



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

MENTION : PHYSIQUE ET APPLICATION



Sciences et Techniques en Géophysique et Géomatique (STGG)

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Thème :

Cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore

Présenté par :

MAHAMOUD Ali mbaé

Membre de Jury :

Président : Monsieur **GARO JOELSON Seville,**

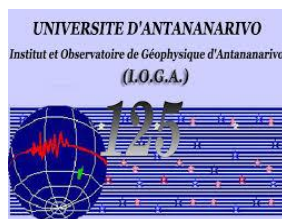
Maitre de Conférences

Examineur : Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier**

Maitre de Conférences

Rapporteur : Monsieur **RAKOTONDRAMANO Heliarivonjy,**

Maitre de Conférences



Soutenu le 29 Septembre 2018



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

MENTION : PHYSIQUE ET APPLICATION



Sciences et Techniques en Géophysique et Géomatique (STGG)

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Thème :

Cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore

Présenté par :

MAHAMOUD Ali mbaé

Membre de Jury :

Président : Monsieur **GARO JOELSON Sebille,**

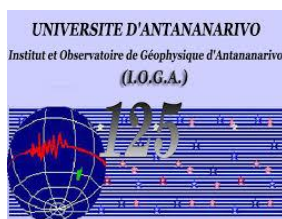
Maitre de Conférences

Examineur : Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier**

Maitre de Conférences

Rapporteur : Monsieur **RAKOTONDRAMANO Heliarivonjy,**

Maitre de Conférences



Soutenu le 29 Septembre 2018

DÉDICACE

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie :

A mon papa à qui je dois mon éducation et mon instruction, qu'il repose en paix amine ;

A ma très chère et douce mère, qui ma transmet la vie, l'amour, le courage, qui s'est trop inquiétée pour cette recherche, et qui a tant veillé pour moi ;

Qu'elle trouve ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de leur dévouement. Aucune dédicace ne saurait vous exprimer la profondeur de mes sentiments. Que Dieu vous protège et vous garde pour nous.

A ma précieuse sœur Djamila, les mots ne peuvent résumer ma reconnaissance et mon amour à son égard ;

A mes aimables sœurs : El Adam bint wardat, Djamalatie, Roukiya, et Anziza qui m'ont beaucoup soutenu durant toutes mes études ;

A mes chers frères : El Adam Abdoul Karim, Abdou el Aziz, et Saïd, en témoignage de mon amour fraternel et de mon attachement éternel ;

Avec toute ma tendresse, à mes neveux et nièces, meilleures vœux de succès dans leurs études ;

A toute la famille pour son affection et sa contribution à mon épanouissement.

Je dédie également ce travail à tous ceux qui m'ont apporté leur savoir et contribué à mes études :

mes instituteurs du primaire, mes professeurs du lycée, mes enseignants de l'Université, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude et mon profond respect ;

Enfin je dédie à tous mes amis et à tous ceux qui me connaissent. Qu'ils trouvent à travers ce travail ma sincère reconnaissance ; tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail ;

MAHAMOUD Ali mbaé

REMERCIEMENT

En premier lieu, je tiens à remercier notre DIEU le tout puissant de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail. C'est avec un sincère plaisir que j'adresse mes plus vifs remerciements et ma gratitude à toutes les personnes et les institutions suivantes :

-Monsieur RAHERIMANDIMBY Marson, Professeur Titulaire, responsable du domaine ainsi qu'a Monsieur Hery Tiana RAKOTONDRAMANANA, Maitre de conférences, Responsable de la mention, pour la validation de notre inscription ;

- Monsieur RAKOTONIANA Solofoarisoa, Professeur Titulaire, Directeur de l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA) ; de m'avoir accueilli dans cet Institut en tant qu'étudiant-chercheur

-Monsieur GARO JOELSON Sebille, Maitre de Conférences, au sein du Domaine Sciences et Technologies, Responsable du parcours qui tout au long de la formation, n'a cessé de nous prodiguer ses précieux conseils, et aussi de nous avoir fait l'honneur de Présider le jury de ce mémoire

-Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier, Maitre de conférences, Enseignant-Chercheur à l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, chercheur à l'Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo (IOGA), notre encadreur, pour nous avoir guidés et orientés lors de l'élaboration de ce mémoire. Ses conseils ainsi que sa gentillesse nous ont permis de mener à bien ce travail.

-Monsieur RAKONDRAMANO Heliarivonjy, Chercheur Enseignant nous a fait l'honneur d'être parmi les membres de jury.

.Nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos parents, a toute la famille pour leurs soutiens, notamment financiers et psychologiques.

Enfin, nos sincères remerciements s'adressent à tous les corps administratif, les enseignants et les étudiants du STGG pour leur disponibilité, la qualité de la formation, la compréhension, l'entraide et le comportement fraternel jusqu'à l'achèvement de notre cycle de formation

MERCI INFINEMENT !

SOMMAIRE

<i>DEDICACE</i>	i
REMERCIEMENT	ii
NOMENCLATURES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX :	vi
LISTE DES ABREVIATIONS :	vii
INTRODUCTION :	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	2
CHAPITRE II. RAPPEL METHODOLOGIQUE	20
CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION	36
DISCUSSION	53
CONCLUSION.....	55
BIBLIOGRAPHIE	I
ANNEXES	V

NOMENCLATURES

λ (μm) Longueur d'onde exprimé en micromètre

N = nombre total de pixels

$\sum X_{ii}$ = nombre pixels bien classés

λ = nombre de ligne

K : *Indice Kappa*

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la Grande Comore	3
Figure 2: Carte de la Grande Comore	4
Figure 3: Evolution de la population	5
Figure 4: Carte de végétation de Grande Comore	8
Figure 5: Type d'agroforesterie traditionnelle.....	15
Figure 6: Cultures de rente.	16
Figure 7: Carte géologique de la Grande Comore.....	18
Figure 8 : SPOT 5	21
Figure 9: Signature spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et infrarouge moyen.....	23
Figure 10: Organigramme simplifié de traitement d'image	28
Figure 11: Logos du logiciel ENVI 4.7	30
Figure 12 : Logo du site Google Earth.....	31
Figure 13 : Scène SPOT 5 XS brut	34
Figure 14 : Scène SPOT 5 XS orthorectifiée	34
Figure 15 : composition colorée	37
Figure 16 : signatures spectrales des Rois	38
Figure 17 : Classification d'image.....	40
Figure 18 : Séparabilité des ROIS	42
Figure 19 : Création des ROIs	43
Figure 20 : Méthodes d'algorithme Maximum likelihood.....	44
Figure 21 : Cartographique de l'occupation du sol de la Grande Comore	45

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I : Caractéristiques des scènes utilisées.....	32
<i>Tableau II: pourcentages des Classes</i>	<i>46</i>
<i>Tableau III: Superficie des Classes</i>	<i>46</i>
<i>Tableau IV: matrice de confusion</i>	<i>49</i>
<i>Tableau V: Les valeurs des pixels</i>	<i>52</i>

LISTE DES ABREVIATIONS :

DGE : Direction Générale de l'Environnement

ENVI: *ENvironment for Visualizing Images*

ESRI: Environmental Systems Research Institute

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GPS : *Global Positioning System*

HRG : Haute Résolution Géométrique

HVR : Haute Résolution Visible

PANA : Programme d'Action National d'Adaptation

PNUD : Programme des Nations Unies Pour le Développement

PIR: Proche InfraRouge

ROI: Region of Interest

SCP : Société du Canal de Provence

SPOT : Satellite Pour l'Observation de la Terre

SIG : System d'Information Géographique

SEAS-OI : Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite pour l'Océan Indien

THRS : Très Haute Résolution spatial

UTM : Universal Transversal Mercator

INTRODUCTION :

Au cours de deux dernières décennies, l'expansion des villes n'a eu de cesse d'augmenter au Comores. Cet étalement urbain induit des changements dans l'occupation des sols. Au Comores, on a peu de connaissance sur la répartition du territoire et sa suivie de l'évolution d'occupations du sol. Pour mieux prendre une bonne décision sur l'aménagement du territoire pour mieux développer le pays, la cartographie de l'occupation des sols s'avère impérative.

De plus, la disponibilité des données satellitaires est un avantage pour couvrir les territoires à toutes les échelles, et elles offrent la possibilité de réaliser cette cartographie. Cependant les méthodes de traitement sont nombreuses et inhérentes aux caractéristiques de l'image.

Par conséquent, ce travail porte sur la cartographie de l'occupation du sol à partir d'imageries aériennes multi spectral à TRHS (10m). Le site d'étude est la Grande Comore, et se situe à l'entrée nord du canal du Mozambique, à mi-chemin entre la Côte Est de l'Afrique et le Nord-Ouest de Madagascar.

L'objectif de cette étude tend à réaliser une carte d'occupation du sol par traitement d'image afin de détecter les éléments du paysage de la grande Comore.

Cette cartographie vas nous permettre à la fois de répondre à un besoin de couverture de grands territoires et en même temps d'aide à l'identification et à la gestion des végétations sur le terrain

Pour cela, ce travail est divisé en trois chapitres, dans un premier temps les généralités sur notre zone d'études, puis les méthodes et données utilisées. Ensuite, nous présenterons la méthodologie développée pour la classification de l'occupation des sols à partir de l'images satellite spot5 multi spectral à très haute résolution (THRS) pour terminer par le traitement post-classification et interprétation des résultats.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Dans ce chapitre nous allons parler d'une manière générale la zone d'études. Les informations de la zone d'études sont abordées dans ce chapitre permettant de mieux connaître les différents contextes qui caractérisent notre zone d'études.

I.1.LOCALISATION

L'archipel des Comores est situé à l'entrée Nord du Canal de Mozambique entre Madagascar et la côte Orientale de l'Afrique. Il est composé de quatre îles, la Grande Comore (Ngazidja), Mohéli (Mwali), Anjouan (N'Ndzouani) et Mayotte. Seules trois de ces îles (Grande Comore, Anjouan et Mohéli) forment actuellement l'Union des Comores avec une superficie de 1862 km². La superficie est respectivement de 1025km² pour la Grande Comore (Ngazidja), 424 km² pour Anjouan (Ndzouani), 211 km² pour Mohéli (Mwali). Mayotte (Maore) qui reste sous l'administration française, a une superficie de 350 km².

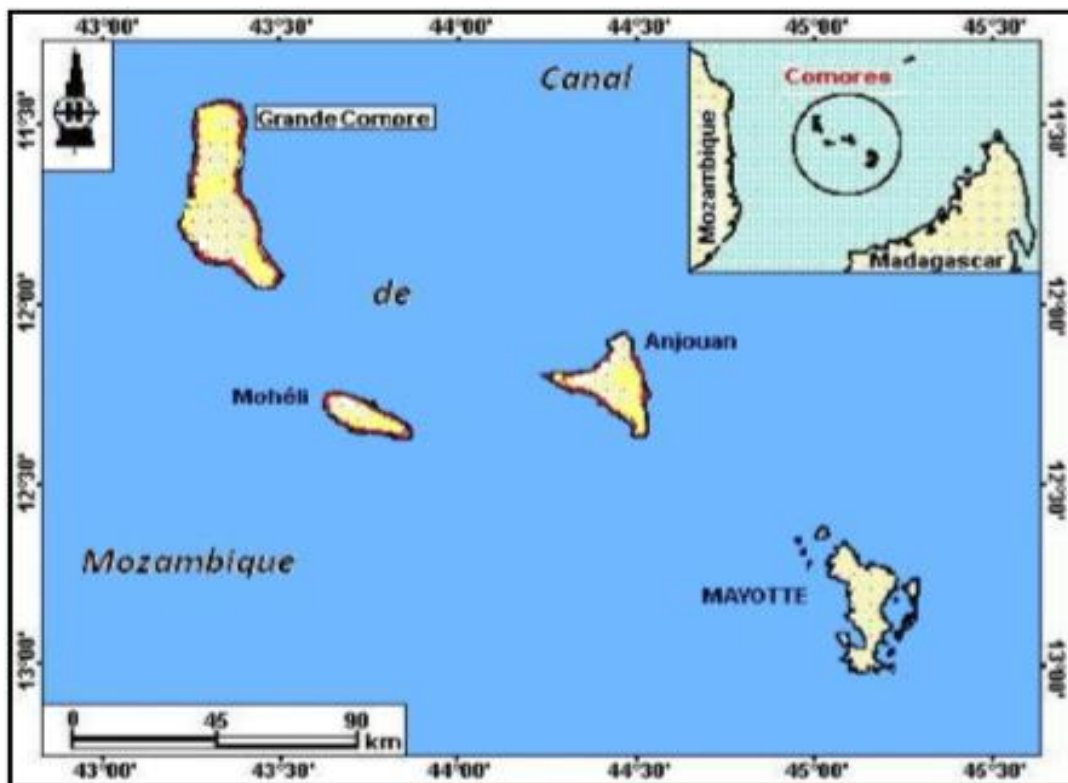


Figure 1: Localisation de la Grande Comore

La Grande Comore est une île de l'Océan Indien. Elle fait partie de l'Afrique des Comores, et se situe à l'entrée Nord du canal de Mozambique entre 11°20' et le 13°04' de latitude Sud et le 43°11' et le 45°19' de longitude Est, elle se trouve à 300 km du continent Africain et 400 km environ de la partie Nord du Madagascar. Elle est la plus grande (1025 km²) des quatre

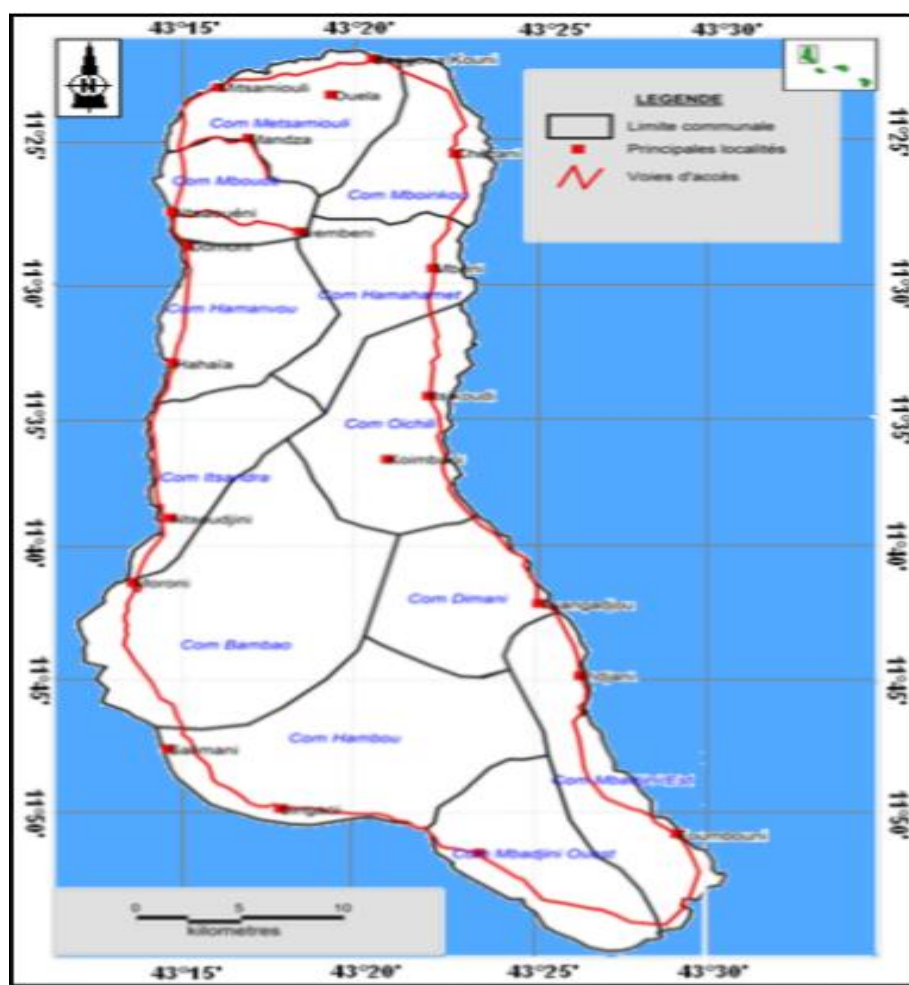
iles et la plus occidentale de l'archipel, à 200 Km au Nord-Ouest de la Mayotte (Boinali, 1982) (figure 1) Elle est appelée aussi ile de Ngazidja.

Ces îles sont distantes entre elles d'environ 30 à 40 km, (Verin et Battistini, 1984).

La Grande Comore est l'île la plus étendue et la plus occidentale, avec 64 km de long et 24 km. La capitale, Moroni, est située à l'ouest, au pied du mont Karthala (2361 m).

L'île se compose de trois régions naturelles: au sud la péninsule de Badjini, au centre le massif du Karthala et au nord le massif de la Grille.

Sa Capitale, Moroni est située sur le versant Ouest au pied du mont Karthala (figure 2). L'île est constituée par les Cantons ou Communes de Moroni, de Bambao, de Dimani, de Hamanvou, de Hambou, d'Itsandra, d'Oichili, de Hamahamet, de Mboinkou, de Mboudé, de Mitsamiouli, de Mbadjini-ouest et de Mbadjini-est (SCP, 2009).



Source : Carte de IGN (modifiée)

Figure 2: Carte de la Grande Comore

I.2. POPULATION

L'origine du peuplement des Comores est le résultat de vagues migratoires successives de groupes d'origines diverses qui se seraient fondus au cours du temps pour former cette originale civilisation Swahili de l'Océan Indien occidental. Aux Comores, ces migrations ont donné lieu aujourd'hui à une population homogène caractérisée par les mêmes coutumes, la même langue, le shikomor, et la même religion, l'islam sunnite.

La population de l'Union des Comores est estimée à 828 147 habitants en 2017

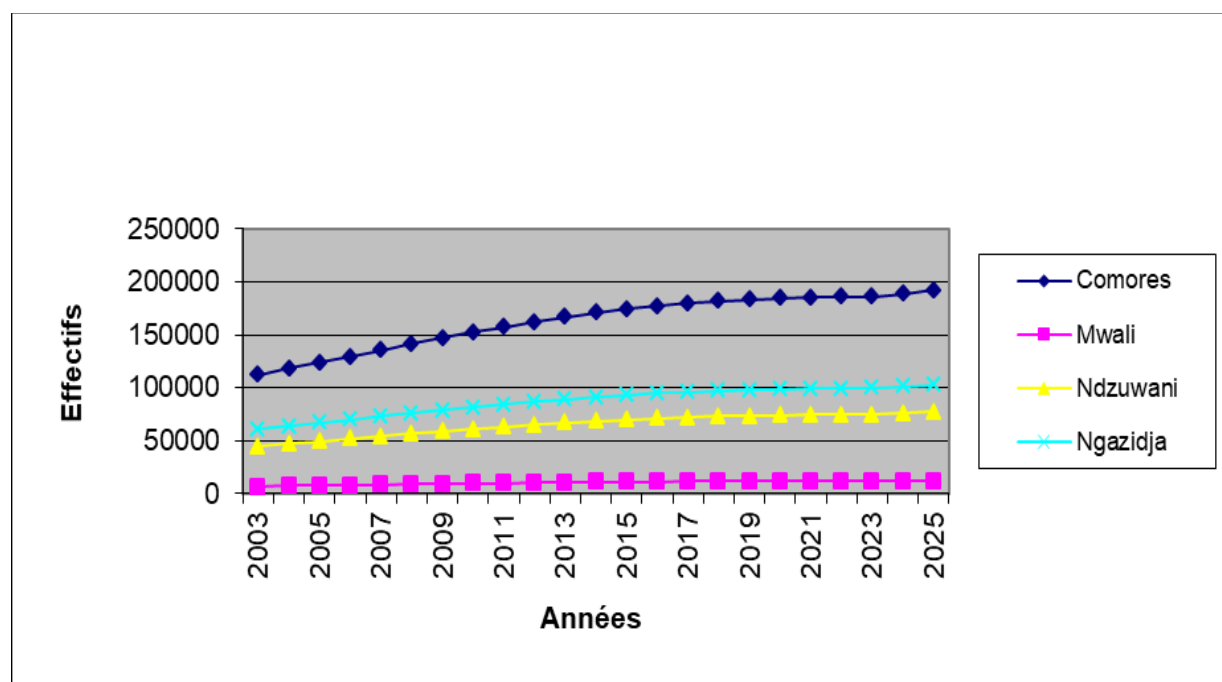
Grande Comores 421 884 hab

Anjouan 350 859 hab

Mohéli 55 404 hab

La population totale des Comores a été projetée sous une hypothèse probable durant la période 2003-2025. En l'an 2025, la population comorienne aura dépassé un million d'habitants : l'effectif probable attendu est de 1.019.861 habitants. On a recensé 575.660 habitants en 2003 sur l'ensemble des trois îles; La population atteindra 1.151.320 en 2032, soit elle doublera dans 29 ans après 2003.

Graphique 1 : Evolution de la population selon les îles de 2003 – 2025.



Source RGPH 2003

Figure 3: Evolution de la population

L'évolution de la population varie selon les îles. En effet, on note une différence dans l'accroissement de la population des îles : le temps de doublement de Ngazidja est de 35 ans contre 33 ans en Anjouan (Ndzouani) et 21 ans à Mohéli (Mwali). L'île de Mohéli connaît une croissance (3,3%) beaucoup plus rapide que les autres îles à cause d'une forte immigration et combinée avec une fécondité élevée. Cependant, à Grande Comore (Ngazidja), le taux de croissance démographique de 2,0%, s'explique par une forte émigration vers la France, Madagascar, les pays arabes, et les autres pays.

I.3.PEDOLOGIE

De façon globale, les sols de l'île sont fragiles et couvrent un milieu instable définie par une tendance vers des sols jeunes en évolutions. La pédogenèse aux Comores est illustrée par la morphogenèse qui est une dynamique s'adaptant au modelé ou au climat. Les modelés à crêtes aiguës les sols ne surpassent pas le stade évolué suite à la conjonction du relief et de l'agressivité du climat. D'où semble se traduire souvent certains phénomènes comme le décapage voire même des glissements de terrain (PAP/RAC, 2017). Au sein de l'île de Comores, se trouve la coexistence par succession ou combinaison de 3 catégories de sols

- D'abord, une majorité d'andosols se développant sur un matériau poreux et sur un matériau volcanique de la phase récente (Quaternaire). Ce qui est différent aux autres sols, ces andosols sont définis par une porosité atteignant 90% en matière organique et une perméabilité évolutive ;
- Ensuite, une minorité de sols bruns sur matériaux riches en bases dans des milieux à drainage limité, moins filtrants ou moins arrosés.
- Dans des rares cas, le modelé demeure favorable, quant aux sols ferralitiques dont l'intérêt agronomique est limité par le faible niveau de fertilité. Dans ce sens, Le caractère naturellement fragile et la sensibilité des sols à l'érosion sont conjugués par une déforestation pratiquée au niveau d'une mesure d'accompagnement et au relief très accidenté.

I.4.MILIEU BIOTIQUE

Cette partie concerne la diversité biologique et la végétation de chaque île de l'Archipel des Comores selon les études antérieures ainsi que l'environnement humain pour le contexte socioéconomique

I. 4. 1- Flore et végétation

I. 4. 1. 1- Flore

La flore de l'Archipel des Comores reste encore aujourd'hui peu connue au monde. Pourtant, elle est très diversifiée et une première étude a été faite au siècle dernier par Voltskova (1917). Elle a été traitée dans différents volumes de la Flore de Madagascar et des Comores (encore incomplète).

Elle fait état d'un total de 935 espèces de plantes vasculaires dont 416 sont considérées comme autochtones et 136 endémiques de l'Archipel. Adjanohoun et al. (1982), dans leur publication de l'étude ethnobotanique de l'Archipel des Comores, ont estimé la flore des Comores à plus de 2000 espèces. Ces dernières années, un effort particulier a été entrepris pour l'île de Mayotte (Pascal et al, 2001 ; Pascal, 1997 et 2002) et a montré de nombreuses espèces qui n'étaient pas encore signalées, y compris des espèces nouvelles. Actuellement, cette flore est estimée à plus de 2060 espèces. Pour l'ensemble de la flore vasculaire, plus de 33% des plantes autochtones sont endémiques, dont 36 espèces d'Orchidées (Keith et al, 2006). Keith et al. (2006) ont inventorié à Anjouan 608 espèces botaniques dont 67 % sont endémiques des Comores. Les familles remarquables sont les Asteraceae, les Euphorbiaceae, les Fabaceae, les Poaceae, les Rubiaceae, les Rutaceae et les Cyperaceae.

En outre, d'une manière générale, la flore de l'archipel est très proche de celle de Madagascar (avec des variations spécifiques de chaque île) et peut être considérée comme une version appauvrie de la Grande île (Louette et al. 2004). Par exemple, la flore mahoraise est plus proche de Madagascar que de l'Afrique. Un des traits marquants de la flore de Mayotte est la proportion considérable de plantes malgaches dans cette flore : elles sont trois fois plus nombreuses que les plantes d'origine africaine (Pascal et al, 2001). Les biogéographes associent Madagascar et l'Archipel des Comores. Selon Pascal (2002) : « D'un point de vue botanique, Mayotte n'est qu'un appendice de Madagascar. On a récemment trouvé à Mayotte une trentaine d'espèces d'arbres jusqu'alors considérées comme endémiques de Madagascar, ce qui renforce la suprématie des plantes d'origine malgache dans l'île ».

I. 4. 1. 2- Végétation

Les caractéristiques des sols et la succession de microclimats déterminent fortement l'aspect de la végétation spontanée. La végétation forestière des Comores couvre

1/6 de la superficie totale de l'Archipel des Comores (FAO, 2012), mais la plupart des formations sont déjà fortement modifiées et appauvries car, elles sont fortement dégradées et l'étendue de forêts naturelles est actuellement réduite (figure 4).

La forêt du Karthala est dense et caractérisée par une composition floristique très variée avec de nombreuses espèces et sous-espèces endémiques. Des facteurs anthropiques et environnementaux ont modelé l'évolution de la végétation forestière. Ces derniers facteurs sont essentiellement liés à la présence de microclimats, au degré de pluviométrie, à la présence de « brouillards », à l'altitude et à l'existence ainsi qu'au degré d'ancienneté des coulées de lave. En effet, l'altitude introduit des changements dans la composition floristique de la structure de la forêt.

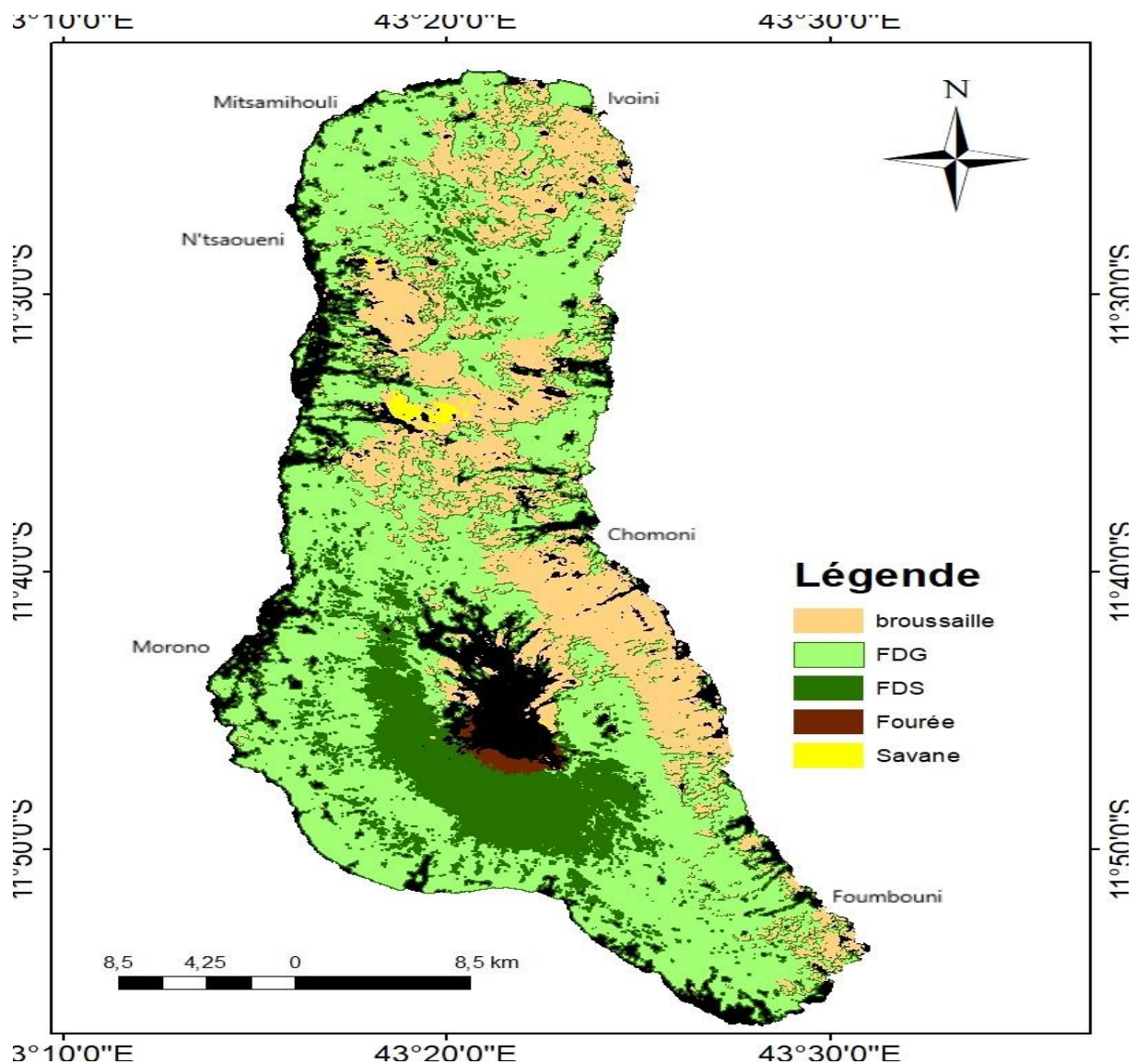


Figure 4: Carte de végétation de Grande Comore

La forêt humide de la Grille est envahie actuellement à 95% par un système agrosylvopastoral (cultures vivrières sous forêt, élevage et exploitation forestière). Les cultures vivrières sous forêt sont souvent composées d'une bananeraie sous forêt et de quelques cultures de vivrières et de rente. L'élevage de bovins est aussi caractéristique de cette zone. Dans le massif de la Grille on a pratiqué aussi des bandes de reboisement d'arbres forestiers plantés le long des champs. Les reboisements sont à base d'*Eucalyptus* et de *Casuarina equisetifolia*. Ces zones reboisées sont déjà exploitées de manière anarchique.

I. 4. 2- Faune

Les études sur la faune de l'Archipel des Comores sont assez fragmentaires. De nombreuses espèces endémiques ont été recensées de jour en jour selon les groupes faunistiques.

On note cent-une (101) espèces d'Oiseaux avec 35 variétés endémiques *Otus pauliani*, *Otus capnodes*, *Humblotia flavirostris* (Louette et al. 2004) parmi lesquelles 33 sont menacées d'extinction. Dix-sept (17) espèces de Mammifères dont 2 espèces et 3 variétés endémiques, avec 7 espèces menacées dont *Pteropus livingstonii*, *Roussetus obliviosus* et *Eulemur mongoz* (Mbae et Hamadi, 1991 et Tilot, 1998) ont été inventoriées.

Decelle en 1980 a recensé 1200 espèces d'insectes dont deux (*Pseudocrea lucretia comoran* et *Temnona pseudopylas latimargo*) sont menacées d'extinction, rares ou vulnérables. Vingt-cinq (25) espèces de Reptiles dont 11 endémiques sont menacées d'extinction *Ebenavia inunguis*, *Geckolepsis maculata*.

La faune lacustre est caractérisée par 32 espèces de poissons et de macro-crustacés d'eau douce dont 2 endémiques. La faune marine comprend 20 espèces de poissons et 12 espèces de Crustacées décapodes dont 7 sont endémiques de l'Ouest de l'Océan Indien, 1 endémique des Comores et 1 endémique de Madagascar et des Comores (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2002). La faune marine est composée de 820 espèces des poissons dont trois espèces menacées *Latimeria chalumnae*, *Pristipomoides filamentosus* et *Lethrinus nebulosus* (Keith et al., 2006) et cinquante (50) espèces de récifs coralliens dont le corail noir *Antipathes dichotoima*, protégé par la convention CITES et des *Antipatharia* sp. (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2002).

I.5.CLIMAT

Le climat des Comores est un climat de type tropical humide. Il présente des contrastes locaux marqués par des microclimats du fait de l'influence du relief sur les différentes composantes climatiques, en particulier la pluviométrie (PANA, 2006).

Le pays globalement est successivement balayé par les alizés «kusi » du Sud/Sud-Est entraînant par voie de conséquence deux saisons : une saison relativement plus sèche et fraîche de mai à octobre, et par la mousson « kashkazi » du Nord/Nord-Ouest, une autre, celle-ci des pluies chaude et humide de mi-novembre à mi- avril. La mousson revêt parfois un caractère cyclonique.

Les contrastes locaux sont importants et on note la présence de nombreux microclimats.

L'amplitude annuelle de la température moyenne est assez modeste, de l'ordre de 4°C (Ndiaye, 2013).

La saison chaude (ou saison des pluies), de novembre à avril, se caractérise par une chaleur humide, des orages assez fréquents et, surtout en janvier et février, par quelques épisodes fortement perturbés dus à la présence de dépressions tropicales à proximité de l'Archipel. En zone côtière comme à Moroni situé à 19 m d'altitude, la température moyenne est de l'ordre de 27°C, les maxima varient entre 31 et 35°C et les minima oscillent autour de 23°C.

La saison fraîche intervient de début juin à fin septembre. À basse altitude, les températures moyennes sont de 23 à 24°C. Les maxima restent élevés, autour de 28°C, mais les températures minimales accusent une baisse de 4 à 5°C par rapport à celles de la saison chaude. À basse altitude, comme Moroni d'altitude 19 m par rapport au niveau de la mer, les températures moyennes sont de 23 à 24°C. Les maxima se situent autour de 28°C et les minima entre 18 et 19°C.

La vitesse moyenne des vents est plus élevée en saison chaude, avec une large prédominance de la mousson soufflant du Nord-Ouest. Par contre, en l'absence de circulations cycloniques, il n'y a aucun risque de vent violent.

Par ailleurs, il convient d'évoquer également le régime des vents et cyclones que connaît l'Archipel des Comores. Comme précédemment dit en ce qui concerne les différents régimes de vents dont les alizés du Sud- Est et la mousson, il est bien une conséquence que c'est pendant la saison des pluies que le pays est assujetti à des éventuels cyclones.

Bien que Madagascar semble jouer le rôle d'une barrière efficace pour les Comores contre les cyclones, Legoff (2010) montre qu'elles sont classées par le PNUD parmi

les dix régions les plus vulnérables aux cyclones tropicaux. Il précise que les Comores auraient connu 40 cyclones entre 1910 et 1990 soit en moyenne un cyclone tous les deux ans. La saison cyclonique de 2003-2004 semble emblématique car elle a occasionné des dégâts et des pertes de vies humaines dans un naufrage de bateau entre Comores et Madagascar.

En ce qui concerne les précipitations, la pluviométrie moyenne est comprise entre 1500 et 5000 mm sur les zones côtières comme Moroni où l'altitude est de 19 m. Elle varie annuellement de 600 à 7000 mm sur les zones montagnardes comme sur les massifs de la Grille situées à plus de 1800 m d'altitude. La précipitation moyenne varie selon les altitudes et l'exposition des versants aux vents. Les Comores sont épisodiquement traversées par des cyclones, masse d'air nuageuse mobile, fortement circulaire, accompagnée de vents et de pluies très violents (Ndiaye, 2013).

Au niveau de la répartition des précipitations dans les îles, le PANA indique que dans la Grande Comore les précipitations dépassent 4000mm/an au niveau de la forêt du Karthala située sur le versant Ouest de l'île. Selon cette même source, la pluviométrie élevée de la Grande Comore s'explique par son relief plus élevé (plus de 2000 mètres) et par sa situation plus à l'Ouest de l'Archipel

I.6.HYDROLOGIE

Le problème de l'eau ne se pose pas avec le même degré dans l'ensemble des îles Comores. Le réseau hydrographique est bien développé, permanent à Mohéli et à Anjouan alors qu'en Grande Comore, il est faible du fait de perméabilité élevée de son sol volcanique.

A la grande comore malgré une pluviosité satisfaisante avec une moyenne annuelle variable entre 1500 mm et 5000 mm, les sols de la grande comore sont caractérisés par une grande perméabilité. Le réseau hydrographique est inexistant car il n'existe aucun écoulement superficiel en raison de la porosité des roches volcaniques. Exception faite des habitants des agglomérations de Moroni, N'tsaweni, et Fumbuni qui bénéficient de réseaux modernes d'approvisionnement en eau, la majorité de la population dépend du système de collecte et de stockage de l'eau de pluie à partir des toitures dans des citernes.

Les sources correspondent à deux types distincts :

- Sources côtières et Sources à l'intérieur de l'île.

Il existe une multitude de sources sous-marines tout autour de l'île de Ngazidja. Leur émergence se situe toujours entre le niveau des basses mers et celui des hautes mers. Du fait de leur localisation, ces sources donnent une eau salée comparativement froide car les fissures

émettrices sont envahies par la mer à chaque marée. Ces sources bien que leur eau soit de potabilité mauvaise (Fumbu) ont toujours fourni une part importante des besoins de certains villages accoutumés à s'en servir sans restriction.

- sources à l'intérieur de l'île existent. Elles sont situées dans les massifs de la Grille (Bondé, Suu, Hamwandzé, Mkudusi) et de Mbadjini (Dzitsoni, Sandani, Suni).

Ces exécutoires de nappes perchées en altitude fournissent une eau très douce et de potabilité excellente. Dans l'ensemble les débits sont faibles (la source la plus importante à Bondé, à l'est de Maweni a un débit maximum de 28 l/s) et diminuent considérablement en saison sèche. L'aménagement de certaines de ces sources a permis l'installation de quelques bornes fontaines approvisionnant les localités voisines en eau potable.

On rencontre sur Ngazidja deux types de lacs de cratère.

Ceux qui, en altitude se remplissent d'eau douce et à proximité du rivage sont pénétrés d'eau salée. Le deuxième type se forme à la faveur de la couche imperméable et ces lacs se remplissent d'eau douce pluviale ou provenant des sources en altitude. Ils peuvent s'assécher complètement durant la sécheresse.

Le Lac *Ha Ntsongoma* situé au pied du Karthala à l'est du village de Bahani est un lac naturel aux eaux turbides d'une superficie de 800 m² et d'une profondeur de 1,6 m. C'est la seule étendue d'eau douce.

Le lac *salé ou Nyamawi* (le plus important de l'île) situé sur la côte nord, près de Bangwa kuni au voisinage immédiat de la mer est un lac de cratère rempli d'eau qui communique avec la mer et dont les eaux sont plus ou moins troubles. Cette étendue d'eau d'une superficie de 5 ha et d'une profondeur supérieure à 300 m est un site touristique fort attrayant. Une prolifération d'algues sur son pourtour et les pâturages sur ses versants sont cependant à l'origine d'un début d'eutrophisation. Il sert surtout d'abreuvoir pour les troupeaux de la région.

Des marais côtiers existent à Ikoni (au sud de Moroni), à Samba Madi (à l'est de la plage de Shomoni) et à proximité de Bangwa Kuni (lac salé). Ces écosystèmes abritent diverses espèces faunistiques très intéressantes du point de vue de la biodiversité qui n'ont pas encore été étudiées.

I.7.CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

L'environnement est l'ensemble des éléments qui constituent le voisinage d'un être vivant ou d'un groupe d'origine humaine, animale ou végétale et qui sont susceptibles d'interagir avec lui directement ou indirectement. C'est ce qui entoure, ce qui est aux environs (Source : www.toupie.org). ,

Aux îles de la lune, l'environnement est considéré comme un domaine crucial et très sensible. Pour cela des actions de protection, de conservation et de gestion du patrimoine naturelle sont menées depuis 1993, date à laquelle le premier document de diagnostic environnemental a été élaboré. L'environnement est le pivot des principaux secteurs d'activités économiques de production de biens et services marchands.

Des études récentes ont aussi établi que la relance de la croissance aux Comores est fortement tributaire du développement du tourisme, alors que le potentiel touristique du pays est basé sur la qualité du cadre de vie et de l'environnement naturel (D.G.E, 1993).

Les milieux naturels et les habitats, constitués par des écosystèmes tropicaux variés jouent un rôle protecteur vis-à-vis de certains aléas naturels. A titre d'exemple, les récifs coralliens et les mangroves sont des systèmes de défense qui diminuent l'effet de la vague, et du risque d'érosion associé, et diminue considérablement l'impact des remontées d'eaux océaniques.

L'intégration des aspects environnementaux dans les campagnes de sensibilisation pour la prévention des catastrophes naturelles permettra d'atténuer les effets de ces catastrophes sur la vie, l'économie et la santé des populations.

I.7.1.Les espèces végétales du rivage

Les principales variétés végétales qui se retrouvent sur les littorales des îles sont la *Sonneratia alba*, *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Lumnitzera racemosa*, *Heritiera littoralis* et *Ceriops tagal*. L'*Avicennia marina* ne dépasse généralement pas les 6 m de hauteur (FAO, 2005).Au niveau de la Grande-Comores les peuplements se retrouvent à l'ouest principalement à Domoni, Hahaya, Ouroveni, Ikoni avec quelques petites zones de mangroves également à Shindini. Ces espèces se disposent selon un zonage allant des Sonneriacées du côté marin aux Avicenniacees et Rhizophoracées du côté terrestre. La mangrove présente un intérêt socioéconomique et écologique. Elle protège la côte contre la montée des eaux et joue un rôle tampon entre les milieux aquatiques et marins. C'est également un abri et un lieu de reproduction pour des larves dont les adultes vivent dans les océans (AbdoulKarim et Soule, 2011).

I.7.2.Les cyclones et tempêtes tropicales

L'archipel des Comores est peu touché par les cyclones en raison de sa position géographique, protégé à l'est par Madagascar et à l'ouest par le continent Africain. Il arrive néanmoins que la trajectoire de certains cyclones touche les Iles Comores en contournant Madagascar par le Nord ou en le traversant, provoquant alors des dégâts d'autant plus graves que la population n'est pas préparée à faire face aux catastrophes naturelles.

En plus, les cyclones ont lieu en saison chaude. Au moment d'un cyclone, les vents peuvent atteindre 85 nœuds (155 km / h), comme ce fut le cas en 1983. Dans tous les cas la puissance de l'impact d'un cyclone décroît dans l'archipel d'Est en Ouest donc d'Anjouan vers la Grande Comores dont des houles de 20 m peuvent y être associées.

L'île a connu plusieurs perturbations de types cycloniques dont le plus important, celui de décembre 1950 a laissé de nombreuses traces sur l'île et dans les mémoires. Les cyclones les plus dévastateurs et les plus récents sont ELITA et GAFILO en Février 2004 qui ont dévasté habitations, plantations, routes et divers écosystèmes. Le secteur agricole a été sérieusement touché (Abdoulkarim et Soule, 2011).

I.7.3.Les systèmes culturels qui existent aux Comores.

Généralement, il existe quatre systèmes de cultures en Union de Comores :

- ✚ Système culturel de plein champs ;
- ✚ Système culturel sous forêts naturelles ;
- ✚ Système culturel agroforesterie traditionnelle ;
- ✚ La mono culture ou culture de rente

❖ Le système culturel de plein champs

Ce système concerne les cultures vivrières annuelles avec sans d'arbres associés. Son avantage agro écologique est qu'il n'y a pas d'apport de composants chimiques. Mais, le manque parfois de jachère, le sol sans couvert végétal est de plus en plus vulnérable à l'érosion, et également la baisse de l'appauvrissement des éléments nutritifs qui a pour conséquence la baisse de la fertilité.

❖ Le système des cultures sous forêts naturelles

C'est un système de pénétration de la forêt par l'agriculture. Le plus souvent c'est la bananeraie et le taro.

Son inconvénient est la tendance à la diminution de la forêt sous l'emprise des cultures. Ceci justifierait en quelque sorte la mise en culture de zones forestières constatée sur la carte de changements.

❖ *Système cultural d'agroforesterie traditionnelle*

Ce système consiste à associer dans la même parcelle les cultures vivrières, les arbres fruitiers et parfois les arbres forestiers. Il s'avère que ce système est stable avec une couverture permanente du sol. Il pourrait être la culture pratiquée sur les zones de cultures stables de la carte des changements (Ambdillah, 2009)



Source : Ambadillah, 2009.

Figure 5: Type d'agroforesterie traditionnelle.

❖ *Le système des cultures de rente*

C'est le système des cultures des produits de rente : la vanille, le girofle et l'ylang-ylang sur des parcelles spécifiques. En effet, avec l'association des cultures vivrières à ces cultures pérennes tend à disparaître. Ce système semble le plus vulnérable aux changements climatiques, car il se pratique généralement sur les zones côtières où les champs pourraient être envahis par la montée des eaux ou que celles-ci passent par la nappe aquifère (Asconit.consultant, 2011)



Source : Ambdillah, 2009

Figure 6: Cultures de rente.

I.8. GEOLOGIE

De façon générale, les sols des îles comoriennes sont fragiles et constituent un milieu instable caractérisé par une tendance vers des sols jeunes peu évolués. La pédogenèse est contrariée dans la plupart des sites par la morphogenèse, une dynamique qui est liée au modelé et/ou au climat. Dans les modelés à crêtes aiguës, les sols ne dépassent pas le stade évolué en raison de la conjonction du relief et de l'agressivité du climat. Sur un versant escarpé, on observe fréquemment des ravinements, des décapages voire même des glissements de terrain jusqu'en forêt.

De forme allongée Nord-Sud, Ngazidja est la plus vaste des îles Comores (1025 km²). Elle mesure dans sa plus grande longueur 68 km et 24 km dans sa plus grande largeur. C'est une île à la forme massive avec une partie centrale renflée correspondant au volcan Karthala, où se trouve le point culminant de l'île (2361 m). Elle est flanquée au Nord d'un appendice massif long de 30 km et large de 15 km, le massif de la Grille, et au Sud d'un appendice plus petit, long de 15 km et large de 10 km, le massif de Mbadjini. La côte Ouest présente une plaine côtière de coulées subhorizontales, discontinue de 1 à 2 km de large, qui est absente des côtes Sud et Est.

L'île repose sur une croûte continentale granitique. On y trouve des petites zones d'alluvions, résultant d'écoulements superficiels sporadiques. Elles sont constituées par des matériaux fins dus à l'action des torrents.

Dans certaines régions côtières (Hahaya, Chindini et Dimani), il existe des colluvions et des alluvions qui correspondent respectivement à des faibles transports et à des dépôt d'origine torrentielle constitués par des galets, des sables et d'argiles.

Les côtes rocheuses sont en général peu élevées, sauf les deux cônes volcaniques dans la région d'Iconi. Elles présentent des falaises et des grottes entre coupées en certains points par des plages de sables blanc comme à Mitsamihouli et à Itsandra.

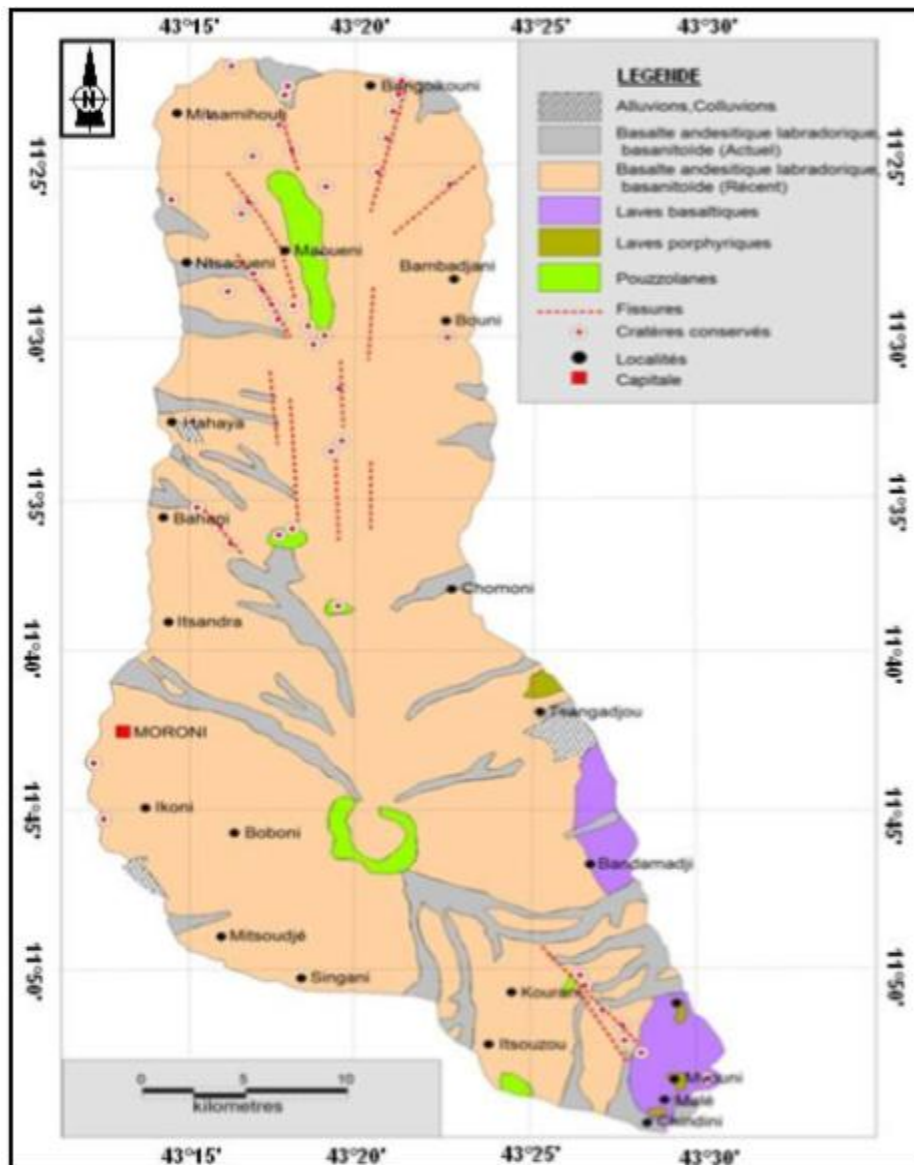
Parmi les formations sédimentaires récentes, on distingue celles d'origine biogène (récifs coralliens) et celles d'origine terrigène (sables, galets marins, plages de sables blanc et des grès induré). Leurs seuls vestiges sont formés par des grés indurés ou « beach rocks ».

Les galets et les sables sont issus de phénomènes de transport et de dépôt des sédiments marins sur le littoral.

La Grande Comore est constituée par des formations volcaniques à différentes phases d'éruption. Presque la totalité de l'île est couverte par des formations issues de la phase supérieure (Quaternaire) (figure 7) constituées par des roches compactes finement vacuolaires de couleur grise noirâtre ou grise verdâtre. Ce sont surtout des basaltes andésitiques, des basaltes labradoriques, des basanitoides et des limburgites.

Les formations les plus caractéristiques sont les coulées à scories et à dalles ainsi que les cônes adventifs de projection. Ces formations sont rencontrées sur le massif de la Grille et le massif de Karthala. Le massif de Mbadjini date d'une phase plus ancienne (Miocène) (Ibrahim, 2009). Ces terrains sont plus ou moins altérés en sol ferralitiques et argileux.

Les laves de la phase inférieure donnent des formations porphyriques mélanocrates constituées généralement par des roches basaltiques à olivine de types Ankaramites et Ancaratrites. Ces roches sont couvertes par une altération ferrugineuse très développée (DP/UNICO ? 1986).



Source : Patrick et al, 1993

Figure 7: Carte géologique de la Grande Comore

Le Karthala est un volcan « bouclier » occupant environ deux tiers de l'île mesurant près de 20 km de diamètre. Ce volcan est caractérisé par un grand dôme à pente forte (20 à 30 degrés sur les grandes pentes), une vaste caldeira sommitale large de 3 à 4 km et de nombreux cratères secondaires sur ses flancs. Par conséquent l'activité éruptive du Karthala se localise non seulement à son sommet mais aussi sur ses pentes. De nombreuses éruptions ont eu lieu durant la phase historique, marquant l'île de longues coulées dont certaines n'ont pas encore été colonisées par la végétation. L'activité sismique du Karthala est quasi-permanente. Il s'agit fort heureusement d'une micro-sismicité qui rappelle cependant que la Karthala est un volcan

toujours en activité.

Le massif de la Grille est une péninsule massive plus élevée à son extrémité (1087 m), s'abaisse vers le sud où il se relie au Karthala par l'ensellement du plateau de Dibwani d'une altitude moyenne entre 500 et 600 m. Ce massif est hérissé d'un dôme entouré de quelques 120 cônes stromboliens qui donnent un aspect de paysage de collines.

Le massif de Mbadjini au sud est de plus petite taille (650 m), témoin d'un volcanisme antérieur à celui du Karthala. Il est caractérisé par un modelé tout particulier dû au fait qu'ici l'érosion a pu jouer sur un sol plus ou moins imperméable, sol ferralitique riche en argile par suite d'une altération superficielle d'une longue durée. Quelques petites plaines côtières étroites souvent alluviales ont pu se former.

Il est à noter que l'île de Ngazidja est caractérisée par l'existence de grandes superficies de coulées noires de laves altérées provenant d'éruptions récentes et non encore colonisées par la végétation. L'émergence de cette île est considérée comme la plus récente. Son origine serait due à la succession de plusieurs phases volcaniques associées à une remontée de la croûte. . L'île repose sur une croûte continentale granitique dont on trouve quelques témoignages sous forme d'enclaves gréseuses provenant de la désagrégation de roches granitiques et gneissiques.

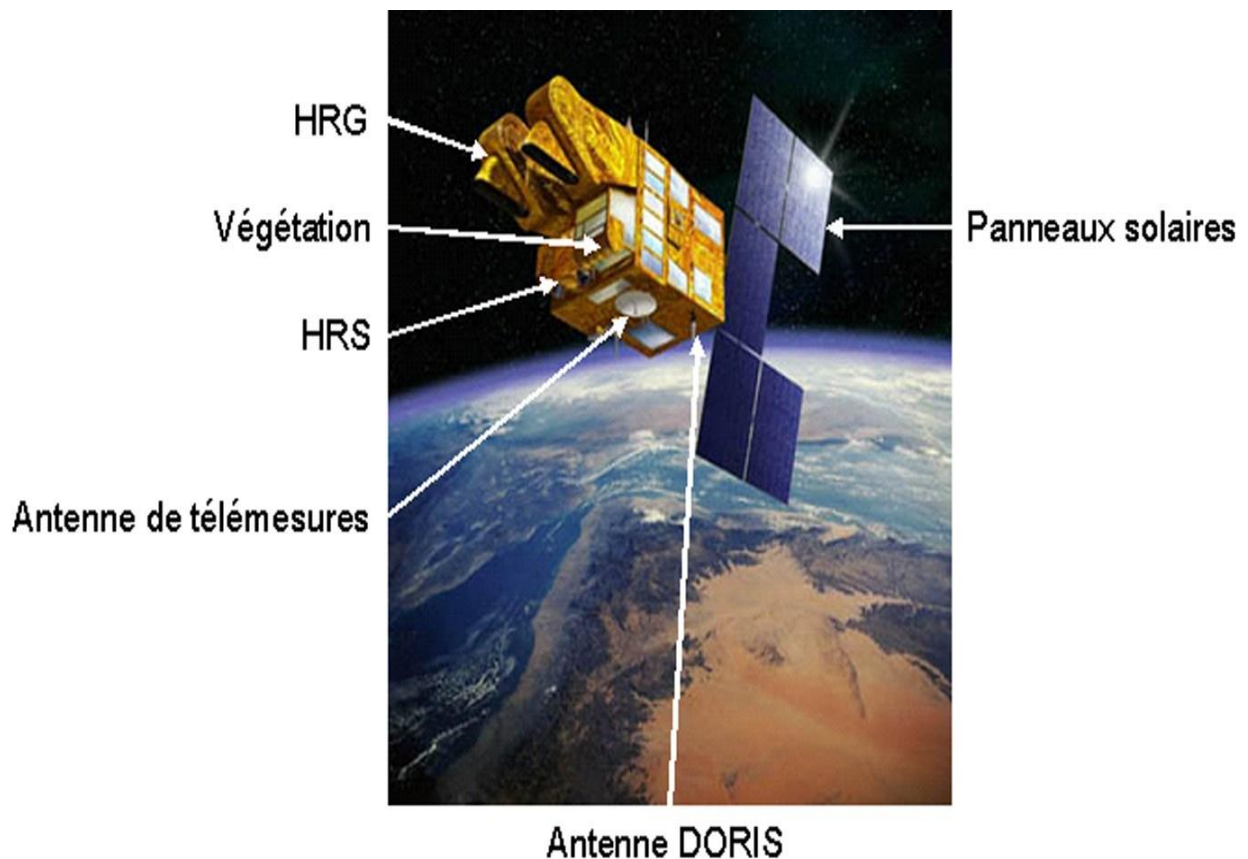
Le milieu côtier et marin présente une grande diversité dans sa morphologie et dans sa nature. La côte de l'île est généralement rocheuse présentant des falaises interrompues par endroits de plages de sable blanc (Itsandra, Mitsamihuli, Hantsindzi, Buuni, Shomoni, Shindini) témoignant de l'existence de hauts fonds corallifères. Quelques récifs coralliens de type frangeant s'observent loin des zones d'épanchement volcanique, aux extrémités nord et sud de l'île. A l'est, la côte devient massive, rectiligne et austère à partir du village de Shomoni. Elle est curviligne et peu variée de Shomoni à Fumbuni. Dans la zone côtière ouest, on observe des côtes rocheuses avec sur la frange littorale allant de Salimani à Sima Mbwani des grottes abritant les coelacanthes à environ 200 m de profondeur. Certaines régions côtières (Hahaya, Shindini, région de Dimani) présentent des colluvions et des alluvions qui correspondent respectivement à des faibles transports et à des dépôts d'origine torrentielle constituée de galets, de sable et d'argile. La pente sous-marine de l'île est très forte avec un plateau continental allant jusqu'à 200 m de profondeur en moyenne. Ce plateau est très étroit, entre 200 m et 1200 m de large. Au-delà se trouve la zone pélagique côtière avec une profondeur d'environ 500 m puis la zone pélagique océanique localisée à des profondeurs supérieures à 3000 m. Comme le plateau continental est réduit, le développement des récifs coralliens est relativement faible.

CHAPITRE II. RAPPEL METHODOLOGIQUE

Ce second chapitre développe la démarche méthodologique de la technique utilisée sur la télédétection. Il traite explicitement la théorie fondamentale de la technique adoptée pour réaliser la carte d'occupation du sol de la Grande Comore.

II.1.SPOT 5

Le système SPOT a été engagé en 1978 par le gouvernement français sur une base essentiellement nationale, avec la participation de la Belgique et de la Suède, ces pays contribuant à 4% des coûts du programme. Les satellites SPOT permettent de découvrir des objets d'une dizaine de mètres sur chacune des images de 60 kilomètres de côté. Recul, détail, répétitivité et souplesse d'emploi par une programmation au jour le jour sont autant d'atouts qui font des satellites SPOT un outil fort utile dans bien des domaines. L'augmentation de la résolution va néanmoins de pair avec une diminution de la vue globale du paysage et une limitation de la répétitivité des observations ; la fréquence des passages du satellite au-dessus d'un même point diminue. Le 4 mai 2002, une fusée Ariane 4 a lancé SPOT 5 (figure 8). Les appareils emportés par SPOT 5 sont repris, en comparaison avec les satellites anciens de la famille SPOT.



Source. <http://www.spotimage.fr>

Figure 8 : SPOT 5

SPOT résout les problèmes, mentionnés ci-dessus, par la possibilité de prendre des données obliquement, une même région peut ainsi être observée par un même satellite environ tous les 4 jours. Les données satellites envoyées par SPOT 5 sont de très haute résolution spatiale, et ont ouvert la porte à un grand nombre de nouvelles applications. Cependant, cette grande quantité d'informations pose des problèmes de stockage, de transmission et de traitement.

II.2. EVOLUTION DES TECHNIQUES

II.2.1. Capteurs satellites

Un capteur comporte trois éléments constitutifs : un système optique, un filtre spectral et un détecteur. Le système optique fixe l'angle instantané de prise de vue, le filtre spectral (ou les filtres spectraux) définit le domaine spectral de la mesure et le détecteur transforme le signal physique en informations utilisables pour l'utilisateur. Différents objectifs sont poursuivis par les satellites, certains fournissent une vision globale du territoire (SPOT Végétation,...) ; ils visent l'obtention d'images couvrant la plus grande superficie possible, sans faire de la résolution spatiale un paramètre contraignant. Ces satellites ont une très haute résolution temporelle, ce qui est très intéressant pour le suivi de l'environnement. D'autres analysent le territoire de manière précise (SPOT HVR, IKONOS,...) ; l'espace étudié est beaucoup plus petit et la résolution spatiale nettement meilleure. Dans ce travail, il s'agira de traiter des images à très haute résolution spatiale du cinquième Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT 5). La série des satellites SPOT fait partie du groupe des capteurs passifs, à opposer aux capteurs actifs (annexe 1) ; le dernier né de la série, SPOT 5, atteint une résolution de 10m pour le capteur multispectral (XS) et de 5m pour le capteur panchromatique (P).

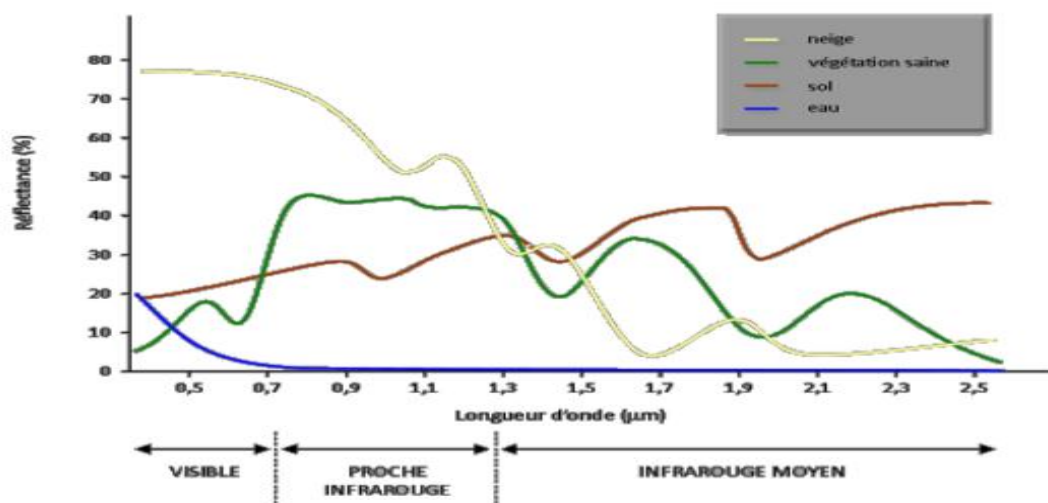
II.2.2. Traitement de données et choix des canaux

Une image satellite est formée de composés élémentaires appelés «pixels» dont la valeur est définie par la mesure de la radiance moyenne. La plupart des logiciels de télédétection traitent les pixels un par un sur base de leurs propriétés spectrales (Bontemps, 2004).. Le développement des technologies a permis d'obtenir des images à très haute résolution, ce qui a provoqué un changement dans la manière de traiter l'information des données satellites. Le nombre de pixels mixtes, contenant plusieurs objets ou parties d'objets, a fortement diminué, ce qui facilite grandement l'interprétation des signatures spectrales. Ces

images à très haute résolution remettent même en question la pertinence de l'échelle d'analyse, qui ne s'assimile plus nécessairement à celle du pixel (Pekkarinen, 2002).

Une nouvelle méthode a été élaborée pour traiter au mieux cette nouvelle information. La classification contextuelle ou segmentation. Elle intègre les informations contextuelles et spatiales. Les pixels sont toujours analysés sur base de leurs propriétés spectrales mais aussi sur base des relations qu'ils entretiennent avec leurs voisins. L'image est divisée en plusieurs régions, dont la taille est supérieure à celle du pixel, les critères de regroupement étant la proximité, la répétitivité, la superficie, la forme, une certaine homogénéité de texture,... (Lillesand et Kiefer, 1994 ; Pekkarinen, 2002). Cette approche pourrait être d'une grande utilité pour le traitement des images à très haute résolution de ce travail.

Pour faciliter et optimiser la classification il est important de sélectionner les bandes spectrales les plus intéressantes, c'est à dire les plus discriminantes. Pour cela, il faut connaître le comportement spectral des éléments à distinguer. La réflectance d'un sol nu, par exemple, est de manière générale peu influencée par la longueur d'onde, par contre le taux d'humidité, la concentration en matière organique, le pourcentage de fer et la texture ont une importance prépondérante. La signature spectrale de la végétation (Figure 9) présente deux comportements totalement opposés dans le domaine du visible, plus particulièrement dans le rouge, et dans celui du PIR, la transition entre les deux se traduisant par une brusque augmentation de la réflectance.



Source (UVED, 2008)

Figure 9: Signature spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et infrarouge moyen.

II.3. APPLICATIONS DES DONNEES ACQUISES PAR SPOT 5

Avant l'ère spatiale, l'Homme n'avait jamais pu avoir une vision globale du monde qu'il habite. La mise en orbite des premiers véhicules spatiaux a fait reculer l'horizon accessible et a permis de montrer notre planète comme jamais nous ne l'avions vue auparavant. Aujourd'hui, les satellites d'observation sont devenus indispensables aux scientifiques et industriels comme aux militaires. Equipés de systèmes de vision de plus en plus performants, ils sont capables soit de couvrir de manière systématique et répétitive des portions de territoires immenses, soit de produire des images très détaillées. SPOT est un outil proche des besoins des utilisateurs dans des applications aussi diversifiées que l'agriculture, la cartographie, l'urbanisme, la gestion des forêts, la gestion des risques naturels, la géologie, l'exploration des ressources en eau, l'étude côtière et océanique, le contrôle et la surveillance de l'environnement. Dans ce travail, des images acquises par SPOT 5 seront utilisées pour l'élaboration d'une carte détaillée d'occupation et d'utilisation du sol.

II.4. CARTE D'OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol est une description physique de l'espace, elle est définie comme la couverture (bio-) physique de la surface des terres émergées, c'est-à-dire ce qui recouvre le sol. On distingue ainsi plusieurs catégories biophysiques : la végétation (arbres, buissons, champs, pelouses), les sols nus (même s'il s'agit d'un manque de couverture), les surfaces dures (roches, bâtiments), les surfaces humides et les plans d'eaux intérieures. Par conséquent, l'occupation des sols est « observée », c'est-à-dire effectuée à l'aide de différentes « sources d'observation » situées à plus ou moins grande distance de la surface terrestre : l'œil humain, les photographies aériennes, les sondes satellites (Rasoanaivo, 2017).

Classer des données satellitaires, c'est grouper les unités primaires qui les composent (pixels) en un nombre donné thématiquement connu ou spectralement homogène (Defourny, 2010). Les procédures de classifications permettent la confection des cartes thématiques.

Une carte d'occupation du sol représente la couverture (bio) physique observée sur la surface de la zone étudiée, elle est confinée à décrire la végétation et les constructions humaines.

II.4.1.Définition

La carte d'occupation est une image des occupations du sol (land cover) qui s'élabore sur base d'une spatiocarte (document cartographique ayant pour fond des images satellites combinées éventuellement à des informations supplémentaires) ou d'une image brute. Le principe général est de faire correspondre les pixels ayant les mêmes propriétés à une classe qui définit le type d'occupation du sol. L'ensemble de ces classes est prédéfini dans le cas d'une classification supervisée.

II.4.2. Importance des données sur l'occupation du sol

Les données sur l'occupation des sols fournissaient en général des informations quantitatives (classes d'occupation / utilisation, estimations de la superficie). Des précisions concernant les caractéristiques qualitatives (pratique agricole, valeur écologique, etc.) sont nécessaires pour bien décrire les processus en action. Ces données (les classes d'occupation) sont également des unités analytiques qui permettent d'établir un premier lien quantitatif entre les activités humaines, leur répercussion sur l'environnement, et la dimension, géologique (spatiale).

En outre, les changements d'occupation du sol est un problème environnemental pressant, agissant à la fois comme une cause et une conséquence du changement climatique. Les rapports d'évaluation actuelle et future du GIEC (groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat) sont basés sur une compréhension incertaine de la dynamique de la surface terrestre et de processus connexes. Les applications de la couverture terrestre et les dynamiques des sols dans les modèles du système terrestre liés au changement climatique et des modèles d'évaluation d'impact doivent être mieux reliés et coordonnés. L'importance de ces questions nécessite des systèmes de surveillance continue et des données fiables et à jour.

Les informations concernant l'évolution de l'occupation des sols présentent un intérêt majeur pour les politiciens qui évaluent les décisions touchant à la terre et pour la communauté scientifique qui découvre les causes sous-jacentes et les conséquences, ces informations prennent ainsi une dimension beaucoup plus intéressante à travers l'analyse, l'identification et la description du processus en cours.

De plus, il y a un certain nombre de produits cartographiques d'occupation du sol à l'échelle continentale et mondiale. Ces produits ont été élaborés grâce à la disponibilité des observations satellitaires continues depuis les années 1980.

Avec l'évolution des technologies, il est devenu de plus en plus possible d'obtenir des informations d'occupation du sol à partir d'une combinaison d'enquêtes sur le terrain et des données d'observation de la terre à l'échelle mondiale, régionale, nationale.

II.5. ETAT DE L'ART DES METHODES DE CLASSIFICATION DE L'OCCUPATION DU SOL

Depuis l'avènement des capteurs à haute (HRS) et très haute résolution spatial (THRS) lancé à partir des années 1990, les méthodes de traitement d'images sont de plus en plus développées. Ces capteurs, qu'ils soient satellitaires ou aéroportés, fournissent des images dont la résolution spectrale est pour la plupart inhérente au domaine d'application visé par la mission du capteur notamment pour ce qui concerne les satellites. En effet, le nombre de bande spectrale peut varier en fonction des capteurs. De plus, ces données de télédétection sont de plus en plus diversifiées. Elles peuvent répondre aux attentes des utilisateurs finaux par leur disponibilité, coût, fréquence d'acquisition.

Parmi les méthodes de traitement des données de télédétection utilisée aujourd'hui, on distingue principalement les méthodes de classification. La cartographie de la couverture des sols est une application très répandue. De nombreuses études ont été menées dans ce sens et sont disponibles dans la littérature. (Sparfel et al, 2008 ; Hong et al, 2009 ; Achbun et al, 2011).

La classification est définie comme étant « une représentation abstraite de la situation sur le terrain en utilisant des critères de diagnostic bien définis : les classificateurs », mais aussi « l'ordonnancement ou l'agencement des objets dans des groupes ou des ensembles sur la base de leur relations » (Spécification technique de l'Observatoire du Sahara et du sahel, 2014).

Ainsi, se distinguent deux types de classification : non supervisé (automatique) et supervisé (par apprentissage ou règle de décision).

La première méthode de classification (apparue dans les années 1970) est celle qui est basée sur l'approche pixelaire (ou classification par pixel). Cette méthode dite « classique » permet de regrouper les pixels individuellement en fonction de leur caractéristique radiométrique « contenue dans les valeurs d'une ou plusieurs bandes spectrales ». Plusieurs méthodes portant sur cette approche se sont développées, telles que les méthodes de K-Means, cluster Isodata et celle utilisant des distances ou encore par maximum de vraisemblance ... etc.

Cependant, la classification issue de cette méthode montre ses limites quant à l'application aux zones très hétérogènes comme le milieu urbain (Thi- Thanh-Hien et Dong- Chen, 2013),

les zones spécifiques comme le littoral mais aussi à l'utilisation des images à hautes et très haute résolution (Sparfel et al, 2008). « Plus la résolution spéciale est fine, plus l'hétérogénéité des objets à extraire croît, rendant les méthodes spectrales de moins en moins performantes ». (Sparfel et al, 2008) ainsi, l'information spectral à elle seule ne permet pas de discriminer les différentes classes d'occupation des sols. Ce qui nécessitait la prise en compte d'autre information permettant de caractériser le pixel dans son voisinage. (Blaschke et Strobl, 2001).

II.6. MÉTHODOLOGIE

On a pris une image avec des conditions atmosphériques, notamment durant les périodes sèches de l'année. L'étude va se focaliser sur la cartographie d'occupation du sol de la Grande Comore. Pour pouvoir réaliser cette étude, on va devoir obtenir l'image indispensable qui entre dans la zone d'étude depuis la photographie aérienne jusqu'à l'image satellitaire venant de spot 5.

Pour des raisons précitées, nous avons utilisé la classification supervisée à l'aide du logiciel ENVI. L'ensemble de la zone d'étude sur les images était divisée en plusieurs classes ; la classification, l'interprétation des images ainsi que la matrice de confusion ont été réalisées à l'aide d'ENVI 4.7 et la cartographie proprement dite a été réalisée sur ArcGIS 9.2.

VUE GÉNÉRALE

La méthodologie générale avancée s'est basée essentiellement sur la géomatique. À cet égard, la télédétection et le SIG ont été utilisés tout au long de la recherche. La figure 10 ci-après montre les détails de la méthode que nous avons suivie pour la réalisation de cette recherche

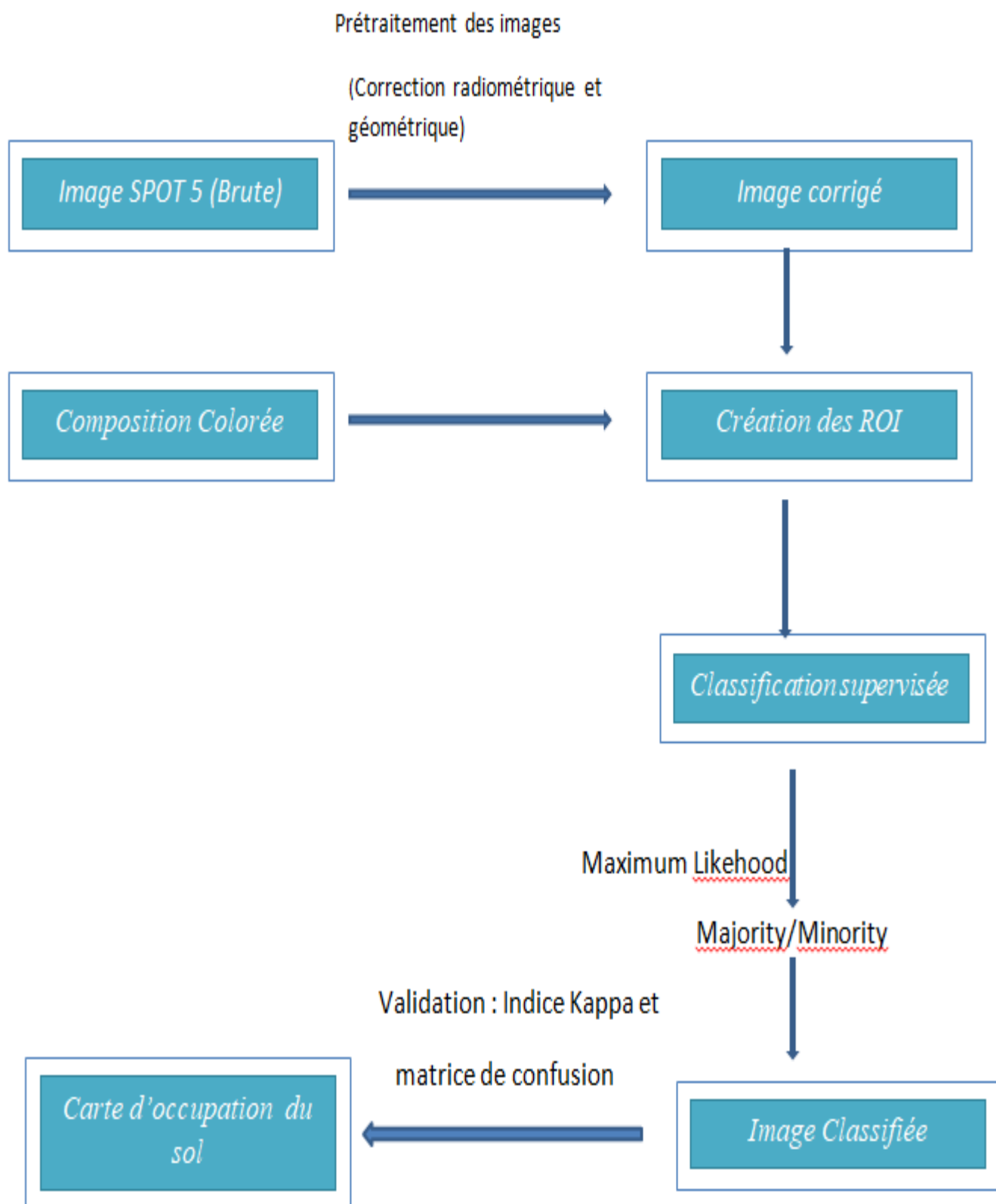


Figure 10: Organigramme simplifié de traitement d'image

III.7.MATERIELS ET DONNEES UTILISEES

Cette étude vise à réaliser une cartographie de l'occupation du sol dans la Grande Comore en 2013 en s'appuyant les méthodes qu'offrent le SIG et la télédétection. Afin d'arriver à ces résultats un certain nombre de données ont été utilisées.

Les différents matériels et types de logiciels utilisés pour caractériser et cartographier le sol :

III.7.1.Les logiciels de traitement d'image

- *Les logiciels de traitement d'image par télédétection*

Dans ce contexte les logiciels de traitement d'images par télédétection permettent d'élaborer des classifications d'images satellites, de produire des cartes d'occupation du sol

Dans la méthodologie, nous avons travaillé à partir de classifications supervisée d'images satellites, avec le logiciel ENVI 4.7 qui permet de réaliser des classifications par pixel (classification supervisée utilisant les règles du maximum de vraisemblance).

✓ ENVI

Le logiciel ENVI est un logiciel commercial complet de traitement d'images de télédétection optiques et radar. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de démixage radiométrique, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles. Aussi, il est aussi important de signaler que le logiciel ENVI est conçu en langage IDL (Interactive Data Language – Research System) et offre donc des moyens de programmation évoluée.

ENVI est composé de 3 interfaces indépendantes : « ENVI », « ENVI Zoom » et « ENVI+ IDL ».

ENVI est l'interface principale du logiciel, vous donnant accès à toutes ses fonctionnalités.

ENVI Zoom est une version simplifiée d'ENVI spécialement conçue pour afficher et manipuler plus facilement et plus efficacement les images satellites, photographies aériennes : outils de zoom, contraste, transparence, brillance, projection et ré échantillonnage des données au vol, ...

ENVI+ IDL est conçue en langage (Interactive Data Language) et offre donc des moyens de programmation évoluée. Il a été conçu et développé par ITT Visual Information Solutions.

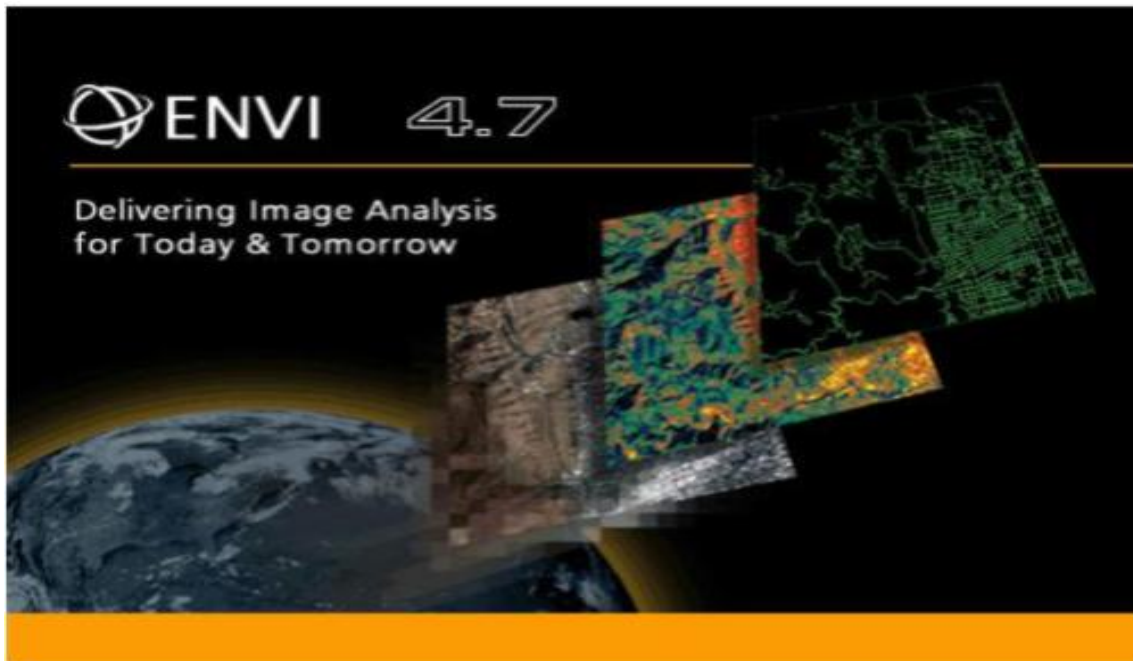


Figure 11: Logos du logiciel ENVI 4.7

✓ **Google Earth**

C'est un site permettant de faire des observations spatiales de la zone d'étude. Il a la capacité de montrer les formes et aspects d'un endroit. Il couvre la terre et ainsi que d'autres planètes. Il possède des images multi dates avec une grande résolution.

Ces données Google Earth sont disponibles en mode très haute résolution (pixel de taille métrique) et gratuites mais simplement en couleurs naturelles. Elles ont aussi maintenant l'avantage non négligeable d'être multi-temporelles. Et le plus souvent même, on dispose de données très récentes

Les images ne sont données qu'en couleurs naturelles et elles restent des images spatiales, c'est adire des images verticales prises à une altitude de plusieurs centaines de kilomètres de la surface



Figure 12 : Logo du site Google Earth

- *Les systèmes d'information géographique*

Nous avons utilisé le logiciel Arc GIS développé par ESRI (Environmental Systems Research Institute), pour combiner les différentes couches de données et cartographier les résultats

- ✓ **Arc-gis**

Arc-GIS comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, il permet d'effectuer différentes tâches de SIG, comme la cartographie, la gestion des données, l'analyse spéciale, la mise à jour des données et le géo traitement. Arc-GIS est un système complet, intégré et à géométrie variable conçu pour répondre aux besoins d'une grande variété d'utilisateurs SIG.

III.7.2. Acquisition d'image

Ces étapes de prétraitement se sont déroulées en quatre phases :

- ❖ La première phase a consisté au téléchargement l'image dans le site de SEAS-OI.
- ❖ La deuxième phase a permis d'effectuer le géo référencement d'images sous le logiciel ENVI 4.7.
- ❖ La troisième phase consiste a réalisé la classification toujours dans ENVI 4.7.
- ❖ Une fois que l'opération de la classification est réussie, on passe à l'étape de validation et d'export des données sur ArcGIS.

III.7.3. Caractéristique des images aériennes

Nous présentons ci-après un tableau récapitulatif des informations des différentes scènes mises à notre disposition pour réaliser la cartographie de l'occupation des sols de la zone d'étude.

Tableau I : Caractéristiques des scènes utilisées

Mode	Bande	Bande spectrale	Résolution
Multispectral	B1	0,50 - 0,59 μm (vert)	10m x 10m
	B2	0,61 - 0,68 μm (rouge)	10m x 10m
	B3	0,79 - 0,89 μm (proche IR)	10m x 10m
	SWIR	1,58 - 1,75 μm (moyen IR)	20m x 20m
M - monospectral	PAN	0,51 - 0,73 μm	5m x 5m (ou 2,5m en supermode)

III.8.TRAITEMENTS DES DONNÉES

Nous présenterons dans cette deuxième partie, les différents traitements effectués au cours de cette étude, en commençant d'abord par la définition des classes utilisées et par la suite la description générale du processus de classification adopté.

- **Définition**

Le traitement des données consiste à traiter et déchiffrer les données satellites pour obtenir l'information désirée. Les images étant sous format numérique, les ordinateurs accélèrent le processus de traitement d'un grand nombre de calculs et d'applications pour en extraire une information cartographique de grande précision.

III.8.1. Traitements préliminaires

Les prétraitements d'image ont pour but d'augmenter la lisibilité des données et de faciliter leur interprétation et une meilleure extraction de l'information.

Ce travail se basera sur des images brutes qui présentent des distorsions et des dégradations ; les traitements préliminaires ont pour but de les éliminer afin d'obtenir une carte qui soit une référence planimétrique pour ses utilisateurs.

III.8.1.1. Correction radiométrique

Elle traduit les données brutes enregistrées par le satellite en intensité de rayonnement en exécutant une série de conversions. La station de réception transforme les données brutes en compte numérique que l'utilisateur transpose ensuite en luminance spectrale, elle-même convertie en réflectance effective (Bontemps, 2004). Un tel étalonnage facilite la comparaison des données entre plusieurs images prises à différentes dates et/ou par différents capteurs (Markham et Barker, 1986, dans Peeters 2000).

Elle s'applique ou non en fonction de l'objectif poursuivi et de la méthode d'analyse employée ainsi que du prétraitement des images acquises.

III.8.1.2. Correction géométrique

Les images satellites brutes présentent des déformations et ne sont plus superposables aux cartes topographiques ni à une autre image déjà géoréférencées. Le but des corrections géométriques est de corriger ces déformations et placer l'image dans une géométrie compatible avec des applications cartographiques. Les causes de déformations des images Satellites sont nombreux.

On peut citer les déformations dues :

- ✓ À l'optique de prise de vue
- ✓ A la position de l'instrument de prise de vue
- ✓ Au relief de la surface
- ✓ ..., etc.

Une correction géométrique est indispensable; de plus, cette étape permettra d'attribuer aux images une projection cartographique

III.8.1.3. Orthorectification

○ Définition

L'orthorectification est le processus qui permet de corriger la parallaxe due aux changements d'altitude et donc de transformer une image brute en projection orthogonale précise. Sans orthorectification, l'échelle n'est pas constante dans l'image et une mesure précise de la distance et de la direction ne peut pas être effectuée.

Cette méthode offre le meilleur résultat et, de plus, ceux-ci sont compatibles avec les objectifs fixés, les images ainsi orthorectifiées seront utilisées pour la suite du travail. Les images XS brute et XS orthorectifiées sont présentées aux figures 13 et 14



Figure 13 : Scène SPOT 5 XS brut

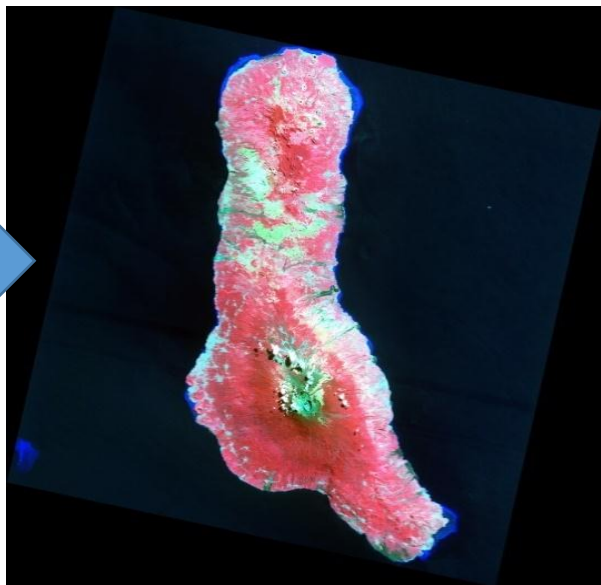


Figure 14 : Scène SPOT 5 XS orthorectifiée

➤ *Référentiel cartographique*

Concernant le Système de référence Le choix s'est porté sur le système international WGS84 qui offre un réseau géodésique normalisé et précis ; ceci permettra de maîtriser les passages aux systèmes locaux fiables et disponibles par des formules répandues. En outre, ce système est utilisé par les récepteurs GPS. Ce choix est donc important pour toute enquête de terrain ultérieure.

La projection Transverse Universelle de Mercator (UTM) autorisera la gestion de couvertures cartographiques aisément répertoriées sur de grandes étendues (fuseaux normalisés par tranches de 6 degrés de longitude). Ce type de projection est actuellement le plus répandu dans le monde et en particulier dans les pays de l'Afrique de l'Ouest.

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

D'après les approches énoncées ci-dessus, dans ce troisième chapitre, on va suivre toutes les étapes des traitements et les résultats à partir de l'image SPOT 5. Il tient compte de l'étude préliminaire et de la reconnaissance de Google Earth comme moyen du terrain.

III.1. COMPOSITION COLOREE

L'affichage en fausses couleurs consiste à attribuer des couleurs fictives aux bandes spectrales. L'image résultante est dite composition colorée et se compose de trois plans de couleur rouge, vert et bleu. Dans une composition et comme pour toute image couleur, la formation de la couleur est basée sur les trois couleurs primaires Rouge, vert et bleu. En mode dit synthèse trichromatique additive, on part du noir (absence de couleur), on ajoute dans des proportions variables les trois couleurs primaires pour former de la couleur. Par exemple, le blanc est formé par les trois couleurs R, V et B à intensités maximales (255).

La composition colorée est obtenu par combinaison des trois (3) bandes spectrale en affectant sur les trois couleurs primaires Rouge-Vert-Bleu. On peut avoir beaucoup type de composition colorés mais on choisit en fonction de l'objectif de l'étude. Elle permet d'avoir les informations. Dans notre étude on a choisi les bandes 3, 2,1

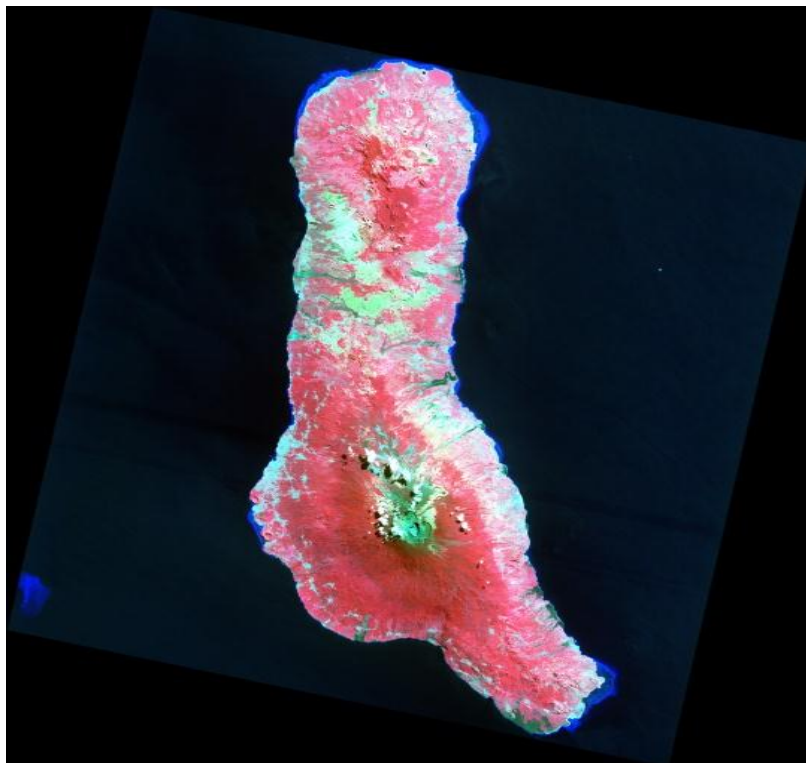


Figure 15 : composition colorée

D'une manière générale, sur une composition colorée, les sols nus apparaissent dans des teintes bleu clair, l'eau dans une teinte bleu foncé ou pratiquement noir, la végétation herbacée en rouge clair, les forêts feuillues en rouge foncé et les résineux dans des teintes rouge-noir. Il est important de signaler que ces remarques sont données à titre indicatif. Différents facteurs en particulier l'état d'humidité du sol et le tapis herbacé en forêts feuillues ou résineuses peuvent être à l'origine d'une forte modification de la réflectance du pixel.

III.2. SIGNATURES SPECTRALES

Le but de cette section est de déterminer des profils spectraux de différentes unités d'occupation du sol. Il s'agit de déterminer les différentes valeurs de la luminance (niveaux de gris) pour chacune des principales unités de paysage : sols nus, eau, forêts, ...

La figure 12 suivante montre quelques profils spectraux déterminés sur certaines entités du paysage.

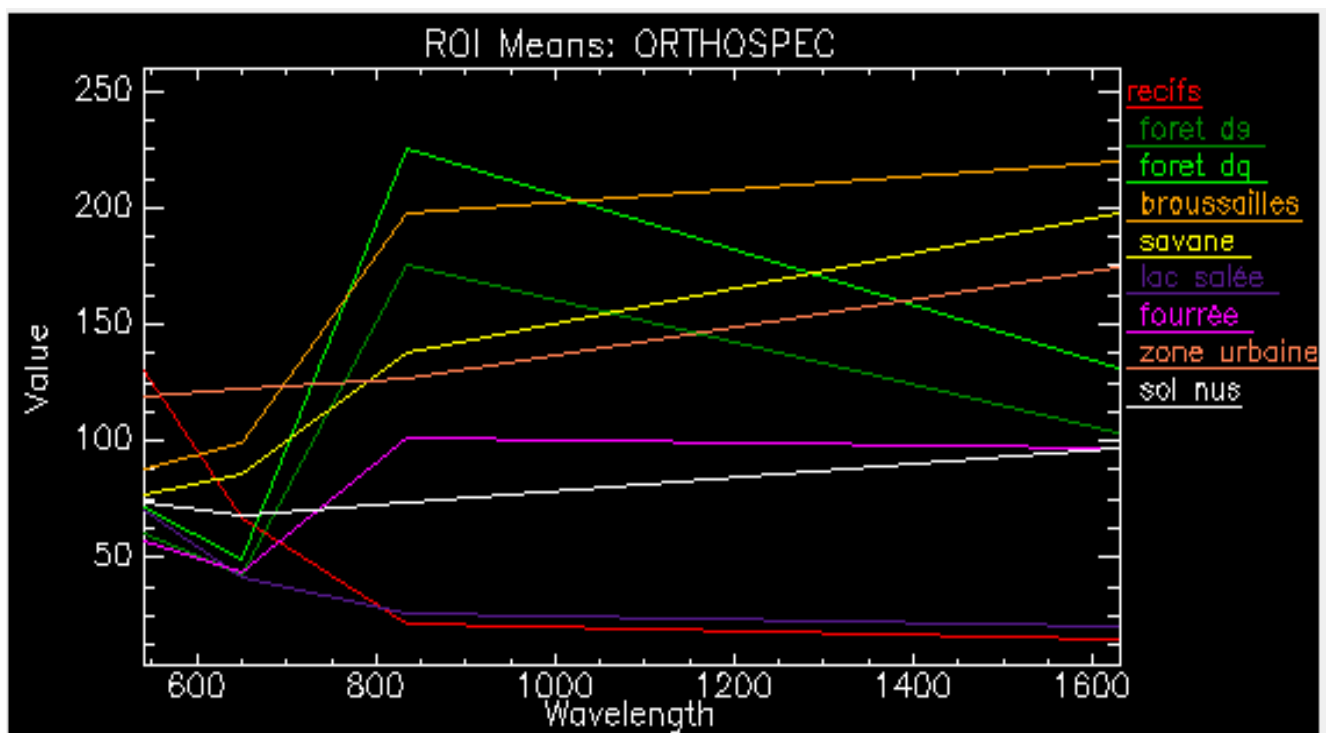


Figure 16 : signatures spectrales des Rois

III.3. CLASSIFICATION D'IMAGE

Les opérations de classification et d'analyse d'image sont utilisées pour identifier et, classer numériquement des pixels sur une image. La classification est habituellement faite sur des banques de données multi spectrales, et ce procédé donne à chaque pixel d'une image une certaine classe ou thème basé sur les caractéristiques statistiques de la valeur de l'intensité du pixel.

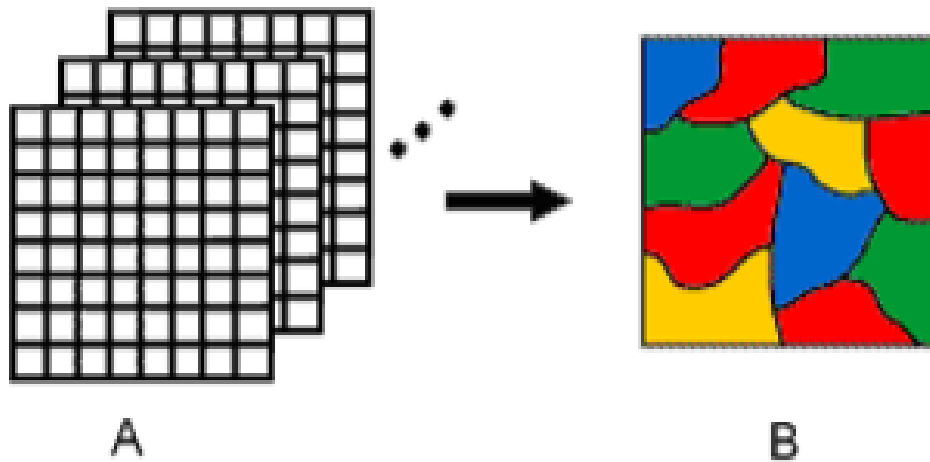
Les images de la télédétection peuvent être analysées pour extraire des informations thématiques. La classification est l'une des méthodes les plus souvent utilisées pour l'extraction de ces informations. Elle consiste à regrouper les pixels ou groupes de pixels de manière à former des classes spectrales relativement homogènes.

Il existe une variété d'approches prises pour faire une classification numérique. Nous allons brièvement décrire deux approches générales qui sont souvent utilisées, soit la classification Supervisée et la classification non supervisée (Andrifaliana, 2009).

La voie que l'on a choisie est la classification supervisée. Cette opération a été réalisée à l'issue aide du logiciel de traitement d'images « ENVI »

La classification dirigée utilise les objets bien en groupe de pixels appelés des sites d'entraînement. Ces sites d'entraînement servent selon Duminil (2007), de base pour les calculs des algorithmes de classification.

Nous avons choisis d'utiliser la méthode par « Maximum de vraisemblance » pour son utilisation très répandue en télédétection. De plus, d'après le même auteur (Duminil, 2007), cette méthode est très satisfaisante mathématiquement car les pixels sont classés selon une méthode probabiliste (elle considère que toutes les classes ont une probabilité a priori identique).



(Source: Carleer A. & Wolff E., 2001)

Figure 17 : Classification d'image

III.3.1.Types de Classification

Il existe deux types de classification :

II.3.1.1.Classification non supervisé ;

Dans le cas d'une classification non superviser, l'image est partitionnée sans utiliser de connaissances a priori. Le classificateur crée des regroupements de pixels ayant des caractéristiques spectrales semblables.

La classification non supervisée ou non dirigée détermine automatiquement les classes. Les algorithmes des centres mobiles, (nuées dynamiques appliquées au centre de gravité) et des distances adaptatives sont des méthodes itératives qui, à chaque itération calculent respectivement les centres de gravité ou les distances associées aux classes. Les fonctions discriminantes dépendent, soit des paramètres des densités de probabilité, soit d'un jeu de coefficients qui peuvent être évalués théoriquement par des études physiques, la classification est alors totalement non supervisée. Elle peut être semi-supervisée quand certains paramètres sont fixés par l'utilisateur en fonction du type d'image et de scène, ou que certains objets sont reconnus par l'utilisateur qui peut ainsi initialiser le processus de recherche des classes pour certaines d'entre elles. Les principes algorithmes de classification non supervisée sont : le regroupement par moyenne – K (K- means), le regroupement par ISODATA (Girard, 1989).

II.3.1.2. Classification supervisée ;

Dans ce type de classification l'opérateur définit au préalable les classes thématiques qu'il souhaite extraire de l'image et identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différentes classes d'occupation du sol. La classification supervisée d'objets sur base de zones d'entraînement déterminées par photo-interprétation, est la méthode la plus adéquate pour ce travail vu l'incapacité à se rendre sur le terrain et la possibilité de côtoyer des personnes ayant une grande connaissance de la zone traitée. Le principe d'une classification supervisée est de fournir au programme qui effectue la classification des échantillons de pixels représentant une région de référence. Pour créer ces échantillons, appelés sites d'entraînements, on sélectionne des plages polygonales de pixels homogènes sur l'image à analyser.

Malgré la sélection des données d'entraînement peuvent être fastidieuse, une approche supervisée est préférée par la plupart des chercheurs, car elle donne généralement des définitions de classes plus précises par rapport aux approches non-supervisées. Ces types de classification comprennent en général trois étapes :

- ✓ Etapes d'entraînement au cours de laquelle des pixels de classes connues sont identifiés et caractérisés pour former les statistiques d'entraînement ou « ROI : Région Of Interest » servent à décrire les classes.
- ✓ Etape d'allocation des classes : les statistiques sont utilisées pour affecter chaque pixel de l'image à la classe avec laquelle il a la plus grande vraisemblance.
- ✓ Etape de vérification : il évalue la qualité de la classification.

On trace des polygones sur l'image SPOT pour délimiter une classe correspondant à l'occupation de sol qu'on observe sur Google Earth. On trace plusieurs polygones d'une même classe en donnant une couleur significative en assurant qu'il se répartit dans toute la zone d'entraînement. On réalise cette même procédure avec toutes les catégories d'occupation de sol à analyser (forêt dense, forêt dégradée, savane, lac, broussaille, etc...). En une même année la possibilité d'appartenance des classes utilisées a été visible par rapport à la visualisation directe de Google Earth. Sur ceux on transforme les données dans Google en format (csv) pour faciliter la détection de classe sur la zone d'entraînement de l'image satellite. Dans le Logiciel ENVI, il y a l'indice de séparabilité qui varie entre 0 et 2 (figure 14) pour délimiter la capacité discriminante entre chaque classe. Plus la valeur est élevée plus la séparabilité est faible. Et si la séparabilité est faible, on en déduit qu'elle appartient à une même classe.

```

Input File: ORTHOSPEC
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

recifs [Red] 1960 points:
  foret ds [Green3] 1696 points: (1.999999997 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (2.000000000 2.000000000)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (2.000000000 2.000000000)
  savane [Yellow] 349 points: (2.000000000 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (1.99686723 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (2.000000000 2.000000000)
  zu [Coral] 102 points: (2.000000000 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.99193662 2.000000000)

foret ds [Green3] 1696 points:
  recifs [Red] 1960 points: (1.999999997 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (1.48111579 1.81696012)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (1.999999992 2.000000000)
  savane [Yellow] 349 points: (2.000000000 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (2.000000000 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (1.98730939 1.99931204)
  zu [Coral] 102 points: (1.99994484 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.99975616 2.000000000)

foret dg [Green1] 2521 points:
  recifs [Red] 1960 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (1.48111579 1.81696012)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (1.99968793 2.000000000)
  savane [Yellow] 349 points: (2.000000000 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (2.000000000 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (1.99503256 1.99999988)
  zu [Coral] 102 points: (1.99938228 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.99829940 1.99999990)

broussaille [Orange1] 1106 points:
  recifs [Red] 1960 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (1.999999992 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (1.99968793 2.000000000)
  savane [Yellow] 349 points: (1.92261248 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (2.000000000 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (1.99999965 2.000000000)
  zu [Coral] 102 points: (1.97512097 1.99999972)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.98318767 1.99659584)

savane [Yellow] 349 points:
  recifs [Red] 1960 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (2.000000000 2.000000000)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (1.92261248 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (2.000000000 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (2.000000000 2.000000000)

fourée [Magenta] 448 points:
  zu [Coral] 102 points: (1.98745833 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.98883573 2.000000000)

lac salée [Purple3] 158 points:
  recifs [Red] 1960 points: (1.99686723 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (2.000000000 2.000000000)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (2.000000000 2.000000000)
  savane [Yellow] 349 points: (2.000000000 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (2.000000000 2.000000000)
  zu [Coral] 102 points: (2.000000000 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.99988417 2.000000000)

fourée [Magenta] 448 points:
  recifs [Red] 1960 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (1.98730939 1.99931204)
  foret dg [Green1] 2521 points: (1.99503256 1.99999988)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (1.99999965 2.000000000)
  savane [Yellow] 349 points: (2.000000000 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (2.000000000 2.000000000)
  zu [Coral] 102 points: (1.99935465 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.96551841 2.000000000)

zu [Coral] 102 points:
  recifs [Red] 1960 points: (2.000000000 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (1.99994484 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (1.99938228 2.000000000)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (1.97512097 1.99999972)
  savane [Yellow] 349 points: (1.98745833 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (2.000000000 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (1.99935465 2.000000000)
  sol nu [Black] 59219 points: (1.59441247 1.97246799)

sol nu [Black] 59219 points:
  recifs [Red] 1960 points: (1.99193662 2.000000000)
  foret ds [Green3] 1696 points: (1.99975616 2.000000000)
  foret dg [Green1] 2521 points: (1.99829940 1.99999990)
  broussaille [Orange1] 1106 points: (1.98318767 1.99659584)
  savane [Yellow] 349 points: (1.98883573 2.000000000)
  lac salée [Purple3] 158 points: (1.99988417 2.000000000)
  fourée [Magenta] 448 points: (1.96551841 2.000000000)
  zu [Coral] 102 points: (1.59441247 1.97246799)

```

Figure 18 : Séparabilité des ROIS

Les valeurs entre parenthèse sont les valeurs de séparation obtenue.

$0.0 < x < 1.0$ (séparabilité très faible, 0 implique une confusion totale entre deux classe)

$1.0 < x < 1.9$ (séparabilité faible)

$1.9 < x < 2.0$ (bonne séparabilité, 2séparabilité parfaite avec aucun risque de confusion).

Une classe dont la séparabilité par rapport à une autre est faible doit être soit confondue avec celle-ci ou redéfinie.

Après la création du ROI (figure 15), on compile la classification supervisé. Le logiciel ENVI traite et lance le résultat de classification suivant la classe déterminées par l'auteur. Des fois sur ce résultat, des objets non classifiés s'affichent aussi sur l'image en affichant une autre couleur que l'auteur ne lui donne pas. Sur ce il faut faire la reclassification en ajoutant d'autre classe ou en l'intégrant dans les classes plus proche possible ou on utilise le maximum de vraisemblance (Maximum likelihood).

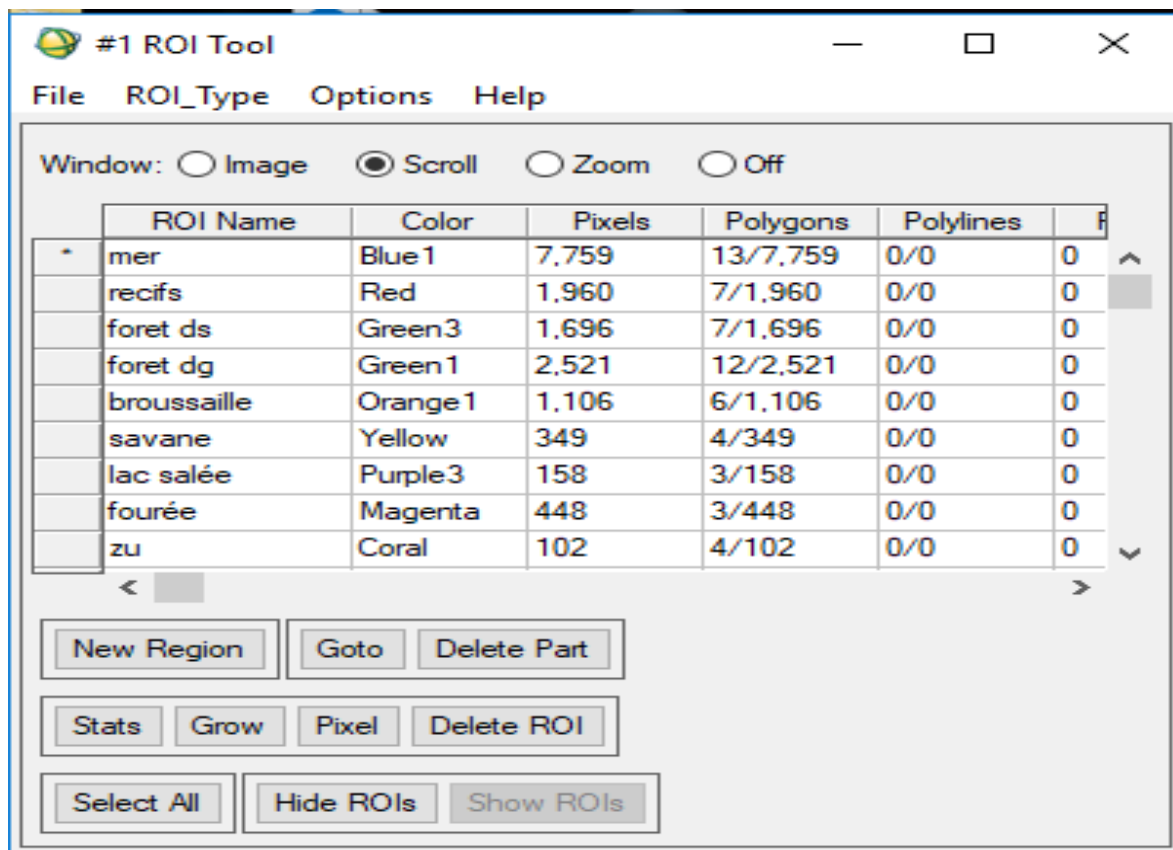


Figure 19 : Création des ROIs

✓ *La classification supervisée sous le module Maximum likelihood*

La classification sous le module de maximum de vraisemblance est la distribution statistiques ou distribution gaussienne des classes non classifié. La décision du maximum de vraisemblance calcule pour chaque pixel la probabilité d'appartenance conditionnelle à chaque classe c'est-à-dire elle calcule selon la distance et sa valeur de pixel par rapport aux classes préalablement définies par l'échantillon d'apprentissage. Alors il faut une comparaison de la signature spectrale avec toutes les classes prédéfinis puis elle affecte dans la classe ou il offre la probabilité très élevée.

Maximum Likelihood Parameters

Select Classes from Regions:

- mer [Blue1] 7759 points
- recifs [Red] 1960 points
- foret ds [Green3] 1696 points
- foret dg [Green1] 2521 points
- broussaille [Orange1] 1106 points
- savane [Yellow] 349 points
- lac salée [Purple3] 158 points
- fourée [Magenta] 448 points
- zu [Coral] 102 points
- nuage [White] 662 points
- sol nu [Black] 59219 points
- ombre [Black] 4276 points

Number of items selected: 0

Select All Items Clear All Items

Set Probability Threshold

☐ None ☒ Single Value ☐ Multiple Values

Probability Threshold

Data Scale Factor 255.00

Output Result to ☒ File ☐ Memory

Enter Output Class Filename Choose ☐ Compress

Output Rule Images ? Yes

Output Result to ☒ File ☐ Memory

Enter Output Rule Filename Choose

OK Queue Cancel Help Preview

Figure 20 : Méthodes d'algorithme Maximum likelihood

III. 4. CARTOGRAPHIE D'OCCUPATION DU SOL DE LA GRANDE COMORE

La carte produite suite aux différents traitements est présentée dans la Figures 21.

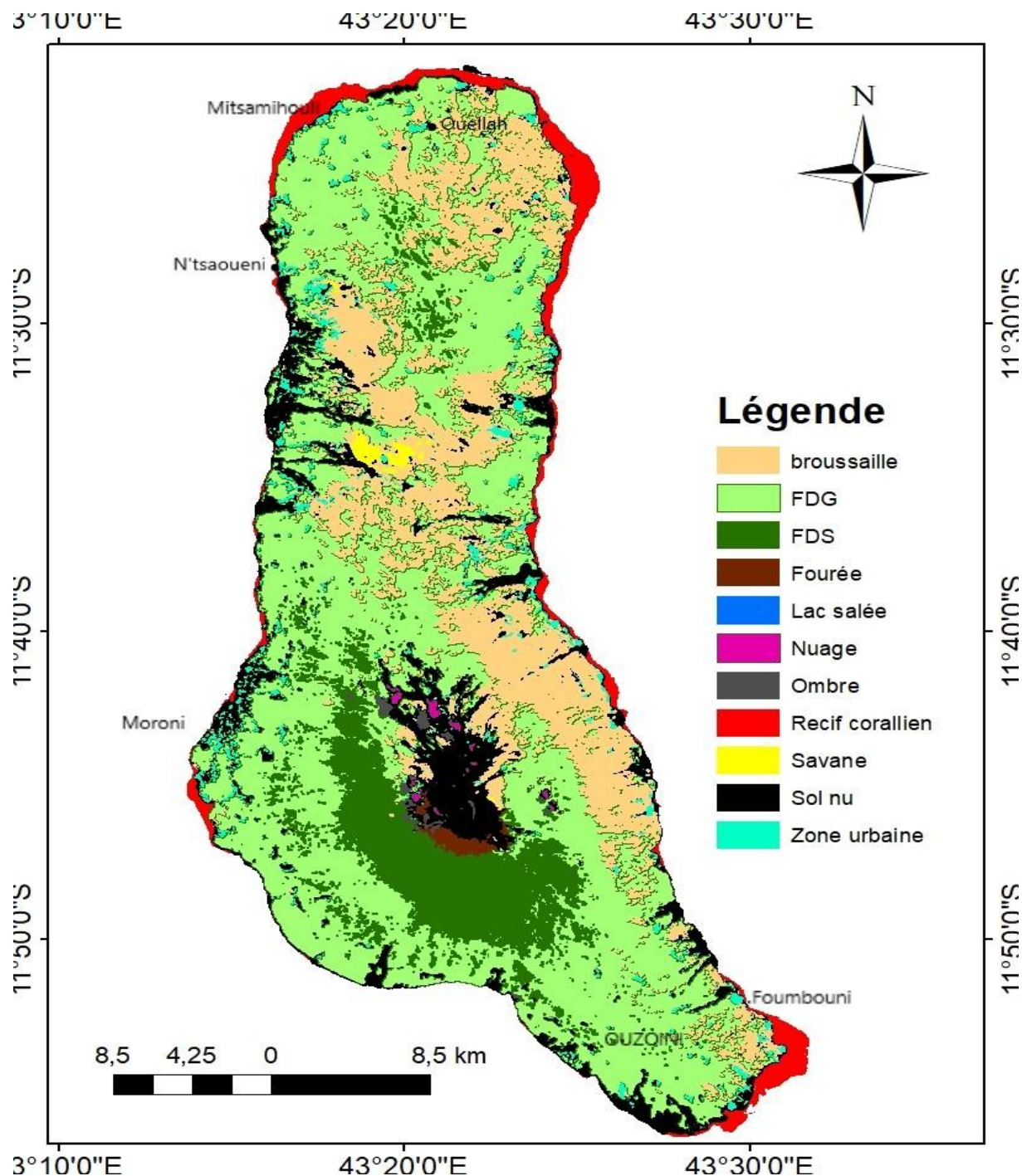


Figure 21 : Cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore

La figure 21 montre la classification supervisée qui sont successivement obtenue par l'image Spot 5 de l'année 2013. On observe que la plupart de la Grande Comore, le forêt sont fortement dégradées et la partie du Karthala qu'on trouve de forêts dense.

III.5. RÉSULTATS NUMÉRIQUES

III.5.1. post-classification

L'étape post-classification est nécessaire pour valider les résultats de la classification automatique. L'analyse ne repose pas uniquement sur le contenu de l'image numérique mais aussi sur des informations connexes. La validation se fera par des données très hautes résolution disponible sur « Google Earth ».

Pour finaliser le produit, il faut appliquer une démarche de contrôle qualité adéquate et élaborer les fiches descriptives (métadonnées) permettant l'archivage et la publication de la ressource dans les systèmes d'information.

III.5.1.1. Pourcentages des classes

Le tableau II est obtenu par combinaison des pourcentages des classes de l'année d'étudié. En effet, ces pourcentages sont obtenus par des analyses statistiques post classifications.

Tableau II: pourcentages des Classes

<i>récif</i>	<i>forêt dense</i>	<i>foret dégradée</i>	<i>broussaille</i>	<i>savane</i>	<i>lac</i>	<i>fourrée</i>	<i>zone urbaine</i>	<i>sol nu</i>
100.00	94.25	100.00	97.38	98.24	67.23	100.00	48.21	99.18

III.5.1.2. Superficie des classes

C'est l'outil de calcul statistique utilisé pour apparier des valeurs numériques de chaque classe. Elle permet donc de faire sortir les surfaces et ainsi que les pourcentages de chaque classe après classification

Tableau III: Superficie des Classes

<i>récif</i>	<i>forêt dense</i>	<i>foret dégradée</i>	<i>broussail le</i>	<i>savane</i>	<i>lac</i>	<i>fourrée</i>	<i>zone urbaine</i>	<i>sol nu</i>
4571.4 700 Ha	9005.6 200 Ha	55283.87 00 Ha	21992.49 00 Ha	413.500 0Ha	3.7400 Ha	444.3900 Ha	3236.920 0Ha	162657.8 700Ha

- *Validation des résultats de classification*

La validation est une étape nécessaire pour perfectionner la classification des images et établir l'exactitude des résultats des classifications. Cette étape permet d'identifier les sources d'erreur à corriger et d'améliorer la qualité de l'information sur la carte. De plus, la majorité des informations extraites des données de télédétection est ensuite employée dans un processus décisionnel ou la précision de l'information est requise. Essentiellement, l'évaluation de la précision est un processus quantitatif ou qualitatif (Congalton et green, 1999) et se fait à l'aide de la matrice d'erreurs ou matrice de confusion. Au niveau de l'évaluation quantitative de l'exactitude, ce processus implique la comparaison de deux sources d'information, celle de l'image classifiée vis –à-vis l'information de référence pour le même site.

L'information de référence c'est soit l'information collectée sur terrain, soit celle extraite d'autres types de données comme des photos aériennes, ou des cartes de la même période que l'image classifiée.

La démarche d'évaluation de la précision consiste à un nombre d'échantillons de référence qui est identique aux catégories de la classification. Après avoir réalisé la collection des échantillons de référence, on devra établir une matrice d'erreurs. En effet, cette matrice est un tableau de chiffres qui identifient le nombre d'échantillons (qui peuvent être des pixels, des groupes de pixels ou des polygones) assigné à une catégorie de la classification, relativement au nombre actuel de cette catégorie, mais vérifié par des données de référence. Plus simplement, les colonnes de la matrice représentent les données de référence collectées sur les sites de vérification alors que les lignes représentant la classification générée par des données de télédétection. Les valeurs indiquées sur la diagonale de la matrice représentent la concordance entre la classification et la vérification.

Pour évaluer la performance globale de la classification, on doit estimer le pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque zone test. La matrice de confusion illustre cette performance.

Le support Google Earth à haute résolution spatiale permet aussi la reconnaissance visuelle des classes considérées.

Dans le cadre d'une classification supervisée, deux jeu d'échantillons sont acquis, la partie apprentissage est utilisée pour initialiser le processus de classification tandis que la partie vérification est utilisée pour valider les résultats de la classification à travers le d'une matrice de confusion.

Le nombre points de contrôle doit être suffisant et, si possible, de même importance dans chaque classe pour que la comparaison ait un sens. Si cela n'est pas possible, il faut prendre un plus grand nombre de points de contrôle pour les classes qui ont le plus d'importance thématique.

III.5.1.3. Matrice de confusion ou matrice d'erreur

Comme son nom l'indique, la matrice d'erreur est un outil pratique pour calculer les erreurs de la classification. Il existe deux types d'erreurs en classification (Ducrot & Sicre, 2008).

Les erreurs de commission et les erreurs d'omission. Ces deux types d'erreurs permettent d'établir les mesures de précision d'une classification : la précision d'utilisateur (les erreurs de commission) et la précision du producteur (les erreurs d'omission). La précision d'utilisateur est la probabilité pour qu'un pixel classifié dans une classe thématique donnée par le processus de la classification représente réellement un élément de cette classe sur terrain. La précision du producteur est la probabilité pour qu'un site de vérification d'une classe soit identifié correctement à cette classe sur l'image classifiée. A cote de la valeur de deux types d'erreurs, la matrice d'erreurs permet également de calculer la précision globale et l'indice Kappa (K).

Les éléments diagonaux de la matrice représentent le pourcentage de pixels de la classe. Une matrice de confusion permet donc de mesurer la précision d'un résultat de classification en comparant un résultat de classification avec la « vérité terrain ». Cette vérité terrain peut se présenter sous la forme de « région d'intérêt – vérité terrain » ou d'une « image vérité-terrain » (Midekor (Observatoire de l'Eau) & Wellens (GEeau, 2013 et Denis, 2016).

Tableau IV: matrice de confusion

classe	Zone urbaines	Sol nus	savanes	récif	la	fourrée	broussaille	Foret dégradée	Forêt dense	total	Précision production	Erreur d'omission
Non classifiée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Zone urbaine	256	53	0	0	0	0	0	0	0	309	48.21%	51.79%
Sol nus	275	48698	0	0	30	0	93	0	0	49096	99.18%	0.82%
savane	0	0	1895	0	0	0	0	0	0	1895	98.24%	1.76%
récif	0	0	0	6923	0	0	0	0	0	6923	100%	0.00%
lac	0	0	0	0	119	0	0	0	0	119	67.23%	32.77%
fourrée	0	0	0	0	0	1087	0	0	0	1087	100%	0.00%
broussaille	0	242	34	0	28	0	3462	0	0	3766	97.38%	2.62%
Foret dégradée	0	109	0	0	0	0	0	5221	541	5871	100%	0.00%
Forêt dense	0	0	0	0	0	0	0	0	8874	8874	94.25%	5.75%
Total	531	49102	1929	6923	177	1087	3555	5221	9415	77940		
Précision utilisation	82.85%	99.19%	100%	100%	100%	100%	91.93%	88.93%	100%			
Erreur de commission	17.15%	0.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	8.07%	11.07%	0.00%			

Overall Accuracy = (76535/77940) = 98.1973%

Kappa Coefficient = 0.9686

La matrice de confusion représente dans le tableau 4 correspond à la classification supervisée de l'image de 2013 avec une précision globale de 98.1973% et une indice kappa de 0.9686.

Ce rapport confirme qu'on a une bonne classification.

A travers la matrice de confusion de l'image classée de l'année 2013, on peut dire que presque la totalité des pixels affectés à ces classes ont été bien classés.

La confusion les plus élevés ont été retrouvés pour les classes sol nus, zone urbaine. La confusion de la classe sol nu est fait avec zone urbaine peut être expliquée par une réponse spectral très proche.

L'erreur d'omission d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de pixels incorrectement classifiés dans les zones de validation de cette classe par le nombre total de pixels des zones de validation de cette classe.

Dans la matrice de confusion, ce calcul s'effectue sur base de la colonne correspondant à la classe étudiée. Dans notre exemple on constate que 2.62% des pixels issus de la classe de référence « broussaille » ont été affectés à d'autres classes.

La précision de production d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de pixels correctement classifiés dans les zones de validation de cette classe par le nombre total de pixels des zones de validation de cette classe.

Dans notre exemple on peut dire que 94.25 % des pixels issus de la classe « forêt dense » sont bien réaffectés à la classe « forêt dense » après classification.

L'erreur de commission d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de pixels incorrectement classifiés dans cette classe dans les zones de validation des autres classes(erreur « commise dans les autre classes ») par le nombre total de pixels classifiés dans cette classe sur l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes. Dans la matrice de confusion, ce calcul s'effectue sur base de la ligne correspondant à la classe étudiée.

Dans notre exemple on constate que 8.07 % des pixels classifiés dans la classe broussaille appartiennent en réalité à d'autres classes.

La précision d'utilisation d'une classe donnée est calculée en divisant le nombre total de pixels correctement classifiés dans cette classe dans l'ensemble des zones de validation de

cette classe par le nombre total de pixels classifiés dans cette classe dans l'ensemble des zones de validation de l'ensemble des classes. Elle est égale à (1- erreur de commission).

Dans notre exemple on constate que 88.93 % des pixels affectés à la classe forêt dégradée appartiennent en réalité à cette classe.

Précision globale (Overall Accuracy) :

Elle caractérise la précision totale ou globale qui est le rapport entre le nombre de pixels bien classés sur le nombre total de pixels (tableau 8). En d'autre terme, c'est la moyenne de pixels correctement classé (Denis, 2016).

C'est le rapport du nombre de pixels bien classés sur le nombre total de pixels. Les biens classés se trouvent sur diagonale de la matrice.

Dans notre exemple la précision = $(76535/77940) = 98.1973\%$

Coefficient Kappa (Kappa Coefficient) :

C'est une autre manière d'évaluer la précision en faisant intervenir le calcul de tous les pixels. Elle permet de comparer les données du terrain et les données des diagonales. Ce coefficient est compris entre 0 et 1. C'est donc un estimateur de qualité qui tient compte des erreurs en ligne et en colonne. Elle les erreurs lors de la classification. Ainsi un Kappa de 0,75 signifie que 75% de la classification n'est pas due au hasard. (Girard C.M. & al 1999). Cela veut dire que les meilleures classifications ont des valeurs de Kappa proche de 1. La valeur de cette grandeur numérique se trouve à l'intérieur de la matrice de confusion.

Le calcul de ces valeurs est décrit par les équations suivant :

$$\text{Kappa} = \frac{N \sum_{i=1}^L x_{ii} - \sum_{i=1}^L (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^L (x_{i+} x_{+i})}$$

Ou : X_{ii} est le nombre de pixels classés correctement,

$X + i$ est la somme marginale de la colonne i ,

$X + i$ est la somme marginale de la ligne i ,

D est la somme des pixels bien classés (éléments de la diagonale dans la matrice d'erreur),

N est la somme de pixels dans la matrice d'erreur,

λ = est le nombre de la ligne dans la matrice

$\sum X_{ii}$ = nombre pixels bien classés

III.5.2.1. Les valeurs des pixels

Les pixels sont attribués à chaque facteur (classe) classifié. Autrement dit, la classification des nombres de pixels selon leurs réflectances dans l'image (Tableau V). Chaque élément est caractérisé par sa capacité de manifester devant l'image.

Tableau V: Les valeurs des pixels

<i>récif</i>	<i>forêt dense</i>	<i>foret dégradée</i>	<i>broussaille</i>	<i>savane</i>	<i>lac</i>	<i>fourrée</i>	<i>zone urbaine</i>	<i>sol nu</i>
6923	8874	5221	3462	1895	119	1087	256	48698

III.5.2.2. Amélioration du rendu cartographique des résultats

Nous avons appliquées Plusieurs opération de post-classification sur l'image classifiée en vue d'améliorer le rendu visuel par exemple.

Analyse majoritaire

L'analyse majoritaire est utilisé pour diminuer l'effet poivre et sel typique d'une classification. Le principe est basé sur l'utilisation d'un filtre(ou noyau) de taille variable (par exemple : 3*3). Le filtre se déplace ligne par ligne, colonne par colonne sur l'ensemble de l'image classée. Le pixel central du filtre sera affecté à la classe la plus représentée (majoritaire) dans le filtre.

DISCUSSION

Le traitement d'image satellitaire est un outil très efficace et très utile pour faire la cartographie de l'occupation des sols d'autre part. Il permet aussi d'avoir une large couverture, à des échelles différentes, des éléments ou des objets, afin d'en extraire les informations pertinentes. Les images satellites utilisées dans cette étude de recherche sont des images téléchargeables dans le site SEAS-OI. Les images disponibles gratuitement sur le web doivent encore être nettoyées : la plupart de temps les images sont recouvertes de nuage, il faut donc éliminer toutes ces imperfections lors du traitement. L'utilisation des logiciels de télédétection et du SIG dans le domaine de la cartographie occupe une place très importante, plus particulièrement dans l'environnement et développement durable comme par exemple réaliser des cartes, des plans, pour trouver les meilleurs sites pour des infrastructures (parcs éoliens, antennes...), mais aussi de gérer l'occupation des sols (forêt, végétations, espaces agricoles...). Les données utilisées en télédétection sont de trois types : données optiques (exemple : photo-aérienne et image satellite), données radar (exemple : interférométrie radar (Insar) et données lidar (exemple : données altimétriques lidar). Cette étude entre dans le cadre de la cartographie en utilisant la télédétection optique. Les images d'archive SPOT5. Le logiciel de traitement d'image utilisé dans ce travail de recherche est le logiciel ENVI 4.7. L'avantage est qu'elle permet à une meilleure visualisation des images, à une extraction automatique de thèmes simples, une compression de données et une facilitation de la cartographie. En plus, l'analyse des images demande un appareil sophistiqué car la technique emploie et utilise des images de vaste envergure. Alors, le traitement des données c'est-à-dire la classification peut prendre un temps énorme.

Les résultats obtenus montrent l'état général de l'occupation des sols de la Grande Comore. Mais en vérité, ces résultats n'ayant été obtenus que par traitements sur ordinateurs seulement, ils ne reflètent pas la réalité sur le terrain. La descente et reconnaissance sur terrain (« vérité terrain ») est nécessaire pour confirmer les résultats obtenus par les traitements d'image. La prise en compte de l'occupation du sol est une nécessité surtout au décideur.

Ils vont prendre une bonne décision si on veut avoir une stratégie pour développer un territoire, un plan d'action pour gérer une catastrophe ou planter une structure commerciale pour garantir sa viabilité. Malgré la confirmation de ces résultats qui ont été possible par Google Earth.

La complémentarité des données Google Earth dans l'interprétation et la classification des images spatiales est un point à éclaircir. Ces données Google Earth sont disponibles en mode haute résolution (pixel de taille métrique) et gratuites mais simplement en couleurs naturelles. Elles ont aussi maintenant l'avantage non négligeable d'être multi-temporelles. Et le plus souvent même, on dispose de données très récentes. Par contre, l'utilisateur ne maîtrise pas les dates d'acquisition des images, ni les capteurs disponibles, ni les couvertures nuageuses au jour et heure de la prise de vue. Les images ne sont données qu'en couleurs naturelles et elles restent des images spatiales, c'est adire des images verticales prises à une altitude de plusieurs centaines de kilomètres de la surface. Elles ont donc les mêmes inconvénients que les autres images spatiales.

CONCLUSION

L'un des objectifs de ce mémoire est de réaliser une cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore à partir d'images à très haute résolution. Ce mémoire nous a permis d'aborder le monde de la télédétection, avec notamment la notion telle classification supervisée, de comprendre comment sont élaborées les cartes thématiques depuis des images satellites, et aussi de comprendre l'utilisation des logiciels ENVI et Google Earth dont nous ignorions l'existence avant d'entreprendre les travaux.

La méthodologie développée consiste à définir un processus global de classification servant à identifier les classes en tenant compte des caractéristiques spectrales et spatiales de l'image traitées, on trouve neuf classes bien contrasté et ceci est important pour avoir une idée beaucoup plus détaillé sur le plan national du développement.

Le résultat de la classification obtenue est satisfaisant, avec une précision globale de 98.19%.

Cependant, le résultat de la classification accuse quelques imperfections notamment des confusions entre certaines classes dont les caractéristiques sont très rapprochées (telles que les classes sols nus et zone urbaine).

Notre carte d'occupation du sol élaboré servira à alimenter les bases de données géographiques nationales permettant ainsi d'appréhender les tendances des changements de la couverture terrestre tout en les comparant avec des produits antérieurs. L'information portée par les cartes demeure d'importance capitale pour les acteurs du développement durable tant au niveau national que local. Les cartes d'occupation des sols constituent l'un des principaux intrants pour l'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes et des populations en vue de mieux identifier les alternatives et options de renforcement de leurs résilience au Changement Climatique.

Pour assurer la durabilité et l'efficacité de cette information et pour pouvoir l'intégrer dans les divers systèmes de circulation de l'information, il est primordial de prévoir une documentation précise sur les méthodologies de production, les spécifications et les modalités d'utilisation et ce, à travers l'élaboration des fiches de métadonnées détaillées.

BIBLIOGRAPHIE

ABDOULKARIM, A. et SOULE, H. 2011. Etude de vulnérabilité aux aléas climatiques et géologique en union des Comores. Projet COSEP/ PNUD N° 00069668, 110 p

ADJANOHOUN, E, J., AKE ASSI, L., AHMED, A., EYME, J., GUINKO, S., KAYONGA, A., KEITA, A., & LEBRAS, M., 1982. Contribution aux études ethnobotanique et floristiques aux Comores. Agence de coopération Culturelle et Technique. Paris. 216p.

ANDRIFALIANA, N. 2009. Analyse spatiale par méthodes multicritères et SIG de données environnementales multi dates autour du lac kinkony, région boina. Mémoire de Master, Université d'Antananarivo, 84 p.

AMBDILLAH, BA, 2010 : La dégradation de l'écosystème terrestre et ses conséquences socioéconomique sur la population de la Commune rurale de Tsembehou Anjouan Comores, 57 p.

ANTOINE DENIS, 2012, Travaux Pratiques sur les Systèmes d'Information Géographique (SIG), Initiation à ArcGIS, Ed. Arlon Campus Environnement, Université de Liège, Belgique, p. 11

ASCONIT.CONSULTANT, 2011 : De la vulnérabilité aux changements climatiques, évaluation qualitative, mars 2011, 114 p.

BLASCHKE, T., (2009) « Object based image analysis for remote sensing » ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing.

BLASCHKE, T., AND STROBL, J., (2001) «What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and » ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing.

BOINALI M. (1982).- Géologie hydrologique de l'archipel volcaniques des Comores.

Mémoire D.E.A, Université Pierre et Marie curie Paris VI, Septembre 1992,

BONTEMPS S., 2004, Cartographie et interprétation de l'évolution du développement territorial par télédétection spatiale au Cambodge, Mémoire de fin d'études de la faculté des Sciences Agronomiques, UCL, Louvain-La-Neuve, 111p

CENTRE D'ACTIVITES REGIONALES POUR LE PROGRAMME D'ACTION PRIORITAIRE (PAP/RAC), 2017.

COMORES Atlas des Ressources Côtières de l'Afrique Orientale

CONGALTON, G.R., et K. GREEN, 1999, Assessing the Accuracy of Remote sensed Data, Principles and practices Lewis publishers, 137p

DEFOURNY P., 2004, Geomatique appliquée à l'environnement, Notes de cours, Faculté des Sciences Agronomiques, UCL, Louvain-La-Neuve.

DIRECTION GENERALE DE L'ENVIRONNEMENT (D.G.E), 1993. Diagnostic de l'état de l'environnement aux Comores. Projet PNUD/UNESCO/UICN COI/91/006, 116p.

DP/UNICO (1986). Hydrogéologie de l'île de Ngazidja (Grande Comore), état des connaissances, Nations Unies, département de coopération technique pour le développement, rapport technique, Grande Comore, juillet 1986, 39p.

DUCROT D. & SICRE C.M., 2008, Analyse des images 2006, 2007, 2008 du satellite Formosat-2

DUMINIL. T., 2007. Exploitation de données de télédétection en vue d'étudier la mise en place de l'écotourisme dans la région d'Andavadoaka (Madagascar).19 p.

FAO, 2005. Étude thématique sur les mangroves. Version préliminaire, 6p

FAO., 2012. Situation des forêts du monde. Département des forêts. Rome. 19p

GIRARD M. C., 1989. Télédétection appliqué, zones tempérées et intertropicales. (2 ed,) Paris, Masson, 260p.

HOANG, K. H., BERNIER M. ET VILLENEUVE, J., P., (2007) « Les changements de l'occupation du sol et ses impacts sur les eaux de surface du bassin versant de la rivière Cau (Viêt-Nam) ». Acte des JSIRAUF, Hanoi

IBRAHIM A. K. (2009). Etude hydrogéologique de l'aquifère côtier dans la région d'Oichilien Grande Comore. Mémoire de Master II, Université d'Avignon, septembre 2009, 79p.

KEITH , P., ABDOU, A ., & labat, J. N., 2006. INVENTAIRE Faunistique des rivières des Comores et inventaire botanique . Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Paris. 105 p.

- LEGOFF, N, 2010 : Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W., 1994, Remote sensing and image interpretation, John Wiley and Sons, 3rd edition, New-York, 750p.
- LOUETTE, M., MEIRTE D. & JOCQUE R., 2004, La faune terrestre des Comores. Musée Royal de L'Afrique Centrale. Centre Afrique, 455 p.
- MBAE, A, ET HAMADI., 1991, Protection de la faune endémique des Comores. Ecole Nationale d'Enseignement Supérieur ? M'vouni. 51 p.
- MIDEKOR A., & WELLENS, 2013, Initiation a envi du 22 au 24 Octobre 2013 Ouagadougou, Burkina Faso, Ed. GEeau - p. 84.
- MPARME/DGE, 2006 : Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA), 93 p.
- NDIAYE, DS, 2013 : Revue de la documentation et rapport analytique des risques liés aux changements climatiques sur l'agriculture aux Comores. Rapport sous une mission PNUD, janvier 2013, 63 p.
- PASCAL, O., 1997. La végétation naturelle à Mayotte. Rapport interne. CTM/DAF/SEF. 90p.
- PASCAL, O., 2002 ? Plantes et foret de Mayotte. Museum national d'histoire naturelle, Institut de d'écologie et de gestion de la biodiversité. Services du patrimoine naturel. France. 108 p.
- PASCAL, O., Labat ? J. N., PIGNAL, M. & SOUMILE, O., 2001. Diversité, affinités Phytogéographiques et origine présumées de la flore de Mayotte (Archipel des Comores). Systematics and Geography of Plants, 71: 1101-1123
- PEETERS A., 2000, Analyse par télédétection de la dynamique spatio-temporelle des cultures sèches dans le casier du Bac Hung Hai (delta du Fleuve Rouge, Viêt-Nam), Mémoire de fin d'études de la faculté des Sciences Agronomiques, UCL, Louvain-La-Neuve, 130p
- PEKKARINEN A., 2002, Image segment-based spectral features in the estimation of timber volume, Remote Sensing of Environment, n°82, pp349-359.
- Projet « Sud-Ouest » Ed. CESBIO, Manuel d'étude de télédétection. p. 48.

RASOANAIVO, N. R. 2017, Application du traitement d'image satellitaire et de la cartographie sur l'étude de l'évolution du littoral de la région du menabe, Mémoire de Master, Université d'Antananarivo, 79 p

SCP (2009). Etat des lieux des conditions d'accès a l'eau potable sur l'île de Grande Comore.

Société du canal de Provence, Comores, septembre 2009, 59p.

SPAFEL, L., GOURMELON, F. et LE BERRE, I. ? (2008) « Approche orienté-objet de l'occupation des sols en zone côtière » Revue Télédétection, vol. 8, n°4, p. 237- 256.

Spécifications_ Cartographie_Occupation_Sols_OSS_REPSAHEL.pdf

Thi-Thanh-Hien, P. et Dong-Chen, H. (2012) « Classification orientée objet d'une image Quickbird de la ville de Hanoi (Vietnam) : Etude empirique des paramètres de segmentation ».Revue Télédétection, vol. 11, n°2, p. 287- 305.

TRANSITION AGRAIRES AU SUD DE MADAGASCAR RESILIENCE ET VIABILITE
DEUX FACETTES DE LA CONSERVATION

VERIN, R. & BATTISTINI, R., 1984. Géographie de Comores. ACCT – Nathan, Paris. 142p.

VOLTSKOWA. 1917. Flora und fauna des Comoren. In Reise, der jahren. Ostafrika, volume 3: 428-480p.

WEBOGRAPHIE

https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_l'Union_des_Comores

<HTTP://WWW.TOUPIE.ORG/DICTIONAIRE.ENVIRONNEMENT.HTM>

<http://www.spotimage.fr>

<http://ceos.cnes.fr>

<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx>

<WWW.gezero.net>

<WWW.googleearth.com>

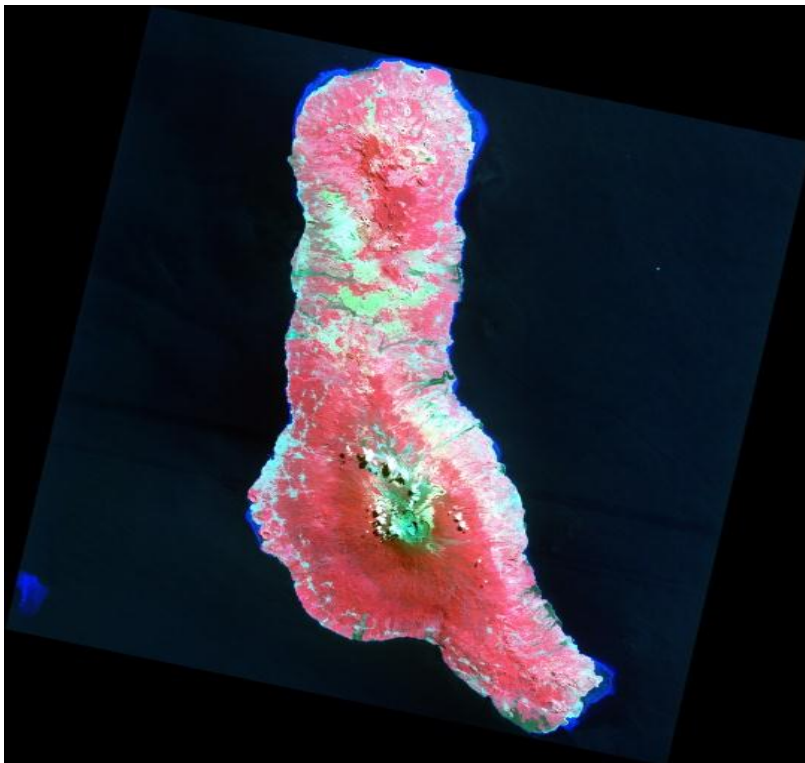
ANNEXES

- 1. Appareils de SPOT 5 en comparaison avec les autres appareils SPOT.**
- 2. Pré-traitement des images SPOT 5. (<http://ceos.cnes.fr>).**

ANNEXES

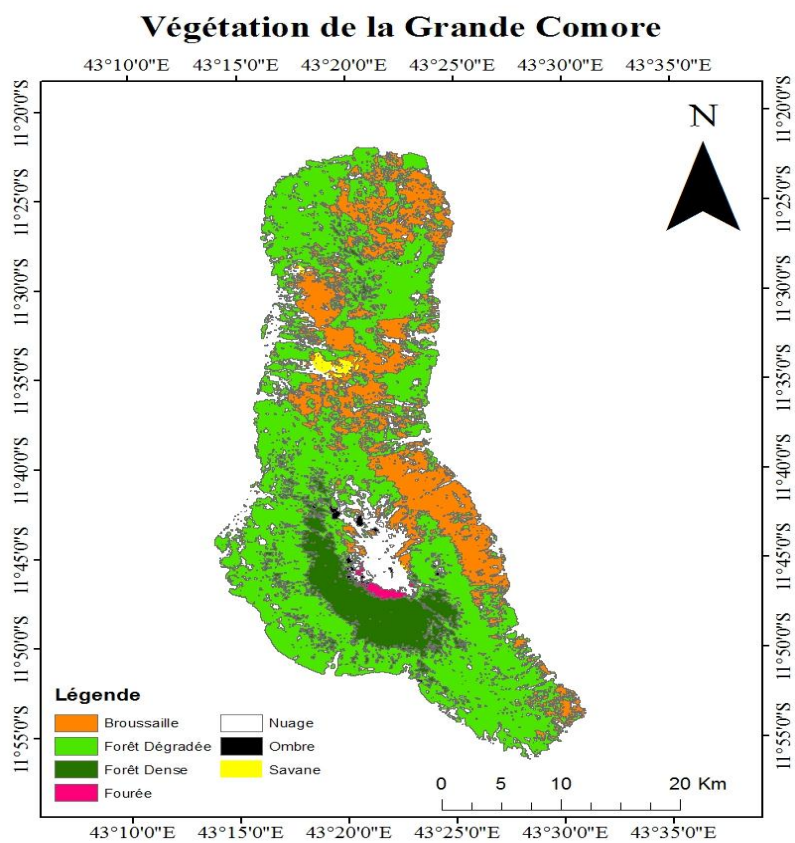
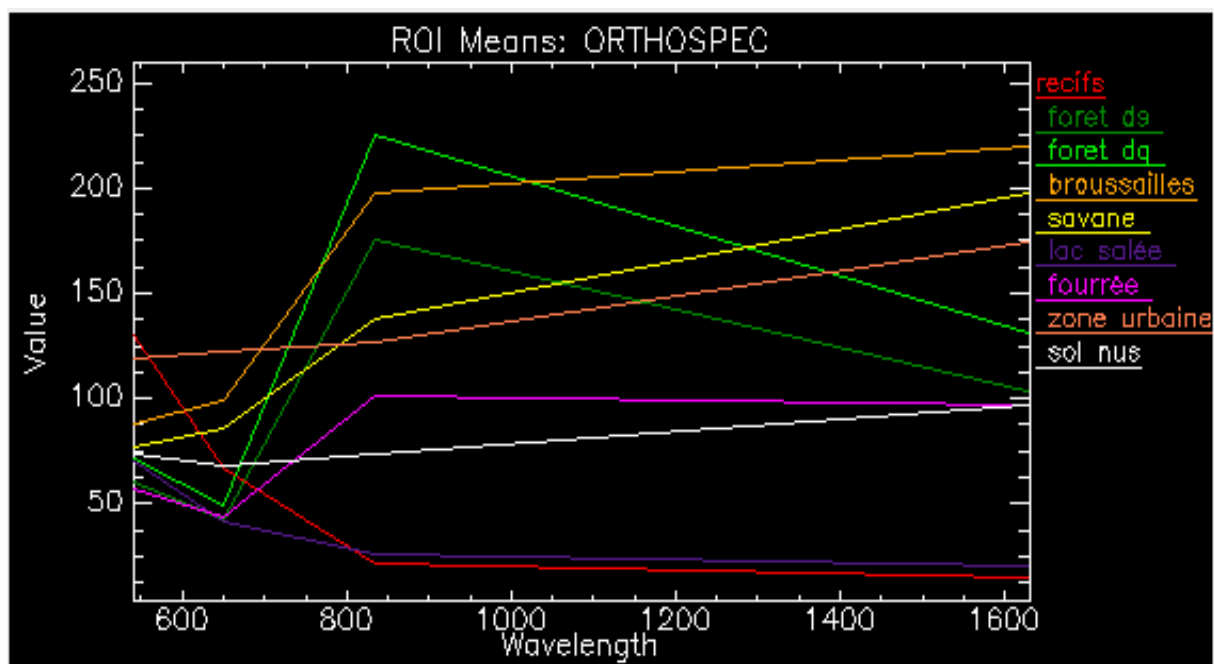
Composition colorée

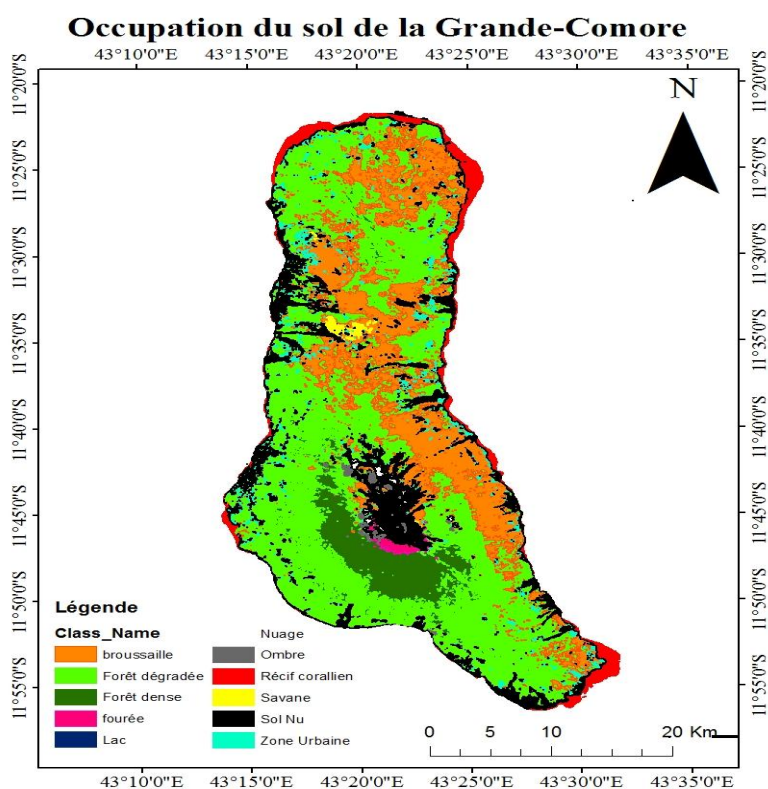
La composition colorée est obtenu par combinaison des trois (3) bandes spectrale en affectant sur les trois couleurs primaires Rouge-Vert-Bleu. On peut avoir beaucoup type de composition colorés mais on choisit en fonction de l'objectif de l'étude. Elle permet d'avoir les informations et déterminer le type des classes étudié.



Signature Spectrale

En mesurant l'énergie réfléchié ou émise par la cible avec une variété de longueurs d'onde, nous pouvons construire la signature spectrale pour un objet. En comparant les signatures de différents objets, nous pouvons les distinguer les uns des autres.





Appareils de SPOT 5 en comparaison avec les autres appareils SPOT.

Spot 1, 2, 3, Spot 4, Spot 5 en chiffres

Satellite	Spot 1,2,3	Spot 4	Spot 5
-----------	------------	--------	--------

Caractéristiques générales

Masse totale	1800 kg	2760 kg	3000 kg
Générateur solaire (fin de vie)	1100 W	2100 W	2400 W
Altitude à l'équateur	822 km	822 km	822 km
Inclinaison sur l'équateur	98,7°	98,7°	98,7°
Vitesse du satellite	7,4 km/s	7,4 km/s	7,4 km/s
Période de révolution	101,4 mn	101,4 mn	101,4 mn
Durée du cycle orbital	26 jours	26 jours	26 jours
Dimensions		2x2x5,6 m	3,1x3,1x5,7m

Durée de vie	3 ans	5 ans	5 ans
AOCS pointage	0,05°/s	0,05°/s	0,05°/s + guidage en lacet
AOCS vitesse	6 10 ⁻⁴ °/s	6 10 ⁻⁴ °/s	6 10 ⁻⁴ °/s
Hydrazine	150 kg	150 kg	150 kg
Télémesure	2048 bps	4096 bps	4096 bps
Télécommande	20 mots/s	60 mots/s	60 mots/s
Lanceur	Ariane 2/3	Ariane 4	Ariane 4 ou 5

Instrument haute résolution

	2 HRV	2 HRVIR	2 HRG
Bandes spectrales	1 panchromatique (10 m) 3 multispectrales (20 m)	1 panchromatique (10m) 3 multispectrales (20m) 1 moyen infra rouge (20m)	1 panchromatique (2,5 ou 5 m) 3 multispectrales (10m) 1 moyen infrarouge (20m)
Champ de vue	2x60 km	idem Spot 1	idem Spot 1
Répétitivité	2 à 3 jours	idem Spot 1	idem Spot 1

Instrument stéréo HRS

Bandes spectrales			1 bande panchromatique (10m)
Champ de vue			120 km; visée arrière -20°, visée avant +20°
Répétitivité			26 jours

Instrument VEGETATION

Bandes spectrales		4bandes spectrale	idem Spot 4
Champ de vue		2200 km	idem Spot 4
Répétitivité		couverture journalière de la quasi totalité des terres émergées	idem Spot 4

Case TMCU

Capacité d'enregistrement	enregistreur 2x 60 Gbits, 160 images	enregistreur 120 Gbits (redondé), mémoire de masse 9 Gbits, 400 images	mémoire de masse 90 Gbits, 550 images
Traitement image à bord	2 images traitées simultanément, puis transmises au sol ou stockées à bord avec un taux de compression de 1,3	2 images traitées simultanément, puis transmises au sol ou stockées à bord avec un taux de compression de 1,3	jusqu'à 5 images, 2 transmises au sol en temps réel, 3 stockées à bord avec un taux de compression de 2,6
Liaison télémesure image (8 GHz)	50 Mbits/s	50 Mbits/s	2x 50 Mbits/s
Détermination de l'orbite	Doris	Doris en temps réel, 5 m rms	Doris en temps réel, 5 m rms
Performance de localisation	350 m	350 m	50 m

Source: <http://spot5.cnes.fr/programme/11.htm#p2>

Pré-traitement des images SPOT 5.

Niveau 1A : C'est un niveau brut où seulement une égalisation des détecteurs est réalisée dans chaque bande spectrale. Ces corrections sont réalisées systématiquement. Ce niveau de prétraitement est généralement utilisé lorsque des études radiométriques fines doivent être conduites. Il ne comprend pas de corrections géométriques.

Niveau 1B : L'image est corrigée des déformations systématiques introduites par le système : effet panoramique, courbure et rotation de la Terre, effet de filé, angle de visée. Ces corrections sont monodimensionnelles (perpendiculairement à la trace du satellite). Les corrections sont donc de nature géométrique mais aussi radiométrique (ré-échantillonnage de l'image). Ce type d'image est un produit privilégié pour la photo-interprétation et les études thématiques (www.spotimage.fr).

Niveau 2 : Les principaux caractères distinctifs du niveau 2 par rapport au niveau 1B sont une géométrie et une localisation améliorées par l'utilisation de données internes et externes : - Les données internes prises en compte sont : les données d'orbite restituées ; la géométrie de la prise de vue ; les données auxiliaires de restitution d'altitude du satellite. - Les données externes prises en compte sont : les paramètres du système de représentation plane choisi ; l'altitude moyenne souhaitée pour la rectification (c'est pour les points situés à cette altitude que la précision du produit sera la meilleure, en général, c'est l'altitude moyenne de la zone d'intérêt de l'utilisateur qui est choisie) ; éventuellement, les coordonnées d'un certain nombre de points au sol, dits points d'appui (Ground control point GCP), mesurées sur une carte, sur le terrain ou fournies par l'utilisateur. Selon que l'on utilise des GCP ou non, on distingue deux sous-niveaux :

Niveau 2A : Des corrections bidimensionnelles sont réalisées pour restituer la scène dans un système de représentation cartographique donné. Les corrections sont effectuées en utilisant seulement les données d'altitude du satellite et la géométrie de prise de vue sans prise de GCP (il n'est donc pas nécessaire de posséder des cartes topographiques). La précision interne de l'image est améliorée mais la précision en localisation absolue reste celle du niveau 1B (soit environ 800m). Cependant, une simple translation en X et en Y par rapport à un point connu permet un recalage précis en localisation.

Niveau 2B : C'est un niveau de pré-traitement de précision dans lequel les corrections bidimensionnelles sont réalisées à l'aide de GCP. L'image est rectifiée dans la projection des cartes. Ce produit, comme le niveau 1B, ne prend pas en compte les déformations dues au relief et est donc d'autant plus précis que la visée est plus verticale et le relief moins important.

Niveau 3 : En plus des corrections du niveau 2B, la correction de niveau 3 tient compte des déformations dues au relief. Elle fait appel à des données issues d'un modèle numérique de terrain (MNT). La précision de localisation absolue est alors de l'ordre de 0,5 pixel. Le produit final est une image Orthorectifiée.

ENVI

Logiciel de traitement d'images de télédétection

Envi comprend en un seul package des outils particulièrement avancés, mais néanmoins interactifs et faciles d'utilisation : analyse spectrale, correction géométrique, analyse topographique, analyse radar, fonctionnalités SIG raster et vecteur, support d'une large gamme de formats images, et encore bien d'autre possibilités. Envi constitue le choix naturel des professionnels de part ses performances, sa facilité d'utilisation et la qualité de ses algorithmes.

TABLE DES MATIERES

<i>DEDICACE</i>	i
REMERCIEMENT	ii
SOMMAIRE	iii
NOMENCLATURES	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX :	vi
LISTE DES ABREVIATIONS :	vii
INTRODUCTION :	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
I.1.LOCALISATION.....	3
I.3.PEDOLOGIE	6
I.4.MILIEU BIOTIQUE	6
I. 4. 1- Flore et végétation	7
I. 4. 1. 1- Flore.....	7
I. 4. 1. 2- Végétation.....	7
I.5.CLIMAT.....	10
I.6.HYDROLOGIE.....	11
I.7.Contexte environnemental.....	13
I.7.1.Les espèces végétales du rivage	13
I.7.2.Les cyclones et tempêtes tropicales.....	14
I.7.3.Les systèmes culturels qui existent aux Comores.	14
I.8. GEOLOGIE.....	16
CHAPITRE II. RAPPEL METHODOLOGIQUE	20
II.1.SPOT 5.....	21

II.2. EVOLUTION DES TECHNIQUES	22
II.2.1.Capteurs satellites.....	22
II.2.2. Traitement de données et choix des canaux	22
II.3. APPLICATIONS DES DONNEES ACQUISES PAR SPOT 5.....	24
II.4. CARTE D'OCCUPATION DU SOL	24
II.4.1.Définition	25
III.7.MATERIELS ET DONNEES UTILISEES	29
III.7.1.Les logiciels de traitement d'image	29
III.7.2. Acquisition d'image.....	31
III.7.3. Caractéristique des images aériennes.....	32
III.8.TRAITEMENTS DES DONNÉES	32
III.8.1. Traitements préliminaires	33
III.8.1.1. Correction radiométrique	33
III.8.1.2. Correction géométrique.....	33
CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION	36
III.1. COMPOSITION COLOREE	37
III.2. SIGNATURES SPECTRALES.....	38
III.3. CLASSIFICATION D'IMAGE	39
III.3.1.Types de Classification	40
II.3.1.1.Classification non supervisé ;	40
II.3.1.2.Classification supervisée ;	41
III.5. RÉSULTATS NUMÉRIQUES	46
III.5.1. post-classification.....	46
III.5.1.1.Pourcentages des classes	46
III.5.1.2.Superficie des classes	46
III.5.1.3.Matrice de confusion ou matrice d'erreur	48

DISCUSSION	53
CONCLUSION.....	55
BIBLIOGRAPHIE	I
ANNEXES.....	V

Cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore

Résumé

Depuis l'arrivée des nouveaux capteurs à très haute résolution spatiale (THRS), les données de télédétection sont aujourd'hui de plus en plus utilisées. La cartographie de l'occupation des sols est une application très répandue. En effet, son apport suscite un intérêt à la fois pour les scientifiques mais aussi les gestionnaires des territoires.

Cette étude porte sur la cartographie de l'occupation des sols à partir des images aériennes à THRS), dans tous les territoires de la grande Comore.

La classification de l'occupation des sols à partir de ces données a été réalisée avec la méthode Classification supervisé sous le logiciel ENVI. La méthodologie développée consiste à définir un processus global de classification servant à identifier les classes en tenant compte des caractéristiques spectrales et spatiales de l'image traités, La méthodologie développée consiste à définir un processus global de classification servant à identifier les classes en tenant compte des caractéristiques spectrales et spatiales de l'image traités, on trouve neuf classes bien contrasté et ceci est important pour avoir une idée beaucoup plus détaillé sur le plan national du développement.

Mots-clés : Télédétection, THRS, Occupation du sol, Classification supervisé, ENVI

Abstract

Since the arrival of the new sensors with very high spatial resolution (THRS), remote sensing data are today more and more used. Indeed, its contribution arouses an interest for both the scientists but also the managers of the territories.

This study focuses on the mapping of land use from aerial images to THRS), in all the territories of Greater Comoros.

The classification of the land use from these data was done using the Classification method supervised under the ENVI software. The developed methodology consists in defining a global classification process used to identify classes taking into account the spectral and spatial characteristics of the image processed. there are nine classes of contrast and this is important to have a much more detailed idea of the national development plan

Keywords: Remote Sensing, THRS, Land Cover, Supervised Classification, ENVI

Impétrant

MAHAMOUD Ali mbaé

E-mail: alimbaemahamoud@gmail.com

Tel: 032 80 926 22

Rapporteur

RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier

E-mail: boniraz2000@yahoo.fr

Tel: 034 47 921 86