats à 20 m et un de 7 x 7 pour les résultats à 10 m.

2.7.2 Trait de côte

Le trait de côte a été utilisé pour caractériser les mangroves par Gao et al. (2004) dans le cadre de la classification par règles de décision, mais elle peut également être utilisée pour corriger le résultat de la classification, comme proposé par les auteurs.

2.7.3 Méthode de la règle de Bayes

Après avoir classifié la mangrove du cap de Talumpuk (Thaïlande) en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance, Vaiphasa et al. (2006) utilisèrent la règle de Bayes pour affiner leur classification avec une carte de pH. La règle de Bayes est présentée ci-dessous :

$$P(B_i|A) = \frac{P(A|B_i) \cdot P(B_i)}{\sum_{i=1}^n P(A|B_i) \cdot P(B_i)}, \text{ où les } B_i \text{ sont des événements indépendants de l'espace } S \text{ tels}$$

que $\bigcup_{i=1}^n B_i = S$ et A une situation telle que $P(A) \neq 0$.

A partir de la classification et de la carte de pH, l'algorithme utilise la règle de Bayes pour calculer la probabilité de chaque espèce de palétuvier de se trouver dans le pixel et attribue au pixel le label de l'espèce ayant la probabilité la plus élevée.

Vaiphasa et al. (2006) parvinrent ainsi à améliorer la précision globale de leur classification de 12% (76% pour la classification brute à 88% après le traitement post-classification).

2.8 Validation

Pour évaluer la précision de la classification obtenue, on peut utiliser des données de vérité terrain ou des photos aériennes (Green et al. 1998). Il est nécessaire de tenir compte des précisions du producteur et de l'utilisateur en plus de la précision globale (Congalton 1991). Congalton présente également une méthode permettant de comparer les précisions obtenues pour plusieurs classifications avec par exemple un nombre de classes ou un opérateur différents.

2.9 Récapitulatif des méthodes de classification

Tableau 2: Tableau récapitulatif des travaux de classification de mangroves cités dans la synthèse bibliographique.

Méthode de classification	Publication	Préparation	Post classification	Capteur	Méthode de validation	Précision de la classification*	Nombre et thème des classes « mangrove »
Classification non supervisée							
Non supervisée	(Chaudhury 1990)	?	?	SPOT XS	Photos aériennes	?	4 espèces dominantes
Non supervisée	(Loo et al. 1992)	?	?	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	?	3 structurales
Non supervisée	(Vits et Tack 1995)	ITS	?	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	97% (Landsat TM) 95% (SPOT XS)	4 structurales
Non supervisée	(Woodfine 1991)	?	?	Landsat TM	Données de terrain	s. o.	Confusion mangrove / autres forêts
Non supervisée	(Green et al. 1998)	-	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	75% (Landsat TM) 55% (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
Classification supervisée							
MV	(Chauvaud et al. 1998)	Masque + optimisation du stretching des bandes visibles + non supervisé	-	Photos aériennes	Données de terrain	94%	Mangrove / non mangrove
MV	(Chauvaud et al. 1998)	Masque + optimisation du stretching des bandes visibles + non supervisé	-	Photos aériennes	Données de terrain	?	3 formations
MV	(Gao 1999)	-	Filtre	SPOT XS et PAN	Photos aériennes	77,5 et 67,5 XS 80 et 80% XS + PAN (précision pour les 2 classes)	2 structurales
MV	(Gao et al. 2004)	Masque	Filtre	SPOT XS	Photos aériennes	46,7 et 68,3% (précision de l'utilisateur pour les 2 classes)	2 structurales
MV	(Gao et al. 2004)	Masque	Trait de côte	SPOT XS	Photos aériennes	81,7 et 98,33% (précision de l'utilisateur pour les 2 classes)	2 structurales
MV	(Green et al. 1998)	-	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	75% (Landsat TM) 55% (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
MV	(Green et al. 1998)	ITS	-	Fusion Landsat TM & SPOT XS	Données de terrain	65%	2 densités – 4 espèces dominantes

Méthode de classification	Publication	Préparation	Post classification	Capteur	Méthode de validation	Précision de la classification*	Nombre et thème des classes « mangrove »
Classification supervisée (suite)							
MV	(Green et al. 1998)	ACP	-	Fusion Landsat TM & SPOT XS	Données de terrain	66%	2 densités – 4 espèces dominantes
MV	(Green et al. 1998)	Néo-canaux + ACP	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	90% (Landsat TM) 53% (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
MV	(Rasolofoharinoro et al. 1998)	Néo-canaux (entraînement)	-	SPOT XS	Données de terrain	-	3 âges
MV	(Saito et al. 2003)	-	Filtre	SPOT XS ASTER	Données de terrain	99,6 (SPOT XS) 96,8 (ASTER)	2 densités + 1 inondée
MV	(Vaiphasa et al. 2006)	-	Règle de Bayes	?	Données de terrain	76%	7 espèces dominantes
MV	(Vaiphasa et al. 2006)	-	Règle de Bayes	?	Données de terrain	88%	7 espèces dominantes
MV	(Thollot et al. 1990)	Masque	Filtre	SPOT XS	s. o.	s. o.	3 espèces dominantes
MV	(Thollot et al. 1990)	Masque + ACP	Filtre	SPOT XS	s. o.	s. o.	3 densités – 3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	-	-	IKONOS XS et PAN	Données de terrain	75,3% XS 75,5% XS + PAN	3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	-	-	QuickBird XS et PAN	Données de terrain	72,2% XS 73,3 XS + PAN	3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004a)	DB (entraînement)	-	IKONOS XS et PAN	Données de terrain	89% XS + PAN	3 espèces dominantes
DMi	(Rasolofoharinoro et al. 1998)	Néo-canaux (entraînement)	-	SPOT XS	Données de terrain	-	3 âges
DMi	(Saito et al. 2003)	-	Filtre	SPOT XS ASTER	Données de terrain	91,9% (SPOT XS) 87,5 (ASTER)	2 densités + 1 inondée
DMA	(Saito et al. 2003)	-	Filtre	SPOT XS ASTER	Données de terrain	95% (SPOT XS) 88,8% (ASTER)	2 densités + 1 inondée
AS	(Hirano et al. 2003)	FMB	-	AVIRIS	Base de données sur la végétation	73 à 95% forêt 40 à 48% arbustes (précision du producteur)	3 espèces dominantes – 2 hauteurs
NDVI	(Green et al. 1998)	-	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	60% (Landsat TM) 50% (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
Néo-canaux	(Thollot et al. 1990)	-	-	SPOT XS	s. o.	s. o.	3 densités

* La précision indiquée est la précision globale de la classification si rien n'est précisé.

Abréviations: ACP = analyse en composantes principales, BI = brightness index, DB= distance de Bhattacharya, DMA = distance de Mahalanobis, DMi = distance minimale, FMB = fraction minimale de bruit, IPP = index de pureté du pixel, ITS = intensité - teinte – saturation, MV = maximum de vraisemblance, NDVI = normalized difference vegetation index, AS = angle spectral.

3 Matériels

3.1 Zones d'étude

Les deux zones d'études sont :

- Zone de Dumbéa : estuaire de la Dumbéa, baie Hoff et Baie Taa. La mangrove de Dumbéa comporte des mangroves fluviales, de fonde de baie, d'îlot, de frange littorale et de plaine. Elle est riche en espèces de palétuvier : *Rhizophora spp.*, *Avicennia marina*, *Bruguiera spp.*, *Lumnitzera spp.* et *Excoecaria agallocha* (palétuvier aveuglant)
- Zone de Moindou : la baie située entre les presqu'îles de Tanghi et Granjo, à proximité de la ferme aquacole Sodacal. La mangrove de Moindou est une mangrove côtière. Elle est formée principalement de *Rhizophora spp.* et d'*Avicennia marina* et contient quelques autres espèces (*Bruguiera spp.*).

3.2 Images SPOT 5

3.2.1 Caractéristiques des images SPOT 5

Le choix des bandes spectrales pour l'observation de la terre résulte de deux critères :

- la spécificité du signal reçu à telle longueur d'onde pour analyser la nature des sols, végétation, désert, teneur en eau, les villes, etc...
- la transparence de l'atmosphère et la stabilité de la transmission qui n'est suffisante que dans certaines "fenêtres".

Les bandes spectrales choisies pour le satellite SPOT 5 dans le domaine visible et moyen infrarouge sont récapitulées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des bandes spectrales de SPOT 5.

Bande	Nom	Résolution spectrale (µm)	Taille des pixels au sol (m)
Panchromatique	P	0,48 - 0,71	5
Verte	B1	0,50 - 0,59	10
Rouge	B2	0,61 - 0,68	10
Proche infrarouge	B3	0,78 - 0,89	10
Moyen infrarouge	B4	1,58 - 1,75	10

Les données SPOT 5 sont constituées deux types d'images : les images panchromatiques (P) en noir et blanc à 5m de résolution et les images multispectrales (XS) (B1, B2, B3 et B4) à 10 m de résolution.

Les données SPOT 5 utilisées dans le cadre de cette étude ont été acquises en 2005. Trois images ont été nécessaires pour couvrir les 2 zones d'études : SPOT_505 pour Dumbéa et SPOT_509 et SPOT_510 pour Moindou, comme indiqué dans la Figure 1. Les images ont été préparées par la Direction des Technologies et des Services de l'Information (DTSI) comme décrit dans le prochain paragraphe. Les principales métadonnées des différentes images utilisées sont détaillées dans les annexes.

3.2.2 Préparation des images

3.2.2.1 Orthorectification

Les images ont été orthorectifiées à l'aide du logiciel Erdas Imagine LPS 9.1. On s'est appliqué ici à prendre un grand nombre de points de contrôles (GCP) répartis de manière homogène sur l'ensemble des images. Les données de référence sont en général issues de la BD Topo (cartographie au 1/10 000ème) de la Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres (DITTT). Certaines zones n'étant pas couvertes au 1/10 000ème, c'est la cartographie IGN au 1/50 000ème qui a été utilisée. Pour ce qui est du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de référence, un MNT hybride (1/10 000 et 1/50 000ème), ré-échantillonné au pas de 10m sur l'ensemble des terres émergées a été utilisé. Le calage est donc moins précis sur les zones non couvertes au 1/10 000ème (à la date de réalisation de l'ortho image).

3.2.2.2 Extraction

Sur chacune des deux zones d'étude, ce sont des extraits des images orthorectifiées panchromatiques et multispectrales issues de la base de données d'images de la DTSI qui ont été utilisées. La Figure 1 montre l'emprise des images SPOT utilisées ainsi que les zones extraites pour l'étude.

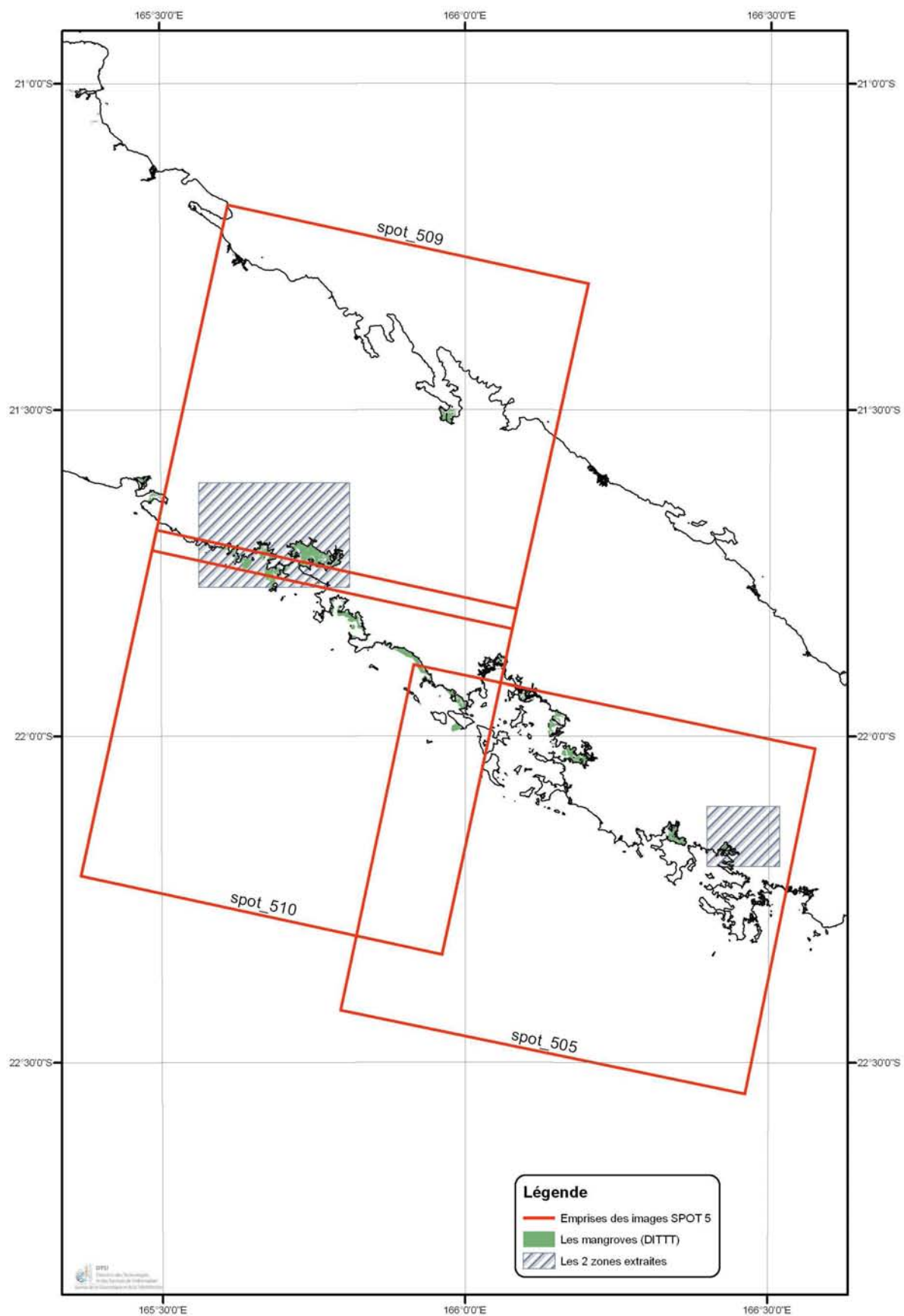


Figure 1 : Emprise des images SPOT 5 utilisées.

3.3 Signatures spectrales

3.3.1 Protocole

Les signatures spectrales se mesurent à l'aide d'un spectromètre, entre 10 et 15 heures, lorsque le soleil est proche du zénith, dans des conditions d'éclairement homogènes (ciel bleu couverture nuageuse uniforme).

Le spectromètre utilisé lors de la journée de terrain a permis de mesurer la réflectance d'un échantillon dans 2046 canaux répartis entre 347 et 1003 nm. Les mesures ont été réalisées le 15 juin 2007 entre 10 et 15 heures sur les 2 zones d'étude sous un ciel nuageux avec des éclaircies. Pour limiter les effets des changements d'éclairement sur les mesures, le spectromètre a été étalonné entre chaque mesure ou groupe de mesures. Compte tenu du délai limité (5 heures pour visiter les 2 sites), 2 ou 3 échantillons ont été mesurés pour chaque type de formation, comme indiqué dans le Tableau 4. Autant que possible, les mesures ont été effectuées sur des arbres ayant un feuillage dense, afin de limiter la participation du sol ou de l'eau à la réflectance.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des relevés spectrométriques

Formation	Numéro point	X	Y	Site
Avicennia	11	444 708	226 074	Dumbéa
	1	368 459	272 703	Moindou
	6	368 237	271 897	Moindou
Bruguiera	9	443 146	225 414	Dumbéa
	10	443 168	225 412	Dumbéa
	4	368 122	271 995	Moindou
Lumnitzera	12	444 692	226 039	Dumbéa
	13	444 707	226 029	Dumbéa
Rhizophora	5	368 153	271 988	Moindou
	8	368 190	271 925	Moindou
Tanne nu sec	2	368 656	272 652	Moindou
Tanne nu humide	3	368 650	272 652	Moindou
Salicorne sur sable	7	368 235	271 903	Moindou

3.3.2 Les signatures obtenues

Sur le domaine spectral utilisé par le spectromètre (347-1003 nm), seule la partie centrale, comprise entre 400 et 900 nm a pu être exploitée. En effet, les extrémités présentaient beaucoup de bruit, probablement dû à un manque de sensibilité du spectromètre. On observait ainsi des valeurs négatives ou supérieures à 1 pour la réflectance. Les extrémités du domaine spectral ont donc été écartées de l'étude.

La Figure 2 présente l'ensemble des signatures obtenues lors de la journée de terrain et les figures 3 à 7 présentent les signatures pour chaque type de formation. On retrouve bien la forme typique des signatures spectrales des formations végétales avec le pic autour de 550 nm et le saut entre 700 et 750 nm ainsi que des sols avec leur forme assez plate, en faible augmentation quand la longueur d'onde augmente.

On peut cependant noter des différences entre les signatures mesurées au sein d'une même formation : différence de magnitude pour le Bruguiera (Figure 1) et le Lumnitzera (Figure 6), de forme pour le Rhizophora (Figure 4) et de magnitude et de forme pour l'Avicennia (Figure 3). Ces différences peuvent s'expliquer par les changements des conditions d'éclairement, parfois très rapides qui ont pu perturber les mesures et l'étalonnage. Les signatures des formations de tanne (nu, humide ou à Salicorne) ne présentent pas d'anomalie (Figure 7).

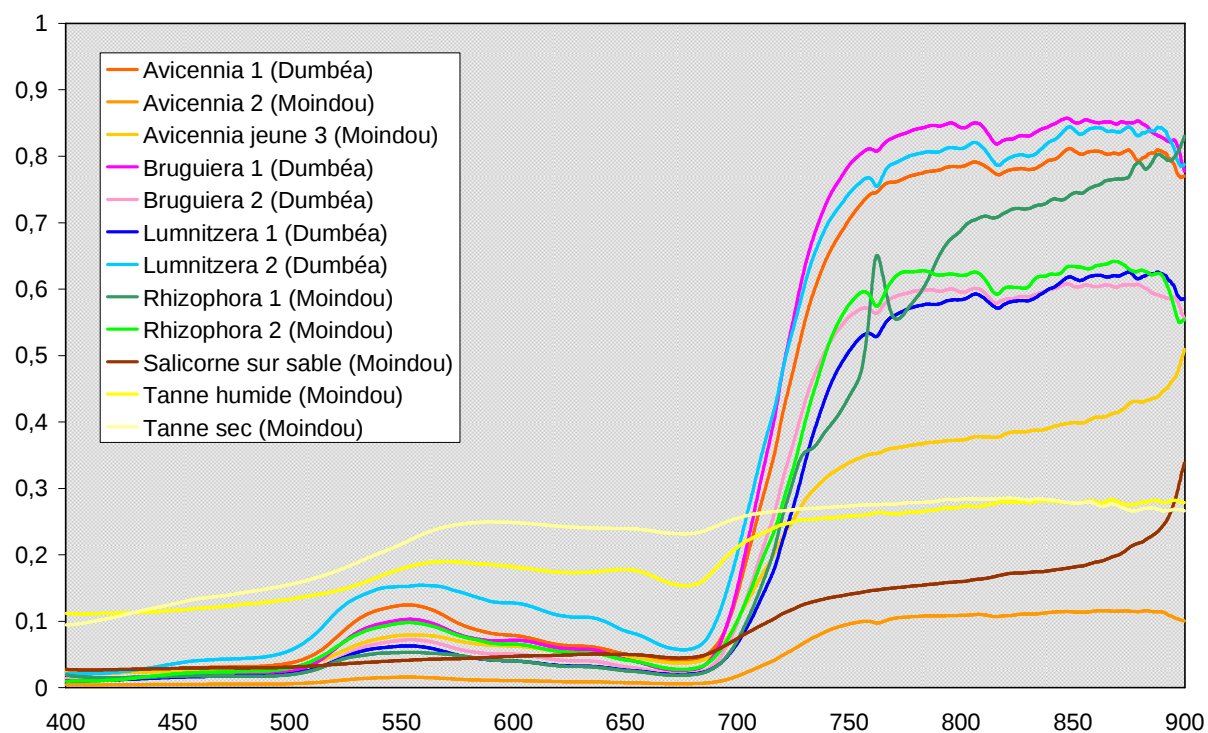


Figure 2 : Signatures spectrales des échantillons mesurés à l'aide du spectromètre.

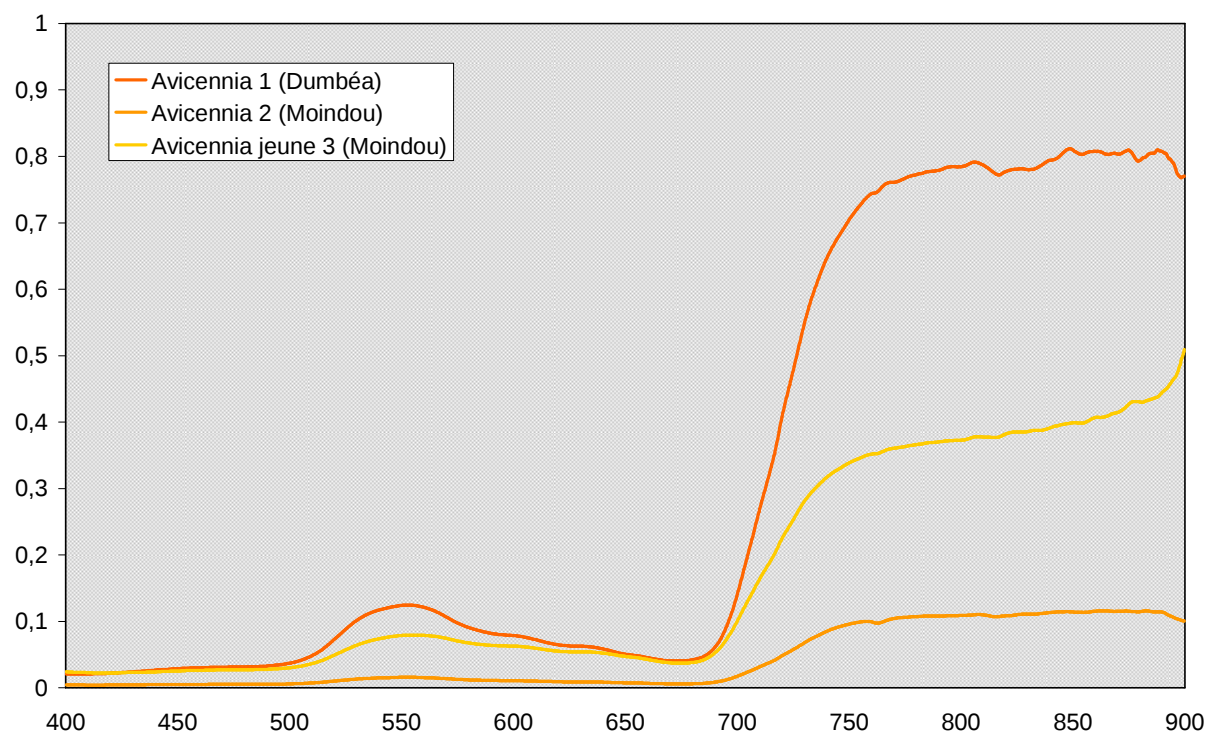


Figure 3 : Signatures spectrales des 3 échantillons d'Avicennia.

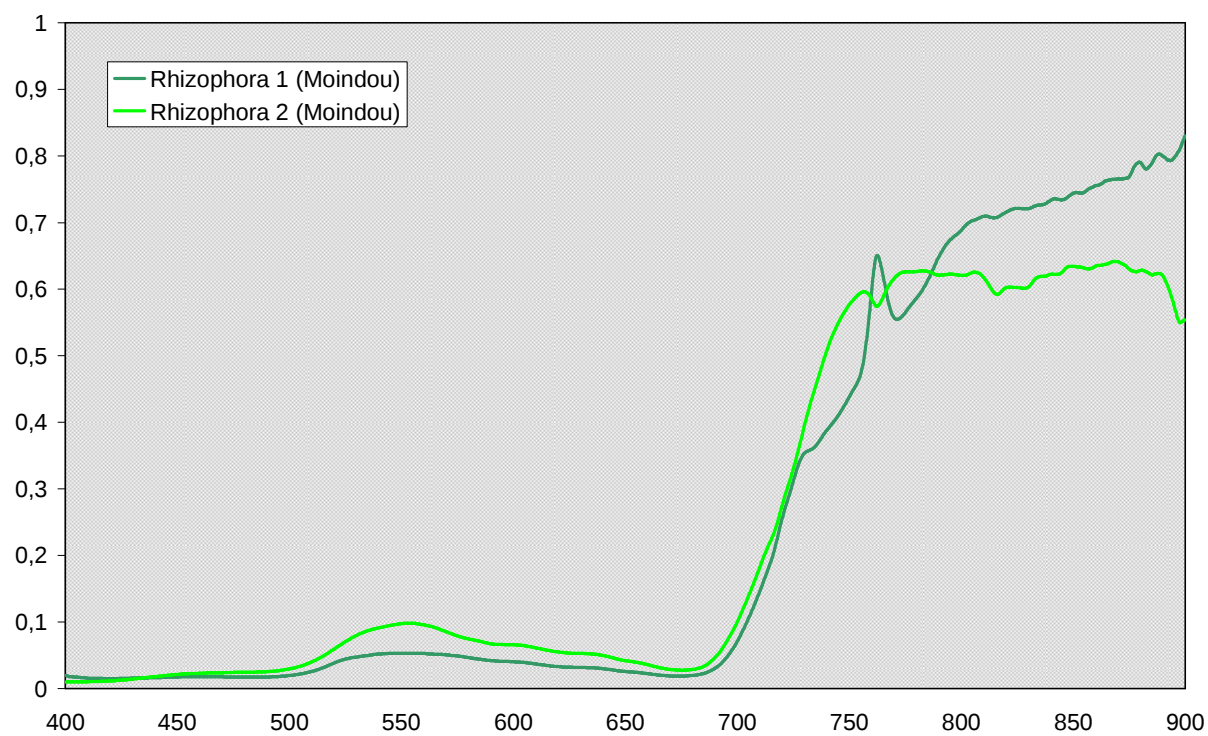


Figure 4 : Signatures spectrales des 2 échantillons de *Rhizophora*.

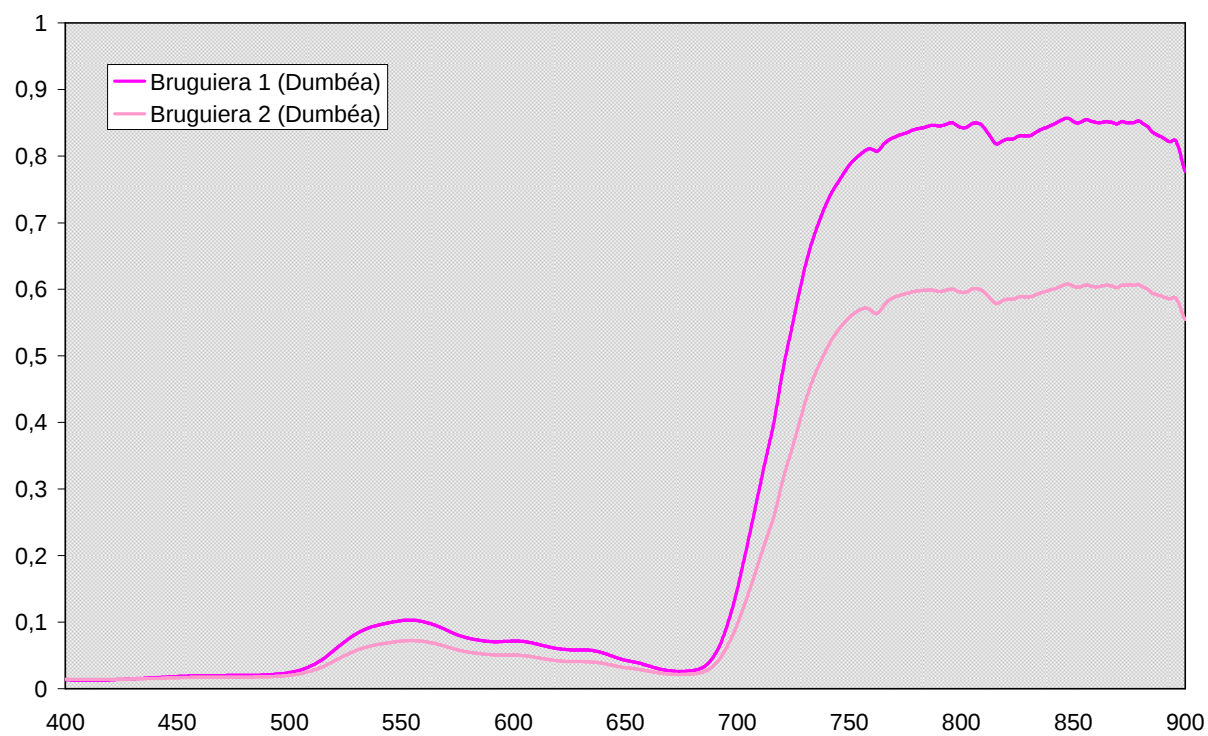


Figure 5 : Signatures spectrales des 2 échantillons de *Bruguiera*.

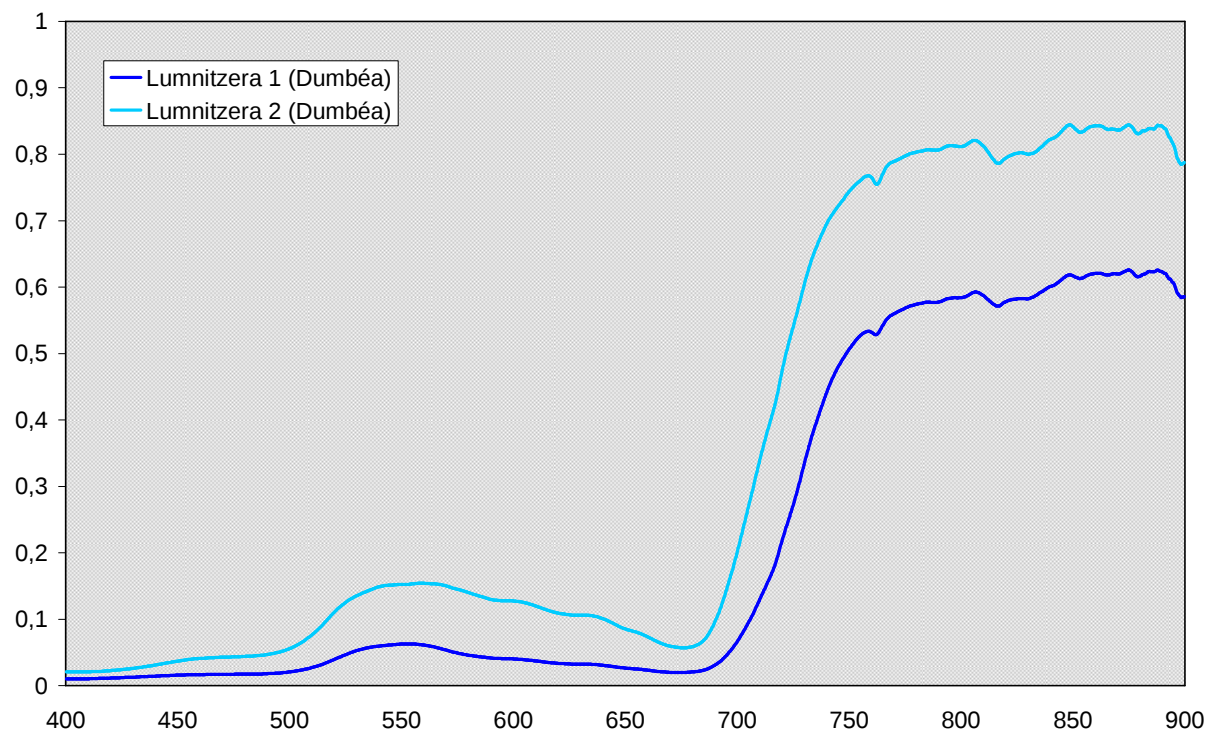


Figure 6 : Signatures spectrales des 2 échantillons de Lumnitzera.

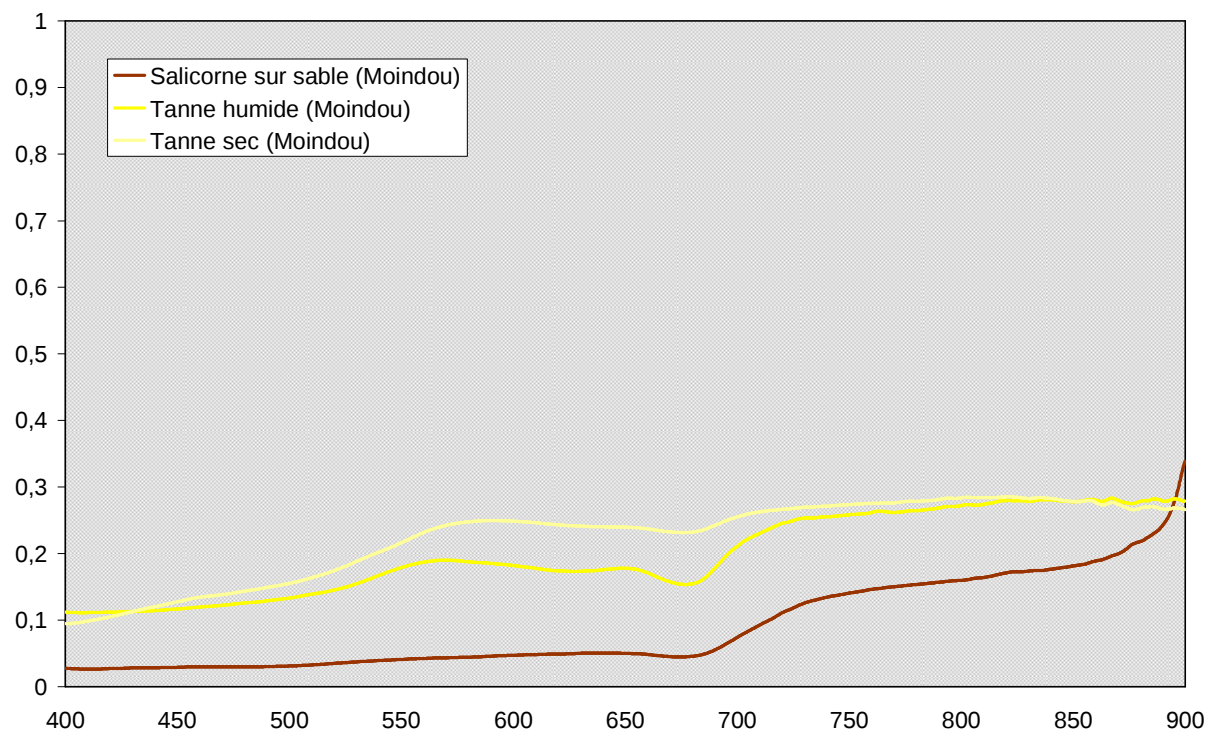


Figure 7 : Signatures spectrales des 3 échantillons de tanne.

3.4 Données annexes

3.4.1 Trait de côte et courbes de niveau

La BD Topo contenant le trait de côte et les courbes de niveau a été fournie par la DITTT.

3.4.2 Photographies aériennes de la zone de Dumbéa

5 photographies aériennes de la zone de Dumbéa ont utilisées pour la définition des zones d'entraînement et pour le choix de points vérité terrain pour vérifier les classifications obtenues. Ces photographies, dont les références sont données ci-après, ont été fournies par la DITTT. Les photographies choisies ont été prises en 2001 ou 2004, dates suffisamment proches de l'année d'acquisition des images SPOT (2005) pour que l'on puisse supposer que le couvert végétal est similaire, à l'exception des zones qui ont été urbanisées.

- 01 SEFP 01/200c n°16
- 01 SEFP 01/200c n°19
- 01 SEFP 01/200c n°52
- 01 SEFP 01/200c n°55
- 03-04 SPP 200/200c n°24

3.4.3 Cartographie des mangroves de Dumbéa et Moindou réalisées à partir de photographies aériennes

Les résultats obtenus par les différentes méthodes de classification testées dans le cadre de l'étude seront vérifiés en utilisant les classifications réalisées par Sabrina Virly sur les photographies aériennes des deux zones d'études.

4 Méthodologie

La zone de Dumbéa qui présente une plus grande diversité spécifique a été choisie comme zone pilote pour développer une méthodologie pour la classification des mangroves à partir des images SPOT 5. La méthodologie sera ensuite testée sur la zone de Moindou.

4.1 Tests sur la zone de Dumbéa

4.1.1 Classification non supervisée

L'extrait de l'image SPOT_505 XS correspondant à la zone d'étude a été classifié de façon non supervisée selon les modalités indiquées dans le Tableau 5. Les classifications non supervisées permettent de regrouper les pixels ayant des signatures spectrales similaires au sein d'une même classe. Deux niveaux de finesses ont été utilisés (10 et 50 classes) pour détecter les éventuelles confusions entre les mangroves et les autres formations présentes sur l'image.

Tableau 5 : Caractéristiques des classifications non supervisées testées.

	Test 1	Test2	Test 3	Test 4
Nombre de bandes utilisées	4	4	4	4
Méthode	IsoData	IsoData	K-Means	K-Means
Nombre de classes	8 à 12	48 à 50	10	50
Nombre maximal d'itérations	10	10	10	10
Seuil de changement de pixel (%)	5	5	-	-
Nombre minimum de pixel dans une classe	10	10	-	-
Erreur standard maximum d'une classe (DN)	1	1	-	-
Distance minimale entre les moyennes de 2 classes (DN)	5	5	-	-
Nombre maximum de paires de classes que l'on peut fusionner	2	2	-	-

4.1.2 Classification supervisée

En cours.

5 Résultats

5.1 Zone de Dumbéa

5.1.1 Classification non supervisée

Les figures 8 et 9 ci-dessous présentent les résultats des classifications non supervisées à 10 classes effectuées sur la zone de Dumbéa. Les couleurs de la légende ont été choisies en fonction du type de végétation couverte par la classe dans les zones sans confusion : bleu pour la mer, gris pour les nuages, vert pour le maquis et la forêt, beige pour la savane et les zones urbaines et rouge-orange pour la mangrove. Le polygone noir délimite la zone identifiée comme mangrove sur les photographies aériennes.

La Figure 8 représente la classification obtenue par la méthode IsoData. On peut tout d'abord remarquer que la zone de mangroves ne contient pas seulement du rouge et de l'orange, couleurs attribuées aux mangroves, mais aussi du vert et du beige. Une comparaison avec la carte des formations de mangroves montre que ces zones correspondent aux tannes et en partie à de la végétation indéterminée. Ceci montre que le tanne et les palétuviers ont des réponses spectrales différentes. La classification obtenue par la méthode K-Means (Figure 9) présente une distribution spatiale des classes similaire.

Si l'on s'intéresse l'ensemble de la carte de la Figure 8, on s'aperçoit qu'un nombre important de pixels de la végétation a été mis dans la même classe que les mangroves. Les zones concernées sont principalement les zones sombres telles que les ombres de nuages et les versants non éclairés (en rouge), le maquis (en orange foncé) et la forêt (en orange clair). Ceci montre que les caractéristiques spectrales des mangroves et des zones sombres, forêts et maquis sont proches. Ces constatations s'observent également sur la Figure 9.

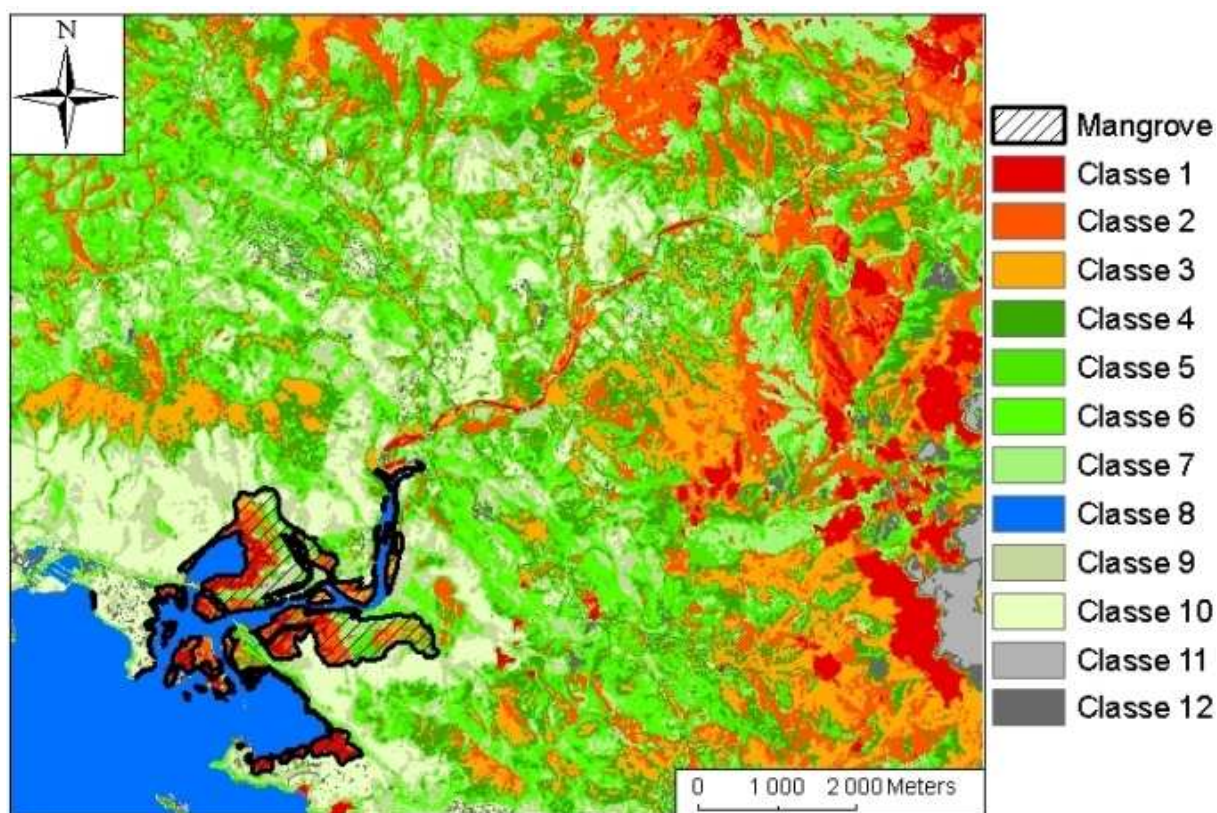


Figure 8 : Classification non supervisée IsoData à 12 classes.

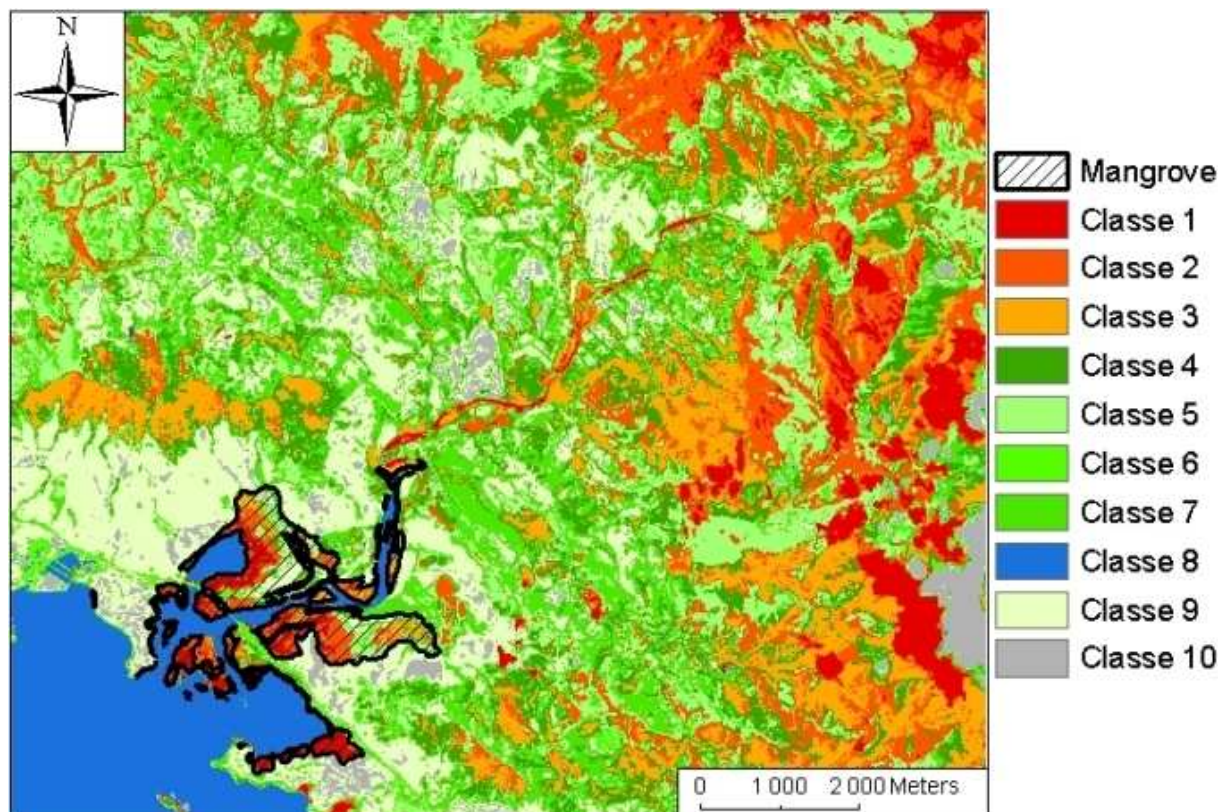


Figure 9 : Classification non supervisée K-Means à 10 classes.

Les résultats des classifications à 50 classes (IsoData et K-Means) sont présentés en annexe 6.2. Malgré une plus grande finesse (5 fois plus de classes), on observe toujours des confusions entre la mangrove, les zones d'ombre, la forêt et le maquis.

On peut donc s'attendre à des confusions entre ces formations lors de la classification supervisée.

Références

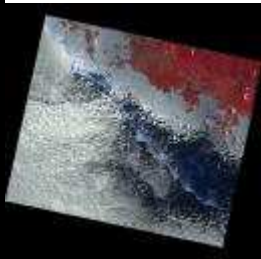
- Baret, F., Guyot, G. et Major, D. J. (1989). TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation, in *Digest - International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Publ by IEEE, Vancouver, BC, Can, 1355-1358.
- Chaudhury, M. U. (1990). Digital analysis of remote sensing data for monitoring the status of the mangrove forests of Sunderbeans in Bangladesh, in *23rd International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, 493-497.
- Chauvaud, S., Bouchon, C. et Manière, R. (1998). Remote sensing techniques adapted to high resolution mapping of tropical coastal marine ecosystems (coral reefs, seagrass beds and mangrove). *International Journal of Remote Sensing* 19:3625-3639.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37:35-46.
- Elvidge, C. D. et Chen, Z. (1995). Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 54:38-48.
- Gao, J. (1999). Evaluation of SPOT HRV data in mapping mangrove forests in a temperate zone. *Geocarto International* 14:43-50.
- Gao, J., Chen, H., Zhang, Y. et Zha, Y. (2004). Knowledge-based approaches to accurate mapping of mangroves from satellite data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70:1241-1248.
- Gray, D., Zisman, S. et Corves, C. (1990). Mapping of Mangroves in Belize, Technical report, University of Edinburgh.
- Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, A. I. et Ellis, A. C. (1998). Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing* 19:935-956.
- Hirano, A., Madden, M. et Welch, R. (2003). Hyperspectral image data for mapping wetland vegetation. *Wetlands* 23:436-448.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25:295-309.
- Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light at the forest floor. *Ecology* 50:663-666.
- Loo, M. G. K., Lim, T. M. et Chou, L. M. (1992). Land use changes of recreational island as observed by satellite imagery, in *3rd ASEAN Science and Technology Week*, University of Singapore, Singapore, 401- 405.
- Major, D. J., Baret, F. et Guyot, G. (1990). A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing* 11:727-740.
- Meza Diaz, B. et Blackburn, G. A. (2003). Remote sensing of mangrove biophysical properties: Evidence from a laboratory simulation of the possible effects of background variation on spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing* 24:53-73.
- Rasolofoharinoro, M., Blasco, F., Bellan, M. F., Aizpuru, M., Gauquelin, T. et Denis, J. (1998). A remote sensing based methodology of mangrove studies in Madagascar. *International Journal of Remote Sensing* 19:1873-1886.
- Richardson, A. J. et Weigand, C. L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43:1541-1552.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. et Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in Great Plains with ERTS, in *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 (Washington, DC), Goddard Space Flight Center, 309-317.
- Saito, H., Bellan, M. F., Al-Habshi, A., Aizpuru, M. et Blasco, F. (2003). Mangrove research and coastal ecosystem studies with SPOT-4 HRVIR and TERRA ASTER in the Arabian Gulf. *International Journal of Remote Sensing* 24:4073-4092.

- Thollot, P., Albert, F. et Meaille, R. (1990). Cartographie thématique des mangroves du littoral sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie, in *Pix'îles 90*, ORSTOM, Nouméa - Tahiti, 217-229.
- Tou, J. T. et Gonzalez, R. C. (1974). *Pattern Recognition Principles*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environ* 8:127-150.
- Vaiphasa, C., Skidmore, A. K. et de Boer, W. F. (2006). A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 61:1-10.
- Vits, C. et Tack, J. (1995). The use of remote sensing as information source for environmental accounting of coastal areas in Kenya, University of Ghent, 1-45.
- Wang, L., Sousa, W. P. et Gong, P. (2004a). Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing* 25:5655-5668.
- Wang, L., Sousa, W. P., Gong, P. et Biging, G. S. (2004b). Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama. *Remote Sensing of Environment* 91:432-440.
- Woodfine, A. C. (1991). North East Sumatra prawn project: Remote sensing component, Natural Resources Institute/Overseas Development Agency.

6 Annexes

6.1 Métadonnées des images SPOT

6.1.1 Image SPOT_505 XS

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:43 1 J
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

General Information

Map Name	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:43 1 J
Geometric Processing Level	PRECISION 1A

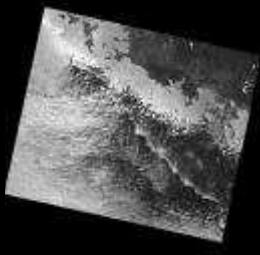
Image dimensions

Number of columns	8088
Number of rows	7318

Dataset framing

Vertice	Longitude (DEG)	Latitude (DEG)	Row	Col
#1	165.904489	-21.947505	1	1282
#2	166.564699	-22.074684	1464	8086
#3	166.450392	-22.604388	7317	6850

6.1.2 Image SPOT_505 P

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:40 1 A
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

General Information

Map Name	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:40 1 A
Geometric Processing Level	PRECISION 1A

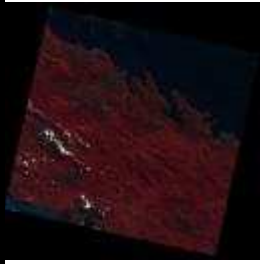
Image dimensions

Number of columns	16152
Number of rows	14740

Dataset framing

Vertice	Longitude (DEG)	Latitude (DEG)	Row	Col
#1	165.905570	-21.944589	1	2563
#2	166.564895	-22.076289	3027	16152
#3	166.450494	-22.606310	14740	13678

6.1.3 Image SPOT_509 XS

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:06 2 J
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

General Information

Map Name	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:06 2 J
Geometric Processing Level	PRECISION 1A

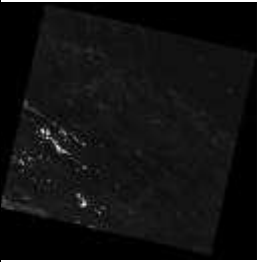
Image dimensions

Number of columns	7444
Number of rows	7222

Dataset framing

Vertice	Longitude (DEG)	Latitude (DEG)	Row	Col
#1	165.611248	-21.186703	1	1324
#2	166.201675	-21.307482	1373	7443
#3	166.077554	-21.836533	7220	6115

6.1.4 Image SPOT_509 P

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:04 1 A
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

General Information

Map Name	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:04 1 A
Geometric Processing Level	PRECISION 2A

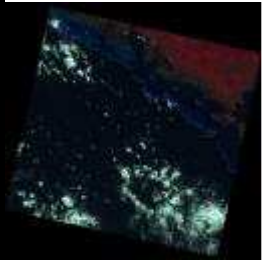
Image dimensions

Number of columns	14877
Number of rows	14491

Dataset framing

Vertice	Longitude (DEG)	Latitude (DEG)	Row	Col
#1	165.611585	-21.185595	1	2647
#2	166.201593	-21.308724	2797	14876
#3	166.077423	-21.837775	14491	12219

6.1.5 Image SPOT_510 XS

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:15 1 J
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

General Information

Map Name	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:15 1 J
Geometric Processing Level	PRECISION 2A

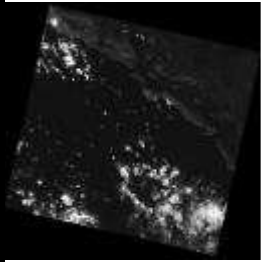
Image dimensions

Number of columns	7434
Number of rows	7220

Dataset framing

Vertice	Longitude (DEG)	Latitude (DEG)	Row	Col
#1	165.492962	-21.684822	1	1321
#2	166.084657	-21.805590	1369	7433
#3	165.961699	-22.334725	7218	6125

6.1.6 Image SPOT_510 P

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:13 1 A
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

General Information

Map Name	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:13 1 A
Geometric Processing Level	PRECISION 2A

Image dimensions

Number of columns	14857
Number of rows	14490

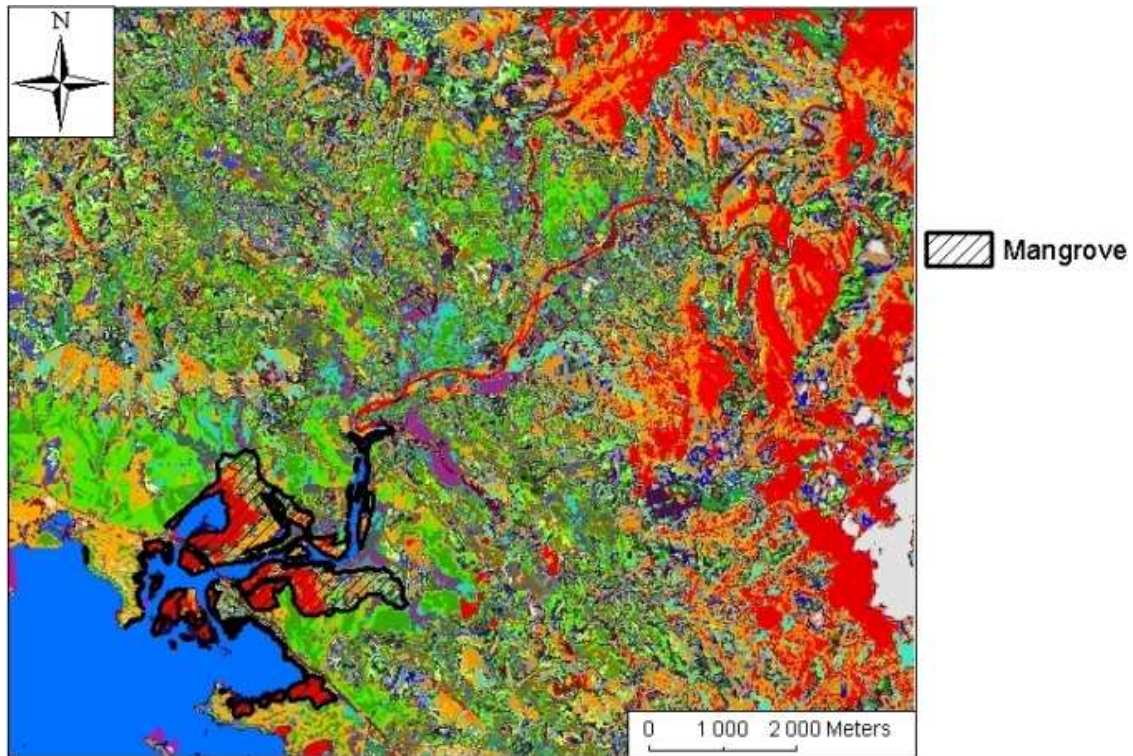
Dataset framing

Vertice	Longitude (DEG)	Latitude (DEG)	Row	Col
#1	165.493201	-21.684102	1	2641
#2	166.084523	-21.807084	2786	14857
#3	165.961420	-22.336446	14489	12238

6.2 Classifications non supervisées à 50 classes de la zone de Dumbéa

Sur les deux cartes ci-dessous, chaque classe est représentée par une couleur. Les classes correspondant aux formations de mangrove ont été représentées dans des tons rouge-orange.

6.2.1 IsoData



6.2.2 K-Means

