

***République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique***

***Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique
Département d'Electronique***



Mémoire de fin d'études

**En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Electronique**

Option: Communication

Thème

Classification d'Images Satellitaires avec ENVI

Encadré par :

M^r : BOUHENNACHE Rafik

Réalisé par :

M^{elle} : TALEB Houria

M^{elle} : LAHDJEL Zineb

Promotion 2010/2011

Remerciement



Nous tenons à remercier en premier lieu le dieu qui nous a montré le bon chemin et nous a donné du courage pour mener notre travail avec beaucoup de patience.

*Nous exprimons nos respects et remerciements à
Mr R. BOUHENNACHE pour nous avoir encadrées.*

Nos remerciements vont surtout au président et aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

En fin, que tous ceux qui nous ont assistés et encouragés (parents et amis (es)) trouvent ici l'expression de notre affection et gratitude.





Dédicace

J e rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études.

J e dédie ce travail à:

Ø *M a très chère mère, pour son soutien le long de mon parcours, je lui souhaite bonne santé et longue vie.*

Ø *M es frères: D jamel, M ed S aïd et R achid.*

Ø *M a sœur N aima, son mari et leurs petite adorable fille L yna.*

Ø *M es noeux: R ayane et A nia.*

Ø *M es amies: K ahina, Z ahia et Z ineb.*

Ø *T ous ceux qui m'aime et que j'aime.*

T . H ouria



Dédicace

J e rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études.

J e dédie ce travail à :

Ø *M es très chers parents, pour leurs soutien et tous les efforts qu'on ma donnée le long de mon parcours et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.*

Ø *M es chères sœurs : S A R A et N our el I mane.*

Ø *M es chères frères : M ed Amine et Z akaria.*

Ø *T oute la famille L ahdjel et Z erroud.*

Ø *T outes mes A mies.*

Ø *M es copines de chambre E 5.*

Ø *M a binôme H ouria.*

Ø *T ous ceux qui m'aime et que j'aime.*

L . Z ineb

Som m a i r e

Sommaire

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre I: Généralités sur la télédétection et les images satellitaires

Introduction.....	4
I. Notions sur la télédétection	4
I.1 Le rayonnement électromagnétique	4
I.2 Le spectre électromagnétique	6
I.3 L'atmosphère	7
I.4 L'interaction	7
II. Les satellites	8
II.1 Définition	8
II.2 Caractéristique d'un satellite : L'orbite et sa fauchée.....	8
II.3 Les catégories d'un satellite	9
II.3.1 Satellite géostationnaire	9
II.3.2 Satellite à défilement.....	9
II.4 Satellite de télédétection	10
II.4.1 Satellite Spot.....	10
a) Caractéristiques orbitales.....	10
b) Les différentes générations de Spot	11
II.4.2 Satellite Landsat.....	12
a) Landsat 1 ^{ère} série	12
b) Landsat 2 ^{ème} série	13
c) Landsat 3 ^{ème} série	15
III. Image et propriétés	17

III.1 Définition d'une image	17
a) Image comme un ensemble de point	17
b) Image comme un signal bidimensionnel	17
c) Image vectorielle	17
III.2 Numérisation d'une image	17
a) Echantillonnage	18
b) Quantification	18
III.3 Types d'images	18
a) Mode binaire	18
b) Mode RVB	19
c) Mode niveau de gris	19
▼ Le pixel	19
III.4 L'histogramme	20
a) Histogramme uni modal	21
b) Histogramme bimodal	21
c) Histogramme multi modal	21
III.5 Image satellitaire	22
III.5.1 Image multispectral	22
III.5.2 Image hyperspectral	22
▼ Réalisation d'une image satellitaire	22
Conclusion	24

Chapitre II : Prétraitement d'images

Introduction	25
I. Modification d'histogramme	26
I.1 Egalisation d'histogramme	26
I.2 Etirement d'histogramme	28
I.3 Seuillage	28

v Rehaussement du contraste	29
II. Types de corrections	30
II.1 Correction radiométrique	30
II.2 Correction géométrique.....	30
v Les étapes de la réalisation cette correction.....	30
II.3 Les corrections atmosphériques.....	31
v Les effets de l'atmosphère	31
III. Le filtrage.....	33
III.1 Filtrage linéaire	33
III.1.1 Filtrage linéaire globale	34
III.1.2 Filtrage linéaire local	34
a) Filtre passe-bas.....	34
b) Filtre passe-haut.....	35
III.2 Filtrage adaptatif.....	36
III.2.1 Le filtre médian	36
La convolution	37
Conclusion	38

Chapitre III : Méthodes de classification

Introduction.....	39
I. Principe de la classification d'images satellitaires.....	39
II. Types de classification	40
II.1. Classification supervisée	40
II.1.1. Méthodes de la classification supervisée	43
II.1.1.1. Maximum de vraisemblance.....	43
II.1.1.2. Distance de Mahalanobis.....	44
II.1.1.3. Parallélépipède.....	45
II.1.1.4. Minimum distance.....	46

II.2. Classification non supervisée	47
II.2.1. Méthode de K-means	50
II.2.2. Méthode ISODATA.....	50
Ø La matrice de confusion.....	51
Ø L'indice de Kappa	51

Chapitre IV: Tests et résultats

Introduction.....	53
I. Présentation du logiciel ENVI.....	53
I.1. Lancement	53
I.2. Fonctionnement ENVI	54
I.2.1. La barre de menu principal.....	54
I.2.2. La liste des bandes disponibles	54
I.2.3. Ouverture d'une image	55
II. La classification sous ENVI.....	56
II.1. Classification non supervisée	56
II.2. Classification supervisée	57
III. Application de la classification	57
III.1. Méthodes non supervisées	57
III.1.1. ISODATA	57
III.1.2. K-Means.....	58
III.2. Méthodes supervisées	58
III.2.1. Prise d'échantillons.....	58
▼ Classification avec différents nombres d'échantillons	59
Discussion.....	60
III.2.2. Application des méthodes supervisées	60
III.2.2.1. Maximum de vraisemblance	61
III.2.2.2. Distance de Mahalanobis	62

III.2.2.3. Minimum distance	63
III.2.2.4. Méthode Parallélépipède	64
IV. Interprétation des résultats.....	65
Conclusion	66
Conclusion générale	67
Bibliographie	

Introduction générale

Introduction générale

La terre est une planète très riche en ressources. Néanmoins, ces ressources dont nous avons besoin sont limitées. Les exemples actuels sont nombreux : eau potable, pétrole, forêts, monde marin, etc. A une époque où il semble que l'on s'approche de ces limites, la population souhaite prendre le problème au sérieux. Cela passe par la bonne gestion de ces ressources. Cette gestion inclut toutes les activités permettant d'utiliser profitablement ces ressources, adhérant une politique de développement durable.

A l'heure actuelle, la quasi-totalité des décisions gouvernementales ont un caractère spatial. Ces décisions impliquent très souvent les caractéristiques du sol, présentes ou futures. Donc il est nécessaire d'acquérir des données précises du sol afin d'établir un système d'information géographique complet et indispensable aux organisations gouvernementales. Parce que la gestion d'une quantité indéterminée est impossible, les ressources doivent être mesurées. Seulement, il ne peut être mesuré une quantité que l'on ne peut observer. C'est pour cette raison que depuis bientôt 50 ans, la planète est photographiée sous toutes ses coutures, premièrement depuis le ciel, puis l'espace. Il est maintenant possible d'observer un territoire, un continent, un océan ou une dépression météorologique. L'acquisition d'informations depuis le ciel ou l'espace est l'objet même de la télédétection.

La télédétection a donc un rôle majeur à jouer dans une aventure titanesque : identifier, mesurer et inventorier les ressources terrestres. Dans l'application de la télédétection, la cartographie de l'occupation du sol est l'un des grands enjeux actuels. L'occupation du sol peut être succinctement définie comme la couverture physique de la surface des terres émergées. L'occupation du sol est sans cesse modifiée par différents processus naturels et anthropiques.

L'étude du sol est alors utile pour la connaissance scientifique des dynamiques urbaines, sylvicultrices ou agronomiques. Les différents constituants du sol sont alors cartographiés : Zones artificialisées, zones agricoles, zones forestières...

Le procédé employé afin de réaliser une carte à partir d'une image satellitaire est nommé classification. Ce procédé consiste à répartir les différents pixels en un nombre précis de classes prédéfinies. Ce travail peut être réalisé manuellement ou de manière automatique par des méthodes de classifications informatisées.

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressées aux deux types de classification ; supervisées et non supervisée. Plus particulièrement aux différentes méthodes de la classification supervisée.

La rédaction de notre mémoire est répartie essentiellement en quatre chapitres :

Le premier chapitre nous présente des généralités sur la télédétection et les images satellitaires.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des différents types de prétraitement qui est une étape essentielle avant la classification.

Dans le troisième chapitre on a cité les différentes méthodes de la classification supervisée et non supervisée et le principe de ces deux types de classification.

Le dernier chapitre est consacré à l'application des méthodes de classification, d'abord une introduction au logiciel utilisé ENVI (Environment for Visualizing Images), puis les résultats et l'interprétation des résultats trouvés.

Enfin, nous complétons notre travail par une conclusion.



Chapitre I

Généralité sur la télédétection et les images satellitaires

Introduction

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images d'obtenir de l'information sur la surface de la terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci.

Selon cette définition très vaste, elle peut se pratiquer de la surface de la terre vers l'atmosphère ou vers l'espace et vice-versa.

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.

La télédétection spatiale, s'appuyant sur des mesures au sol et combinée aux systèmes d'information géographique, apporte aujourd'hui une contribution décisive aux diverses questions qui se posent en matière d'aménagement du territoire, de cartographie, d'environnement, d'exploitation rationnelle des ressources naturelles (eau, mines, forêts, etc.)

Elle devienne de plus en plus une mesure indispensable pour la gestion de notre planète.

I. Notions sur la télédétection :

I.1 Le rayonnement électromagnétique :

Selon la théorie des ondes, tout rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible. Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le champ électrique varie en grandeur et est orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (c).

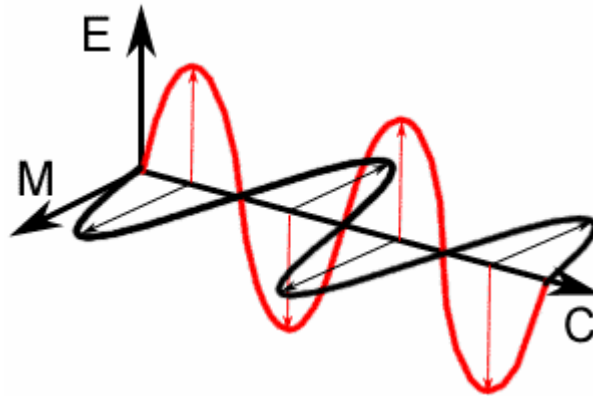


Fig. I.1: Onde électromagnétique monochromatique

Pour comprendre la télédétection, il est indispensable de saisir les deux composantes du rayonnement électromagnétique qui sont la longueur d'onde et la fréquence.

La longueur d'onde équivaut à la longueur d'un cycle d'une onde, ce qui correspond à la distance entre deux crêtes successives d'une onde.

La longueur d'onde est représentée habituellement par la lettre (λ) et est mesurée en mètres ou en l'un de ces sous multiples tels que les nanomètres (nm), micromètres (μm) ou centimètres (cm).

La fréquence représente le nombre d'oscillations par unité de temps. La fréquence est notamment mesurée en hertz (Hz), (c.à.d. en oscillation par second) ou en multiple de Hertz.

La relation entre la longueur d'onde et fréquence est :

$$C = \lambda \mu$$

λ : Longueur d'onde

μ : fréquence

C : vitesse de la lumière

I.2 Le spectre électromagnétique :

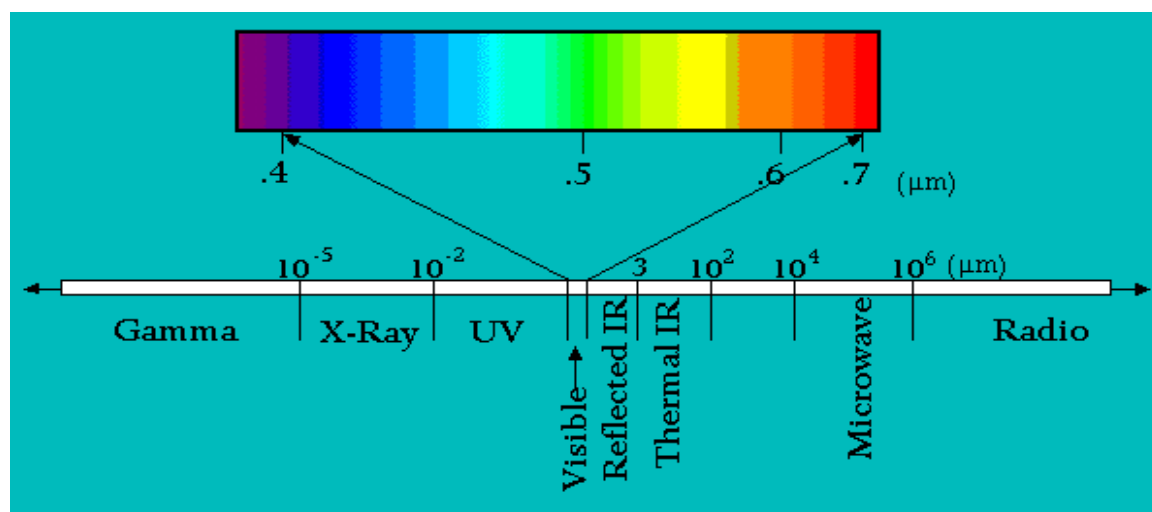


Fig. I.2 : Spectre du rayonnement électromagnétique solaire

Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'ondes (dont font partie les rayons gamma et les rayons x) aux grandes longueurs d'ondes (micro-ondes radio). La télédétection, utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique.

Les plus petites longueurs d'ondes utilisées pour la télédétection se situent dans l'ultraviolet. Ce rayonnement se situe au-delà du violet de la partie du spectre visible. Certains matériaux de la surface terrestre, surtout des roches et minéraux, entrent en fluorescence ou émettent de la lumière visible quand ils sont éliminés par un rayonnement ultraviolet.

La lumière que nos yeux (nos tout premiers capteurs de télédétection) peuvent détecter se trouve dans ce qui s'appelle le spectre visible. Il est important de constater que le spectre visible représente une petite partie de l'ensemble du spectre. Une grande partie du rayonnement électromagnétique qui nous entoure est invisible à l'œil nu, mais il peut cependant être captée par d'autres dispositifs de télédétection. Les longueurs d'onde visible s'étendent de 0,4 à 0,7 μm. La couleur qui possède la plus grande longueur d'onde est le rouge, alors que le violet a la plus courte. Les longueurs d'onde du spectre visible que nous recevons comme des couleurs communes sont énumérées. Il est important de noter que c'est la seule portion du spectre que nous pouvons associer à la notion de couleurs.

Le bleu, le vert et le rouge sont les couleurs (ou les longueurs d'onde primaires du spectre visible). Une couleur primaire ne peut être créée par d'autres couleurs, mais toutes

les autres couleurs peuvent être créés en combinant les couleurs primaires . même si nous voyons la lumière du soleil comme ayant une couleur uniforme ou homogènes, en réalité ,elle est composée d'une variété de longueur d'onde dans les parties de l'ultraviolet du visible ,et de l'infrarouge du spectre . la portion visible de se rayonnement se décompose en ses couleurs composantes lorsqu'elle traverse un prisme . le prisme réfracte la lumière de façon différente en fonction de la longueur d'onde.

Examinons maintenant la partie d'infrarouge (Ir) du spectre. L'infrarouge s'étend approximativement de 0.7 à 100 μm , ce qui est un intervalle environ 100 fois plus large que le spectre visible. L'infrarouge se divise en deux catégories : IR réfléchi et IR émis ou thermique.

Le rayonnement dans la région de l'infrarouge réfléchi est utilisé en télédétection de la même façon que le rayonnement visible. L'infrarouge réfléchi s'étend approximativement de 0.7 à 3 μm . L'infrarouge thermique est très différent du spectre visible et de l'infrarouge réfléchi. Cette énergie est essentiellement le rayonnement qui est émis sous forme de chaleur par la surface de la terre et s'étend approximativement de 3 à 100 μm .

I.3 L'atmosphère :

L'atmosphère n'est pas uniformément transparente au rayonnement. La télédétection de la surface et des nuages s'effectue dans les régions appelées "fenêtres" où la transmission est élevée (par exemple dans les longueurs d'onde visible et autour de 11 μm dans l'infrarouge). Au contraire, la télédétection de l'atmosphère s'effectue dans des régions où le rayonnement est absorbé et émis par les molécules de gaz atmosphériques.

I.4 L'interaction :

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagir avec la surface de la terre. Lorsque l'énergie atteint la cible (toute structure ou objet observable dans une image), la surface peut absorber (A) l'énergie, la transmettre (T) ou réfléchir (R) l'énergie incidente. L'énergie incidente totale interagira avec la surface selon l'une ou l'autre de ces trois modes d'interaction ou selon leur combinaison. La proportion de chaque interaction dépendra de la longueur d'onde de l'énergie, ainsi que de la nature et des conditions de la surface.



Fig. I.3 : Interaction onde EM et surface naturelle

L'absorption se produit lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la cible, la transmission lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible et la réflexion lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement.

Depuis quelque temps, la région des hyperfréquences suscite beaucoup d'intérêts en télédétection. Cette région comprend les plus grandes longueurs d'ondes utilisées en télédétection et s'étend approximativement de 1 mm à 1m. Les longueurs d'ondes les plus courtes possèdent des propriétés semblables à celles de l'infrarouge thermique, tandis que les longueurs d'onde les plus grandes ressemblent aux ondes radio.

II. Les satellites :

II.1 Définition :

Le satellite est un objet fabriqué par l'homme, envoyé dans l'espace à l'aide d'un lanceur et gravitant autour d'une planète ou d'un satellite naturel comme la lune. La vitesse imprimée par la fusée au satellite lui permet de se maintenir pratiquement indéfiniment dans l'espace en décrivant une orbite autour du corps céleste. Celle-ci, définie en fonction de la mission du satellite, peut prendre différentes formes-héliosynchrone, géostationnaire, elliptique, circulaire et se situer à des altitudes plus ou moins élevées classifiées en orbite basse, moyenne ou haute.

II.2 Caractéristique d'un satellite : L'orbite et sa fauchée :

La trajectoire effectuée par un satellite autour de la terre est appelée orbite. L'orbite d'un satellite est choisie en fonction de la capacité des capteurs qu'il transporte et des

objectifs de sa mission. Le choix d'une orbite est déterminé par l'altitude (la hauteur du satellite au dessus de la surface de la terre), l'orientation et la rotation du satellite par rapport à la terre.

Certains satellites ont une altitude très élevée et regardent toujours la même région de la surface de la terre.

II.3 Les catégories de satellites :

Il existe deux catégories :

II.3.1 Satellite géostationnaire :

Est un satellite artificiel qui se trouve sur une orbite géostationnaire. Il fait partie des satellites dits « passifs », c'est-à-dire qui ont besoin d'une source de rayonnement extérieur quand il s'agit de collecter des données.

Un satellite sur cette orbite située à 35786 km d'altitude possède une période de révolution très exactement égale à la période de rotation de la terre et paraît immobile par rapport à un point de référence à la surface de la terre, c'est-à-dire reste toujours à la verticale du même point sur terre, propriété utilisée pour en faire des satellites d'observation, de télécommunication, ou bien de télédiffusion. Pour respecter cette propriété, un satellite géostationnaire se situe forcément dans le plan de l'équateur. Sans taux de rotation sa vitesse angulaire de rotation est égale à celui de la terre soit environ 15 heure.

II.3.2 Satellite à défilement :

Est un satellite qui défile, c'est-à-dire qu'au lieu d'être en orbite géostationnaire à 36000 km et de tourner en phase avec la terre afin de rester fixe dans le ciel (cas des satellites tv ou des satellites téléphoniques pour ligne « fixes » qui remplacent les câbles sous-marins intercontinentaux par exemple) ils sont en orbite basse et défilent rapidement (typiquement 1h ou 1h30 pour faire le tour de la terre).

Ils décrivent une orbite presque polaire circulaire à une altitude relativement basse entre 800 et 1500 km, ils se déplacent à une vitesse d'environ 7 km / second par rapport à la surface terrestre qui défile au-dessous d'eux. Ces satellites sont habituellement héliosynchrones, c'est-à-dire que chaque passage quotidien de satellite au dessus d'une altitude donnée s'effectue environ à la même heure (solaire) locale.

II.4 Satellite de télédétection :

Les satellites de télédétection observent la terre, dans un but scientifique (température de la mer, sécheresse ...), économiques (ressources naturelles agriculture ...) ou militaire (rôle majeur dans les guerres contemporaines ; ils sont plus couramment désignés sous le nom satellites espion) . Le spectre d'observation est vaste optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques. La résolution atteint actuellement moins d'un mètre pour certaines gammes de fréquence. Celle-ci dépend de la résolution exige une orbite basse en générale héliosynchrone utilisée par exemple par les satellites d'observation de la terre de la famille spot.

II.4.1 Satellite spot :

Le programme de télédétection spot (satellite pour l'observation de la terre) à été mis en place 1978 par la France en collaboration avec la Belgique et la Suède.

La constellation des satellites spot offre une capacité d'acquisition et de revisite qui permet d'acquérir une image de n'importe quel point du globe chaque jour ; le satellite spot est équipé d'un miroir permettant un changement de visée, ainsi une même scène peut être observées à partir de plusieurs orbites tous les deux jours et demis

a) Caractéristiques orbitales :

Tous les satellites spot évoluent à une altitude de 820 km, sur des orbites quasi planes, caractérisées par une inclinaison de 98,7 (ce qui permet l'héliosynchronisme). La période de révolution des satellites spot est de 101,4 min et le cycle orbital d'une durée de 26 jours.

Ces caractéristiques orbitales ont des conséquences sur l'acquisition des images et leur interprétation ultérieure.

b) Les différentes générations de spot :

- La première génération : spot 1 à 3.
- La deuxième génération : spot 4.
- La troisième génération : spot 5.

Chaque satellite jusqu'à spot 4 est constitué de deux instruments imageurs (HRV et HRVIR pour spot 4) capable d'acquérir de manière indépendante des scènes couvrant une zone géographique de 60 X 60 km.

Deux modes alternatifs d'acquisition des images sont possibles :

Panchromatique, noir et blanc, avec une résolution spatiale de 10m.

Multi spectrale, couleur, avec une résolution spatiale de 20m acquis simultanément dans les trois bandes RVB.

Le satellite spot 5 est constitué de deux nouveaux instruments HRG dérivés des instruments HRVIR de spot 4 qui offrent une meilleure résolution 2.5 à 5 mètres en mode panchromatique et 10mètres en mode multi spectrale. Spot 5 embarque un nouveau instrument de prise de vue HRS fonctionnant en mode panchromatique qui point à la fois vers l'avant et vers l'arrière du satellite ce qui permet de restituer le relief.

II.4.2 LANDSAT

Ce programme américain de télédétection spatiale (NASA) a été le premier programme civil d'observation de la Terre par satellite. Il a commencé avec le lancement du premier LANDSAT en 1972 et se poursuit encore actuellement avec Landsat 7, toujours opérationnel. Ce programme a donc permis d'engranger des millions de données formant une librairie exceptionnelle des conditions sur Terre depuis presque 40 ans.

a) LANDSAT 1ère série :

Les 3 premiers satellites furent identiques et leur charge utile était constituée de deux instruments optiques, un capteur multi spectral (Multi Spectral Scanner - MSS) et une série de cameras vidéo (Return Beam Vidicom - RBV).

Altitude : 907-915 km

Inclinaison: 99,2 degrés

Orbite: polaire héliosynchrone

Période de révolution: 103 minutes

Capacité de revisite: 18 jours

Satellites :	LANDSAT 1	(23/07/1972 - 06/01/1978)
	LANDSAT 2	(22/01/1975 - 05/02/1982)
	LANDSAT 3	(05/03/1978 - 31/03/1983)

. Capteurs RBV :

Sur les deux premiers satellites, la série de 3 caméras vidéo prenait des images dans le visible et dans l'infrarouge. La résolution était de 80 m pour des images de 185 km sur 185 km. Sur LANDSAT 3, la résolution a été portée à 40 m, mais les caméras ne prenaient plus des images que dans une seule bande spectrale panchromatique (0,5 - 0,75 μm).

. Capteurs MSS :

Ces scanners mécaniques enregistraient des informations dans quatre bandes spectrales et sur une zone de 185 km sur 185 km. Comme ces instruments ont été développés après les trois caméras RBV, ces bandes ont été numérotées de 4 à 7. Le capteur MSS de LANDSAT 3 comportait une bande spectrale supplémentaire dans l'infrarouge thermique.

Bande	Bande spectrale	Résolution
4	0,5 - 0,6 μm	79 m x 82 m
5	0,6 - 0,7 μm	79 m x 82 m
6	0,7 - 0,8 μm	79 m x 82 m
7	0,8 - 1,1 μm	79 m x 82 m
8	10,5 - 12,4 μm	240 m x 240 m (<i>LANDSAT 3 uniquement</i>)

b) LANDSAT 2ème série :

Les 2 satellites suivants (LANDSAT 4 et 5) ont été équipés de 2 capteurs multi spectraux (Multi Spectral Scanner - MSS et Thematic Mapper - TM).

Altitude: 705 km

Inclinaison: 98,2 degrés

Orbite: polaire héliosynchrone

Période de révolution: 98,9 minutes

Capacité de revisite: 16 jours

Satellites :	LANDSAT 4	(16/07/1982 – 01/08/1993)
	LANDSAT 5	(01/03/1985 – opérationnel)

. Capteurs MSS :

Ces scanners étaient identiques à ceux des 2 premiers satellites LANDSAT. La seule différence était que les 4 bandes spectrales ont été numérotées de 1 à 4, suite à l'abandon des caméras RBV. L'acquisition de données par le capteur MSS de LANDSAT 5 a été arrêtée en 1992.

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,5 - 0,6 μm	79 m x 82 m	Zones côtières, sédiments marins
2	0,6 - 0,7 μm	79 m x 82 m	Routes et zones urbaines
3	0,7 - 0,8 μm	79 m x 82 m	Etude des végétaux et cartographie des limites terre/eau
4	0,8 - 1,1 μm	79 m x 82 m	Etude des végétaux et cartographie des limites terre/eau

. Capteurs TM :

Ces scanners à haute résolution possèdent 7 bandes spectrales et couvrent toujours une zone de 185 km sur 185 km.

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,45 - 0,52 μm	30 m x 30 m	Différenciation sol / végétaux, zones côtières
2	0,52 - 0,60 μm	30 m x 30 m	Végétation
3	0,63 - 0,69 μm	30 m x 30 m	Différenciation des espèces végétales
4	0,76 - 0,90	30 m x 30 m	Biomasse
5	1,55 - 1,75 μm	30 m x 30 m	Différenciation neige/nuage
6	10,4 - 12,5 μm	120 x 120 m	Thermique

7 2,08 - 2,35 μm 30 m x 30 m Lithologie

c) LANDSAT 3^{ème} série :

La dernière génération des satellites LANDSAT a commencé par un échec. LANDSAT 6 a été perdu juste après son lancement le 3 octobre 1993. LANDSAT 7 a été lancé en 1999 et est équipé d'un capteur multi spectral (Enhanced Thematic Mapper Plus - ETM+).

Altitude: 705 km

Inclinaison: 98,2 degrés

Orbite: polaire héliosynchrone

Période de révolution: 98,9 minutes

Capacité de revisite: 16 jours

Fauchée: 185 km

Satellites :	LANDSAT 6	(03/10/1993 – 03/10/1993)
	LANDSAT 7	(15/04/1999 – opérationnel)

. Capteur ETM+ :

Ce scanner est une évolution des TM précédents. Il comporte maintenant une large bande panchromatique à haute résolution.

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,45 - 0,515 μm (bleu)	30 m x 30 m	Différenciation sol / végétaux, zones côtières
2	0,525 - 0,605 (vert)	30 m x 30 m	Végétation
3	0,63 - 0,69 μm (rouge)	30 m x 30 m	Différenciation des espèces végétales

4	0,75 - 0,90 μm (proche IR)	30 m x 30 m	Biomasse
5	1,55 - 1,75 μm (SWIR)	30 m x 30 m	Différenciation neige/nuage
6	10,4 - 12,5 μm (TIR)	60 m x 60 m	Thermique
7	2,09 - 2,35 μm (SWIR)	30 m x 30 m	Lithologie
PAN	0,50 - 0,90 μm	15 m x 15 m	

III. Image et propriétés :

III.1 Définition d'une image :

L'image est une représentation bidimensionnelle d'une scène réelle située en général dans un espace tridimensionnel, elle contient en chaque point l'intensité lumineuse fournie par les capteurs (camera, scanner,...appareil photo).

a) Image comme un ensemble de point :

Dans une surface généralement rectangulaire, l'image est définie comme une répartition ou une distribution d'un ensemble de point appelé pixels, à chaque pixel on peut associer une fonction $F(X, Y)$ ou, X, Y représente ses coordonnées spatiales et F représente son niveau de gris.

b) Image comme un signal bidimensionnel :

Dans ce cas l'image est représenté par un signal à 2 dimensions (espace, fréquence) variable, continue et fini. Le traitement s'effectue à base des outils de traitement de signal à 2 dimensions (T-F, TFF G, TO...).

c) Image vectorielle :

L'image vectorielle est constituée à base d'éléments mathématiques, constructifs (figure géométrique simple, rectangle, segment de droite, un cercle de centre o de rayon r et de couleur c).

On reconnaît l'image vectorielle au fait que sa quantité visuelle ne se dégrade pas lorsqu'on agrandit sa taille, contrairement à l'image matricielle qui perd sa qualité dès qu'elle dépasse une certaine taille.

III.2 Numérisation d'une image :

La numérisation est un procédé de codage de l'information qui se fait par des chiffres en mode binaires.

La numérisation est basée sur l'analyse intégrale d'un support d'information (Image, dessin ou texte) qui est fictivement découpé en éléments de surface.

Une image numérique (ou BITMAP) est une image dont la surface est divisée en éléments de tailles fixes appelés cellules ou pixels, ayant chacun comme caractéristique un niveau de gris ou de couleur prélevé à l'emplacement correspondant dans l'image réelle.

Il est important de mentionner qu'une image numérique est obtenue par une conversion de son état analogique (signal électrique) vers en état numérique (binaire), et pour réaliser cette conversion deux étapes sont indispensable :

a)Echantillonnage :

Est la première étape de la numérisation des images, il doit tenir compte du contenu informationnel pertinent des images. Il est limité par la capacité du capteur, donc le nombre de pixels disponibles.

b) Quantification :

Elle peut faire apparaître des distorsions dans les images, il existe donc des règles pour déterminer la bonne quantification(le nombre de bits) pour les images numériques. En outre de capacité du capteur, le nombre de bits réellement pour coder une image varie d'une image à l'autre, en fonction de leur contenu informationnel

III.3 Types d'images :

Il existe trois principaux types d'images :

a)Mode binaire (image en noir et blanc) :

La valeur de chaque point exprime la mesure d'intensité lumineuse perçue par le capteur.

Chaque pixel est représenté par un bit (0 ou 1) avec 0→noir : intensité nulle et 1→blanc : intensité maximale. Généralement la plupart des systèmes de traitement d'images placeront chaque pixel dans un octet (codé 0 ou 255) pour des facilité d'accès et d'écriture des algorithmes.

b) Mode RVB : c'est un mode d'image couleur.

Une image RVB est composée de 3 couches de couleur : rouge, vert, et bleu. Chaque pixel va par conséquent être composé d'une certaine quantité de rouge, de vert et de bleu. Ce mode est additif car il faut additionner un maximum de 3 couleurs pour obtenir le blanc.

Dans une image RVB chaque pixel est codé sur 24 bit (chaque couleur est codé sur 8 bits) le poids de l'image est donc trois fois plus lourd qu'en niveau de gris.

c) Mode niveau de gris :

Le mode niveau de gris permet de représenter les nuances présentes sur une image noir et blanc (ou couleur numérisé en niveau de gris), il est possible de représenter du noir, du blanc ainsi que des niveaux de gris intermédiaires dans un pixel.

En général le nombre de niveau de gris disponible par pixel est 256 (mode 8 bit).

Pour bien percevoir une image en ton continue l'œil humain a besoin d'un minimum de 150 à 200 niveau de gris

v Le pixel :

Le pixel est l'unité principal de l'image numérique, c'est la plus petite zone adressable dans l'image, il peut être représenté en mémoire par :

- Un bit (0/1) pour les images monochromatique ou binaires.
- Un octet pour les images codées sur 256 niveaux de gris.
- Trois octets pour l'image couleur (un octet pour chaque composante RVB).

III.4 L'histogramme :

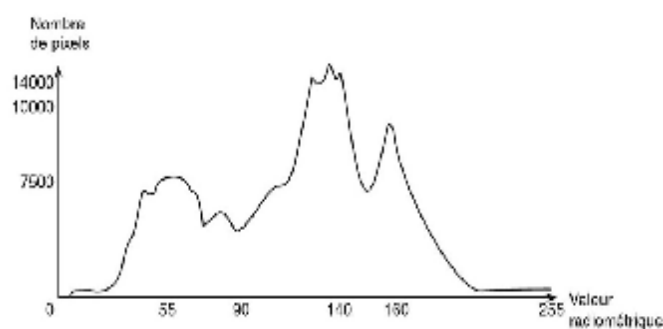
L'histogramme d'un canal représente la répartition du nombre de points d'une image en fonction de la valeur numérique (du niveau de gris ou de couleur, de la réflectance) de ces points. Sur un graphique, on va représenter en abscisse les valeurs des pixels (en générale sur 256 niveaux de 0 à 255) et en ordonnée le nombre d'occurrences des pixels de même valeurs.

On utilise les histogrammes pour définir « le profile » de base d'une image et réaliser différentes analyses :

- ü Connaître la répartition des valeurs numériques d'une image, et donc le nombre et le type « d'objets » potentiels ainsi que (par déduction), la surface de ces « objets » connaissant la correspondance entre le pixel élémentaire de l'image et la surface réelle sur le terrain (la résolution), on en déduit la surface de l'objet par décompte du nombre de pixels.
- ü Isoler un ou plusieurs objets que l'on veut étudier, que l'on veut faire apparaître, ou, au contraire disparaître.
- ü Découper l'histogramme en différentes classes de couleur, simplement pour avoir une idée de la répartition générale des objets de l'image. Ce découpage n'est pas arbitraire ou aléatoire, il correspond à des choix statistique manuels ou automatiques.



Image originale

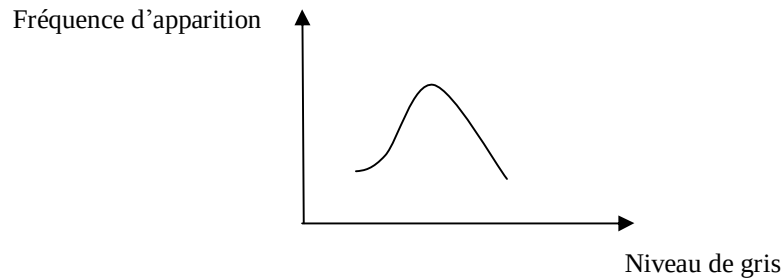


Histogramme

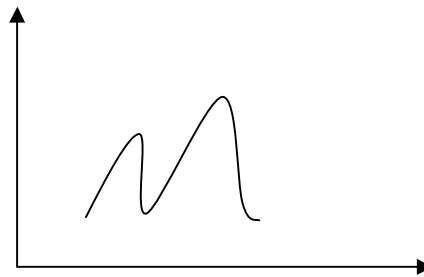
Fig. I.4 : Image original et son histogramme

a) Histogramme uni modal :

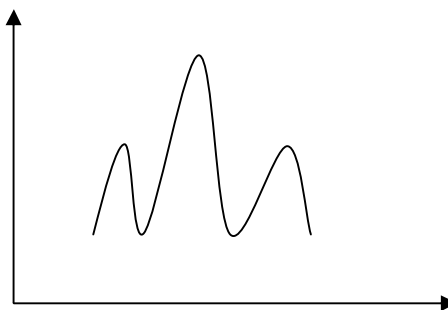
Cet histogramme est formé d'un seul mode correspondant à un seul pic, il représentera alors soit un font.

**Fig. I.5 : Histogramme uni modal****b) Histogramme Bimodale :**

Cet histogramme est formé de deux modes bien séparés on dit qu'il est bimodal (deux pics séparés par une vallée), et l'on déduit ainsi qu'il existe un objet sur un fond.

**Fig. I.6: Histogramme bimodal****c) Histogramme Multimodal:**

Cet histogramme est constitué de plusieurs pics séparés par des vallées, il nous renseigne sur la présence de plusieurs objets.

**Fig. I.7 : Histogramme multimodal**

III.5 Image satellitaire :

Une image satellitaire naît d'un capteur situé sur le satellite en question, et d'une scène observée, un capteur est caractérisé par un certain nombre de bandes, de 1 à 200 dont chacune correspond à une longueur d'onde. Le capteur synthétise pour chaque bande une image que l'on peut représenter en niveaux de gris et dont la résolution est quelques mètres par pixel.

III.5.1 Image multi spectral :

Le terme multi spectral qualifie une image dotée de plusieurs bandes, une image couleur classique est typiquement multi spectral avec 3 bandes.

III.5.2 Image hyper spectral :

Est une image pour laquelle nous disposons d'un spectre continu pour chaque pixel. En pratique une image hyper spectrale est une image qui contient un très grand nombre de bandes de plusieurs dizaines ou centaines

v Réalisation d'une image satellite :

Comme leur nom l'indique les images satellites sont fabriquées à partir d'informations relevées par des satellites placés en orbite autour de la terre.

Le rayonnement électromagnétique que notre planète reçoit du soleil est en partie absorbé par l'eau, la végétation et les roches qui composent la surface du sol.

La partie qui n'est pas absorbée est renvoyé dans l'espace et c'est là que le satellite intervient.

Le satellite est équipé de capteurs sensibles à une ou plusieurs longueurs d'onde, il mesure pour une longueur d'onde donnée, ce qui lui envoie chaque "point" de la surface du sol.

Un "point" peut représenter une superficie de quelques décimètres carrés à plusieurs centaines de mètres carrés, cela dépend de la résolution des capteurs embarquer sur le satellite.

Le satellite balaye point par point la surface terrestre et attribue une valeur comprise entre 0, 255 à chaque point de surface en fonction de la quantité d'énergie renvoyé e. Il envoie

ensuite ces données chiffrées par radio à une station au sol qui compose point par point l'image de la région survolée par le satellite, chaque valeur reçue par la station au sol permet de dessiner un petit carré (pixel) auquel on attribue une nuance de gris plus ou moins intense suivant le nombre reçu. La valeur "0" correspond à du noir et "255" à du blanc.

Tous ces petits pixels juxtaposés à côté des autres attribuent à la réalisation de l'image.

Un satellite ne voit le sol que dans une autre longueur d'onde (ou tout du moins une bande très étroite de longueur d'onde), on dit qu'il travaille dans un canal. Une image satellite est donc forcément monochromatique.

Conclusion :

Ce chapitre est centré sur tout ce qui concerne le domaine de télédétection, en premier on a cité quelques notions tels que le rayonnement, le spectre électromagnétique, l'interaction,...etc. Ensuite on a parlé des différentes catégories de satellites notamment spot et Landsat : leurs caractéristiques orbitales, leurs différentes générations et leurs capteurs. Enfin on a terminé par les images satellitaires, et quelques notions de traitement d'images en général tels que les différents types d'images, la quantification, l'échantillonnage, les types d'histogrammes et autres.

Chapitre II

Le prétraitement d'images satellitaires

Introduction :

Le prétraitement est une phase qui a lieu juste après l'acquisition des images, elle a pour objectif, d'améliorer la qualité d'image en vue de traitement ultérieurs. Ces prétraitements peuvent être décomposés en plusieurs grandes familles :

ü Les manipulations d'histogrammes : Dont le but est soit de mettre en relief telle ou telle partie de l'image ou d'augmenter la dynamique de celle-ci.

Les opérations de filtrages (linéaires ou non) : Dont le but est de réduire le bruit présent dans l'image et usuellement assimilés à de hautes fréquences.

ü Les rehaussements d'image : dont le but est d'augmenter les contrastes entre différentes régions de l'image.

ü Les corrections radiométriques, géométriques, atmosphériques : Pour obtenir les valeurs de réflectance au sol

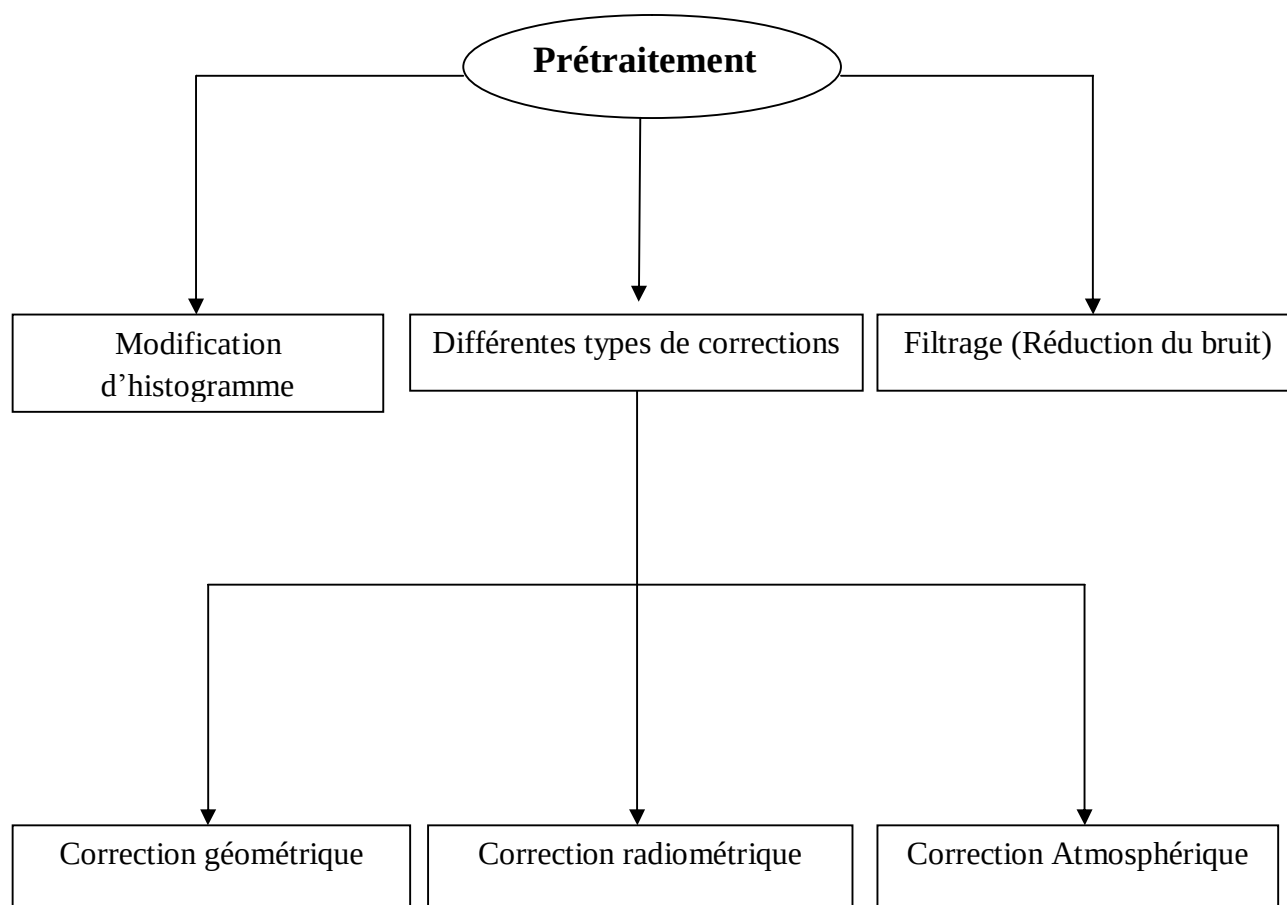


Fig. II.1 : Les étapes de prétraitement

I. Modification d'histogramme :

I.1 Egalisation d'histogramme :

L'égalisation d'histogramme est un outil qui permet d'améliorer la qualité visuelle des images (mauvaise contraste, image trop sombre ou trop claire, mauvaise répartition des niveaux d'intensité, etc.....). Cette transformation consiste à rendre le plus plat possible l'histogramme des niveaux des gris, ce qui donne une meilleure dynamique et un fort contraste à l'image.

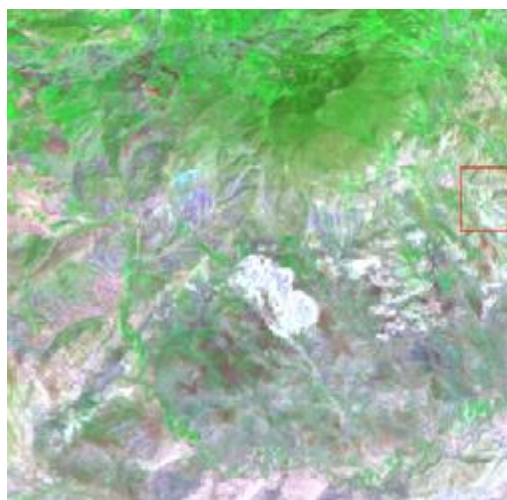


Image avant égalisation d'histogramme

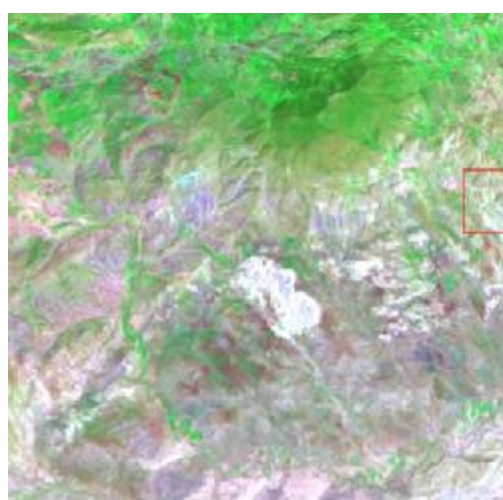
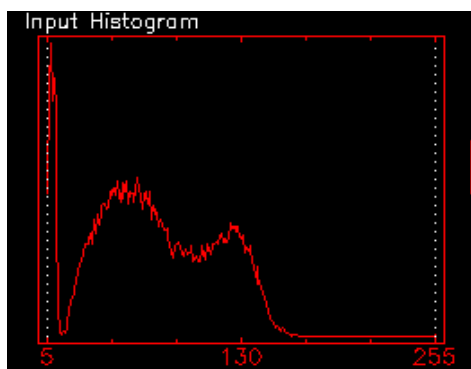
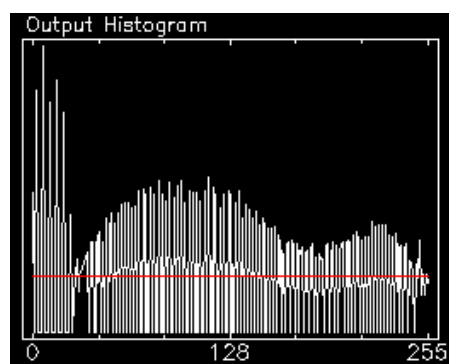


Image après égalisation d'histogramme.

Figure II.2 : Image avant et après égalisation

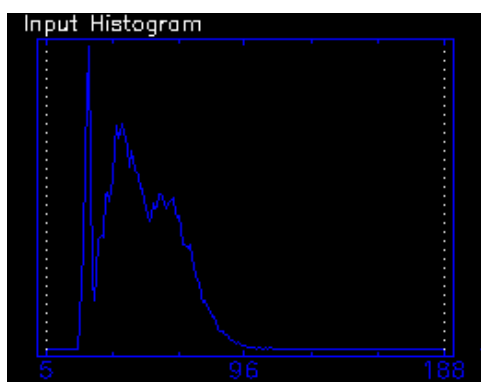


Histogramme avant égalisation

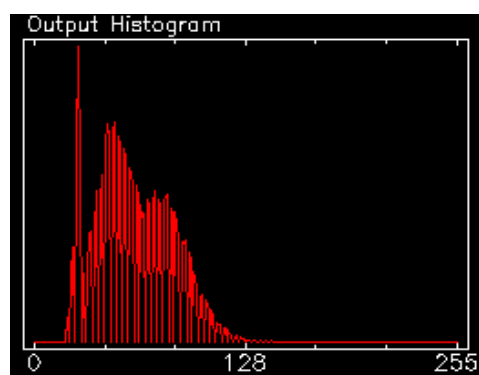


Histogramme après égalisation

a) Canal rouge.

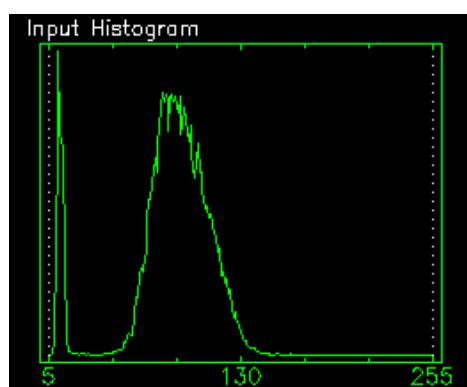


Histogramme avant égalisation

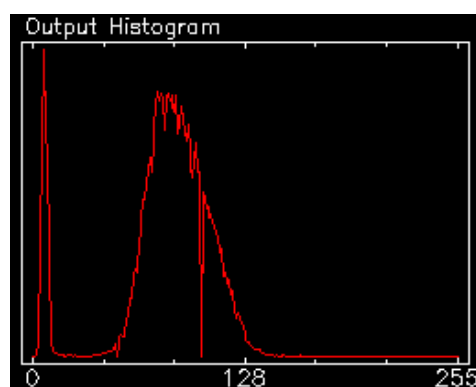


Histogramme après égalisation

b) Canal bleu.



Histogramme avant égalisation



Histogramme après égalisation

c) Canal vert.

Fig. II.3 : Egalisation d'histogramme

I.2 Etirement d'histogramme :

L'étirement d'histogramme (aussi appelé linéarisation d'histogramme) consiste à répartir les fréquences d'appariation des pixels sur la largeur de l'histogramme. Ainsi il s'agit d'une opération consistant à modifier l'histogramme de telle manière à répartir aux mieux les intensités sur l'échelle des valeurs disponibles. Ceci revient à étendre l'histogramme afin que la valeur d'intensité la plus faible soit à zéro et que la plus haute soit à la valeur maximale.

De cette façon, si la valeur de l'histogramme sont très proches les une des autres, l'étirement va permettre de fournir une meilleure répartition afin de rendre les pixels claires encore plus claires et les pixels foncés proche du noir.

1.3 Seuillage :

L'opération dite de « seuillage simple » consiste à mettre à zéro "0" tous pixels ayant un niveau de gris inférieur à une certaine valeur (appelée seuil) et à un « 1 », les pixels ayant une valeur supérieure à ce seuil. Ainsi le résultat de seuillage est une image binaire contenant les pixels noirs et blancs, c'est la raison pour laquelle le terme de binarisation est employé. Les seuillage permettent de mettre en évidence des formes ou des objets dans une image.



Fig. II.4 : Image avant seuillage

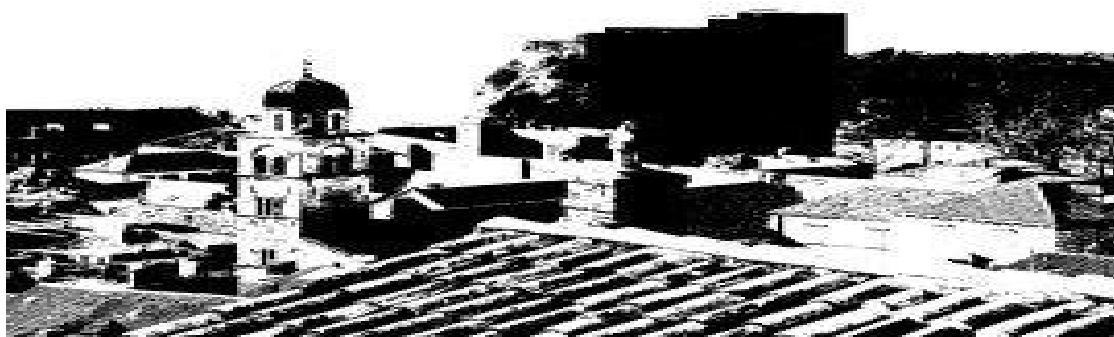


Fig. II.5 : Image après seuillage

- **Rehaussement de contraste :**

Rehausser le contraste de l'image consiste à diminuer l'étendue de la zone de transition sans affecter l'intensité moyenne des régions situées de part et d'autre. On limite ainsi le risque de fusion intempestive des régions distinctes.

L'opérateur de rehaussement de contraste devra, si possible, réduire le bruit dans les zones stationnaires et éviter les phénomènes de dépassement. Ce type d'opérateur est réalisable au moyen de méthodes linéaires ou non linéaires. Un exemple de rehaussement de contraste est représenté ci-dessous :



Image original



Image contrasté

Fig. II.6 : Exemple de rehaussement du contraste

II. Types de corrections :

II.1 Correction radiométrique :

Les pixels des images brutes affichent des valeurs en niveau de gris entre 0 et 255 pour les images codées à 8 bits, sauf pour les images MISS de LANDSAT qui sont codées sur 6 bits et qui représente donc 64 niveaux de gris. Afin que la valeur des pixels corresponde à la valeur de la réflectance aux capteurs, des étalonnages radiométriques ont été réalisés pour permettre le passage des niveaux de gris en luminance apparente, puis en réflectance apparente.

Les corrections radiométriques peuvent être nécessaires à cause des variations dans l'illumination et dans la géométrie de visée d'une scène, des conditions atmosphériques, du bruit et de la réponse de capteur. Chacun de ces facteurs variera selon le capteur et la plateforme utilisés, et selon les conditions d'acquisition des données.

II.2 Correction géométrique :

Les images acquises par les systèmes d'observation de la terre ne peuvent être directement superposées à des cartes parce qu'elles sont affectées de déformations géométriques, ces déformations sont dues à des erreurs de positionnement du satellite sur son orbite, au fait que la terre tourne sur son axe durant l'enregistrement de l'image, aux effets du relief terrestre....etc. Elles sont encore amplifiées par le fait que certains satellites prennent des images en oblique. la correction géométrique consiste à corriger la géométrie d'une image pour la rendre superposable à un document de référence.

Elle permet d'établir un lien formel entre l'image et un référentiel terrestre donné.

v Les étapes de la réalisation de cette correction :

1- Le choix et la saisie des points de calage :

C'est rechercher à la fois sur le document de référence (ortho-image) et sur les images à corriger des points parfaitement identiques et de procéder à leur saisie

2- Le redressement ou la rectification de l'image :

Il s'agit de corriger les perturbations géométriques et distorsions ayant lieu lors de l'enregistrement des images et affectant les données.

3-Le rééchantillonnage des pixels :

Après le redressement, on crée une nouvelle image dans le référentiel choisi, cela passe par la création d'une grille vide conformément à la projection choisie. On affecte les attributs des pixels de l'image à redresser à ceux de la nouvelle grille. Dans ce transfert de données, il se trouve que les positions des pixels de la nouvelle grille ne coïncident pas exactement avec celle de l'image à redresser. Pour réparer cette anomalie, on procède par interpolation à un rééchantillonnage des images.

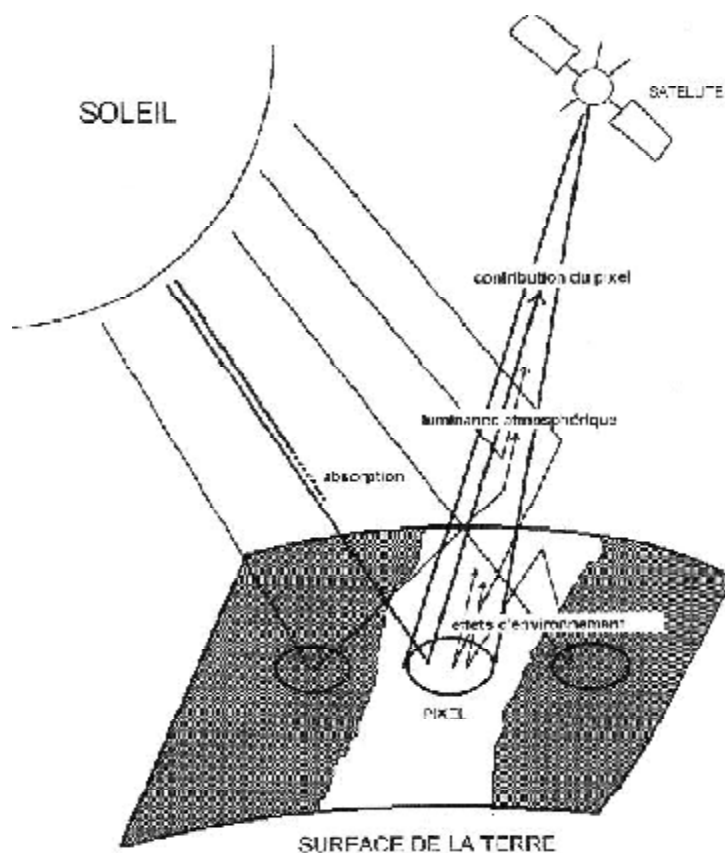
II.3 Les corrections atmosphériques :

v Les effets de l'atmosphère :

Avant de commencer les corrections nécessaires, il est indispensable de connaître l'influence de l'atmosphère sur le signal réfléchi par la végétation dans le domaine visible proche-infrarouge. Les capteurs installés sur les satellites permettent de mesurer la luminance réfléchie par le système Terre/Atmosphère illuminé par le soleil. Ces capteurs Opèrent dans le spectre solaire dont les longueurs d'onde s'étalent de 0,2 à 4 μm . Le signal mesuré dépend de la réflectance de la surface terrestre, mais aussi des effets de l'atmosphère.

Ces effets interviennent aux cours des deux trajets effectués par le rayonnement du Soleil : descendant du Soleil vers la surface, et montant de la surface vers les capteurs.

Le but des corrections est donc de corriger ces effets pour en extraire la véritable information



(Source : Tanré et al., 1986).

Fig. II.7 : Effets de l'atmosphère

Diverses méthodes de corrections atmosphériques peuvent être appliquées, allant de modèles très détaillés des conditions atmosphériques durant l'acquisition des données, jusqu'à un simple calcul basé seulement sur les données de l'image. Un exemple de cette dernière méthode consiste à examiner l'intensité observée (valeur numérique du pixel) dans une région ombragée ou un objet très sombre (tel un grand lac clair) et à déterminer la valeur minimale pour chacune des bandes spectrales.

La correction est appliquée en soustrayant la valeur minimale observée, de tous les pixels dans chaque bande. Puisque la diffusion dépend de la longueur d'onde, la valeur minimale variera d'une bande à l'autre. Cette méthode est basée sur la supposition que la réflexion de ces éléments est très petite, voire nulle si l'atmosphère est claire. Les valeurs plus petites que zéro que l'on pourrait observer sont dues à la diffusion atmosphérique.

III. Le filtrage :

Les régions formant sont caractérisés par leurs intensités moyennes. Les fluctuations autour de cette intensité moyenne peuvent provenir soit des dispositifs d'acquisition soit de la scène elle-même, elles constituent des perturbations qui affectent la qualité de l'image et sont désignées par le terme bruit d'image.

L'objectif est donc de réduire l'amplitude des variations d'intensité dans chaque région, tout en conservant les transitions entre les régions adjacentes.

Le filtrage a pour but d'atténuer les bruits indésirables ou d'accentuer les contours.

On distingue :

- Ø Le filtrage linéaire
- Ø Le filtrage non linéaire (adaptatif)

III.1 Filtrage linéaire :

On peut améliorer les images en utilisant les filtres linéaires, ils ont cette appellation car ils possèdent la propriété de linéarité du produit de convolution.

Filtrer une image $I(i, j)$ consiste à la convoluer avec une fonction $f(i, j)$ qui est la réponse impulsionnelle du filtre.

Dans le cas continu, l'image filtrée est donnée par :

$$I' = (f * I)(i, j) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(i_1, j_1) I(i - i_1, j - j_1) di_1 dj_1$$

Dans le cas discret, les domaines de I et de f sont bornés.

Le domaine de I est $\left[-\frac{N}{2}, +\frac{N}{2}\right]$ et le domaine de f est $\left[-\frac{K}{2}, +\frac{K}{2}\right]$

On a nécessairement $k \leq N$, N étant la taille de l'image. Dans le cas discret la convolution s'écrit :

$$I'(i * j) = (f * I)(i, j) = \sum_{i'=-\frac{K}{2}}^{+\frac{K}{2}} \sum_{j'=-\frac{N}{2}}^{+\frac{N}{2}} f(i - i', j - j') \cdot I(i', j')$$

Il existe deux méthodes utilisées pour ce type de filtrage

III.1.1 Filtrage linéaire global :

Consiste à effectuer le produit de convolution de la transformée de fourrier de l'image par une fonction F qui est la fonction de transfert du filtre, appelée « gain complexe du filtre ».

III.1.2 Filtrage linéaire local :

Consiste à effectuer le produit de convolution de l'image, par une fonction de voisinage, généralement de taille (3*3) nous citerons dans ce qui suit quelques exemples.

a) Filtrage passe bas :

Pour réaliser le filtrage local, on effectue le produit de convolution de l'image par une fonction de voisinage définie d'une façon générale par :

$$H = \left[\frac{1}{b+2} \right]^2 \begin{bmatrix} 1 & b & 1 \\ b & b^2 & b \\ 1 & b & 1 \end{bmatrix} \text{ Ou } \left[\frac{1}{b+2} \right]^2 \text{ est un Facteur de normalisation.}$$

Les deux types de filtre passe bas les plus utilisés sont pour b= 1 et b=2

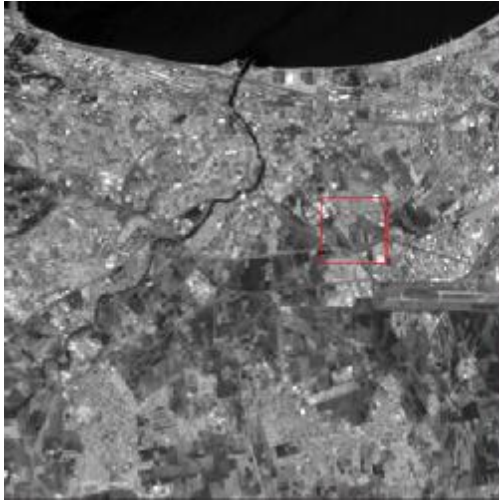
Pour b= 1 on a : $H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ c'est le filtre par moyennage car il remplace la valeur de

Chaque point de l'image par la moyenne effectuée sur ses premiers voisins.

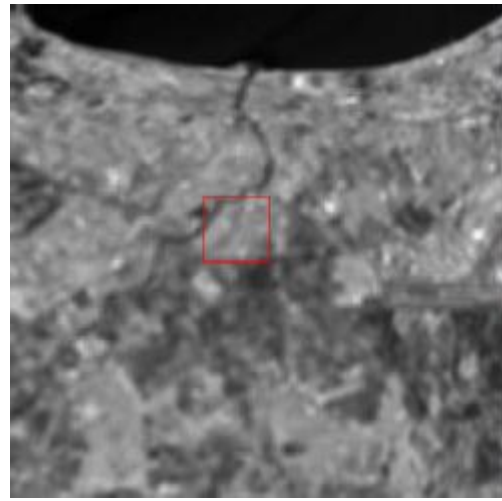
b=2 : $H_2 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ c'est le filtre Passe-bas le plus utilisé, il affecte au pixel central le

poids le plus grand par rapport à son voisinage.

La figure –ci dessous nous donne l'image Landsat5(2010) avant et après filtrage.



Bande7 (image originale)



Bande7 (filtrage passe-bas)

Fig. II.8 : Exemple de filtrage passe-bas

b) filtrage passe haut :

Comme dans le cas des filtres passe bas on peut attribuer à chaque point du voisinage d'une fenêtre passe haut, des poids statistiques différents. Les filtres passe haut n'éliminent pas le bruit, bien au contraire, ils permettent la mise en évidence de contours entre des plages de niveau de gris différents.

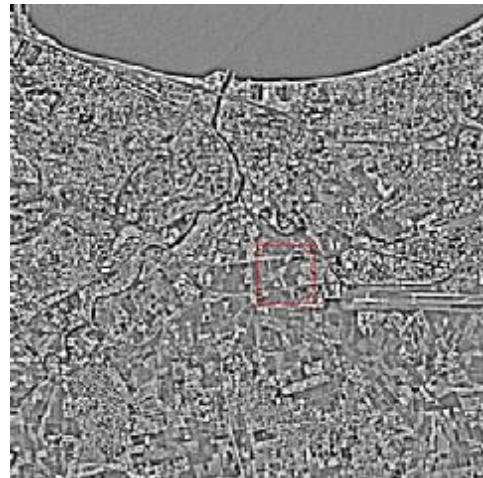
Le filtrage passe haut est réalisé par le produit de convolution de l'image par les masques suivants.

$$H_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

La figure suivante nous donne l'image Landsat5 (2010) après filtrage :



Bande7 (image originale)



Bande7 (filtrage passe- haut)

Fig. II.9 : exemple de filtrage passe-haut

III.2 Filtrage adaptatif :

C'est un filtrage non linéaire, car il n'existe aucune relation linéaire entre le pixel et son voisinage.

On cite à titre d'exemple :

III.2.1 Le filtre médian :

Il remplace la valeur du pixel par la valeur médiane de sa fenêtre (8-voisins) après classement dans l'ordre croissant.

Par exemple si on prend la fenêtre de voisinage suivante :

$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 \\ 4 & 6 & 3 \\ 1 & 2 & 7 \end{bmatrix}$$

Le tri de ces valeurs selon un ordre croissant donne :

$$1 \ 1 \ 1 \ 2 \ [3] \ 4 \ 5 \ 6 \ 7$$

On remplace ainsi la valeur du point central (6) par la valeur médiane (3).

- **La convolution :**

En traitement d'image la convolution est l'opérateur de base du traitement linéaire des images. C'est le remplacement de la valeur d'un pixel par une combinaison linéaire de ses voisins. Elle consiste à faire balayer une fenêtre (masque) sur l'ensemble c'est le filtre des points de l'image.

Sa formule est définie par :

$$(f*g)(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-u, y-v)g(u, v)dudv$$

Dans le cas discret

$$\sum \sum_{(u,v) \in w} g(u, v)f(x-u, y-v)$$

g : masque de convolution.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a abordé les différentes opérations nécessaires du prétraitement tels que la modification d'histogramme, les différents types de corrections ainsi que le filtrage, on a montré l'importance de ces opérations avant de faire la classification des images.

Chapitre III

Méthodes de classification ? ?

Introduction :

L'objectif du traitement d'images de satellite est d'en extraire le maximum d'informations qui intéresse le futur utilisateur de l'image, et d'évacuer tout ce qui est superflu. Un but réaliste est la classification thématique de ces images.

Le but de classification est de déterminer pour chaque pixel ou groupe de pixels de l'image à traiter, la classe de référence à laquelle il appartient, c'est -à-dire dans le cas des images de télédétection.

C'est la partition de l'image en ensembles de pixels représentant une même occupation du sol.

Deux notions sont prises en compte pour déterminer la similarité de pixels :

- ü Similarité par rapport à la signature spectrale : on parle alors de la classification ou segmentation spectrale.
- ü Similarité par rapport à la proximité spatiale : on parle alors de la classification ou segmentation spatiale.

La classification spectrale est intéressante lorsque la seule utilisation des signatures spectrales, due à une bonne qualité de l'image et à une structure paysagère adéquate, suffit à classer l'image. C'est le cas de notre étude dans ce chapitre.

I. Principe de la classification d'images satellitaires :

La classification consiste à regrouper dans une même entité ou classe, tous les pixels similaires sur la base d'une ressemblance de propriétés (attributs), tout en respectant leur position spatiale.

La règle de décision de l'appartenance d'un pixel à une classe donnée est établie à travers un modèle décisionnel. Ainsi, à partir d'un espace multidimensionnel représentatif de l'image, une nouvelle représentation de l'information télé détectée, désignée par « carte thématique » est obtenue et sera évaluée par rapport à la réalité de terrain.

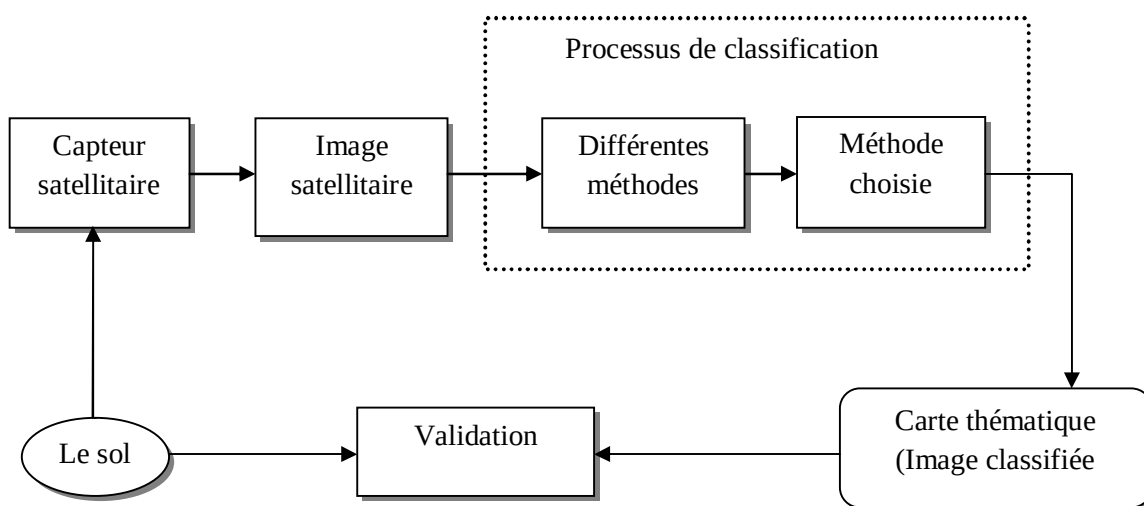


Fig.III.1 : Organigramme illustrant les étapes de la classification.

L'objectif de la classification des images est d'identifier et présenter, comme un niveau unique de gris (ou couleur), les caractéristiques qui se trouvent dans une image en fonction de l'objet, ou le type de couverture des terres présentent en réalité sur le terrain.

Les approches de la classification peuvent être supervisées ou non supervisées.

II. Types de classification :

II.1 Classification supervisée :

Dans cette méthode, on connaît à partir d'une information à priori sur le terrain, le nombre de classe possible et la localisation spatiale de chaque classe.

La première étape dans la réalisation d'une classification supervisée est d'allouer pour chacune des classes, des échantillons représentatif qui peuvent être identifiées sur l'image (appelé échantillons de terrain ou parcelles d'entraînement), ensuite des polygones sont digitalisés autour de ces exemples et assignés à une classe.

La seconde étape est l'analyse de ces pixels à l'intérieur de l'échantillon de terrain, des fichiers de signatures contenant des informations statistiques sur la réflectance de ces pixels à l'intérieur des classes sont créés. Ensuite, le classifieur compare chaque pixel avec les signatures, et les alloue à la classe la plus proche. Les classifieurs dit 'hard' assignent les

pixels à la classe ayant la signature la plus proche. Les classifieurs dit 'soft' évaluent le degré d'appartenance des pixels à chacune des classes. Si cette valeur d'appartenance est trop faible, le pixel est considéré comme non-classifié ou attribué à une classe inconnue. Les décisions d'attribution des pixels à telle ou telle classe se fait suivant différentes techniques.

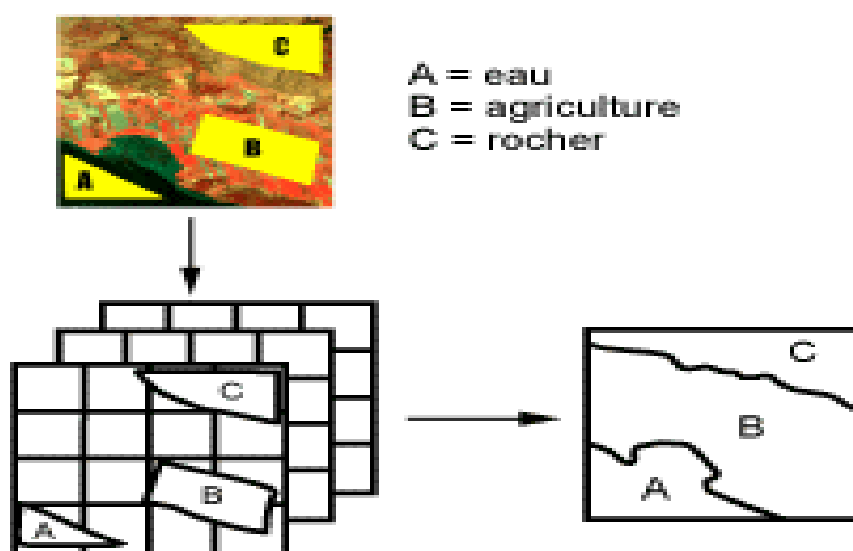
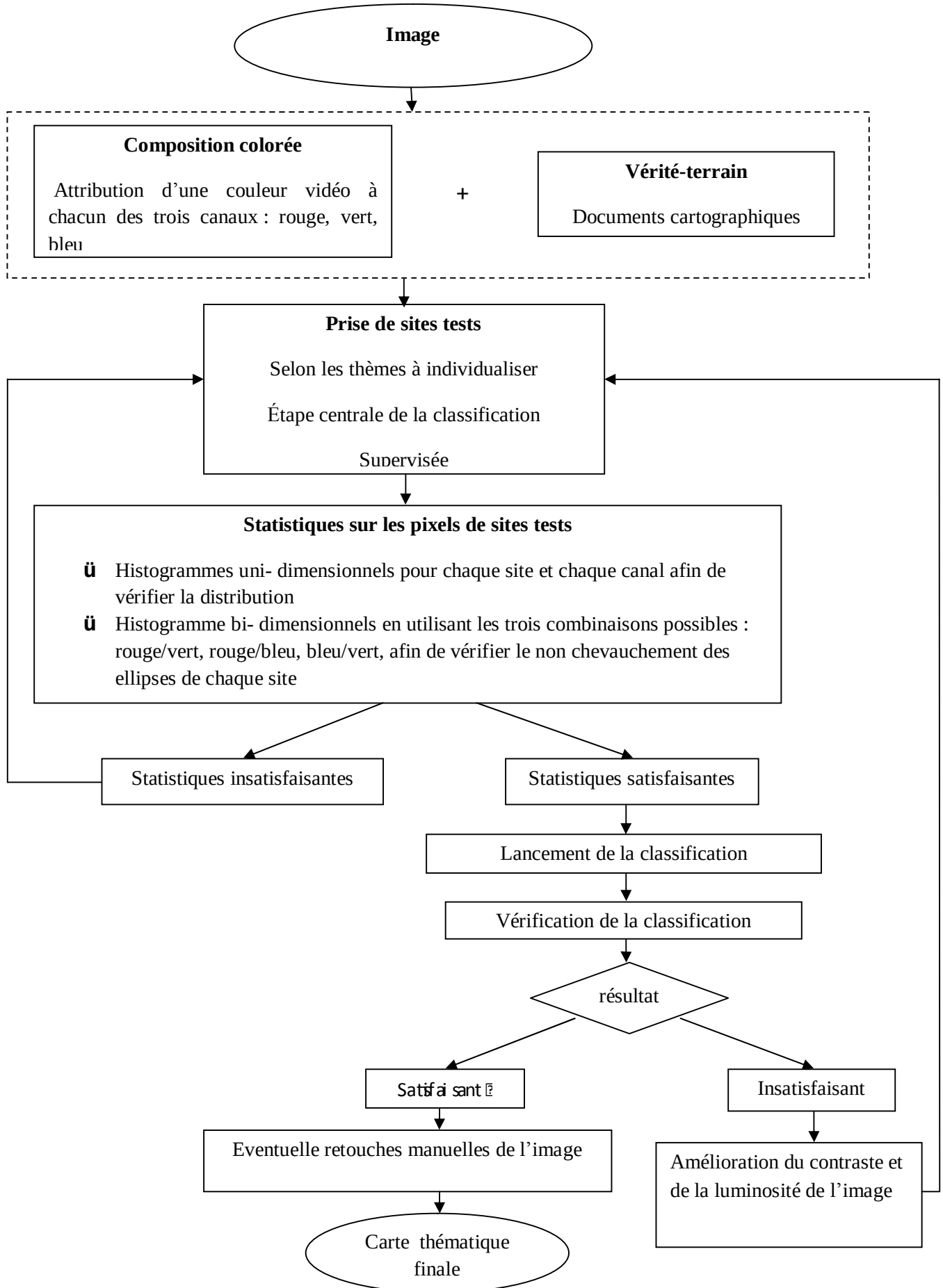


Fig. III.2 : classification supervisée

Les étapes de la classification supervisée :

II.1.1 Méthodes de la classification supervisée :

II.1.1.1 Maximum de vraisemblance (Maximum likelihood) :

Cette méthode est basée sur une analyse statistique, elle définit pour chaque pixel sa probabilité d'appartenance à chacune des classes données et l'affecte à la classe pour laquelle la probabilité est la plus élevée.

L'algorithme du maximum de vraisemblance prend en considération la covariance des classes spectrales lors de l'affectation des pixels. Il définit des contours de forme ellipsoïdale dans l'espace radiométrique, qui maximisent les chances de bonne classification.

Soit X une variable aléatoire, de loi quelconque, dont on veut estimer un paramètre θ . On note D_θ cette famille de lois paramétriques. Alors on définit une fonction f telle que :

$$f(x; \theta) = \begin{cases} f_\theta(x) & \text{si } X \text{ est une V.a. continue.} \\ P_\theta(X = x) & \text{si } X \text{ est une V.a. discrete.} \end{cases}$$

$f_\theta(x)$ représente la densité de X (où θ apparaît) et $P_\theta(X = x)$ représente une probabilité discrète (où θ apparaît).

On appelle **vraisemblance de θ** au vu des observations $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ d'un n -échantillon indépendamment et identiquement distribué selon la loi D_θ , le nombre :

$$L(x_1, \dots, x_2, \dots, x_n; \theta) = f(x_1; \theta) \times f(x_2; \theta) \times \dots \times f(x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta)$$

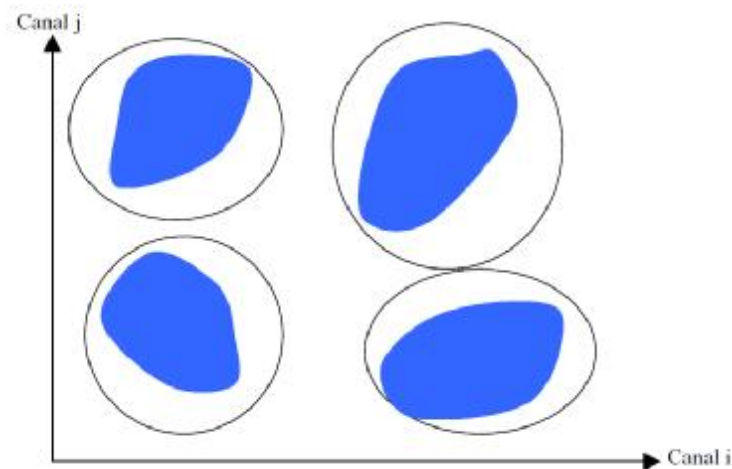


Fig. III.3 : Classification avec maximum de vraisemblance.

II.1.1.2 Distance de Mahalanobis :

Dans les statistiques, la distance de Mahalanobis est une distance introduite par PC Mahalanobis en 1936. Elle est basée sur les corrélations entre les variables qui schémas différents peuvent être identifiés et analysés.

C'est une distance de ce que l'on appelle « distance entre deux points » qui est mieux adaptée que la distance euclidienne habituelle, pour décrire des situations dans lesquelles les distributions considérées ne sont pas asymétriques sphériques.

Formellement, la distance de Mahalanobis d'un vecteur à plusieurs variables $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)^T$, à partir d'un groupe de valeurs dans la moyenne $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_N)^T$ et la matrice de covariance S , est définie comme :

$$D_M(x) = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)}.$$

La distance de Mahalanobis peut également être définie comme une mesure de dissimilarité entre deux vecteurs aléatoires $\vec{x}$ et $\vec{y}$, elle a la même distribution avec la matrice de covariance S . $d(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^T S^{-1} (\vec{x} - \vec{y})}$.

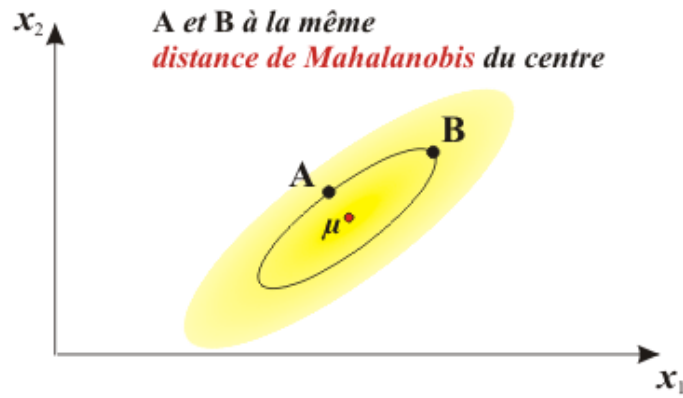


Fig.III.4 : Classification avec distance de Mahalanobis.

II.1.1.3 Parallélipède :

Cette méthode est basée sur une logique booléenne. Des données d'entrainements dans d bandes spectrales sont utilisées pour effectuer la classification. Pour chaque classe λ , calcule le vecteur $\mu_\lambda = (\mu_{\lambda 1} \dots \mu_{\lambda d})$ ou $\mu_{\lambda k}$ représente le niveau de gris moyen des pixels de classe λ dans la bande.

$\sigma_{\lambda k}$ est l'écart type des données d'entrainement de la classe λ_k dans la bande k . si on utilise un seuil égal à $\sigma_{\lambda k}$ par exemple, l'algorithme du parallélipède affecte un pixel de vecteur de mesures $\chi_\lambda = (x_{i j 1} \dots x_{i j d})$ à la classe λ , si et seulement si l'équation suivante est satisfaite :

$$\mu_{\lambda k} - \sigma_{\lambda k} < \chi_{i j k} < \mu_{\lambda k} + \sigma_{\lambda k}, \forall k$$

$k = \{1 \dots d\}$ représente le nombre de bandes et $x_{i j k}$ est la luminance du pixel (i, j) dans la bande k . Par conséquent, si les frontières de décision inférieure et supérieure sont définies par

$L_{\lambda k} = \mu_{\lambda k} - \sigma_{\lambda k}$ et $H_{\lambda k} = \mu_{\lambda k} + \sigma_{\lambda k}$ respectivement, la règle de décision du parallélipède devient :

$$L_{\lambda k} < x_{i j k} < H_{\lambda k}, \forall k$$

Ces règles de décision forment un parallélipède multidimensionnel dans l'espace des caractéristiques. Si la valeur du pixel est comprise entre la borne inférieure et la borne Supérieure pour les d bandes évaluées pour une classe donnée, il est affecté à cette classe, et dans le cas contraire il est affecté à une catégorie non classée.

On prend garde que les classes ne se recoupent pas au moins dans une bande spectrale. Les seuls paramètres pris en compte sont le minimum et le maximum de luminance par classe et par bande spectrale.

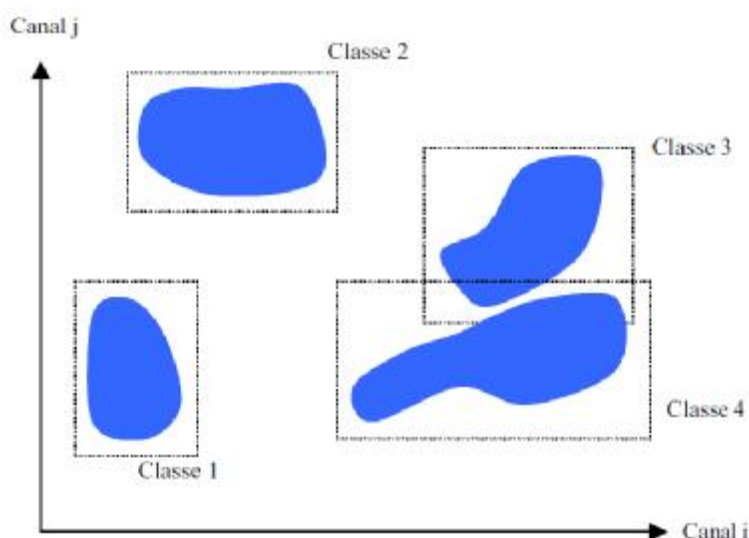


Fig.III.5 : Classification avec parallélépipède.

II.1.1.4 Minimum Distance:

Les pixels sont assignés à la classe ayant la moyenne de classe la plus proche. Un seuil spécifie la distance maximum entre la moyenne des membres d'une classe, en unité d'écart-type. Les pixels éloignés des autres classes ne sont pas classifiés au lieu d'être assignés arbitrairement à une classe peu pertinente.

Ceci n'est pas autant flexible que le Maximum Likelihood, mais c'est un meilleur choix, si les échantillons de terrain sont peu nombreux ou peu fiables.

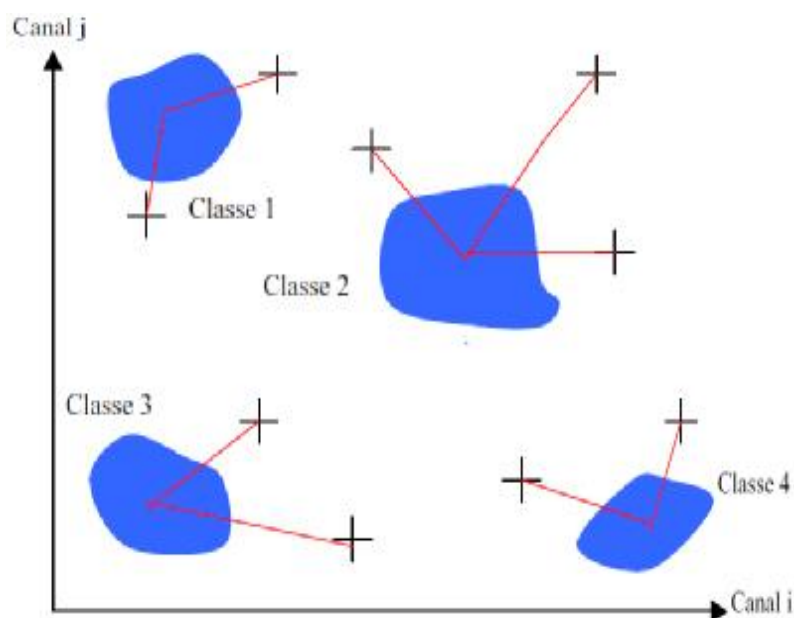


Fig.III.6 : Classification avec minimum distance.

II.2 Classification non supervisée :

Dans la méthode non supervisée, on ne dispose pas de l'ensemble des échantillons d'apprentissages, on laisse l'ordinateur analyser l'ensemble des signatures spectrales de tous les pixels de l'image, et déterminer des groupements naturels, c'est-à-dire regrouper les pixels sur base de signatures spectrales similaires. Dans certains cas l'utilisateur peut imposer le nombre de catégorie qu'il souhaite obtenir en fin de classification.

Les algorithmes de classification procèdent en général par plusieurs passages au cours desquels les solutions proposées sont affinées de manière à créer des groupes plus homogènes et mieux différenciés.

Le principal avantage de cette méthode est d'être très rapide, puisqu'elle ne requiert pratiquement pas d'intervention de l'utilisateur. Son principal défaut est de se baser exclusivement sur les différences spectrales, qui ne correspondent pas toujours à des catégories naturelles d'occupation du sol.

Par exemple, il est fréquent d'obtenir par classification non supervisée plusieurs classes correspondant à de la végétation herbeuse, mais une seule classe regroupant tout le tissu urbain, ce qui ne correspond normalement guère aux besoins des interprètes.

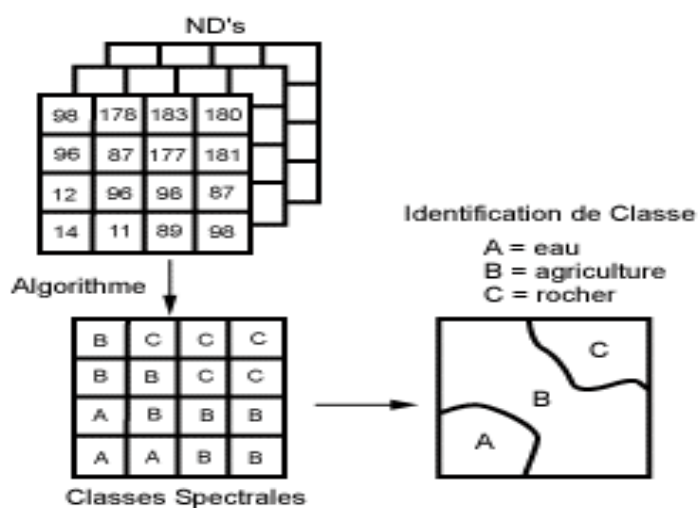


Fig.III.7 : classification non supervisée.

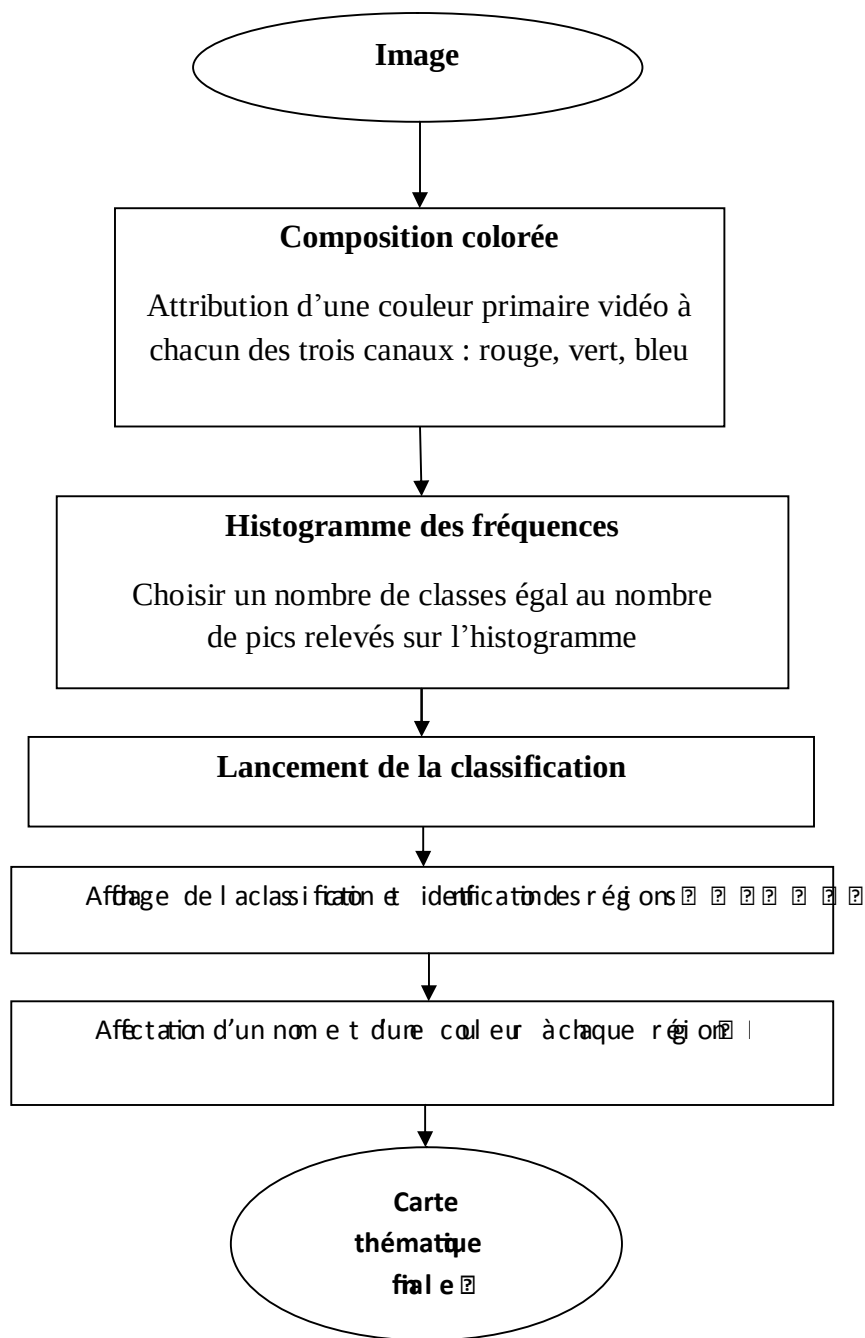


Fig.III.8 : Les étapes de la classification non supervisée

On cite deux méthodes de la classification non supervisée :

II.2.1 Méthode de K-means :

Cette méthode est largement utilisée car elle est inspirée de la stratégie de regroupement de la vision humaine. Les K-means fonctionnent sur le principe de la recherche par raffinements successifs. Cette méthode offre une certaine similitude avec la méthode humaine de recherche par tâtonnement :

On classe d'abord les individus en (pixels) paquets grossiers, puis on cherche à affiner le résultat du classement en tendant vers une solution idéale.

L'algorithme de k-means est le suivant :

1. Choisir aléatoirement k centre de classe.
2. Affecter les individus aux classes dont la distance est minimale.
3. Calculer les nouveaux centres de gravité des classes.
4. Affecter chaque individu à la nouvelle classe.
5. Tant que le critère d'arrêt n'est pas vérifié aller à 3.

II.2.2 Méthode ISODATA :

Cette méthode utilise de multiples itérations :

Tout d'abord, des clusters sont arbitrairement construits. Ensuite, les pixels sont attribués au cluster le plus proche. Puis, la moyenne de chaque cluster est calculée sur la base des nouveaux pixels assignés au cluster.

Les clusters sont regroupés si le centre de deux clusters est plus proche qu'un certain seuil, ou si le nombre de pixels dans une classe est trop petit. Les clusters sont séparés dans le cas où l'écart type dépasse une certaine valeur, ou si le nombre de pixels est deux fois supérieur au seuil du nombre minimal de pixels.

La seconde et troisième étape sont répétées jusqu'à ce que les changements entre les itérations sont moindres.

Après cette phase automatique, une interprétation visuelle est requise pour assigner à chaque cluster une description cohérente, et éventuellement regrouper manuellement les clusters superflus.

Ø La matrice de confusion :

C'est une matrice ou un tableau affichant les statistiques de la précision de classification d'une image, notamment le degré de classification erronée parmi les diverses classes.

La matrice de confusion est un outil permettant de comparer deux cartes thématiques. Pour l'analyse d'images de télédétection, les deux cartes thématiques sont habituellement représentées par une carte de vérité de terrain (la carte de référence) et une carte dérivée de la classification d'une image (la carte classifiée).

L'information des rangées (données horizontales) correspond habituellement aux classes thématiques de la carte de référence. Quand aux colonnes (données verticales), elles contiennent l'information thématique résultant de la classification de l'image. Toutefois, cette présentation n'est pas normalisée. Parfois, l'information présentée sur les colonnes et les rangées de la matrice sont inversées.

Ø L'indice de Kappa :

Le coefficient Kappa est un estimateur de qualité qui tient compte des erreurs en lignes et en colonnes. Il varie de 0 à 1.

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe de la classification des images satellitaires, on a abordé ses deux méthodes supervisée et non supervisée avec leurs organigrammes détaillés et on a cité pour chacune des méthodes ses différents algorithmes.

Dans le chapitre prochain nous allons appliquer ces méthodes sur une image satellitaire.

Chapitre IV

Tests et résultats

Introduction :

La mise en œuvre des méthodes que nous avons présentées dans le chapitre précédent nécessite le choix d'un langage de programmation ou d'un logiciel de traitement d'images.

Aussi avant de présenter les résultats obtenus sur nos images Landsat, nous présenterons le logiciel que nous avons utilisé.

I. Présentation du logiciel ENVI :

ENVI (Environnement for Visualizing Images) est le logiciel idéal qui regroupe les algorithmes les plus efficaces pour extraire rapidement l'information pertinente des images géospatiales. L'ensemble de ces outils et modules spécialisés nous permettent de lire, explorer, analyser nos données et de partager l'information.

Il propose des procédures automatiques de traitement afin de faciliter toujours plus nos processus d'analyse de données.

ENVI n'impose pas des limitations au nombre de bandes spectrales qu'on peut traiter, ainsi on peut aussi employer les ensembles de données multispectraux ou hyperspectrales.

I.1 Lancement :

Pour démarrer ENVI, on clique sur le raccourci d'ENVI dans le bureau.



Ou bien, on clique dans l'icône ENVI dans le menu (démarrer).

I.2 Fonctionnement de ENVI:

I.2.1 La barre de menu principale:

Après le lancement d'ENVI, la barre de menu principal d'ENVI apparaît. Nous lançons des activités dans ENVI en employant les menus dans la barre de menu principal d'ENVI, comme il est montré ci-dessous.

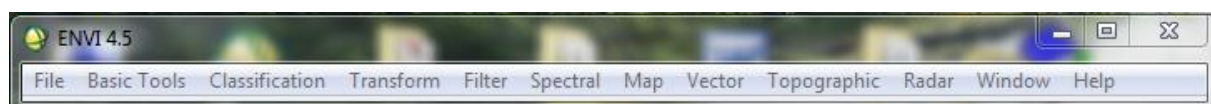


Fig. IV.1 La barre de menu principale.

I.2.2 La liste des bandes disponibles:

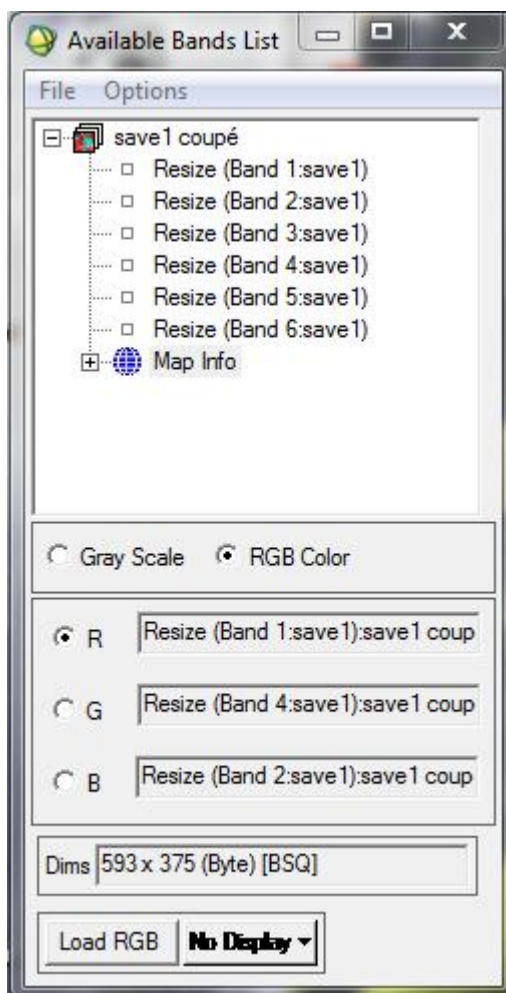


Fig. IV.2 Liste des bandes disponibles.

Quand on ouvre un dossier pour la première fois pendant une session, ENVI place automatiquement le nom de fichier, avec toutes ses bandes associées énumérées sous lui, dans les bandes disponibles énumère.

Deux modes de visualisation de l'image sont disponible : Gray scale (échelle de gris) et RGB (rouge, vert, bleu). L'image résultante de ce dernier mode d'affichage est dite « composition colorée » ou image en fausse couleur du fait que les bandes disponibles ne correspondent pas réellement aux couleurs primaires.

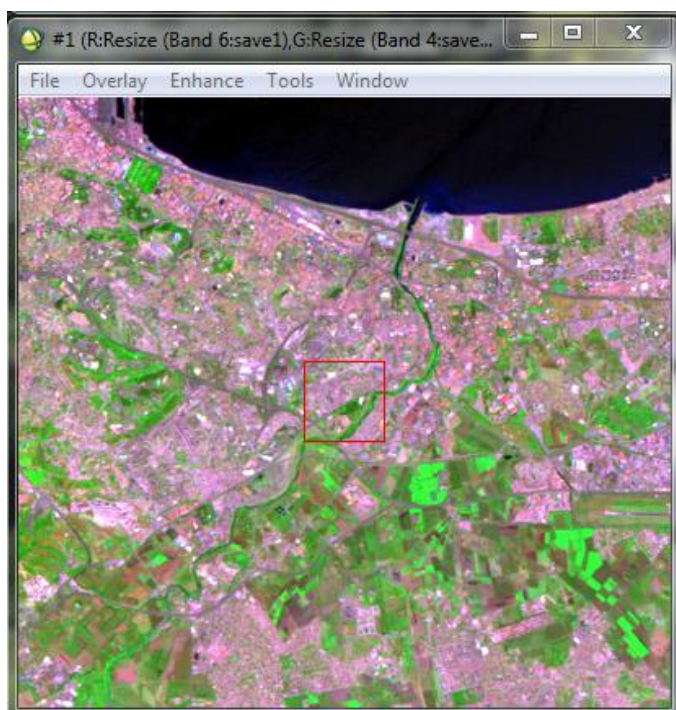
I.2.3 Ouverture d'une image :

Affichage en mode couleur :

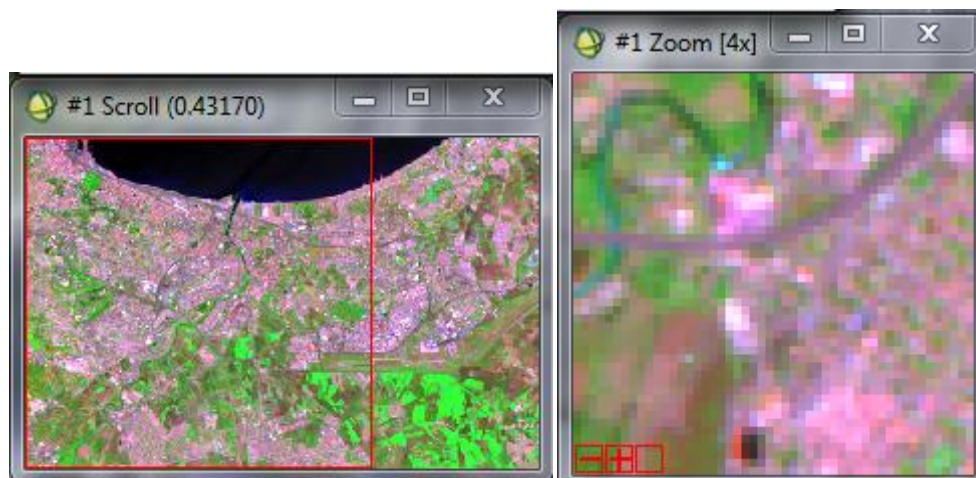
- ü Cliquer sur les bandes B6, B4, B2.
- ü Choisissez le mode d'affichage RGB.
- ü Cliquer sur le bouton **Load band**.

Trois fenêtres s'ouvrent :

La fenêtre principale **Display**, **Scroll** et **Zoom**.



Fenêtre display



Fenêtre scroll

Fenêtre zoom

Fig. IV.4 Fenêtres principale de l'image.

- Le carré rouge sur **Scroll** délimite la zone géographique qui s'affichera sur la fenêtre **Display**.
- Le carré rouge sur **Display** délimite la zone géographique qui s'affichera sur la fenêtre **Zoom**.

II. La classification sous ENVI :

II.1 Classification non supervisée :

Pour faire une classification non supervisée en suit les étapes suivantes :

Accéder au menu principal :

- ü Cliquer sur le menu **classification**.
- ü Choisir le type **unsupervised**.
- ü Choisir **Isodata** par exemple.
- ü Sélectionner l'image à classifier.
- ü Choisir un nombre de classe entre un minimum et maximum.
- ü Enregistrer et afficher le résultat.

II.2 Classification supervisée :

Dans le menu de la fenêtre **Display** :

- ü Cliquer sur le menu **overlay**, choisir **région of interest**.
- ü Prendre des échantillons de notre choix pour chaque classe.
- ü Sauvegarder le résultat de l'échantillonnage.
- ü Dans le menu classification choisir le type **Supervised**.
- ü Choisir l'algorithme par exemple **maximum likelihoode**.

III. Application de la classification :

III.1 Méthode non supervisée :

On prend une image satellitaire, on coupe une portion sur laquelle on va appliquer la classification non supervisée.



Fig. IV.5 : Image avant classification

III.1.1 ISODATA :

Après avoir appliqué la classification, on abouti aux résultats suivants :

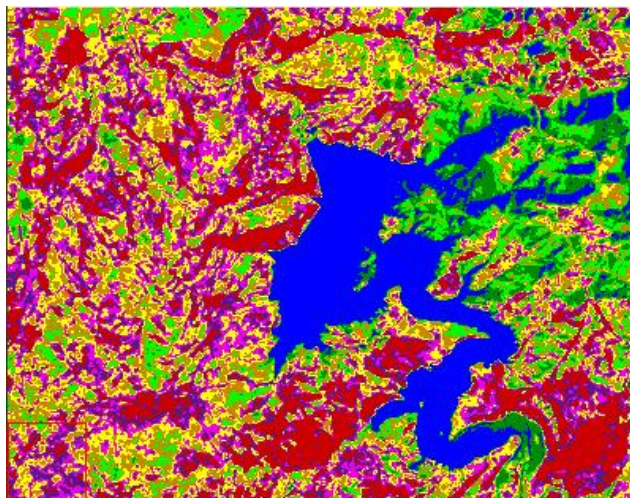


Fig. IV.6 : Résultat de la classification

III.1.2 k-Means :

La figure suivante donne le résultat la classification avec k-Means :

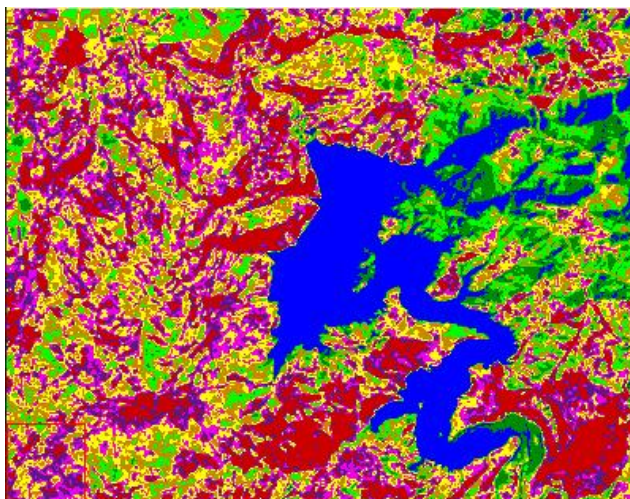


Fig. IV.7 : Résultat de la classification

III.2 Méthode supervisée :

III.2.1 Prise d'échantillons :

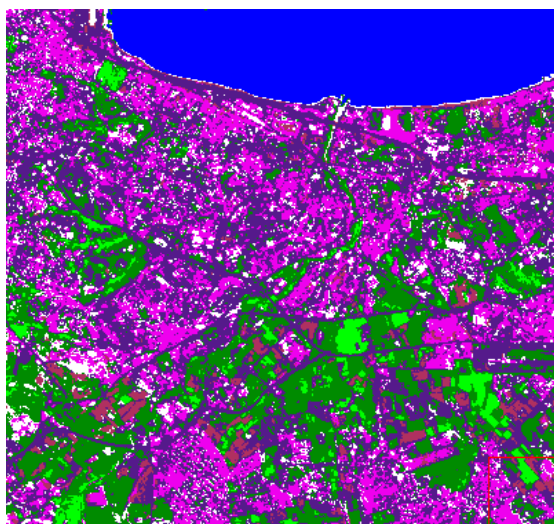
Dans la méthode supervisée, des connaissances préalables, ou acquises concernant les éléments de la scène sont nécessaires. Des échantillons de terrain sont utilisés pour estimer et identifier les caractéristiques spectrales de chaque classe.

La figure suivante montre les différents échantillons pris lors d'une classification supervisée :

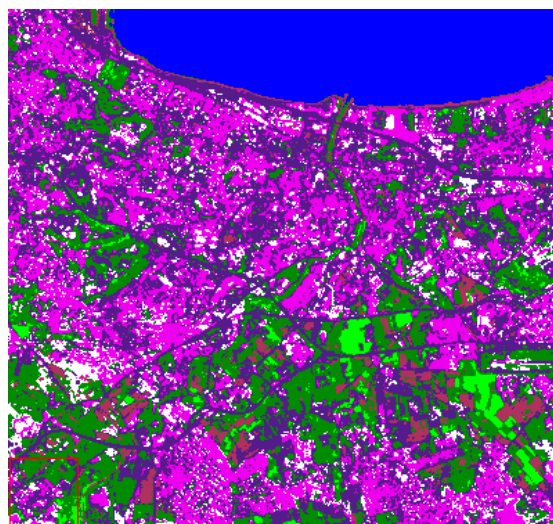


Fig. IV.8 : Exemple d'échantillons attribués aux différentes classes.

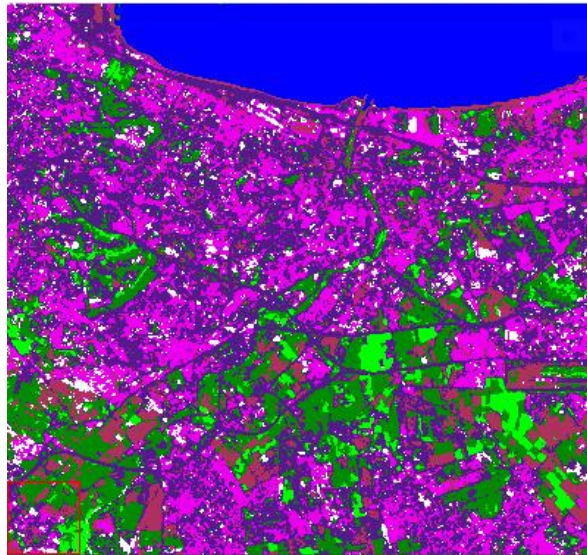
v Classification avec différents nombres d'échantillons :



Classification avec 7 échantillons



Classification avec 15 échantillons



Classification avec 30 échantillons

Fig. IV.9 : classification avec différents nombres d'échantillons.

Discussion :

Ces trois classifications avec différents nombres d'échantillons nous ont permis d'obtenir un résultat assez intéressant. En effet, l'ajout ou la suppression d'un certain nombre d'échantillons peut modifier entièrement la classification. Il faut donc choisir la bonne combinaison d'échantillons parmi une multitude de choix possibles. Il en résulte qu'il faut effectuer un nombre de tests avant d'obtenir une combinaison d'échantillons permettant une classification satisfaisante.

Les résultats sont ainsi améliorés lorsque les échantillons sont variés et représentatifs de la variation de couleurs à l'intérieur des classes.

III.2.2 Application des méthodes supervisées :

On prend l'image sur laquelle on va appliquer les différents types de la classification supervisée.



Fig. IV.10 : Image avant classification.

III.2.2.1 Maximum de vraisemblance :(Maximum likelihood) :

Après avoir appliqué les étapes de la classification, on abouti aux résultats suivants :

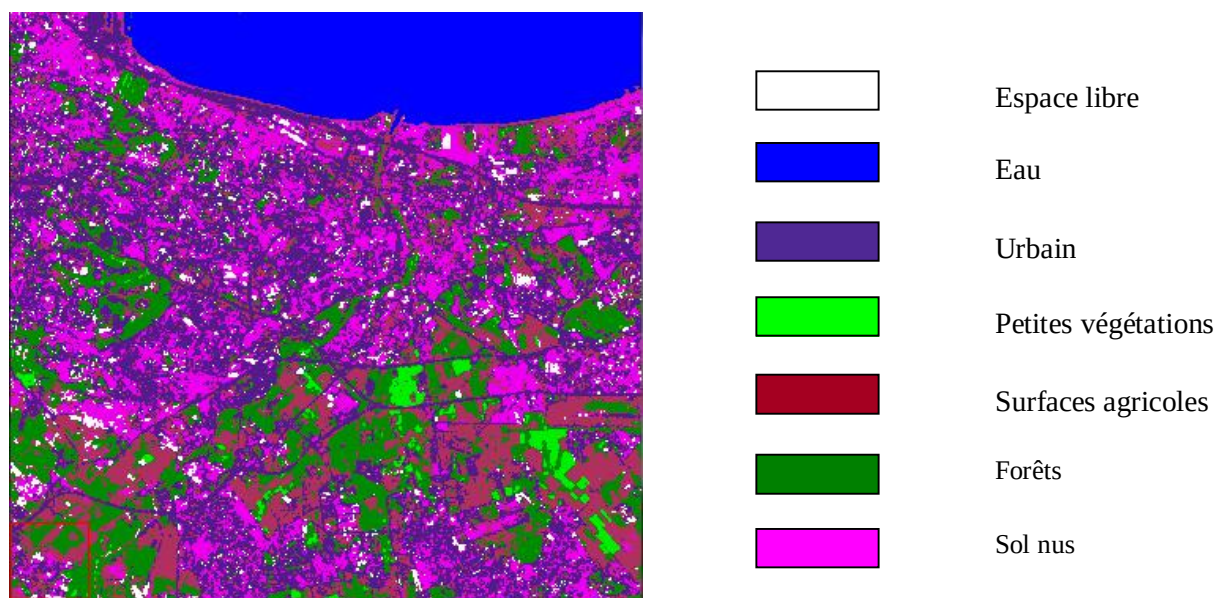


Fig. IV.11 : Résultat de la classification.

En utilisant la matrice de confusion, cette méthode aboutie aux résultats suivants :

Classes	El	Eau	Ur	PV	SA	F	SN
El	234	0	0	0	0	1	12
Eau	0	811	0	0	0	0	0
Ur	1	0	571	0	7	0	3
PV	0	0	0	506	1	0	0
SA	0	6	16	0	539	2	0
F	0	0	1	3	14	418	0
SN	3	6	4	0	4	0	418

Tab. IV.1 : Détail des résultats (en nombre de pixels).

Coefficient de kappa = **0.9741**

Précision générale = **97.8182%**

III.2.2.2 Distance de Mahalanobis :

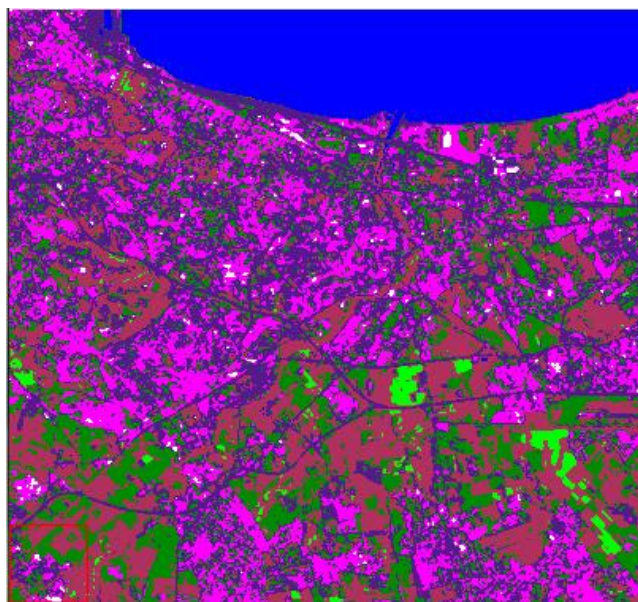


Fig. IV.12 : Résultat de la classification.

En utilisant la matrice de confusion cette méthode aboutie aux résultats suivants:

Classes	El	Eau	Ur	PV	SA	F	SN
El	213	0	0	0	0	0	0
Eau	0	817	0	0	0	0	0
Ur	1	0	558	0	4	0	2
PV	0	0	0	505	1	0	0
SA	0	0	8	4	74	419	0
F	0	0	23	0	485	2	21
SN	24	0	3	0	1	0	410

Fig. IV.2 : Détail des résultats (en nombre de pixels).

Coefficient de kappa = **0.6694**

Précision générale = **72.1399%**

III.2.2.3 Minimum distance :

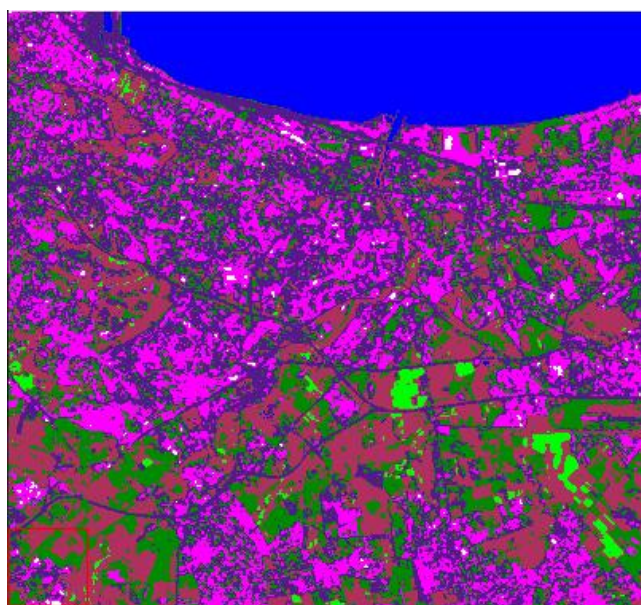


Fig. IV.13 : Résultats de la classification.

En utilisant la matrice de confusion cette méthode aboutie aux résultats suivants:

Classes	El	Eau	Ur	PV	SA	F	SN
El	195	0	0	0	0	0	0
Eau	0	817	0	0	1	0	0
Ur	0	0	555	0	2	0	2
PV	0	0	0	506	1	0	0
SA	0	0	5	3	89	420	0
F	0	0	27	0	471	1	18
SN	43	0	5	0	1	0	413

Tab. IV.3 : Détail des résultats (en nombre de pixels).

Coefficient de kappa = **0.6683**

Précision générale = **72.0559%**

III.2.2.4 Méthode Parallélépipède :

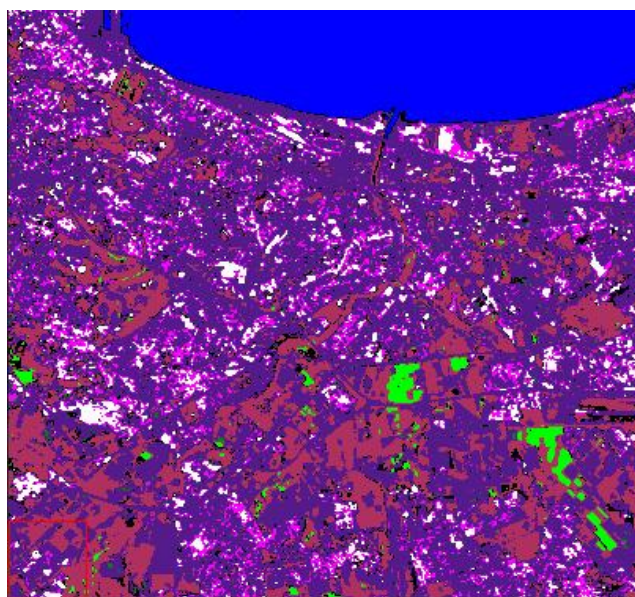


Fig. IV.14 : Résultats de la classification.

En utilisant la matrice de confusion cette méthode aboutie aux résultats suivants:

Classes	El	Eau	Ur	PV	SA	F	SN
El	234	0	0	0	0	0	248
Eau	0	814	0	0	0	0	0
Ur	2	0	587	0	505	2	17
PV	0	0	0	500	1	0	0
SA	0	0	3	1	33	418	0
F	0	0	0	0	21	0	10
SN	0	0	2	0	0	0	142
Non clas	2	3	0	8	5	1	16

Tab. IV.4 : Détail des résultats (en nombre de pixels).

Coefficient de kappa = **0.5795**

Précision générale = **64.6154%**

IV. Interprétation des résultats :

Les tableaux de matrice de confusion montrent pour chacune des classes, le niveau de fiabilité et les principales confusions faits lors de la classification avec différentes méthodes.

Pour l'ensemble des classes définies, il ya eu de confusion c'est-à-dire les pixels de certaines unités d'occupation du sol ont été confondues à d'autres. Mais l'indice de Kappa nous permet de voir clairement la différence du résultat entre les différentes méthodes par exemple pour Parallélépipède il est d'une valeur modéré de **0.5795**, pour Minimum distance et Mahalanobis cet indice est bon, il est d'une valeur de **0.6683** et **0.6694** respectivement et pour Maximum de vraisemblance l'indice de kappa est excellent il est d'une valeur de **0.97**.

D'après ces résultats il est clair que la meilleur méthode c'est maximum de vraisemblance et sa précision générale confirme ça, elle est d'une valeur de **97.8182%**.

Conclusion :

Dans ce dernier chapitre on a essayé de faire une comparaison entre les différentes méthodes de classification, en s'est basé en particulier sur les algorithmes supervisés, on a constaté que les résultats obtenus par l'algorithme Maximum de vraisemblance sont les plus satisfaisants.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire décrit des méthodes de classification basées sur le pixel, qui ont pour objectif de faire la correspondance entre les classes spectrales ; qui sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques, et les classes d'informations ; qui sont des catégories d'intérêts comme par exemples différents types de cultures, forêts...etc.

Suite aux tests effectués nous avons constaté que la méthode non supervisée, malgré sa rapidité a pas mal d'inconvénients, on cite par exemple l'absence d'étiquettes de classe (échantillons) qui est un lourd handicap, en effet cette méthode se base exclusivement sur les différences spectrales, qui ne correspondent pas toujours à des catégories naturelles d'occupation du sol.

En parallèle on a mis en évidence l'avantage de l'utilisation de la méthode supervisée qui est du essentiellement aux échantillons, en effet cette méthode est beaucoup plus précise et sensible aux différents degrés de désaccord dans les données.

Lors de l'étude des différents algorithmes supervisés on a aboutit à des résultats plus satisfaisant avec Maximum de vraisemblance grâce à ces performances et sa grande précision.

Il faut savoir qu'à l'heure actuel, il n'est pas possible d'affirmer que l'algorithme donné est meilleur pour toutes les situations, car les caractéristiques de chaque image et les circonstances de chaque étude varient grandement

Le Fait de travailler sur ce sujet a été pour nous très bénéfique. Car il nous a permis d'aborder une étude importante sur les images satellitaires, d'une part et de se familiariser avec un logiciel de traitement d'images et d'acquérir des connaissances très utiles concernant son utilisation et ses multiples atouts.

Enfin nous espérant que ce travail servira pour ceux qui voudront aller plus loin, et apportera de l'aide aux futurs utilisateurs de ENVI, il est clair que ce sujet restera toujours soumis à d'éventuelles améliorations et extensions futures.

Bibliographie

Références bibliographiques :

[1] **C. Salou**, comment utiliser les histogrammes d'une image numérique, Ecole nationale des sciences géographiques, 2005.

[2] **D. Dubois**, environnement logiciel d'exploitation des images satellitaires pour faciliter la gestion des catastrophes majeures, mémoire d'ingénieur, Montréal, 2009.

[3] **G.D. Santos**, carte d'occupation des sols dans la vallée de Biriato, Rapport de stage, 2001.

[4] **Meuret**, l'évaluation des techniques de classification en télédétection pour l'étude de l'occupation du sol en Irlande, D'iplôme d'ingénieur de L'ESGT, 2008.

[5] **R.Caloz, C.Collet**, précis de télédétection, volume3. Traitements numérique d'image de télédétection, Presses de l'université du Québec, 2001.

[6] **R.G. Congalton**, A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data, Remote sensing of Environment, 1991.

[7] **R. Khedam**, contribution au développement de méthodologies de fusion / classification contextuelles d'image satellitaires multi sources, thèse de doctorat, USTHB, 2008.

[8] **S. Lansieur**, utilisation de la télédétection pour détecter et prévenir la déforestation illégale, Master, université Jean Monnet, 2006.

[9] **B.Dioulasso**, Initiation à ENVI, 2010.

Document internet : Notions fondamentales de télédétection Analyse et interprétation d'image, Ressources naturelles Canada.

Document internet: Getting started with ENVI, 2008.