MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF

(ALGERIE)

MEMOIRE

Présenté à l'Institut d'Optique et de Mécanique de Précision

Pour l'Obtention du Diplôme de

MAGISTER

ECOLE DOCTORALE DES TECHNOLOGIES ET DES APPLICATIONS SPATIALE

Option: Optique Spatiale et Mécanique de Précision

Par

M^{elle}TOUMIAT Chahira

THEME

Traitement d'images et analyse de surface d'onde liées à l'observation terrestre et spatiale.

Soutenue le : 19/05/2011 devant la commission d'examen:

Pr: L. BOUAMAMA	**Prof à l'université de Sétif**	**Président**
Pr: M. BOUAFIA	**Prof à l'université de Sétif**	**Rapporteur**
Dr: H. GUESSAS	**M.C à l'université de Sétif**	**Examinateur**
Dr: N. DEMAGH	**M.C à l'université de Sétif**	**Examinateur**

Remerciements

Il m'est tout d'abord particulièrement agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance, mes plus sincères remerciements et ma gratitude à mon encadreur Mr BOUAFIA Mouhamed qui a bien accepté diriger mon travail et qui n'a cessé de prodiguer ses conseils judicieux et permanents qui m'ont été d'une aide précieuse. Je le remercie pour ses encouragements et pour le temps précieux qu'il m'a consacré.

Je remercie vivement Mr L. BOUAMMAMA de m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce mémoire et de présider la commission d'examen. Je vous adresse, Monsieur, toute ma gratitude.

Je tiens également à remercier très chaleureusement les membres de Jury de cette thèse qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail;

Mr H. GUESSAS

Mr N. DEMAGH

Un très grand merci aux :

Mr YOUSFI Djaffar, Directeur du Centre des Techniques spatiales, de m'avoir accueilli au sein du centre.

Mr MAHI Habib, Chargé de recherche au Laboratoire de Télédétection du Centre des Techniques Spatiales, pour m'avoir accueilli au niveau du laboratoire et avoir suivi ce travail, pour sa rigueur scientifique, son esprit d'ouverture, sa disponibilité et sa générosité. Grâce à lui, mon travail s'est déroulé dans les meilleures conditions, qu'il trouve ici mes vives reconnaissances.

Je voudrais remercier de tout mon cœur les personnes qui m'ont entouré de leur affection, m'ont encouragé et que je garderai toujours en ma mémoire:

En premier lieu mes Parents, ainsi que mes sœurs et mon frère. Puis, tous mes amies

Sommaire

Table des figures

Liste des Tableaux

Introduction générale

Chapitre I : Base de la physique du rayonnement

I.1 Rayonnement électromagnétique (REM).....1

I.2 Source de l'énergie électromagnétique 2

I.3 Interaction REM matière 4

I.4 Interactions du REM avec l'atmosphère 5

I.4.1 La diffusion 5

I.4.2 L'absorption 7

Chapitre II : Imagerie spatiale

II.1 Télédétection 8

II.1.1 Evolution de la télédétection 8

II.1.2 Défis méthodologiques 9

II.1.3 Objectif de la télédétection 10

II.1.4 Les avantages des images satellitaires 10

II.2 Les capteurs 11

II.2.1 Types de capteurs..... 11

II.2.2 Caractéristique d'un capteur 12

II.3 Phases d'acquisition.....12

II.4 Les satellites 13

II.4.1 Définition 13

II.4.2 Différents types de satellites 13

II.4.3 Le satellite LANDSAT 7 15

II.4.3.1 Spécifications du satellite LANDSAT 7 15

II.4.3.2 Spécification de l'instrument ETM+ 15

II.4.3.3 Domaine spectral couvert 16

II.4.3.4 Les produits LANDSAT 7 18

II.4.4 Le micro satellite ALSAT 1 19

II.4.4.1 Spécifications techniques d' ALSAT 1 20

II.5 Imagerie satellitaire 21

II.5.1 Propriétés de l'image 22

II.5.2 Mode de représentation des images 22

II.5.3 Applications de l'imagerie satellitaire optique 23

Chapitre III : Les traitements et les classifications

III.1 Les prés traitements 24

III.2 Les corrections radiométriques 24

III.3 Les corrections géométriques 25

III.4 Classification 25

III.4.1 Classification non supervisée 25

III.4.1.1 Classification par Kmeans 26

III.4.1.2 Classification par ISODATA 28

III.4.1.3 Les différences entre ISODATA et K-MEANS 28

III.4.2 Classification supervisée 28

III.4.2.1 Classification par maximum de vraisemblance 29

III.4.2.2 Classification par SVM 31

III.4.2.2.1 Principe de base des SVM……..……31

Chapitre IV : Applications pratiques

IV.1. Outil de traitement……..…….....34

IV.1.1 Présentation générale d'ENVI.…….....34

IV.1.2 Visualisation des images satellitaires..…….....35

IV.1.2.1 la fenêtre « Available Band List »…….....35

IV.1.2.2. Les différentes fenêtres image..…….....35

IV.1.3. Nature et mode d'organisation des données.…….....37

IV.2. Données LANDSAT 7 TM.……..……..…….....38

IV.2.1. Méthodologie…….……..…….....39

IV.2.2. Composition colorée…..……..…….....40

IV.2.3. Extraction de la zone d'étude...…….....42

IV.2.4 L'application de masque radiométrique..…….....46

IV.3. Application ALSAT 1 ……..……..…….....47

IV.3.1.Traitement d'image.……...……..…….....48

IV.3.1.1 Réalisation de la composition colorée (zone de Tlemcen)..…….....48

IV.3.1.2 Correction géométrique..…….....50

IV.4 Données LANDSAT 7 ETM+…….……..…53

IV.4.1 Prétraitement des images ETM+ de la région d'Oran.……....53

IV.4.2 Identification des différents thèmes en se basant sur les signatures spectrales.…...54

IV.5. Classifications……..……..…….....56

IV.5.1 Classification non supervisées.…….……56

IV.5.2 Classification supervisée ……..…62

IV.6 Indice de végétation normalisé NDVI ……...……73

Conclusion générale

Table des figures

Figure I.1	Onde électromagnétique monochromatique …….……	01
Figure I.2	Le spectre électromagnétique ……..…..	02
Figure I.3	Schématisation de la distribution de l'énergie de corps noirs à différentes températures ……...	03
Figure I.4	Nature des interactions REM-matière ……..….	04
Figure I.5	Processus influençant le rayonnement observé par un satellite…….....	05
Figure I.6	Diffusion du rayonnement solaire …….....	06
Figure I.7	Fenêtres atmosphériques ……..…….	07
Figure II.1	Représentation schématique des capteurs en télédétection ……..…….	11
Figure II.2	Principe de base de la télédétection spatiale …….……	13
Figure II.3	Satellite géostationnaire……..…….....	14
Figure II.4	Satellite à défilement ……..……...	14
Figure II.5	Schéma du satellite LANDSAT 7 ……..……..	16
Figure II.6	Micro satellite Algérien ALSAT1 ……..……...	20
Figure II.7	Bandes du spectre électromagnétique……	21
Figure III.1	Ogranigramme et algorithme ……...……..……..…	27
Figure III.2	Principe des SVM : (a) Recherche de l'hyperplan optimal ; (b) Hyperplan optimal, marge et vecteurs supports …….….	33
Figure IV.1	Menu principal……...	34
Figure IV.2	Menu de la fenêtre principal……..	34
Figure IV.3	Available Band list…….	35
Figure IV.4	Image satellitaire sous ENVI 4.6.1……	36
Figure IV.5	Localisation des deux scènes de LANDSAT 7 TM……...	39
Figure IV.6	La composition colorée _ infrarouge couleur …….……..	41

Figure IV.7	Mosaïque de deux scènes sous ENVI …….…..	42
Figure IV.8	Création d'un masque géographique de la limite de Sétif à partir d'une mosaïque d'images LANDSAT 7 TM…….	43
Figure IV.9	Carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Sétif)…….	44
Figure IV.10	Histogramme de l'image de Sétif relatif aux 3 canaux de LANDSAT7……...	45
Figure IV.11	Masque radiométrique : (a) Situation nuageuse (imagecaptée par la bande bleu TM1) (b) Masque des nuages …….……...	47
Figure IV.12	Composition colorée ALSAT1 de la région d'étude –Tlemcen ….…..	49
Figure IV.13	Composition colorée AlSAT1, corrigée géométriquement …..…….	52
Figure IV.14	Composition colorée des trois canaux ETM+1, ETM+2 etETM+3 de la région d'étude – Oran……..……...	54
Figure IV.15	Images et histogrammes des 3 canaux ETM+4, ETM+3 et ETM+1….	55
Figure IV.16	Les étapes de la classification non supervisée ……..……	57
Figure IV.17	Classification du sol en huit classes avec une méthode non supervisée (K-Means)…….…...	58
Figure IV.18	Classification du sol en huit classes avec une méthode non supervisée (ISODATA) ……...…….	58
Figure IV.19	Echantillons d'apprentissage sur l'image a classifiée ……..…….	63
Figure IV.20	Echantillons de validation sur l'image a classifiée ..……...……..	64
Figure IV.21	Les étapes de la classification supervisée …….……	63
Figure IV.22	Classification du sol en dix classes avec une méthode supervisée (maximum de vraisemblance)……..…….	65
Figure IV.23	Classification du sol en dix classes avec une méthode supervisée (SVM).……..	69

Figure IV.22 Représentation de l’image du NDVI …..…….. 72

Liste des tableaux

Tableau II.1	Résolution spectrale et spatiale des 08 bandes d'ETM+ ……..……	18
Tableau IV.1	Caractéristiques des données……	38
Tableau IV.1	Statistiques relatives aux 3 canaux TM……...…...…..	46
Tableau IV.2	Caractéristique de Micro Satellite Alsat1……	48
Tableau IV.3	Liste et coordonnées des points d'appui …….	51
Tableau IV.4	Caractéristiques des trois canaux de LANDSAT 7 ETM+...……...	53
Tableau IV.5	Statistiques relatifs aux 3 canaux ETM+……..	56
Tableau IV.6	Paramétrage utilisé et comparaison entre les 02 algorithmes ……..	60
Tableau IV.7	Statistiques obtenue par les 2 algorithmes pour la classe plan d'eau…..	61
Tableau IV.8	Statistiques obtenue par les 2 algorithmes pour la classe Sebkha …...…	61
Tableau IV.9	Statistiques obtenue par les 2 algorithmes pour la classe Urbain ……	61
Tableau IV.10	Statistiques obtenue par la méthode maximum de vraisemblance pour les différentes classes ……..…….	67
Tableau IV.11	Matrice de confusion relative à la figure IV.20 ……...…….....	68
Tableau IV.12	Statistiques obtenue par la méthode SVM pour les différentes classes.	70
Tableau IV.13	Matrice de confusion relative à la figure IV.18 ……...……...…….	71
Tableau IV.14	Avantages et inconvénients des classifications supervisées et non supervisées…….....	72

Introduction générale

L'observation de la Terre depuis l'espace contribue, dans une large mesure, au suivi et à la discrimination de régions naturelles, ainsi qu'à la compréhension de nombreux processus de l'environnement. Parmi les techniques utilisées par les capteurs de télédétection, les plus connues sont certainement celles opérant dans le domaine visible/infrarouge. Chaque capteur est conçu pour des applications spécifiques. Les bandes spectrales acquises par un capteur optique déterminent les applications pour lesquelles il sera utile.

L'imagerie optique spatiale possède plusieurs qualités qui se prêtent bien à l'utilisation de différentes combinaisons de valeurs et des traitements spécifiques permettant l'extraction d'informations sur certaines caractéristiques de la surface d'onde liée au sol. Ces informations qui peuvent être utiles en agriculture, en foresterie, en géologie, en hydrologie, en océanographie ou en cartographie, par exemple, à la surveillance des cultures. Les capteurs optiques offrent l'avantage de pouvoir détecter, non seulement le rayonnement visible, mais aussi le rayonnement infrarouge qui est très sensible à la santé, au stress et aux dommages subis par la végétation. Les images infrarouges montrent le contenu en chlorophylle des plantes et la structure du couvert végétal. D'où une image satellitaire représente pour le chercheur un véritable livre ouvert sur un territoire et sa composition.

Le traitement d'images, qui a commencé à se développer au début des années70, connaît un fort développement récemment en raison de l'apparition sur le marché des éléments nécessaires (cameras, mémoires, vidéo, ordinateurs) ayant de bonnes performances.

L'objectif du traitement d'images de satellite est d'en extraire le maximum d'information qui intéresse le futur utilisateur de l'image, et d'évacuer tout ce qui est superflu, ce qu'est l'objectif du mémoire, appliqué aux données LANDSAT7 TM, ETM+ et ALSAT 1 sur différentes régions.

Ce mémoire est divisé en quatre parties. La première partie concerne le rayonnement électromagnétique car l'image spatiale se base sur lui, il est donc essentiel de

bien connaître la physique du rayonnement électromagnétique, sa propagation dans l'atmosphère et son interaction avec une interface géophysique.

La deuxième partie commence par l'évolution et l'objectif de la télédétection, ensuite nous allons décrire la formation des images satellitaires car elles sont la matière première de ce travail, à la fin de cette partie nous presentons brièvement les types de capteurs et satellites utilisés.

Dans la troisième partie, on s'intéresse aux traitement et méthodes de classification des images satellitaires : la classification supervisée et la classification non supervisée. Une attention particulière est accordée ensuite à une méthode de classification statistique très utilisée : celle du maximum de vraisemblance. En dernier lieu, nous présentons une méthode de classification apparue plus récemment en traitement d'images de télédétection : la classification basée sur les Machines à Support Vecteurs (SVM).

Dans la dernière partie, chapitre VI, nous traiterons des cas d'études pour une application exécutée sur les régions Sétif, Tlemcen et Oran.

Chapitre I

Base de la physique du rayonnement

L'imagerie spatiale se base sur la mesure du rayonnement électromagnétique dans une large gamme de longueurs d'ondes. Il est donc essentiel de bien connaître la physique du rayonnement électromagnétique, sa propagation dans l'atmosphère et son interaction avec une interface géophysique. Les REM reçus par les capteurs depuis l'interface seront, soit directs, c'est-à-dire originaires de la surface, soit indirects, c'est-à-dire réfléchis ou diffusés. La nature de l'interaction entre les REM et l'atmosphère et/ou la surface dépend fortement de la longueur d'onde ainsi que de l'intensité et de sa polarisation.

I.1 Rayonnement électromagnétique REM [1]

Selon la théorie corpusculaire de la lumière, le rayonnement électromagnétique peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons. Selon la théorie ondulatoire, le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champ électrique et magnétique perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière (dans le vide c = 3 10^8 ms^{-1}) (figure I.1). Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur d'onde et sa fréquence.

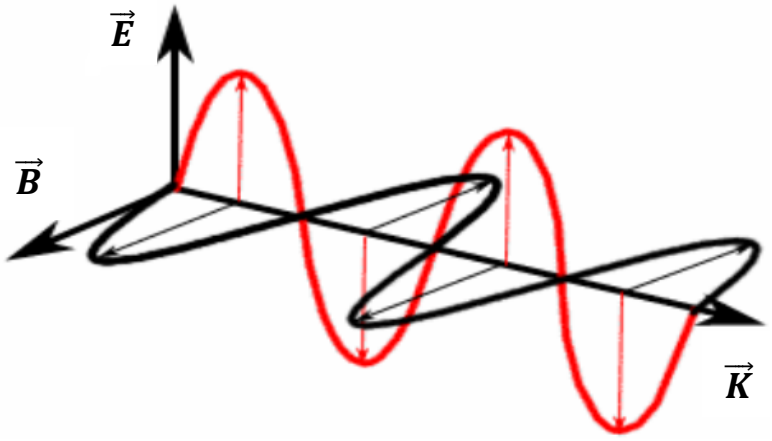


Figure I.1 : Onde électromagnétique monochromatique.

La longueur d'onde est la distance entre deux points homologues (deux crêtes ou deux creux) qu'on note λ (m). La fréquence est le nombre d'oscillations par unité de temps qu'on note ν (nombre oscillations/s ou Hertz Hz). La relation reliant ces deux propriétés est :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \qquad \text{(I.1)}$$

Les différentes longueurs d'ondes du spectre électromagnétique sont données dans la figure suivante :

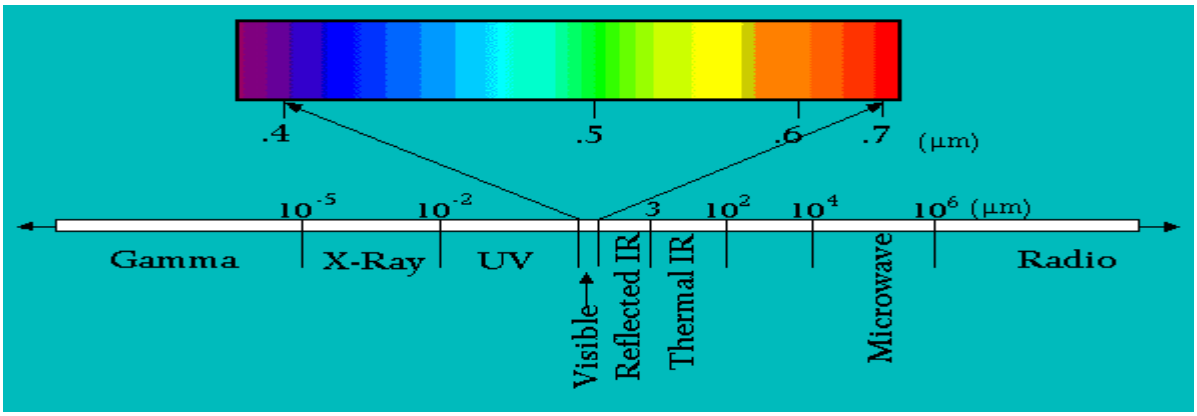


Figure I.2 : Le spectre électromagnétique.

A chaque longueur d'onde correspond un type d'onde électromagnétique. Le spectre est large, il s'étend des rayons cosmiques aux ondes radio. Le spectre solaire est, quant à lui, illimité. Une petite portion de ce spectre est utilisée en télédétection active: le visible (entre 0,4µm et 0,7µm), et le proche infrarouge (PIR) de 0,8µm à 1,5µm, l'infrarouge thermique (8 à 14µm). [2]

I.2 Source de l'énergie électromagnétique **[3,4]**

Le soleil constitue une source très importante pour les instruments de télédétection. Tout objet ayant une température supérieure à -273°C (0°K) peut émettre de l'énergie. L'énergie émise par un objet est fonction de sa température et peut être exprimée par la loi de Stéphan - Boltzmann :

$$M = ST^4 \qquad \text{(I.2)}$$

Où

M : La puissance totale d'énergie émise par un corps ;

S : Constante de Stéphan - Boltzmann ($6.6697\ 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}) ;

T : Température absolue de l'objet (°K).

Cette loi suppose que la source d'énergie en question se comporte comme un corps noir. On définit un corps noir comme étant un corps théorique qui absorbe et réémet la totalité de l'énergie qu'il reçoit.

Comme l'énergie totale émise par un corps varie en fonction de sa température, la distribution spectrale de cette énergie varie aussi. La loi de Stéphan – Boltzmann (équation I.1) montre que plus la température d'un corps augmente, plus l'énergie émise par ce corps

augmente. Cette énergie est libérée sous la forme d'un 'mélange' d'ondes électromagnétiques de longueurs d'ondes différentes. Mais l'intensité de l'émission n'est pas la même dans chacune de ces longueurs d'ondes. En fonction de la température, il existe une principale longueur d'onde d'émission.

Cette longueur d'onde nous est donnée par la loi de Wien :

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T} \qquad \text{(I.3)}$$

Avec :

- λ_{max}, longueur d'onde du maximum d'émission exprimé en µm;
- T, température du corps noir en kelvins.

La figure I.3 représente les courbes de la distribution de l'énergie pour un corps noir à des températures variables (3000 °K-7000 °K).

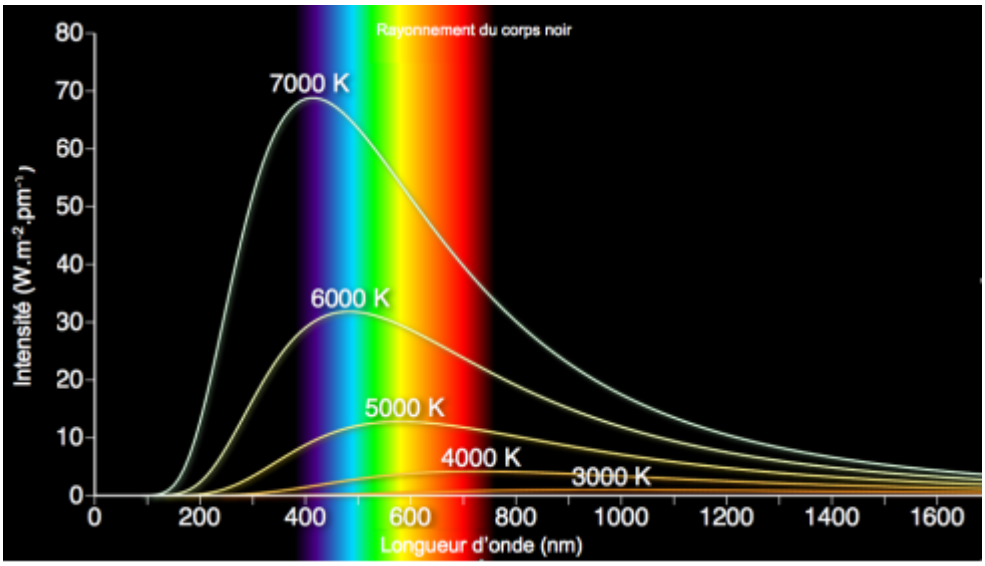


Figure I.3 : Schématisation de la distribution de l'énergie du corps noirs à différentes températures.

Le soleil émet de l'énergie de la même façon qu'un corps noir à 6000 °K. Son maximum d'émission se situe à 0.5 µm, c'est-à-dire dans la portion du visible. La température ambiante de la terre (objets de surface) est environ 300 °K (27°C). En appliquant la loi de Wien (équation I.3), le maximum d'émission à cette température se situe à 9.7 µm. Comme cette énergie correspond à la température terrestre, il est convenu de l'appeler l'infrarouge

thermique. Cette énergie ne peut être ni vue, ni photographiée, mais peut être mesurée par des radiomètres et scanners (système non photographique).

La séparation entre l'infrarouge réfléchi et l'infrarouge émis se situe approximativement à 3 µm au-dessous de laquelle l'infrarouge réfléchi prédomine.

I.3 Interaction REM matière [5]

Lorsque le rayonnement solaire incident rencontre la surface terrestre, trois types d'interaction de l'énergie avec la matière sont possibles. L'énergie incidente est soit réfléchie, soit absorbée, soit transmise (Figure I.4).

- **Transmission**: Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en transmettre une partie. Un objet transparent a une transmittance élevée dans les longueurs d'ondes visibles. Une surface d'eau pure ou le feuillage d'arbres sont des exemples de surfaces susceptibles de transmettre une partie du REM. [6]
- **Absorption**: Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en absorber une partie. Cette énergie absorbée est transformée et modifie l'énergie interne du corps. Ainsi, la température interne du corps peut augmenter ce qui va être la source d'émissions plus importantes dans d'autres longueurs d'ondes (infrarouge thermique par exemple). [6]
- **Réflexion**: Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en réfléchir une partie. Elle s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchie. La réflexion peut être spéculaire, c'est-à-dire qu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes les directions. [6]

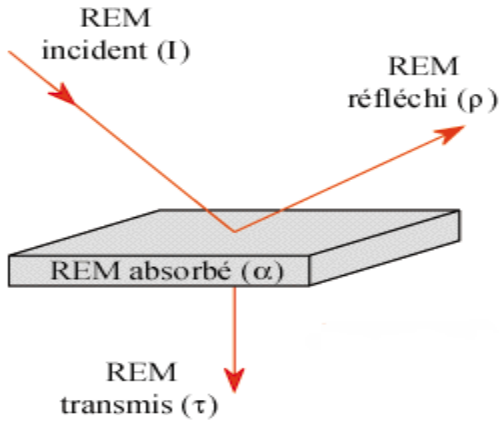


Figure I.4 : Nature des interactions REM-matière.

Le bilan d'énergie est ainsi donné par la relation :

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \qquad \text{(I.4)}$$

I.4 Interactions du REM avec l'atmosphère [7]

Le rayonnement reçu par un capteur installé à bord d'un satellite ne lui parvient qu'après la traversée intégrale de l'atmosphère, ce qui nécessite de prendre en compte les interactions rayonnement-atmosphère. L'atmosphère est constituée par des gaz en proportions variables: azote, oxygène, vapeur d'eau, gaz carbonique. Elle contient également des particules en suspension, gouttelettes d'eau, poussières, qui sont appelées aérosols.

La figure I.5 présente une vue schématique des processus influençant les rayonnements observés par un satellite.

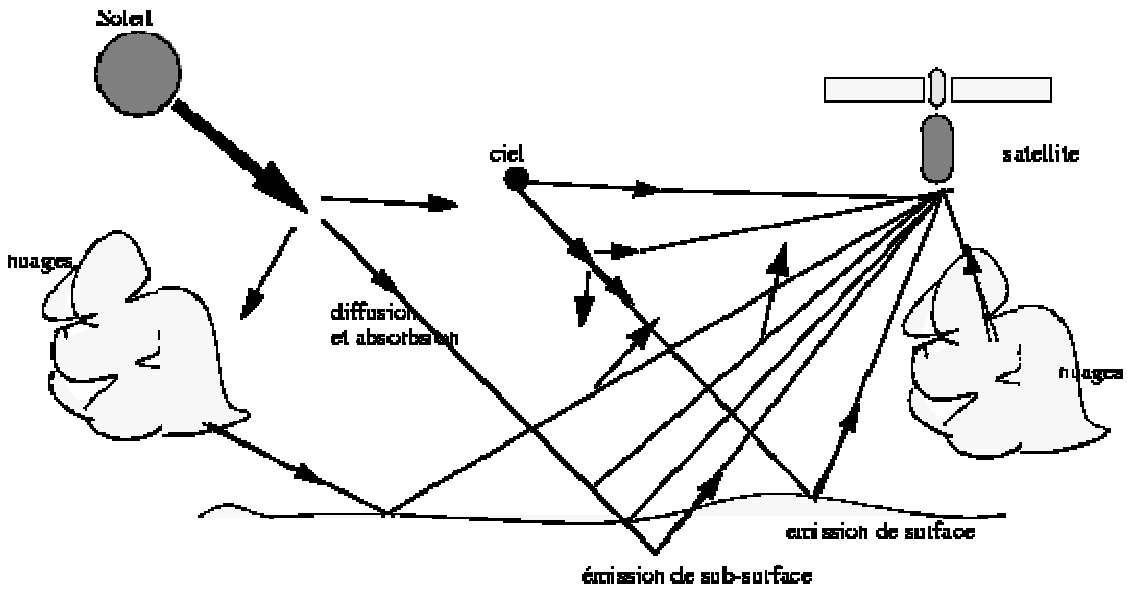


Figure I.5 : Processus influençant le rayonnement observé par un satellite.

Les interactions entre l'atmosphère et le rayonnement relèvent de deux phénomènes physiques essentiels: la diffusion et l'absorption.

I.4.1 La diffusion [8,9]

La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale [9]. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs

facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir.

Il existe trois types de diffusion (voir figure I.6) :

- La diffusion de Rayleigh
- La diffusion de Mie
- La diffusion non-sélective

a) La diffusion de Rayleigh : Elle se produit lorsque les dimensions des composés atmosphériques sont inférieures à la longueur d'onde. Elle concerne principalement les molécules de gaz, se produit particulièrement dans les couches supérieures de l'atmosphère et affecte principalement les courtes longueurs d'ondes particulièrement le visible. [1]

Le rayonnement bleu est plus diffusé que le rouge, ce qui explique la couleur du ciel. [6]

b) La diffusion de Mie : Concerne les composés atmosphériques de tailles presque identiques à la longueur d'onde. Elle est principalement produite par les aérosols et les molécules d'eau, très présent dans les basses couches atmosphériques. [8]

c) La diffusion non sélective : Concerne toutes les longueurs d'onde, courtes et longues, et produite suite aux interactions du rayonnement avec des grosses particules et les gouttelettes d'eau.[8] Les gouttes d'eau dans l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc.[1]

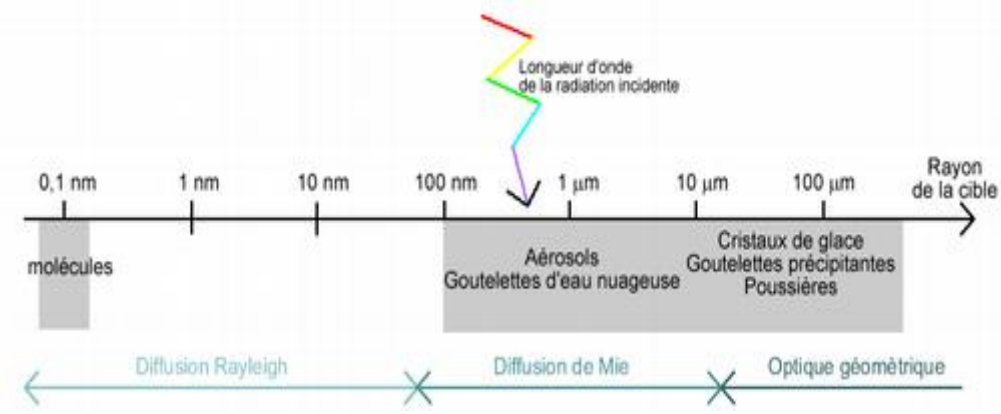


Figure I.6 : Diffusion du rayonnement solaire.

I.4.2 L'absorption [8,10]

L'absorption survient lorsque les grosses molécules de l'atmosphère (ozone, bioxyde de carbone et vapeur d'eau) absorbent l'énergie de diverses longueur d'onde. La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde et des hyperfréquences de petites longueurs d'onde qui entrent dans l'atmosphère (entre 2,2µm et 1µm). La présence d'eau dans la partie inférieure de l'atmosphère varie grandement d'un endroit à l'autre et d'un moment à l'autre de l'année.

Les régions du spectre qui ne sont pas influencées de façon importante par l'absorption atmosphérique, et qui sont donc utiles pour la télédétection, sont appelées les fenêtres atmosphériques. En comparant les caractéristiques des deux sources d'énergie les plus communes (le soleil et la terre) avec les fenêtres atmosphériques disponibles, nous pouvons identifier les longueurs d'onde les plus utiles pour la télédétection. La portion visible du spectre correspond à une fenêtre et au niveau maximal d'énergie solaire. L'énergie thermique émise par la terre correspond à une fenêtre située à près de 10 µm dans la partie de l'infrarouge thermique du spectre. Dans la partie des hyperfréquences, il existe une grande fenêtre qui correspond aux longueurs d'onde de plus de 1mm.

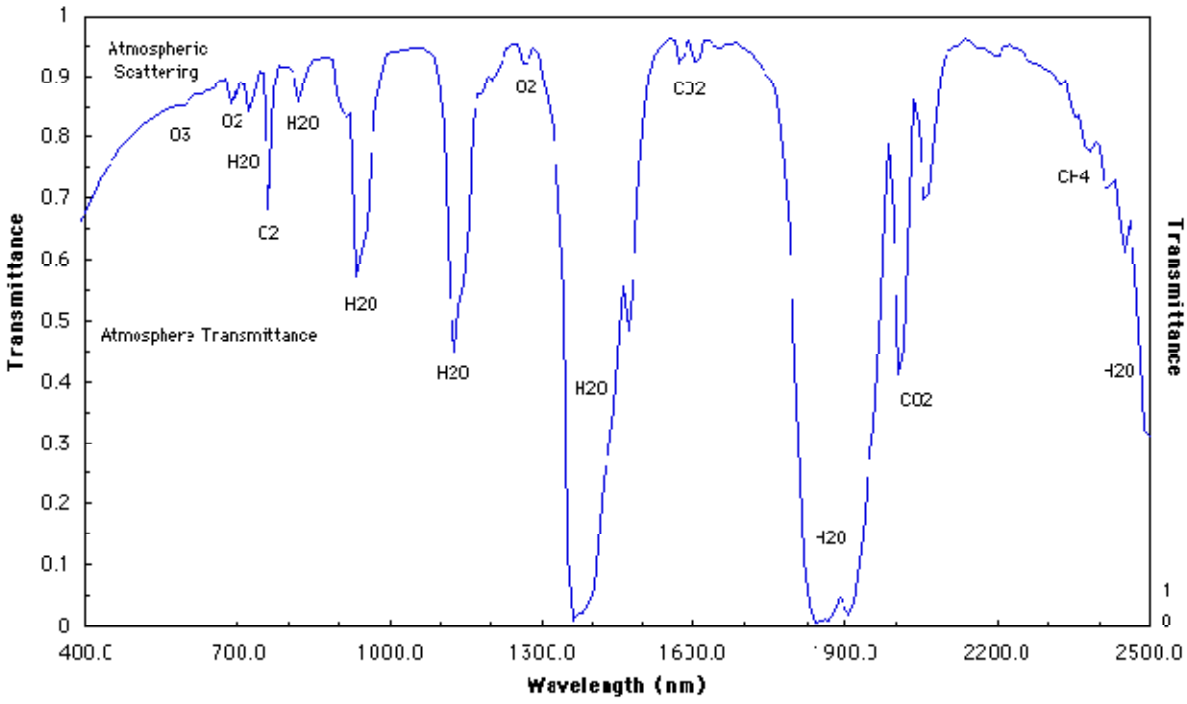


Figure I.7 : Fenêtres atmosphériques.

Chapitre II

Imagerie spatiale

Ce chapitre est consacré à l'imagerie satellitaire, les caractéristiques du satellite LANDSAT 7 (TM et ETM+) et ALSAT 1, et aux processus de la télédétection.

II.1 Télédétection [11]

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci. Elle englobe le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

C'est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aérospatiales, terrestres ou maritimes.

II.1.1 Evolution de la télédétection [12,13]

A l'origine, la télédétection était uniquement représentée par la photographie aérienne, dont le précurseur est Félix Tournachon, dit Nadar : on lui doit en effet la première photographie aérienne, prise en 1858 à partir d'un ballon.

Nadar avait d'ailleurs fort bien perçu l'intérêt de son expérience, puisqu'il avait déposé un brevet « pour un nouveau système de photographie aérostatique» permettant de dresser des plans topographiques et cadastraux.

C'est au cours de la première guerre mondiale que la photo-interprétation prit son essor, et ses premières utilisations civiles ont été faites dans deux domaines : l'archéologie et la prospection pétrolière. La seconde guerre mondiale a également entraîné une accélération des progrès de la télédétection. En effet, le conflit a ouvert de nouvelles méthodes de détection exploitant surtout deux domaines : celui de l'infrarouge thermique et celui des micro-ondes (radar).

Le programme américain ERTS «Earth Resources Technology Satellite, appelé LANDSAT par la suite», a inaugué l'ère spatial avec le lancement du satellite LANDSAT1 en juillet 1972 équipé de deux instruments RBV (Return Beam Vidicon) et MSS (Multi Spectral Scanner) avec une résolution au sol d'environ 80m. Ce programme et après un quart de siècle a vu la construction de 7 satellites et de 12 instruments, le dernier en date étant LANDSAT 7 lancé en avril 1999 à son bord l'instrument ETM+ (Enhanced Thematic

Mapper Plus) avec une résolution de 15 m en mode panchromatique et de 30 m en mode multispectrale (Centre National d'Etudes spatiales) avait eu l'idée d'un Système Probatoire d'Observation de la Terre, mais le projet fut rejeté par l'Agence Spatiale Européenne, l'ESA, en 1976. En 1978, le gouvernement française prend seul l'initiative du projet et conçoit le système SPOT, en coopération avec la Suède et la Belgique (participants minoritaires).

Le système SPOT est effectivement entré en service en mai 1986, peu après le lancement de SPOT-1 par une fusée Ariane Ariane-1 le 22 février 1986. Les satellites SPOT-2 et -3, lancés respectivement le 21 janvier 1990 et 26 septembre 1993, ont permis d'assurer la continuité des services, même si SPOT-3 s'est depuis arrêté de fonctionner, en novembre 1996. SPOT-4 a permis d'acquérir des images d'une précision décamétrique, tandis que SPOT-5, lancé le 04 mai 2002, offre une résolution de l'ordre du mètre. [13]

L'évolution technologique ainsi que les demandes accrues en matière d'images satellitaires ont permis l'avènement d'une nouvelle génération de satellites à très haute résolution en l'occurrence le satellite IKONOS et QUICK BIRD à 1 m de résolution en mode panchromatique et 04 mètres en multispectrale.

L'engouement pour le domaine spatial s'est généralisé pour que celui-ci devienne une priorité économique et sociale dans une grande majorité de pays, même pour ceux en voie de développement. L'ALGERIE est rentré dans l'ère spatiale avec le lancement de son premier microsatellite baptisé ALSAT-1 le 28 novembre 2002 à 6.07 GMT. Il appartient à une constellation de 07 satellites dédiés à l'observation de la terre. Equipé de deux caméras par bande spectrale, il permet l'acquisition des images avec une résolution de 32 mètres et une fauchée de 600km.

Cette panoplie de satellites de haute résolution est dédiée en grande partie à l'étude de l'occupation du sol fournissent aux utilisateurs de télédétection des images de plus en plus nombreuses et de plus en plus riches. Toutefois, leur exploitation correcte et efficace nécessite l'utilisation des techniques relevant de domaines méthodologiques très divers : traitement de signal et des images, reconnaissance des formes, intelligence artificielle, etc.

II.1.2 Défis méthodologiques [14,15]

Cet ensemble de moyens d'acquisition offre une importante quantité d'informations qui peuvent être complémentaires ou concourantes. Complémentaires dans le sens de fusion de données issues de sources disparates et concurrentes dans le cas de comparaison de la

qualité des données à traiter et de vérification des résultats obtenus. La richesse et la variété de cet ensemble de données, n'exclut pas la redondance, un prétraitement est donc nécessaire. La fusion de données exogènes et extraction de données pertinentes sont deux axes importants dans tous les domaines de recherche, y compris en télédétection. Ils sont des étapes incontournables dans n'importe quelle chaîne de traitement. Parallèlement à cela, et durant ces dernières années, de nouvelles techniques ont connu un développement considérable. Elles permettent de traiter l'information plus efficacement qu'avec les systèmes conventionnels.

II.1.3 Objectif de la télédétection [16]

La télédétection permet la production d'images ou de photographies qui, par l'interprétation des informations acquises, permettent des applications multiples et une meilleure gestion des ressources de notre planète :

- Surveillance de l'environnement.
- Agriculture.
- Cartographie.
- Aménagement.

La télédétection spatiale présente un certain nombre d'avantages et limites en termes d'acquisition de données, ils varient d'un satellite à l'autre selon les caractéristiques des orbites ainsi que des capteurs embarqué.

II.1.4 Les avantages des images satellitaires [17]

- Couverture synoptique et homogène de vastes zones.
- Filière d'acquisition/ traitement parfaitement spécifié.
- Haute répétitivité d'observation d'une même zone.
- Produits directement numériques.
- Archives d'images important (mémoire de la terre).
- Richesse thématique (visible, infrarouge, micro-ondes).
- Accès à tout endroit du globe.

II.2 Les capteurs [18]

Un capteur est un dispositif électronique capable d'enregistrer le rayonnement qui lui parvient dans une gamme de longueur d'onde et de le transformer en un signal électrique, puis le coder en un compte numérique.

II.2.1 Types de capteurs [18,19]

Selon les sources de rayonnement, il existe deux types de capteur (voir figure II.1) :

- Capteur passifs : ils mesurent l'énergie disponible naturellement. Ils peuvent donc percevoir seulement l'énergie réfléchie lorsque le soleil illumine le terre, et celle dégagée naturellement (infrarouge thermique).
- Capteur actifs : ils produisent leur propre énergie pour illuminer la cible : ils dégagent un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchie par la cible est alors perçu et mesuré par ces capteurs.

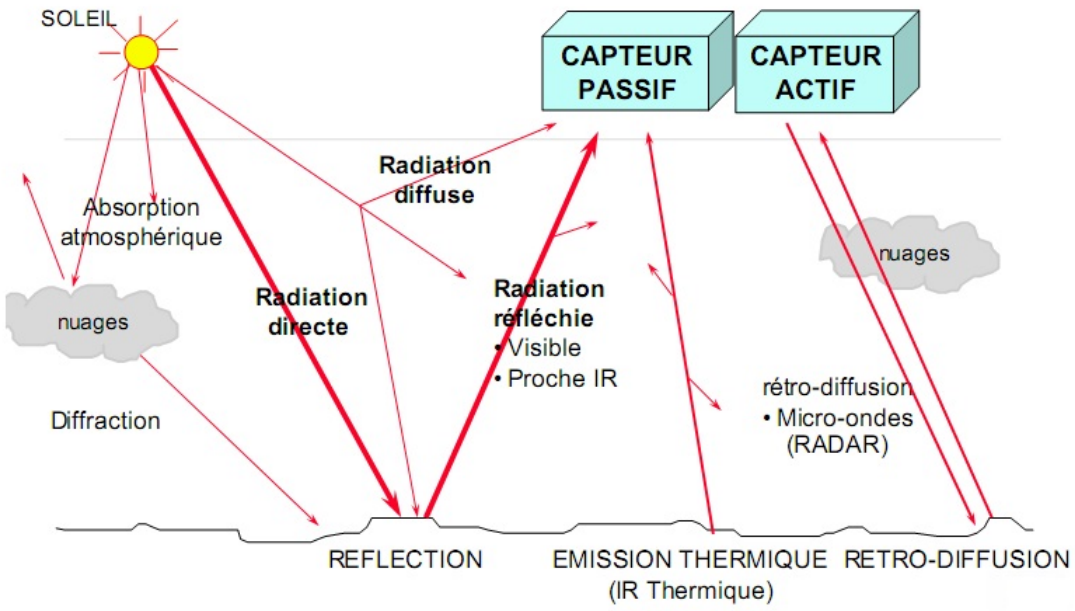


Figure II.1 : Représentation schématique des capteurs en télédétection.

II.2.2 Caractéristique d'un capteur [20,21]

- Résolution spectrale : la résolution spectrale d'un capteur décrit sa capacité à utiliser de petites fenêtres de longueurs d'onde. Plus la résolution spectrale est fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur sont étroites.
- Résolution radiométrique : la résolution radiométrique d'un capteur décrit sa capacité de reconnaitre de petites différences dans l'énergie électromagnétique. Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue.

II.3 Phases d'acquisition [22]

1- Le soleil (ou une autre source) émet un rayonnement électromagnétique dans différentes longueurs d'onde, et notamment dans le visible ;

2- Une partie de ce rayonnement est renvoyée vers le capteur du satellite ;

3- Le satellite en orbite se déplace autour de la terre selon une trajectoire prédéfinie (et profite de la rotation terrestre) et est susceptible de capter une « bande » de terrain parcouru ;

4- Le satellite possède un capteur électromagnétique qui enregistre l'information qui lui est parvenue, et balaye à l'aide d'un miroir rotatif, l'ensemble d'une ligne perpendiculairement au déplacement du satellite, dans le cas des radiomètres à miroir. Pour les radiomètres à barrettes, c'est la juxtaposition de détecteurs formant une barrette (1728 par exemple dans le cas de SPOT) qui forme une première ligne de données ;

5- Le déplacement du satellite permet d'acquérir des lignes successives jusqu'à l'obtention d'une image continue sur une largeur définie (185 km pour LANDSAT) ;

6- Les données captées par les détecteurs sont transformées en impulsions électriques (sur le modèle des panneaux solaires par exemple) et soit stockées, soit renvoyées vers la terre sous forme d'ondes radio ;

7- Une station de réception au sol assure le transfert de ces données en « niveaux numériques », découpe les « images » en bandes et rend la lecture possible via un logiciel de traitement d'image.

Un exemple de ce processus, avec l'utilisation de systèmes de capture d'images, est

illustré dans la figure II.2.

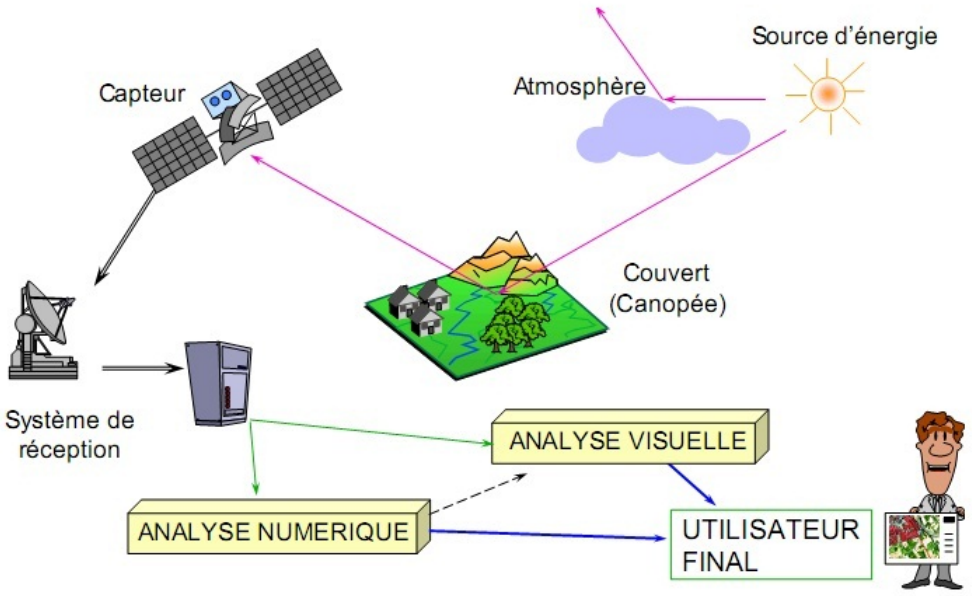


Figure II.2: Principe de base de l'imagerie spatiale.

II.4 Les satellites [23]

Les satellites représentent une plate-forme idéale pour l'observation de la terre et ce à l'aide d'un ou plusieurs capteurs.

II.4.1 Définition [18]

Les satellites artificiels de la terre sont des plates-formes placées en orbite pour les besoins de la télédétection, des télécommunications et de la télémétrie (positionnement et navigation). Grace à leur orbite, ces plates-formes spatiales permettent une couverture répétitive et continue de la surface de la terre.

II.4.2 Différents types de satellites [22]

Selon leurs caractéristiques astronomiques, on peut distinguer deux types de satellites :

- Les satellites géostationnaires : ce sont des satellites qui ont une altitude très élevée (environ 36000 km) et regardent toujours la même région de la surface de la terre. Ces satellites se déplacent à une vitesse qui correspond à celle de la terre (figure I.3). Cette configuration orbitale permet au satellite d'observer et d'amasser continuellement de l'information sur une région spécifique.

- Les satellites à défilement : contrairement aux précédents, ces satellites se déplacent par rapport à la surface de la terre en suivant une orbite allant pratiquement du nord au sud et vice versa. Ils ont une altitude comprise entre 600 et 1000 kilomètres (figure II.4). Cette configuration, combinée à la rotation de la terre (ouest-est), fait qu'au cours d'une certaine période, les satellites ont observé presque la totalité de la surface de la terre.

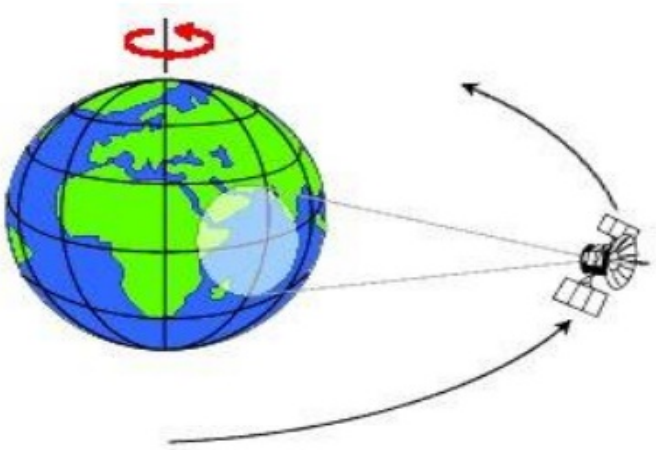


Figure II.3 : Satellite géostationnaire.

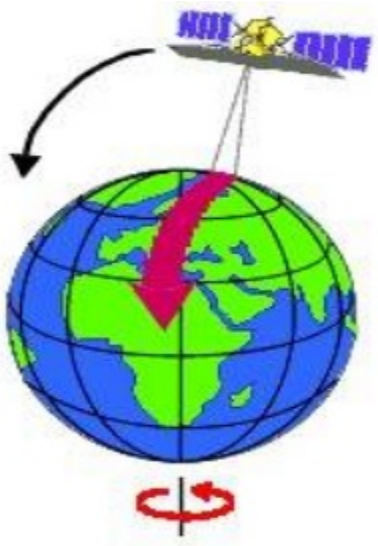


Figure II.4 : Satellite à défilement.

II.4.3 Le satellite LANDSAT 7 [24]

Le satellite LANDSAT 7 est actif depuis 1999. Ses premières images sont disponibles depuis octobre 1999. Ce satellite offre une couverture mondiale avec des images de 15 mètres de résolution en mode panchromatique, et 30 mètre en mode multispectrale (06 bandes).

II.4.3.1 Spécifications du satellite LANDSAT 7 [24]

Les spécifications du satellite sont énumérées ci-après.

- Date de lancement : 15 avril 1999,
- Nom de l'instrument : ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +),
- Orbite : Héliosynchrones, en orbite sub-polaire,
- Altitude : 705 km ±5.9 km à l'équateur,
- Inclinaison : 98.2 degrés, ±0.15 degrés par rapport à l'équateur,
- Nœud descendant : 10h :00 du matin heure locale, ±15 mm (heure de passage à l'équateur),
- Spécifications : Poids : 1950 kg,

Dimension : 4 m de haut et 2.74 m de diamètre,

Puissance : 1550 watts,

- Panneau solaire : silicon cells, 04 panneaux de 60 mètres carrées de surface,
- Résolution temporelle : 16 jours (233 orbites),
- Enregistrement à bord : 375 GB,

II.4.3.2 Spécification de l'instrument ETM+ [25, 26]

Les spécifications de l'instrument ETM+ sont énumérées ci-après.

- Nom de l'instrument : Enhanced Thematic Mapper +,
- Plate-forme : LANDSAT 7,
- Nombre de canaux : 9,
- Type d'instrument : Whishbroom scanning multichannel radiometer,
- Bandes spectrales: 0.5 à 12.5 microns,
- Taille de la scène: 170*185 km,
- Résolution spatiale : Résolution 30m, le VIS, le PIR et le SWIR,
- Résolution 60m pour le TIR,
- Résolution 15 m pour le panchromatique,
- Poids : 425kg,

La figure II.5 montre le satellite LANDSAT 7 et son capteur ETM+.

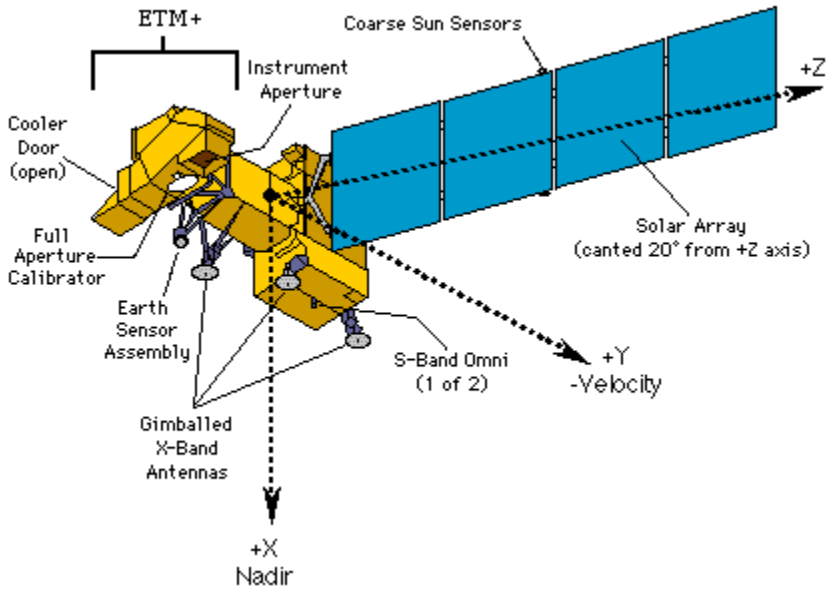


Figure II.5: Schéma du satellite LANDSAT 7.

II.4.3.3 Domain spectral couvert **[24, 2, 28]**

Le capteur ETM+ de LANDSAT 7 dispose huit (08) bandes spectrales. Nous décrivons ici brièvement les utilisations possibles de ces différentes bandes spectrales, ainsi qu'un tableau montrant les résolutions spectrales et spatiales de ces bandes (tableau II.1).

- ETM1 : exploitant la partie bleue du spectre électromagnétique, sera surtout utilisée pour des études sur l'eau (les radiations bleues ont un bon pouvoir de pénétration dans l'eau). Très sensible aux gaz et aux particules atmosphériques, cette longueur d'onde est malgré tout assez peu employée, si ce n'est pour réaliser des images en couleurs naturelles ;
- ETM2 : exploite les longueurs d'onde du vert. Logiquement, ce canal est employé pour mesurer l'énergie réfléchie par la végétation. Ce canal permet également de mettre en évidence le mouvement des sédiments lourds dans l'eau ;
- ETM3 : correspond au rouge. Dans cette partie du spectre, les radiations sont fortement absorbées par la chlorophylle et les pigments des feuilles. Par contre, les oxydes de fer du sol sont ici fortement réflectants (possibilité de mesure de leur abondance). Ce canal permet également une bonne identification du domaine urbain (surtout les toits de tuiles) ;
- ETM4 : est le canal du proche infrarouge. C'est un bon indicateur car la végétation chlorophyllienne se caractérise par sa très forte réflectance dans cette longueur

d'onde. Comme les autres canaux infrarouges, cette bande permet une bonne cartographie du réseau hydrographique, ou du réseau routier en urbanisme (très peu réflectant). Ce canal est peu sensible aux effets atmosphérique ;

- ETM5 : est neutre par rapport aux sols et à la végétation. Sa variabilité dépend surtout de la composante eau ou, d'une façon plus générale, de l'humidité des objets ;
- ETM61 et ETM62 : exploite deux bandes spectrales (infrarouge thermique) pour lesquelles le rayonnement solaire réfléchi est négligeable. Le rayonnement terrestre émis devient ici important. Ce canal permet la mesure (de nuit comme de jour) de la température de radiance de la surface terrestre ;
- ETM7 : il est surtout utilisé pour l'identification des composants minéraux. Les pics d'observation (vers 2.2 et 2.35µm) des liaisons AL et Mg avec OH et CO_3 permettent en effet d'identifier les minéraux hydratés et les carbones. On mesure bien ici l'avantage d'une vision multispectrale des objets terrestres.

Les différentes bandes spectrales permettent de :

- Mesurer l'intensité du rayonnement réfléchi dans le visible (caractéristique du végétal)
- Mesurer dans l'infrarouge thermique la température et l'humidité du végétal (les objets humides ont une température de radiance plus basse que le voisinage).

Les images LANDSAT 7 offrent la possibilité d'avoir 06 bandes spectrales à une résolution de 15 mètres lorsque les bandes sont mixées avec le panchromatique. La fusion des données multispectrales à 30 m, riches sur le plan identification spectrale avec le canal panchromatique à bonne résolution spectrale (15 m) permettra l'obtention d'images trichromie si riche, et sur le plan géométrique et spectrale. La technique de fusion fréquemment utilisée est la conversion réciproque RVB-ITS.

Les méthodes de mixages permettent de garder au maximum la radiométrie originale et d'ajouter la précision de la bande P (15 m). La bande panchromatique correspond à la bande spectrale entre 0.52µm à 0.90µm (ETM1+ ETM2+ ETM+3 ETM4), l'influence du panchromatique sur ces quatre bandes est donc plus faible que sur les bandes ETM5 et ETM7.

Le tableau II.1 montre les résolutions spectrales et spatiales des bandes de l'ETM+.

Tableau II.1 : Résolution spectrale et spatiale des 08 bandes d'ETM+.

N° de bande	Résolution spectrale	Résolution spatiale
ETM+1	0.45 à 0.515µm	30 m
ETM+2	0.525 à0.605 µm	30 m
ETM+3	0.630 à 0.690 µm	30 m
ETM+4	0.750 à 0.900 µm	30 m
ETM+5	1.550 à 1.750 µm	30 m
ETM+61- ETM+62	10.40 à 12.50 µm	60 m
ETM+7	2.090 à 2.350 µm	30 m
PAN	0.520 à 0.900	15 m

II.4.3.4 Les produits LANDSAT 7 [29]

Les produits LANDSAT 7 commercialisés, sont à différents niveau de correction. Typiquement les données LANDSAT 7 ETM+ sont disponibles avec trois niveaux de correction (traitement).

A/ Niveau 0 : Reormatted (0R, RAW)

Les pixels ne sont ni rééchantillonnés, ni géométriquement corrigés ou registrés, c-à-d les pixels ne sont pas alignés par la ligne de balayage. Tous les objets radiométriques tels que le bruit impulsionnel, le bruit cohérent, les effets de mémoire, etc. sont présents dans n'importe quelle image du niveau 0R. Ce produit est pour des utilisateurs capables de faire tout le traitement.

B/ Niveau 1 :Radiomettrically corrected (1R, RADCOR)

Le produit du niveau 1R est un produit 0R corrigé radiométriquement que corrige les artefacts tels que le bruit de détection cohérente et améliore la superposition des bandes, les lignes et les pixels manquant. Ce produit est calibré. Les corrections radiométriques ne sont pas réversibles. Comme le produit de niveau 0R, les pixels ne sont pas alignés par la ligne de balayage. Ce produit nécessite aussi d'importants traitements par l'utilisateur.

C/ Niveau 1 system corrected (1)

Le produit du niveau 1 est considéré comme le produit standard pour la plupart des utilisateurs. Il est radiométriquement et géométriquement corrigé aux paramètres spécifiques, y compris la projection cartographique, l'orientation d'image (par défaut sont UTM et WGS84), et l'algorithme de rééchantillonnage.

Les algorithmes de correction modélisent le satellite et le capteur en utilisant des données produites par les ordinateurs de bord pendant l'acquisition de l'image. Le capteur, le plan focal, et l'information d'alignement de détecteur fournie par le système IAS (Image Assessment System) dans le fichier de calibration des paramètres (Calibration Parameter File – CPF) sont utilisés afin d'améliorer la fidélité géométrique globale de l'image).

Le produit corrigé est exemt des déformations liées au capteur (par exemple, frousse, effet d'angle de vue), au satellite (par exemple, déviations d'attitude nominale), et à la terre (par exemple, rotation, courbure). L'erreur résiduelle systématique est plus moins de 250 mètres pour LANDSAT 7 dans des régions plates au niveau de la mer.

Les images corrigées peuvent être produites avec 2 orientations différentes : pathoriented (SYSCOR), et maporiented (GEOREF- pour de pleines scènes seulement) avec l'affichage du nord -vers le haut. Aucune correction atmosphérique n'est appliquée aux images.

Le produit niveau 1 corrigé n'utilise pas des points d'appui ou des modèles numériques des terrains pour obtenir l'exactitude géodésique absolue. Un traitement plus précis (jusqu'à l'orthorectification avec l'utilisation des points d'appuis (GCPS) et du model numérique du terrain (DEM) est disponible comme service additionnel.

II.4.4 Le micro satellite ALSAT 1 [24, 30, 31]

Le satellite algérien AlSAT 1 (figure II.6) est la première expérience en orbite de l'Algérie. Lancé le 28 novembre 2002 à 6h07 GMT par le lanceur russe COSMOS-3M depuis le cosmodrome de Plesetsk (à 800 km de Moscou), ALSAT 1 produit d'un partenariat avec Surrey Satellite Technology Limited (SSTL – Royaume Uni) est un maillon d'une constellation de micro satellites de 7 pays (Algérie, Chine, Nigeria, Royaume Uni, Thaïlande, Turquie, Vietnam).

Il s'inscrit dans un programme international d'observation de la terre pour la prévention et la gestion des catastrophes (DMC – Disaster Monitoring Constellation). C'est l'Algérie qui a eu le privilège de lancer le premier satellite ALSAT1, dans le cadre de cette constellation qui permettra le suivi de certains phénomènes naturels et autres risques majeurs comme les inondations, les séismes et les feux de forêts. La constellation, une fois entièrement opérationnelle permettra aux membres du consortium DMC de récupérer des images de n'importe quel point sur la terre dans moins de 24 heures.

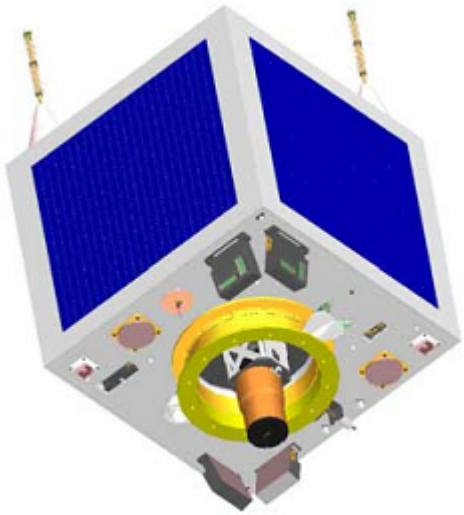


Figure II.6: Micro satellite Algérien ALSAT1.

II.4.4.1 Spécifications techniques d'ALSAT 1 [24, 31]

ALSAT 1 est un microsatellite d'observation de la terre, il effectue 14,6 révolutions par jour, soit le tour de la terre tous les 98 mn, il repasse à la verticale d'un même point de la terre tous les 13 jours. Compte tenu de sa large fauché, ALSAT 1 offre un pseudo-temps de revisite de 05 jours.

a) Spécifications générales :

Dimension : 60 x 60 x 60 cm ;

Masse : 90 kg ;

Durée de vie nominale : 05 ans ;

Date de lancement : 28 novembre 2002 à 6h50 ;

Orbite héliosynchrone : Altitude de 680 km ;

Inclinaison orbitale : 98,2°.

b) Spécifications du capteur :

Mode de prise de vue : Push-broom ;

Capteur multispectral : 02 caméras couvrant 16 km ;

Largeur de la fauchée : 2 x 300 km ;

Nombre de pixels : 10200 par caméra ;

Résolution spatiale : 32 mètres ;

Taille image maximale : 600 x 560 km (336000 km²) ;

Focale : 150 mm.

La caméra embarquée sur le microsatellite ALSAT 1couvre trois bandes du spectre électromagnétique :

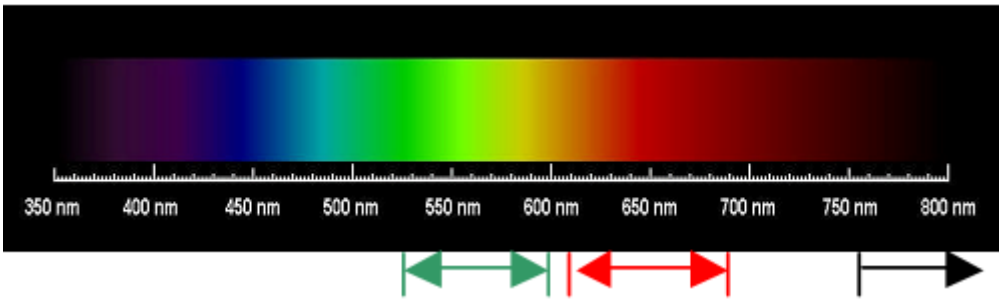


Figure II.7 : Bandes du spectre électromagnétique

Bande 1 : vert (0.523 – 0.605 µm)

Bande 2 : rouge (0.629 – 0.690 µm)

Bande 3 : proche infrarouge (0.774 – 0.900 µm)

Les images du satellite Alsat1 présentent un certain nombre d'avantages, qui sont :

- La couverture d'une grandes superficie « 500 Km × 350 Km » et offre donc une vue synoptique du territoire d'étude.
- Ces images regroupent 03 bandes spectrales assez importantes (02 visibles et 01proche infrarouge).
- L'information contenue dans l'image peut être cartographié à l'échelle du 1/50.000éme.

II.5 Imagerie satellitaire [32]

Chaque capteur reçoit l'énergie contenue dans un fin pinceau lumineux dont l'angle solide est déterminé par les caractéristiques optiques du radiomètre. L'intersection de ce fin pinceau lumineux avec la surface de la terre est l'élément de résolution, ou pixel.

La résolution au sol est donnée par la dimension du pixel au nadir c'est à dire à la verticale du satellite.

II.5.1 Propriété de l'image [3, 32]

Les images obtenues sont des représentations objectives d'un paysage à un instant donné. Ce paysage est composé de plusieurs éléments.

- La résolution spatiale :est définie comme le pouvoir de séparation spatial. C'est le produit de la résolution angulaire par la distance.
- La résolution spectrale : est définie comme le pouvoir de séparation spectral, elle dépend de la réponse spectrale de l'instrument dans chaque canal.Plus l'intervalle est large dans le spectre électromagnétique, plus la résolution spectrale est petite et vice-versa.
- La résolution radiométrique : est définie comme le pouvoir de séparation entre différentes luminances reçues. Dans le cas de capteurs de type push-broom comme le HRV de SPOT, la résolution radiométrique est limitée par deux phénomènes :
    1. Un bruit dans le sens des lignes, lié aux différences de sensibilité des différents détecteurs.
    2. Un bruit dans le sens des colonnes, lié aux fonctionnements de la chaîne électronique (bruit thermique, qui augmente avec la température).

II.5.2 Mode de représentation des images

L'image satellite est obtenue à partir d'un enregistrement structuré de données acquises par satellite. Ces données sont liées, dans le domaine du visible et du proche infrarouge en télédétection, au rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre.

Une image numérique est une distribution à deux dimensions d'intensité lumineuse traduisant la valeur numérique d'une image, à chaque pixel de l'image correspond une valeur radiométrique codée en niveau de gris.

II.5.3 Applications de l'imagerie satellitaire optique [21]

- Cartographie :

La qualité géométrique et radiométrique, qui ne cesse d'évoluer, des systèmes optiques en font de véritables satellites à vocation cartographique (cartographie thématique et topographique grâce à la possibilité de vision stéréoscopique, pour certains. Ces quelques années d'expérience mettent en avant la capacité de ce type d'imageurs à établir des cartes dans une gamme d'échelle allant du 1/250.000 au 1/50.000 et de restituer le relief avec précision (de l'ordre de 10 m en précision altimétriques et planimétrique).

- Ressources naturelles et gestion de l'environnement :

La bonne résolution spatiale et la répétitivité des prises de vue font de ces satellites d'excellents outils, complémentaires des autres sources d'information, au service d'activités liées à la gestion et à l'exploitation des ressources naturelles: inventaires, grands projets de développement et d'aménagement rural, suivi et évaluation des périmètres agricoles et des exploitations forestières, statistiques agricoles.

- Aménagement urbain et littoral :

Les données optiques apportent des informations essentielles sur la nature et l'occupation du sol, fournissant ainsi des moyens importants d'aide à la concertation et à la décision pour l'aménagement du territoire. De plus, le domaine de l'aménagement urbain bénéficie de la vision synoptique et de la résolution spatiale des images panchromatiques, apportant ainsi un plus par rapport aux méthodes aéroportées classiques.

- Ressources minières et pétrolières :

Les images optiques apportent une visualisation qui facilite les interprétations géologiques de prospection. D'autre part, la qualité géométrique et la répétitivité des images permettent un suivi régulier des surfaces d'exploitation.

- Catastrophes et risques naturels :

La facilité d'acquisition des données, la rapidité de traitement et l'étendue de la zone couverte permettent une grande efficacité dans l'estimation des dégâts causés par une catastrophe naturelle. L'expertise intervient à deux niveaux : d'une part au niveau de l'évaluation rapide des dégâts réels et d'autre part, au niveau de la prévention.

Chapitre III

Les traitements et les classifications d’images satellitaires

Le traitement d'image recouvre l'ensemble des techniques consistant à modifier une image dont le but de faciliter son interprétation ou d'extraire des informations d'ordre quantitatif: exemple occupation du sol.

III.1 Les prés traitements [33]

Les images obtenues après acquisition ne sont pas utilisables directement pour une interprétation aisée. La présence de défaut ne permet pas d'avoir une qualité à une définition uniforme pour l'ensemble d'une compagne de prise de vue.

On peut dire que le prétraitement doit fournir à partir des images brutes des images propres, dont il est nécessaire de fournir la qualité aussi bien en géométrie qu'en amplitude.

La première opération au sol consiste à décoder le signal reçu afin de trouver la donnée originale crée par le capteur.

Les traitements préliminaires ou pré traitements, ont pour but l'élimination ou du moins la réduction du «bruit» afin de faciliter l'extraction des informations à l'étape suivante. Ce bruit peut provenir de sources très diverses et dépendre notamment du système de télédétection en question aussi bien que de l'information recherchée.

III.2 Les corrections radiométriques [34, 35]

Elles ont pour but de réduire l'effet bruit et de modeler l'image, ces corrections réduisent les déformations dues :

- Au capteur dont les anomalies de fonctionnements ont un effet sur les mesures de réflectance des objets ;
- Au mode de transmission des données ;
- A l'atmosphère, qui par diffusion, absorption, et émission trouble les valeurs radiométriques des données ;
- A l'angle de visée et l'angle solaire ; la réflectance d'un objet varie en fonction de l'angle solaire et de l'angle de visée.

III.3 Les corrections géométriques [34, 36]

Elles sont destinées à corriger l'image des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïdes terrestre, défilement du stellite, variation du sol….). Elles sont faites soit à partir des paramètres d'orbite et d'altitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de la loi de déformation ; pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu. Les lois de déformation sont calculées à partir de points particuliers appelés amers dont les coordonnées sont connues à la fois sur image et sur terrain.

III.4 Classification

Par définition une classification c'est une procédure dans laquelle les pixels sont identifiés et regroupés dans des classes, suivant un critère de similarité prédéfini. Deux notions sont prises en compte pour déterminer la similarité de pixels :

Similarité par rapport à la signature spectrale ; on parle alors de classification spectrale.

Similarité par rapport à la proximité spatiale ; on parle alors de classification spatiale.

Le but d'une classification est de simplifier la réalité d'un paysage pour pouvoir l'interpréter plus facilement. Cela consiste en fait à simplifier la radiométrie de l'image brute, qui représente le paysage, par la formation de classes.

Une bonne tache de classification spectrale est synonyme d'un rapprochement entre les classes obtenues et leurs correspondants sur le terrain.

Deux grandes familles de classification automatique existent :

- ✓ Classifications non supervisées.
- ✓ Classifications supervisées.

III.4.1 Classification non supervisée [28, 11]

L'opérateur ne dispose d'aucune information sur la zone d'intérêt ou ne souhaite pas en exploiter dans la phase initiale d'analyse. Aucune information externe à l'image n'est donc introduite. Le classement des pixels est effectué uniquement selon le critère de la ressemblance spectrale. L'étiquetage thématique est réalisé, s'il est souhaité, après la classification par interprétation des classes spectrales produites.

Donc le principe de la classification non supervisée est d'attribuer automatiquement chaque pixel à une classe suivant sa signature spectrale.

III.4.1.1 Classification par Kmeans [37, 38, 40]

L'algorithme des K-means, aussi appelé "nuées dynamiques", est une méthode de classification non supervisée qui sépare les données en K classes. Sa grande popularité provient de sa grande simplicité.

On définit (aléatoirement si aucune information n'est donnée) K centres de gravité appelés centroïdes. Puis, on assigne chaque élément à la classe dont le centroïde est le plus proche (par rapport à une distance, euclidienne par exemple). Après chaque affectation, on calcule le centre de gravité des éléments de chaque classe. Les deux dernières étapes sont répétées de façon itérative jusqu'à la convergence des centroïdes.

Cet algorithme présente néanmoins quelques inconvénients : il faut fixer au préalable le nombre de classes K, il converge vers un minimum local et n'est pas adapté au cas de classes des structures non convexes et détailles différentes.

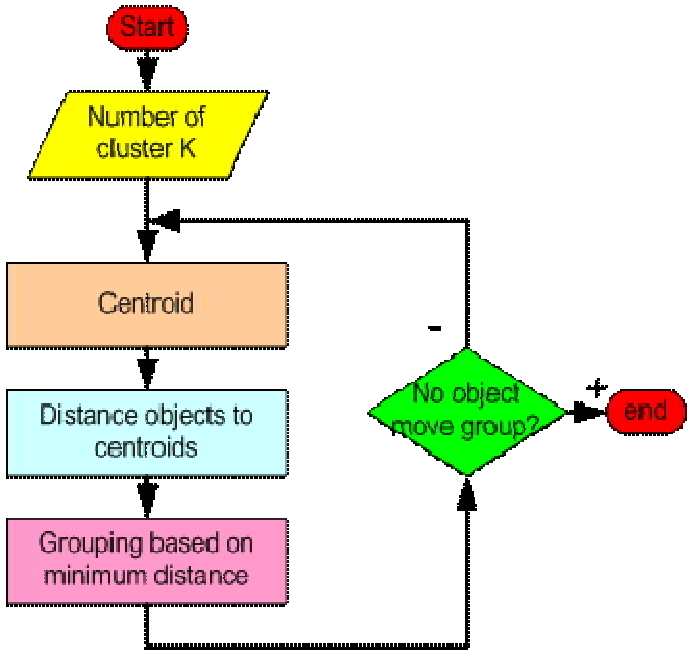
L'algorithme des K-moyennes est donc le suivant :

Initialisation : choix d'un grand nombre de classe (K =50 par exemple) et positionnement aléatoire des K centroïdes sur des points de l'image,

Itérations : tant que les centroïdes changent de position :

- On assigne chaque pixel à la classe du centroïde le plus proche au sens de la distance,
- Si une classe ne comporte plus d'élément, elle est éliminée,
- On recalcule le centre de gravité des éléments de chaque classe.

La figure III.1 schématise les étapes de l'organigramme et l'algorithme.



FIN = FAUX

TANT QUE NON FIN **FAIRE**

POUR chaque observation **FAIRE**

Trouver le centroïde le plus proche

Placer l'observation dans l'aggrégat le plus proche

FIN POUR

SI aucun changement des valeurs des centroïdes **FAIRE**

FIN = VRAI

SINON

Calculer les nouveaux centroïdes

FIN SI

Figure III.1 : Organigramme et algorithme.

III.4.1.2 Classification par ISODATA [38, 39, 40]

La méthode ISODATA (Iterative, Self-Organizing Data) décrit un algorithme qui permet de réaliser des classifications non supervisées. Pour cela, cette méthode divise l'espace spectral des images en région qui permettent de regrouper les pixels à partir de leurs valeurs spectrales. Une grande importance est attachée à l'analyse des résultats. En effet, les classifications peuvent être plus ou moins difficiles suivant l'homogénéité du terrain. Une compréhension adéquate des réponses spectrales des différents thèmes qui composent la zone étudiée aidera à produire une image thématique ayant des classes bien définies.

La méthode ISODATA utilise des itérations pour réaliser des classifications successives. Elle calcule à chaque itération les statistiques en utilisant les distances spectrales afin de calculer les moyennes des différentes classes (Clusters). Lors de la première itération, cette méthode se base sur des moyennes arbitraires. Les coordonnées des Clusters sont modifiées à chaque itération. La vitesse du traitement peut être augmentée en diminuant le nombre de pixels traités et les itérations.

III.4.1.3 Les différences entre ISODATA et K-MEANS [33, 41]

- Calcul des centres de classes :

Chaque fois que l'on affecte un pixel à une classe dans la méthode K-MEANS.

Une fois que tous les pixels ont été affectés à une classe pour la méthode ISODATA.

- Choix initial du nombre de centres de classes :

Fixé dans la méthode K-MEANS.

La méthode ISODATA permet de choisir un minimum et un maximum de classes.

III.4.2 Classification supervisée [33, 42]

La classification supervisée diffère de la classification non supervisée par la séquence de la procédure que l'analyste choisit pour insérer l'information thématique de référence. Lors de la classification non supervisée, les pixels sont regroupés, en référence à leur ressemblance, en classes spectrales. Puis, celles-ci sont interprétées en catégories thématiques. La classification supervisée procède par une démarche inverse, les classes thématiques sont en premier lieu définies par l'extraction de leurs signatures spectrales respectives, ce qui permet de déterminer par la suite les classes spectrales.

Chaque pixel de l'image sera affecté à la classe thématique correspondante selon son comportement spectral. La classification supervisée est donc conseillée dans le cas où on possède une connaissance préalable de la zone à cartographier. Le principe de cette méthode est basé sur l'identification d'échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces. Ces échantillons peuvent représenter une (ou plusieurs) zone(s) occupée(s) par une catégorie thématique connue, ce qui forme des zones d'entraînement. La procédure de classification supervisée permet une évaluation a posteriori par un test de séparabilité (distance statistique entre les signatures) et une matrice de confusion (pourcentage des pixels d'une zone d'entraînement distribuée dans le groupe thématique correspondant). La qualité du résultat va dépendre de plusieurs facteurs:

- les données étalons doivent être soigneusement choisies afin d'être représentatives de leur classe et de mettre en évidence leurs différences;
- les critères de décision doivent comporter des seuils de tolérance afin de lever les ambiguïtés;
- enfin, les critères de similitude employés, c'est-à-dire la mesure de la distance (ou la ressemblance) entre le point à classer et les données étalons vont avoir une influence déterminante sur le résultat de la classification.

III.4.2.1 Classification par maximum de vraisemblance [41, 43]

La classification par maximum de vraisemblance n'est pas très différente de la précédente. On utilise également des zones-échantillons pour déterminer les caractéristiques des classes d'objets, qui deviennent également des centres dans l'espace multispectral. Par contre, au lieu d'affecter un vecteur spectral à la classe dont le centre de gravité est le plus proche, elle se base sur une analyse statistique de la distribution des vecteurs spectraux de l'échantillon pour définir des zones de probabilité équivalente autour de ces centres. La probabilité d'appartenance à chacune des classes est calculée pour chaque vecteur spectral et le vecteur est affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus élevée. Un avantage considérable de cette méthode est qu'elle fournit pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté, un indice de certitude lié à ce choix. Il est ainsi possible de traiter différemment des pixels classés « forêt » avec plus de 90% de certitude, et des pixels classés avec une faible probabilité. On hésitera par exemple moins à reclasser ces derniers pixels dans une classe lors de traitements ultérieurs. Pour intéressante qu'elle soit, cette possibilité n'est que très rarement exploitée par la plupart de logiciels de traitement des données de télédétection.

Donc la classification par maximum de vraisemblance découle d'une méthode probabiliste : pour chaque pixel on détermine sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'à une autre.

On s'appuie sur la règle de Bayes :

$$P(C_i/P) = P(P/C_i) * P(C_i) / P(P) \quad \text{(III.1)}$$

Avec

$P(C_i/P)$: Probabilité d'être dans la classe i sachant qu'on est le pixel P,

$P(p/C_i)$: Probabilité d'être le pixel P sachant qu'on se trouve dans la classe i,

$P(C_i)$: Probabilité d'appartenir à la classe i,

Et P(P) : Probabilité d'être le pixel P.

On affecte donc P à la classe i pour toute classe j si :

$$P(P/C_i) * P(C_i) > P(P/C_j) * P(C_j) \quad \text{(III.2)}$$

Un seuil de probabilité en dessous duquel un pixel est jugé comme mal classé peut être fixé, le pixel est alors placé dans une classe de rejet. La plupart du temps, l'appartenance générale à une classe est estimée comme équiprobable.

Cette technique de classification est tout à fait satisfaisante d'un point de vue mathématique car les pixels sont classés en fonction d'une probabilité ce qui est souhaitable en traitement de l'image, en particulier en télédétection où un même objet peut contenir des pixels aux valeurs radiométriques très différentes. Elle présente aussi l'avantage de donner facilement une mesure de la qualité de la classification, et de permettre l'amélioration de la classification par itération. Par contre, la qualité de la classification est fortement liée à la valeur du spécialiste, à son expérience et sa connaissance du sujet de l'image.

III.4.2.2 Classification par SVM [40, 44, 45, 46]

La classification par Support Vector Machines est une méthode non paramétrique (Vapnik, 1998). Elle consiste à résoudre un problème de classification binaire en plaçant un hyperplan dans l'espace des données comme frontière de décision de manière à ce que :

*Cet hyperplan maximise le taux de bonne classification des échantillons d'apprentissage,

*La distance entre le plan et le pixel le plus proche est maximisée.

Ce plan est alors défini par une combinaison des échantillons les plus proches de ce plan, qui sont appelés à maximiser directement la classification, mais ses développements concernent principalement le problème à deux classes.

III.4.2.2.1 Principe de base des SVM [40, 44, 45, 46]

Initialement les approches SVM ont été proposées pour rechercher la séparation optimale entre deux classes : Soit X un ensemble de N exemples d'apprentissage dont chaque élément est représenté par une paire $(\overrightarrow{X_i}, Y_i)$ avec i=1…N, Y_i un label de classe pouvant prendre la valeur +1 ou -1 et $\overrightarrow{X_i}$ un vecteur de dimension K ($X_i \in R^k$). L'objectif du classifieur est de déterminer, à l'aide de ces données d'apprentissage, une fonction de décision $f(x,\alpha) \rightarrow y$ (avec α paramètres du classifieur) et de l'utiliser ensuite pour classifier de nouvelles données.

Dans le cas d'un classifieur linéaire, la fonction f peut être définie à l'aide d'un hyperplan d'équation :

$$\vec{w} . X + b = 0 \qquad \text{(III.3)}$$

Où $\vec{w}$ et b désignent les paramètres de l'hyperplan soit respectivement un vecteur normal au plan et le biais.

La classification d'un vecteur $\overrightarrow{X_i}$ est alors donnée par le signe de la fonction f

$$sgn\left[f_{\vec{w},b}(\overrightarrow{X_i})\right] \qquad \text{(III.4)}$$

C'est-à- dire $y_i=+1$ si $sgn\left[f_{\vec{w},b}(\overrightarrow{X_i})\right]>0$ (III.5)

Ou $y_i=-1$ si $sgn\left[f_{\vec{w},b}(\overrightarrow{X_i})\right]<0$ (III.6)

Le principe des approches SVM est de trouver l'hyperplan optimal parmi l'ensemble des hyperplans possibles (voir figure III.2) permettant ainsi de classifier correctement les données. Les données des classes de label +1 et -1 se trouvent de chaque côté de l'hyperplan. Les vecteurs les plus proches sont alors dénommés 'vecteurs supports' et la distance constitue la marge optimale.

Les vecteurs supports sont situés sur deux hyperplans parallèles (H_1 et H_2) à l'hyperplan optimal d'équation (III.3) ont pour équation respective (voir figure III.2):

$$\vec{w} \cdot X + b = -1 \quad \text{(III.7)}$$

Et $$\vec{w} \cdot X + b = +1 \quad \text{(III.8)}$$

Aucun échantillon d'apprentissage ne devant être situé dans la marge, ils satisfont les équations suivantes :

$$\vec{w}.\overrightarrow{X_i} + b \geq +1 \quad \text{Si} \quad y_i=+1, \quad \text{(III.9)}$$

$$\vec{w}.\overrightarrow{X_i} + b \leq -1 \quad \text{Si} \quad y_i=-1 \ \forall \ i=1,\ldots,N \quad \text{(III.10)}$$

Ces contraintes peuvent être regroupées en une seule inégalité suivante :

$$y_i\left(\vec{w}.\overrightarrow{X_i} + b\right) - 1 \geq 0 \quad \text{(III.11)}$$

Ainsi, la marge est au moins égale à la distance entre les deux hyperplans H_1 et H_2 soit $\frac{2}{\|\vec{w}\|}$, ou $\|\vec{w}\|$ sous la contrainte que l'hyperplan reste séparateur c'est-à-dire l'équation (III.12) est vérifiée quel que soit i $\forall$ i=1,…,N, (on retrouve ici la justification de l'appellation de 'séparateur à vaste marge').

On peut ainsi montrer, en utilisant des méthodes d'optimisation adaptées (principe de dualité et multiplicateurs de Lagrange), que le vecteur $\vec{w}^*$ réalisant l'optimum peut s'écrire sous la forme :

$$\vec{w}^* = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i{}^* \, y_i \vec{x}_i \quad \text{(III.12)}$$

Les $\propto_i^*$ sont les multiplicateurs de Lagrange déterminés et sont non nuls uniquement pour les points $\vec{x}_i$ se trouvant exactement 'sur la marge' c'est-à-dire les vecteurs supports.

Le calcul de b^* s'effectue soit en prenant un i particulier (un échantillon d'apprentissage) soit en calculant la moyenne de tous les b^* obtenus pour chaque vecteur support.

Soit $vs = \{j \in \{1,2,\ldots,l\} \text{tel que } \propto_j^* \neq 0\}$: l'ensemble des indices des vecteurs supports. Une fois les paramètres α^* et b^* calculés, la règle de classification d'une nouvelle observation $\vec{x}$ basée sur l'hyperplan à marge maximale est donnée par :

$$\sum_{j \in vs} y_i \propto_j^* \vec{x}.\vec{x}_j + b^* \quad \text{(III.13)}$$

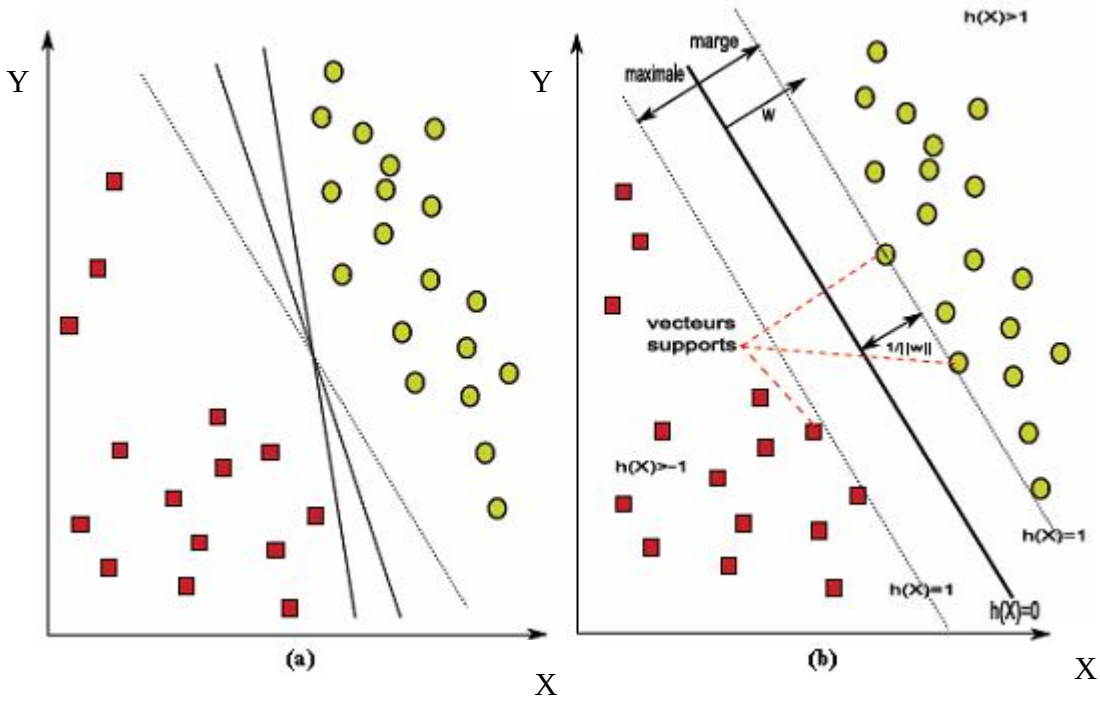


Figure III.2: Principe des SVM : (a) Recherche de l'hyperplan optimal ; (b) Hyperplan optimal, marge et vecteurs supports.

Chapitre IV

Applications pratiques

IV.1. Outil de traitement

IV.1.1. Présentation générale d'ENVI

ENVI (Environment for Visualizing Images) est un software spécialement conçu pour le traitement des images. Il permet ainsi de visualiser toutes sortes d'images satellitaires, radar ou autre, malgré la grande diversité de formats utilisés et d'appliquer différents traitements (Géoréférencement, Comparaison, Superposition, Classification…). Toutes ces fonctions sont accessibles à partir du menu principal d'Envi (figure IV.1) ou du menu de la fenêtre image (figure IV.2).

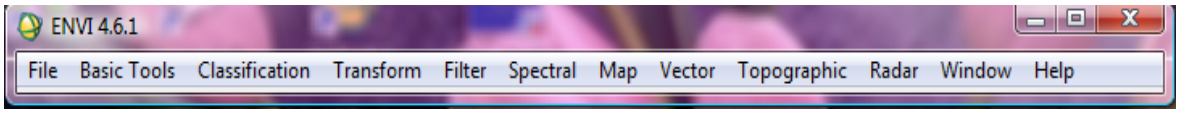


Figure IV.1: Menu principal.

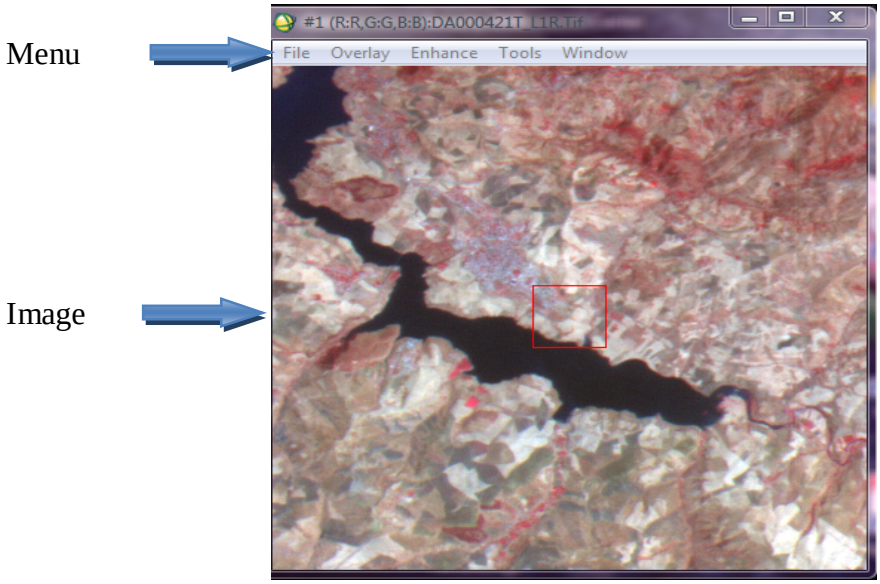


Figure IV.2: Menu de la fenêtre principal.

IV.1.2. Visualisation des images satellitaires

IV.1.2.1. La fenêtre « Available Band List »

Quand on ouvre un fichier contenant des images avec ENVI, la liste de toutes les bandes disponibles s'affiche dans une fenêtre appelée « **Available Band List**» (voir figure IV.3).

On a alors le choix entre charger une bande en niveau de gris en sélectionnant «**Gray Scale** » ou combiner trois bandes spectrales différentes pour reconstituer une image en couleur en choisissant « **RGB Color** ».

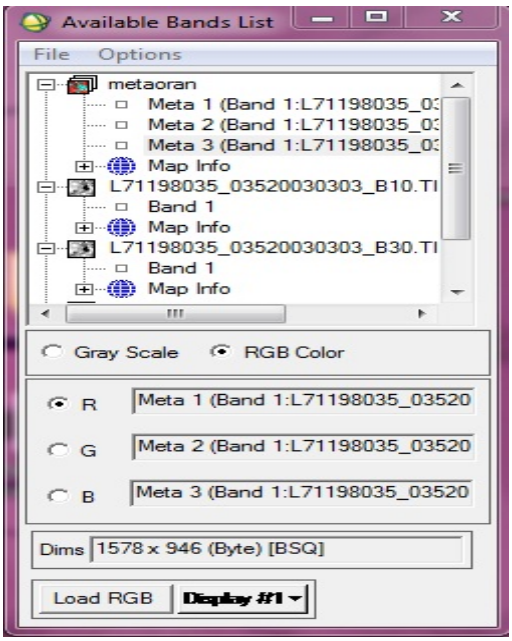


Figure IV.3 : Available Band list.

IV.1.2.2. Les différentes fenêtres images

Quand on clique sur « **Load Band** » au bas de la fenêtre« Availble Band List », ENVIouvre, par défaut, trois fenêtresdifférentes.

La fenêtre principale montre un morceau de l'image à pleine résolution. Ce sont ces fenêtres qui ont été reproduites jusqu'à présent.

La fenêtre " Scroll ", de taille plus réduite, montre elle l'image en entier. Le carré rouge représente la portion de l'image qui est visible dans la fenêtre principale.

La fenêtre " Zoom " est un agrandissement de la zone comprise dans le carré rouge de la fenêtre principale. Le grossissement est indiqué dans le titre. Ilpeut être augmenté oudiminué en cliquant respectivement sur le + ou le – dans le coin en bas à gauche.

Ouverture d'une image sous ENVI :

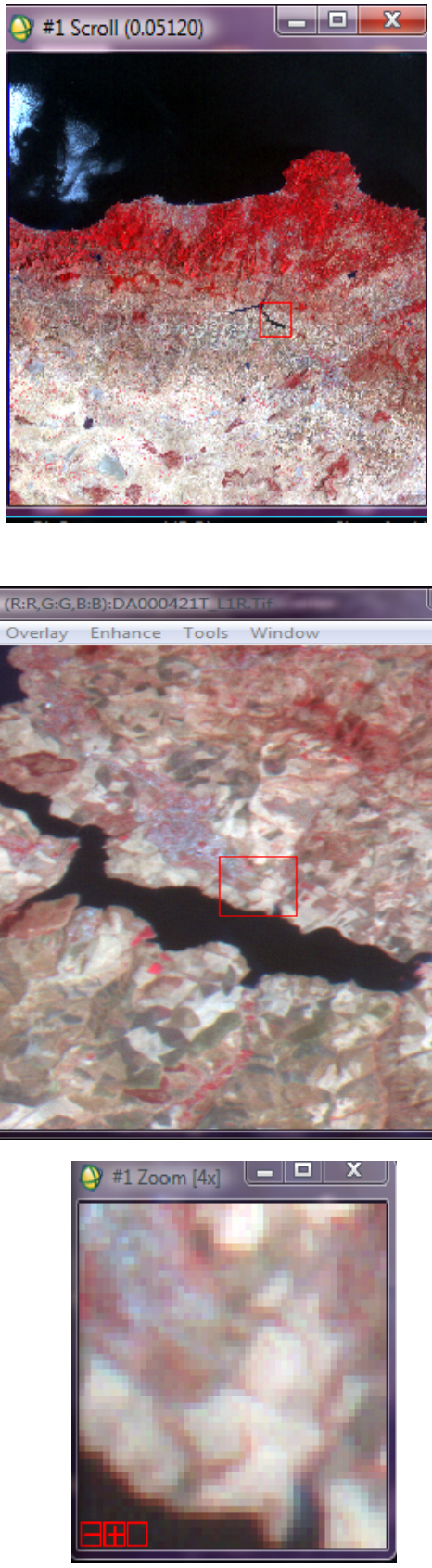


Figure IV.4 : Image satellitaire sous ENVI 4.6.1.

La figure IV.4 représente la recopie d'écran de l'image LANDSAT 7 lue à l'aide du software ENVI. ENVI a l'avantage de présenter l'image avec trois agrandissements.

IV.1.3. Nature et mode d'organisation des données

Les images acquise sont en mode RASTER et fournies sous différents formats, certains sont propres aux satellites concernés et contiennent les données brutes (SPOT, LANDSAT, IKONOS, NOAAH, etc.), d'autres sont spécifiques aux softwares de télédétection les plus connus (format LAN et img d'Erdas, PCI de PCI, BIL d'ArcGIS, etc.).

Dans le mode RASTER, l'espace est divisé en unités spatiales élémentaires. Cette unité spatiale élémentaire est appelée pixel (Picture element). La taille en unités de distance de ce pixel définit la résolution spatiale de l'image.

Un fichier RASTER peut être constitué d'un ou plusieurs plans. Une image couleur en mode RVB (Rouge, Vert, Bleu) contient trois plans de couleurs. En 8 bits, chaque plan de couleur correspond à des teintes variant de 0 à 255. 0 étant du noir et 255 est la couleur pure. La combinaison de trois valeurs 0 pour chaque plan produit une teinte noire. Au contraire, une teinte blanche est produite par combinaison de trois valeurs identiques de 255 pour les trois plans rouge, vert et blanc. Les images satellites peuvent contenir de nombreux plans. Chaque plan image correspond à une bande spectrale précise, c'est-à-dire à une longueur d'onde dans laquelle l'image a été acquise.

IV.2. Données LANDSAT 7 TM

Les données utilisées proviennent du satellite LANDSAT 7 TM (tableau IV.1) dont la diversité des canaux fournit à l'interprète une multitude d'informations à manipuler (7 bandes spectrales). L'image utilisée a été prise le 9 Aout 2010. Le mois d'Aout correspond à la période où l'activité végétale est développée, et où la structure du socle influence beaucoup la végétation. Le rehaussement des linéaments est donc plus aisé. De plus les données LANDSAT présentent l'avantage de bien faire ressortir les linéaments il cause de la basse valeur de l'angle solaire, de la suppression des détails spatiaux gênants et la couverture régional.

Nous disposions pour notre étude de deux scènes LANDSAT 7 TM :

- Une scène couvrant le nord-est de l'Algérie contient le nord de Sétif.
- Une scène couvrant le nord-est de l'Algérie contient le sud de Sétif.

Les deux images ont été acquises avec un prétraitement de niveau 1 qui correspond à une correction radiométrique des défauts dus aux écarts de sensibilité entre les détecteurs et une correction géométrique des distorsions internes due aux conditions de prise de vue : variation d'altitude du satellite, effet panoramique, courbure et rotation de la terre, etc… Ces images sont géoréférencées en UTM 31 N, WGS84. Une scène LANDSAT 7 TM couvre une large région (185km×185km) d'où la nécessité de faire des extraits ou des fenêtres pour chaque région étudiée.

Le tableau suivant (tableau IV.1) récapitule les caractéristiques des données utilisées, ainsi la localisation de ces données est figurée dans la figure IV.5.

Tableau IV.1 : Caractéristiques des données.

	1er scène	2ième scène
Type	Image orthorectifiée LANDSAT 7 TM	Image orthorectifiée LANDSAT 7 TM
Date d'acquisition	09/08/2010	25/08/2010
Path/Row	4°24'0.68''E, 37°0'4.10'' N	4°0'26.54''E,35°34'8.47''N
Nombres de canaux	3 (TM4, TM3, TM1)	3 (TM4, TM3, TM1)
Taille du pixel (en mètre)	30	30
Système de projection	UTM, WGS-84 (zone 31)	UTM, WGS-84 (zone 31)

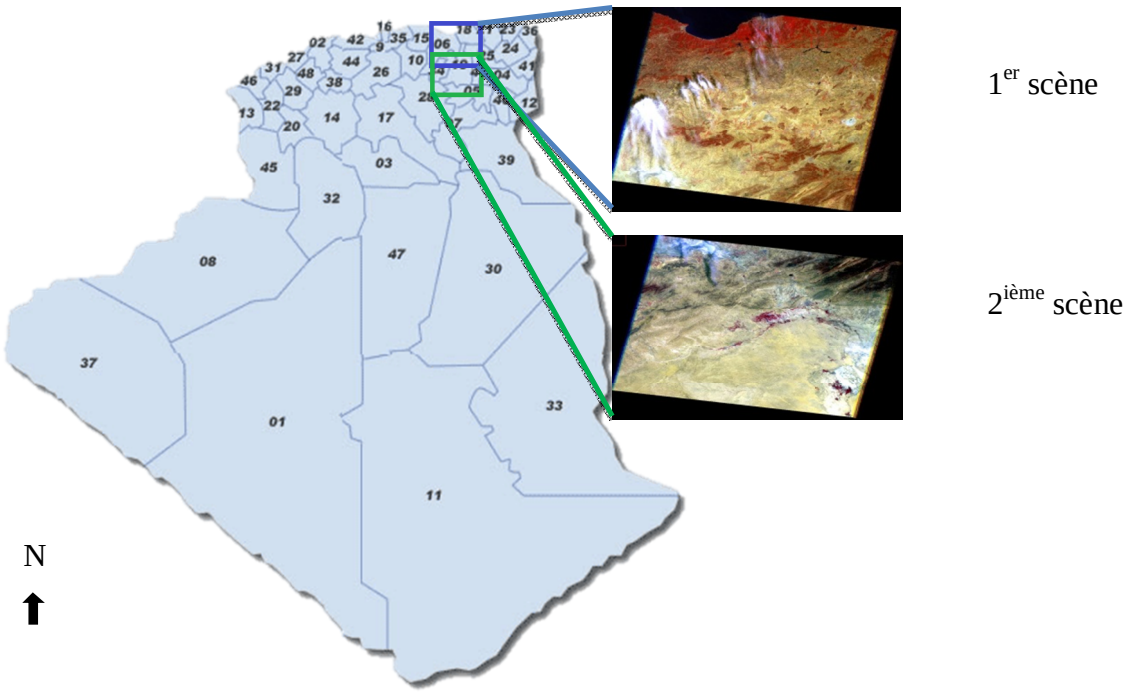


Figure IV.5: Localisation des deux scènes de LANDSAT 7TM.

IV.2.1. Méthodologie

L'obtention de cartes d'occupation du sol à partir d'imagerie satellitaire implique de nombreux prétraitements et traitements qui sont souvent particuliers à chaque image. En effet, dues aux conditions de prise de vue (épaisseur atmosphérique, angle de visée, heure de prise de vue, condition météorologiques…) et malgré la normalisation des images satellitaires (correction radiométriques et géométriques), deux images provenant du même capteur et enregistrées sur la même zone géographique ne sont jamais complètement identiques. Ainsi, les méthodologies de traitement se doivent d'être adaptées et sont donc sensiblement différentes. Cependant, le produit final devra respecter une norme en présentant une liste d'indicateurs ou classes de référence minimale car ces derniers seront pris en compte pour l'analyse de l'évolution du milieu.

IV.2.2. Composition colorée

Les images enregistrées par les satellites de télédétection en ‘observation de la terre’ se présentent, à l’origine, sous forme de valeurs numériques qui traduisent la radiométrie (quantité d’énergie) émise par des pixels de la surface terrestre dans différentes bandes spectrales d’enregistrement.

Pour obtenir une restitution visible de ces valeurs numériques, on a recours à la réalisation d’une composition colorée. Elle résulte de la synthèse colorée additive entre trois couleurs.

Les bandes 1,3 et 4 ont été choisies pour former le composé coloré 4-3-1 permettant une étude plus aisée des linéaments car elles mettent bien en évidence les ombrages.

La figure IV.6 représente la composition colorée infrarouge couleur de la 1er scène où on distingue entre les images (IV.6, a) concernant TM4, TM3, et TM1 tandis que, la figure (IV.6, b) nous donne la superposition des trois bandes.

Le résultat est montré par la figure (IV.6, c).

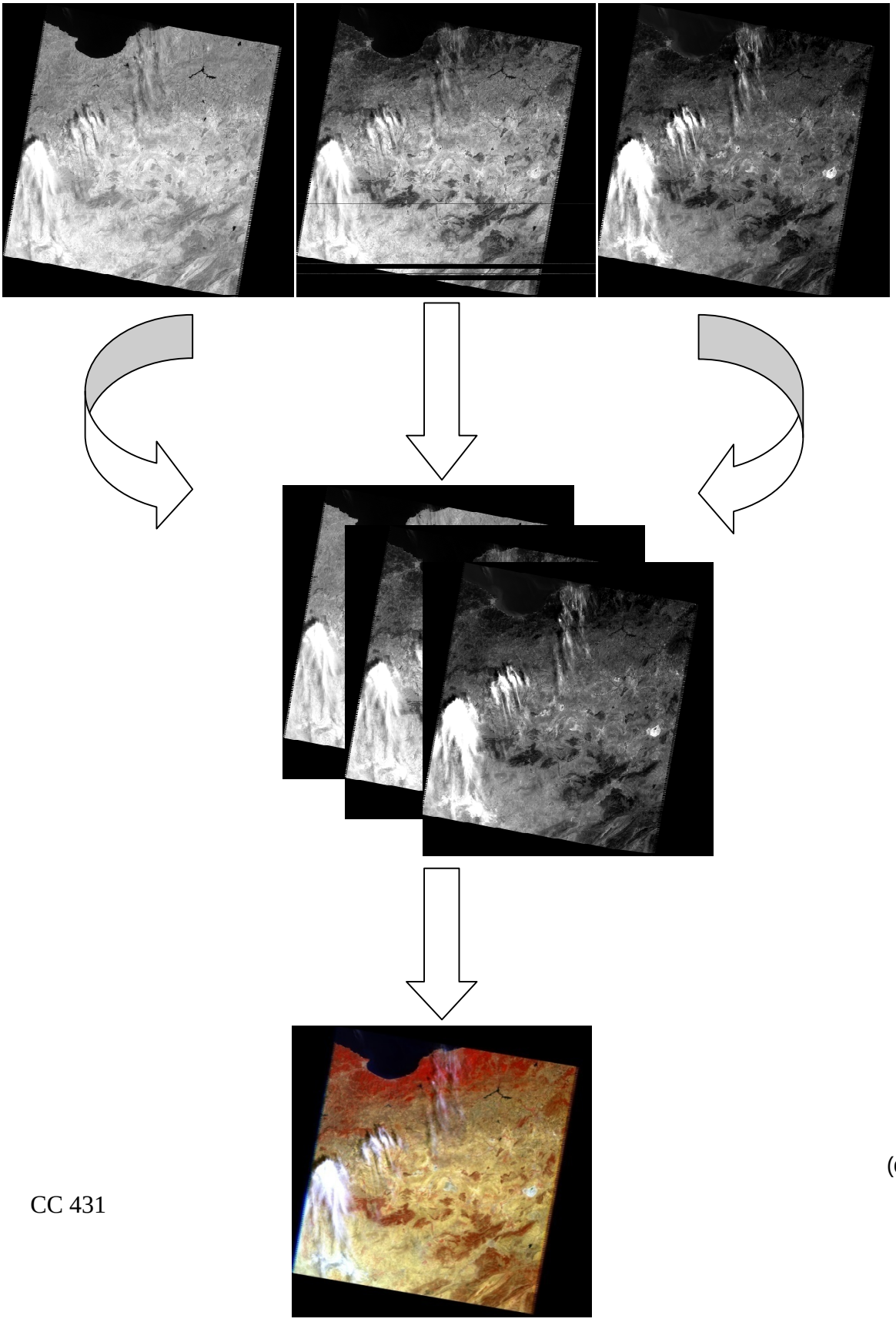


Figure IV.6: La composition colorée _ infrarouge couleur.

IV.2.3. Extraction de la zone d'étude

Lorsque l'étendue de la zone à cartographier dépasse le champ d'une image de télédétection, il est nécessaire de recourir à l'élaboration d'une mosaïque (voir figure IV.7). Donc l'extraction de notre zone d'étude (Sétif) a été réalisée en faisant une mosaïque de deux scènes d'images LANDSAT 7 TM (voir figure IV.5), chaque scène a été préalablement corrigée géométriquement et géoréférencée. Les couleurs ont été traitées de manière à obtenir le meilleur rendu possible. Le tracé de la frontière a ensuite été surimposé. La réalisation de la mosaïque est schématisée dans la figure qui suit (figure IV.7).

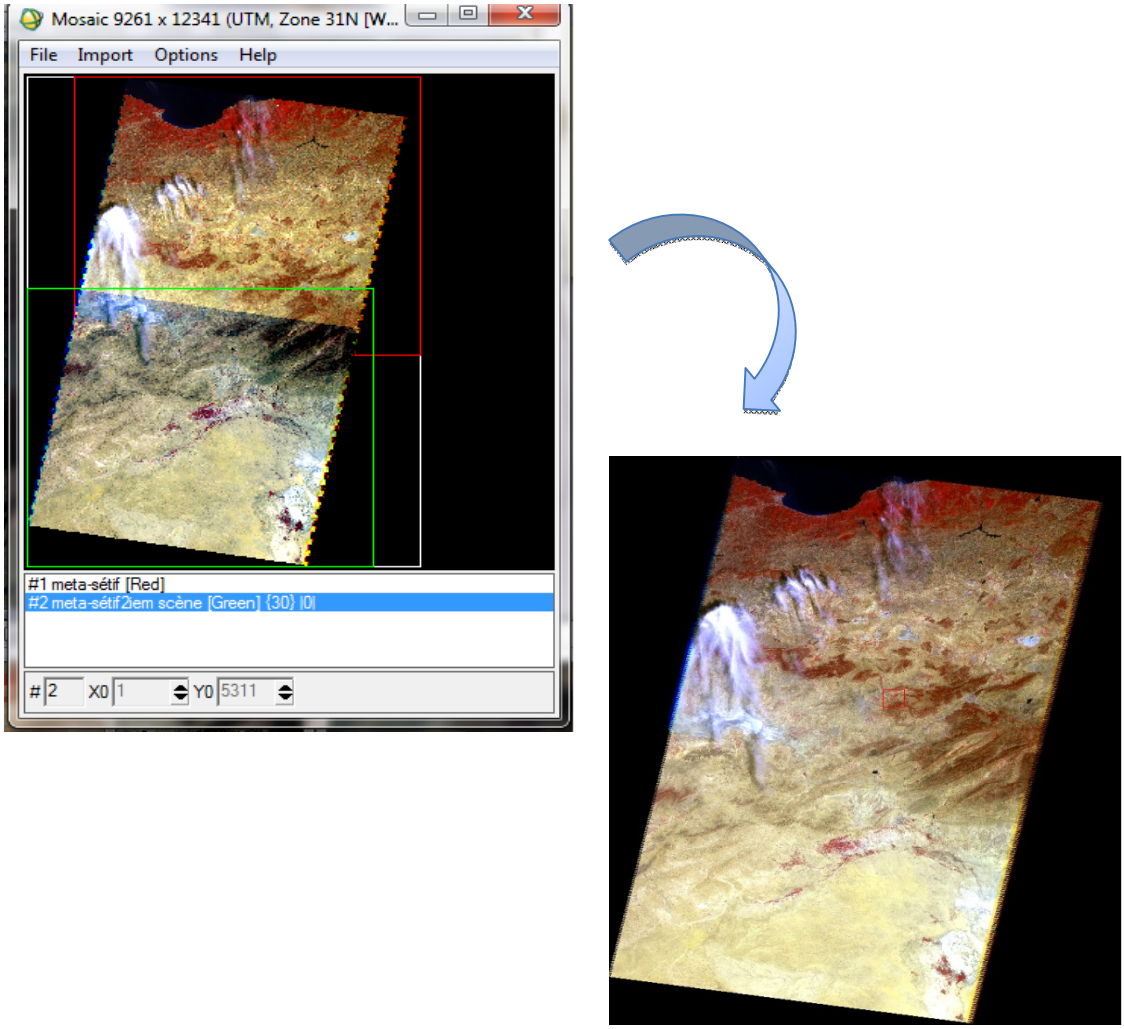


Figure IV.7 : Mosaïque de deux scènes sous ENVI.

L'image alors corrigée peut maintenant être découpée autour Sétif (notre zone d'étude), grâce à l'application du vecteur représentant les limites de la zone d'étude.

Le fichier vecteur de la base de données spatiale SIG a été extrait sous Arc-GIS. La base de données complète permet de récupérer chaque parcelle étudiée indépendamment les unes des autres.

De plus, un fichier vecteur de la limite communale de Sétif nous a été fourni et a été utilisé pour créer un masque géométrique afin de ne garder que la zone appartenant aux limites de la zone d'étude.

La figure IV.8 correspond à la création du masque géométrique de la wilaya de Sétif.

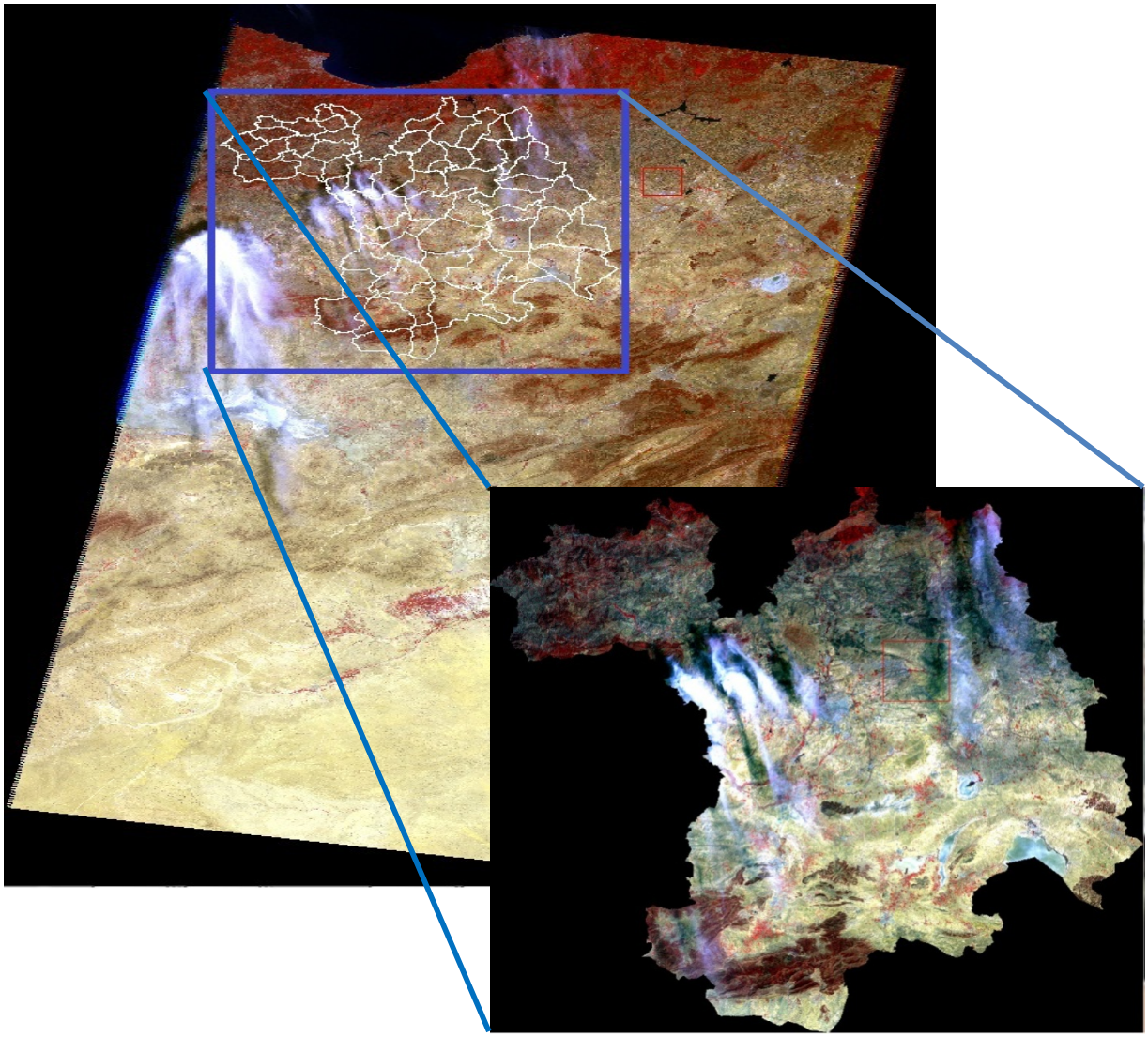


Figure IV.8 : Création d'un masque géographique de la limite de Sétif à partir d'une mosaïque d'images LANDSAT 7 TM.

Après la réalisation et l'affichage des images et compositions colorées sur ENVI.L'analyse statistique de ces données révèle la diversité des thèmes existants. Hormis, le thème plan d'Eau qui est facilement mis en évidence sur l'image, beaucoup d'autres thèmes présentent une similitude des réponses spectrales, ce qui implique quelques confusions entre ces thèmes. Ceci constitue un test idéal pour les classifications proposées.

Les différents thèmes contenus dans la zone d'étude (figure IV.9) correspondent presque aux différents pics perçus sur les histogrammes. Ces thèmes sont au nombre de onze et sont définis comme suit :

Thème 1 : Plan d'eau ; Thème 2 : Céréaliculture ; Thème 3 : Maraîchages ; Thème 4 : Jachères ; Thème 5 : Maquis exposé ; Thème 6 : Maquis non exposé ; Thème 7 : Urbain ; Thème 8 : Sebkha ; Thème 9 : Sol nu ; Thème 10 : Nuages ; Thème 11 : Brûlis.

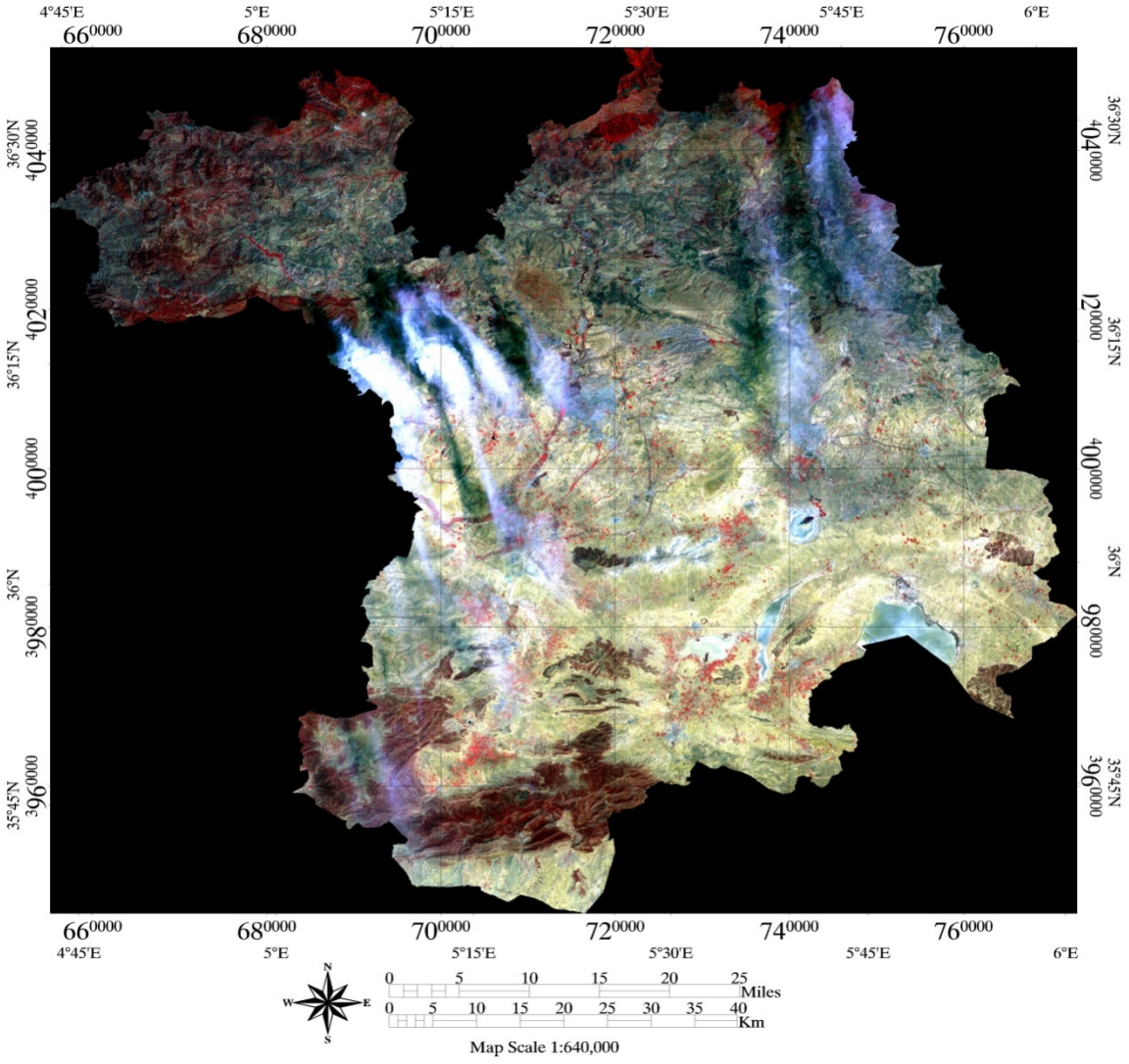


Figure IV.9 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude (Sétif).

Le radiomètre TM à bord de satellite LANDSAT 7 fournit des données codées et transmises sous forme numérique. Organisées en colonnes et lignes, ces données constituent une matrice qui peut être restituée sous forme d'images. La restitution repose sur une analyse de l'histogramme des valeurs contenues dans l'image, un découpage en classes ou un étirement de la dynamique exprimée par l'histogramme, le choix d'une palette de gris ou de couleurs adaptée.

L'image numérique, comme toute population statistique, se caractérise par des descripteurs dont la fonction est de produire des repères pour orienter les traitements nécessaires à son exploitation.

La réalisation des histogrammes consiste à classer les pixels selon la fréquence de leurs valeurs radiométriques. La figure IV.10 correspond à l'histogramme relatif aux 3 canaux TM4, TM3 et TM1 de LANDSAT 7.

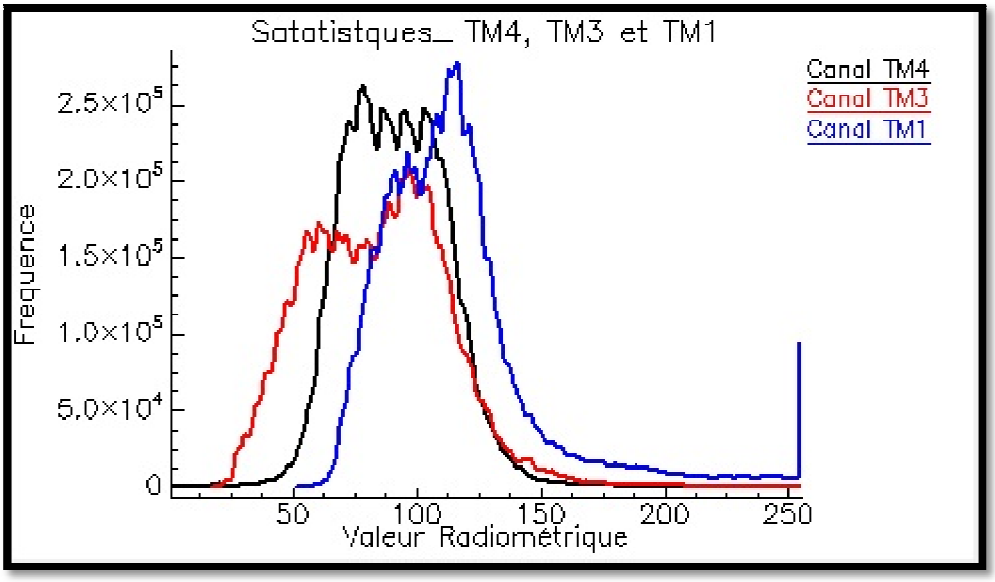


Figure IV.10 : Histogramme de l'image de Sétif relatif aux 3 canaux de LANDSAT 7.

L'histogramme (figure IV.10) exprime, par classe de niveaux de gris, le nombre d'occurrences (effectif ou fréquence absolue) de comptes numériques CN_k observés dans l'image. Divisée par le nombre total de pixels, la fréquence est dite relative. L'histogramme ainsi normalisé propose la distribution de la probabilité d'apparition des niveaux de gris. Les pics sont appelés modes. Une image bimodale est donc une image présentant deux pics. Les modes jouent un grand rôle dans les procédures de classification. Un pic de valeurs laisse présager l'existence d'une classe spectrale ou catégorie thématique.

L'histogramme exprime la dynamique de l'image, c'est-à-dire l'étendue des niveaux de gris ou encore l'état de contrastage. Plus la dynamique est large, plus l'image exprime des nuances et des détails. Dans le même état d'esprit, on retient les valeurs minimale et maximale de l'histogramme. La dynamique est un bon indicateur de la capacité qu'offre une image dans l'extraction de classes spectrales qui est l'un des objectifs principaux du traitement d'images. Une dynamique étroite signifie qu'un nombre réduit de valeurs différentes est présent et que de nombreux objets s'expriment par le même compte numérique et ne seront, par conséquent, pas différenciables. Au contraire, une dynamique étendue, offre plus de possibilités de segmentation, donc de différenciation.

Les statistiques relatives aux 3 canaux sont regroupées dans le tableau IV.2.

Bande	Min	Max	Moyenne	Ecart-type
1	1	255	91.433299	20.173559
2	17	255	84.160775	27.884213
3	51	255	115.719371	33.793111

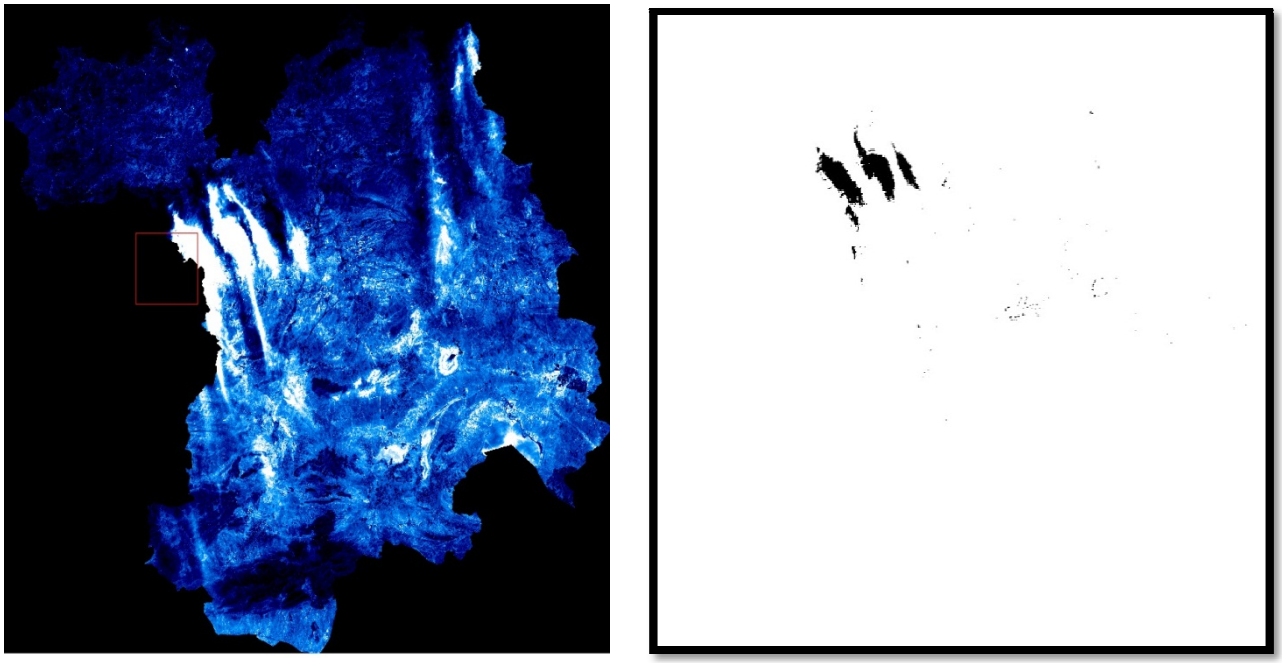
Figure IV.2 : Statistiques relatives aux 3 canaux TM.

IV.2.4. L'application de masque radiométrique

- **Masque nuages**

Un problème récurrent lors de l'acquisition des images satellitaires est la présence de nuages. Ces dernières sont clairement identifiées lors de l'interprétation visuelle de notre zone d'étude donc on doit les isoler à travers la création de masques inversés permettant de cacher ces zones pour ne pas en tenir compte lors du traitement automatique des données (figure IV.11, b).

Les nuages ont une forte réflectance dans le canal TM1 et une faible réflectance dans le canal TM4, donc on l'applique sur le canal TM1, après test de différents seuils, les zones avec des valeurs supérieures à 250 et inferieures à 190 ne seront pas masquées (voir figure IV.11).



(a) (b)

Figure IV.11: Masque radiométrique :(a) Situation nuageuse (image captée par la bande bleu TM1) (b) Masque des nuages.

IV.3. Application ALSAT1

Les images retenues dans le cadre de cette application ont été prises par le micro satellite ALSAT 1. Octobre 2007. Elles ont une taille 2003 en ligne et 2453 en colonne, extraites à partir d'une scène de 600 x 560 km de la région de Tlemcen. Leur contenu informatif correspond à des données brutes, entachées de certaines erreurs. Ces images ne sont exploitables qu'après avoir subi des corrections radiométriques (développement en cours) et géométriques. Le tableau suivant regroupe les caractéristiques de micro satellite ALSAT 1

Tableau IV.3: Caractéristique de Micro Satellite Alsat1.

Date de lancement	28 novembre 2002	
Altitude	680 km – 98° inclinaison	
Dimensions	600 x 600 x 600 mm	
Poids	90 kg	
Système de prise Vues	Mode de prise de vue	Pushbroom
	Imageur multispectrale CCD	2 banks overlapping @ 5%.
	bandes Spectrales	(NIR, R, G)
	Focal	150 mm
	Résolution / Swath width	32 m / 600km
	Nombre de pixels	10200 pixels par caméra
Capacité de stockage	1Go byte	
Bandes spectrales	Bande 2 (Vert) 0.52 – 0.62µm	
	Bande 3 (Rouge) 0.63 – 0.69µm	
	Bande 4 (PIR) 0.76 – 0.90µm	
Résolution spatiale	32 m	
Dimension d'une scène	600 x 560 km (max.)	
Délai de repassage	5 jours	
Vocation	Observation de la terre	

IV.3.1. Traitement d'image

Avant d'exploiter l'information spatiale de l'image satellitaire, il est nécessaire de faire certains traitements :

IV.3.1.1. Réalisation de la composition colorée (zone de Tlemcen)

La composition colorée est un traitement utile et largement utilisé, elle consiste à superposer des images de différents canaux afin d'obtenir une image colorée.

Pour notre cas, une composition colorée a été faite par la superposition des trois canaux proche infrarouge, rouge et vert des données ALSAT 1 avec l'affectation des trois couleurs primaires dans l'ordre respectif rouge, vert et bleu. Ce traitement a permis de faire ressortir les différents thèmes existants à savoir :

L'activité chlorophyllienne en rouge ;

Les sols nus en clair ;

Les agglomérations en bleu-gris, etc.

Ce traitement permet de mettre en évidence le maximum de thèmes. Il facilite le choix des points d'appui pour la correction géométrique et la localisation des échantillons pour la classification supervisée de l'image.

La figure IV.12 correspond à une composition colorée à partir des 03 canaux ALSAT 1 (Vert, Rouge et proche Infrarouge) de la région de Tlemcen.

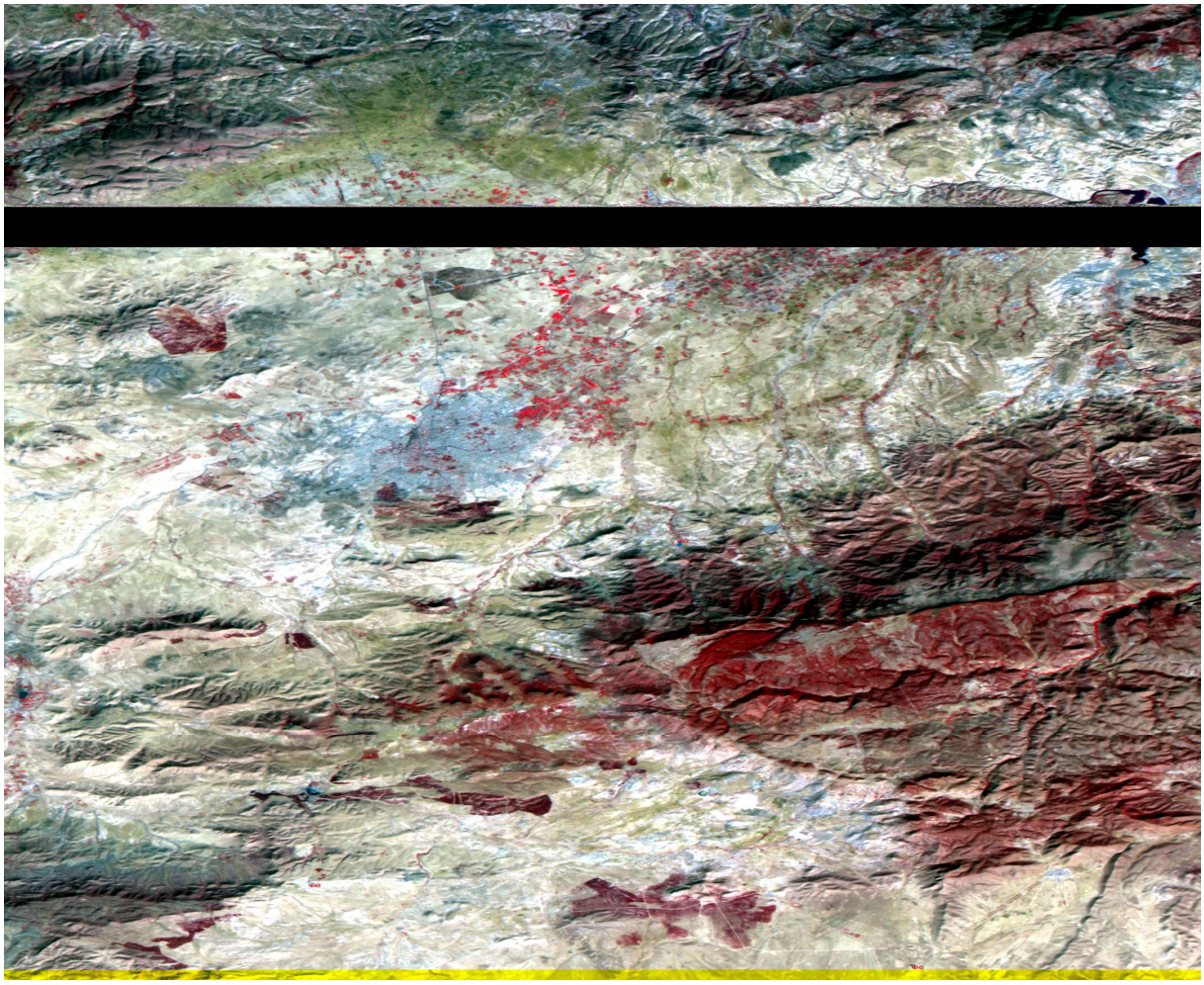


Figure IV.12 : Composition colorée ALSAT1 de la région d'étude – Tlemcen.

IV.3.1.2. Correction géométrique

Géoréférencement

Le géoréférencement est l'acte de situer spatialement un objet par rapport à un système de coordonnées connu. Dans notre cas, il s'agit donc d'attribuer des coordonnées géographiques aux zones contenues dans les images satellitaires. Pour ce faire, il est nécessaire de définir des points de repère dont les coordonnées sont connues et de référencer tous les pixels de l'image selon ces points de repère. Un système GPS peut être utilisé directement sur le terrain. Il est aussi possible de référencer une région à partir de données cartographiques déjà existant pour la région.

Le travail de manipulation de données spatialisées nécessite en premier lieu de constituer une base de donnée la plus homogène possible (Géoïde et ellipsoïde de référence identique, …) dont l'objectif est de réaliser une correction géométrique la plus fine possible de l'image ALSAT1, il est nécessaire d'utiliser des points côtés de référence les plus précis possible.

a) Sélection des points d'appui :

L'acquisition des points d'appui terrain est une des opérations la plus critique, parce qu'elle influence directement les résultats de la correction géométrique ; les trois (03) plus importants facteurs à considérer dans cette opération sont les suivantes :

- La bonne précision dans la localisation et la détermination des coordonnées images dans le système de référence choisi (image dans notre cas),
- La bonne distribution spatiale des points,
- Le nombre de points.

Les points doivent être petits et bien reconnaissable. Le choix se fait généralement sur les intersections de route, les confluences de rivières, etc. Parfois il est très important que la distribution des points choisis soit aussi uniforme que possible, commençons à partir du bord et puis couvrant toute l'image.

b) Mesure des points d'appui (enregistrement) :

La qualité du pointé dépend du document utilisé et de l'opérateur.

L'image numérique brute fournie par Alsat1 présente des distorsions géométriques. Cette opération est nécessaire pour la superposition d'une image à une référence. Il

peut s'agir d'une autre image ou d'une carte. Différents types de corrections géométriques sont disponibles, leur but est de rendre l'image de télédétection superposable à une référence géographique (géoréférencement de l'image). La méthode que nous avons adaptée est la rectification polynomiale. Ce type de rectification utilise une transformation polynomiale de degrés n pour caler l'image géométriquement au système de projection de référence. Cette transformation est de la forme:

$$\begin{cases} X = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n-j} a_{ij} U^i V^j \\ Y = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=o}^{n-j} b_{ij} U^i V^j \end{cases} \quad \text{(IV.1)}$$

- (X, Y) : les coordonnées de référence.
- (U, V) : les coordonnées images à corriger.
- a_{ij} et b_{ij}: sont les coefficients du polynôme à déterminer.
- n : le degré du polynôme.

La correction a été réalisée à partir de 9 points d'appui identifiés sur l'image (ligne, colonne).L'ordre du polynôme utilisé dans notre travail est le degré 1 (n=1). La précision de la localisation des points est évaluée par l'erreur résiduelle au niveau de chaque point. Le tableau ci-dessous récapitule les différents écarts constatés :

Tableau IV.4 : Liste et coordonnées des points d'appui.

N° point	x Image	y Image	X Réf	Y Réf	X predict	Y predict	X erreur	Y erreur	RMS
1	700.00	804.50	4615.50	6691.00	4616.23	6690.73	0.73	-0.27	0.78
2	974.00	608.00	4930.00	6554.50	4930.66	6554.66	0.66	0.16	0.68
3	399.00	1829.50	4081.50	7611.00	4081.25	7611.73	-0.25	0.73	0.78
4	93.00 -	287.00	4147.00	6082.00	4146.49	6082.02	0.51	0.02	0.51
5	1472.50	469.50	5451.50	6515.50	5451.51	6515.88	0.01	0.38	0.38
6	1646.50	2191.50	5182.00	8206.50	5181.74	8206.87	-0.26	0.37	0.45
7	1415.50	154.50	5476.00	6202.50	5475.19	6202.30	-0.81	-0.20	0.84
8	856.00	2166.50	4436.50	8025.50	4436.21	8024.78	-0.29	-0.72	0.78
9	1114.00	1313.00	4892.00	7258.00	4892.73	7257.53	0.73	-0.47	0.86

RMS total : 0.695461

L’erreur moyenne résiduelle (RMS) totale est de l’ordre de 0.695461, ce qui affirme une bonne correction géométrique.

Le résultat de cette correction est schématisé dans la figure suivante :

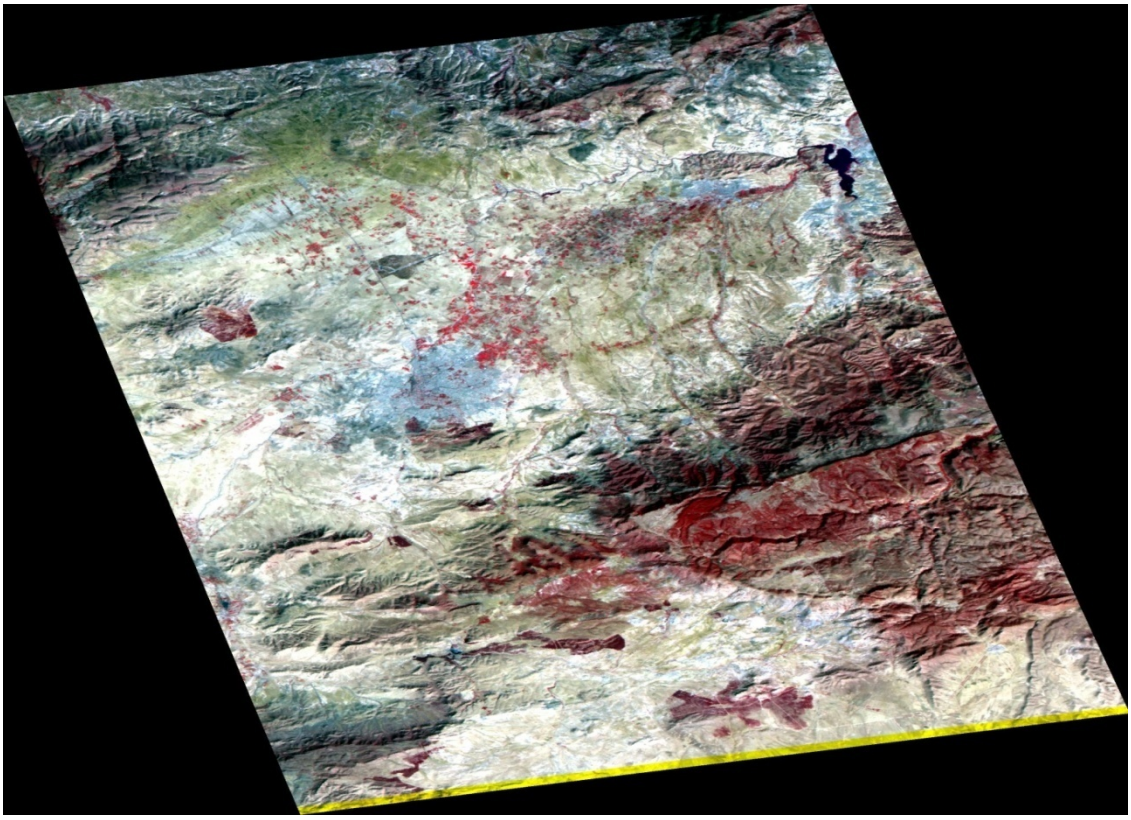


Figure IV.13:Composition colorée AlSAT1, corrigée géométriquement.

IV.4. Données LANDSAT7 ETM+

IV.4.1. Prétraitement des images ETM+ de la région d'Oran

La phase préliminaire de traitement des images satellitaires consiste à éliminer les bruits radiométriques dans les bandes ETM+ et à corriger les distorsions géométriques afin de les rendre parfaitement superposables aux cartes thématiques existantes (cartes topographiques, géologiques et photogéologiques). Les images ETM+ utilisées ici apparaissent sans bruit radiométrique majeur et ne nécessitent donc pas des traitements importants. Seule l'atténuation des effets d'ombrage liés au relief a été réalisée, grâce aux rapports de bandes ETM+3/ETM+4, ETM+4/ETM+5, ETM+4/ETM+6 et ETM+4/ETM+7. Le réechantillionnage de la bande ETM+ 6 a donc été nécessaire pour ramener les pixels de 60 m à 30 m de côté.

Le tableau IV.5 nous donne les caractéristiques des trois canaux utilisé d'ETM+.

Tableau IV.5 : Caractéristiques des trois canaux de LANDSAT 7ETM+.

Type de capteur	Résolution spectrale µm	Résolution spatiale Mètre	Largeur de champ km	Temps de passage à l'équateur	Altitude orbitale km
ETM+	Canal 1 0.450-0.515	30 × 30	185	16 jours	705
	Canal 2 0.630-0.690	30 × 30			
	Canal 3 0.750-0.900	30 × 30			

Le site d'étude est la région d'Oran, en Algérie, qui s'étend entre 0° 58' à 0° 27' de longitude est et 35 °32' à 35 °52' de latitude nord (figure IV.14).

Les données satellitaires utilisées pour représenter l'occupation des terres de la zone d'étude sont celles provenant du capteur ETM+de Landsat-7, acquises le 12 février 2002 et présentées par une fenêtre de 1578 x 946pixels sur les bandes 1 (bleu), 3 (rouge) et 4 (proche infrarouge). La résolution spatiale est de 30 x 30 m.

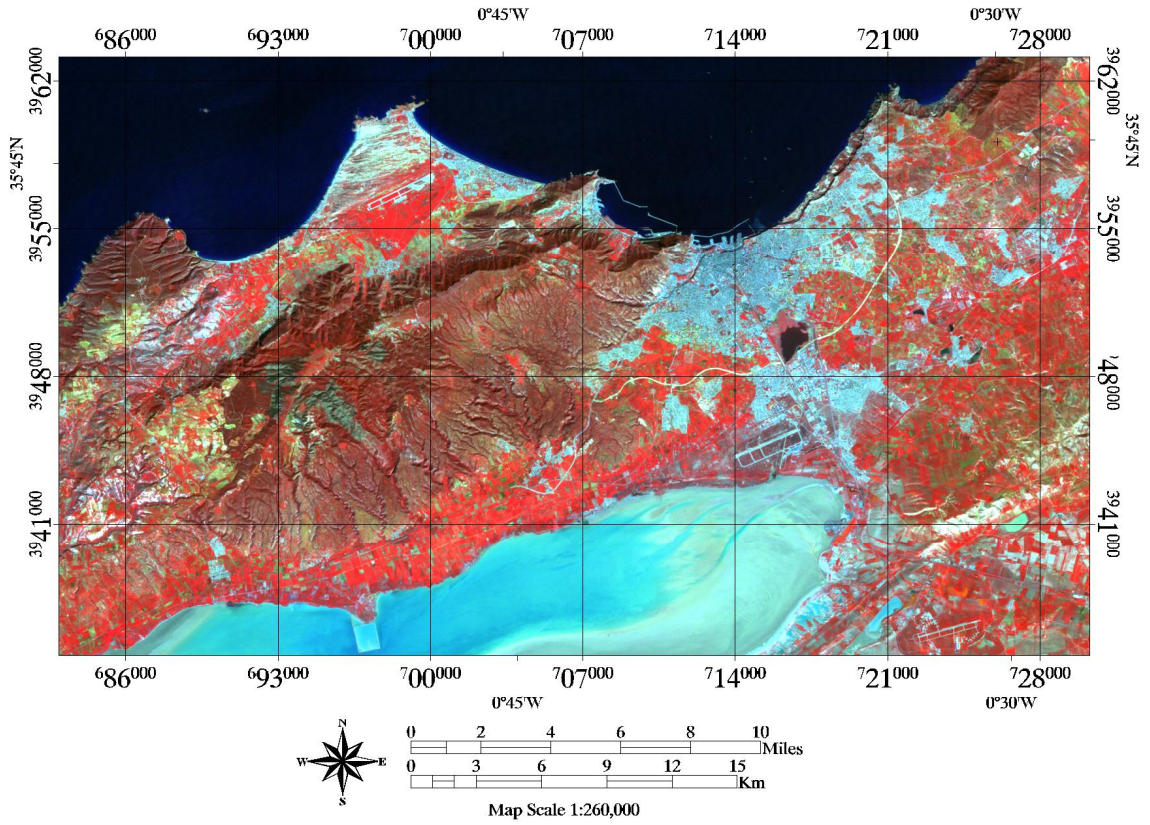


Figure IV.14: Composition colorée des trois canaux ETM+1, ETM+3 et ETM+4 de la région d'étude – Oran.

IV.4.2. Identification des différents thèmes en se basant sur les signatures spectrales

En mode multibande, chaque ligne est donc constituée de 1578 carrés élémentaires ou pixels de 30 m × 30 m, chacun d'entre eux étant affecté d'une valeur radiométrique qui caractérise sa réflectance codée de 0 à 255 (sur un octet).

L'image observée dans un canal donné est en fait un tableau numérique où chaque pixel est défini par sa position géographique en lignes et colonnes et par sa réflectance qui dépend de sa nature.

Nous utilisons des sous-scènes de LANDSAT 7ETM+ dont le côté longueur est de 946 pixels et le côté largeur est de 1578 pixels, soit environ 1 400 000 données numériques pour chacun des trois canaux.

A chaque pixel est affecté une valeur radiométrique mesurée par le satellite et correspondant à la lumière" émise ou réfléchie par la surface correspondante au sol, le résultat est montré dans la figure IV.15.

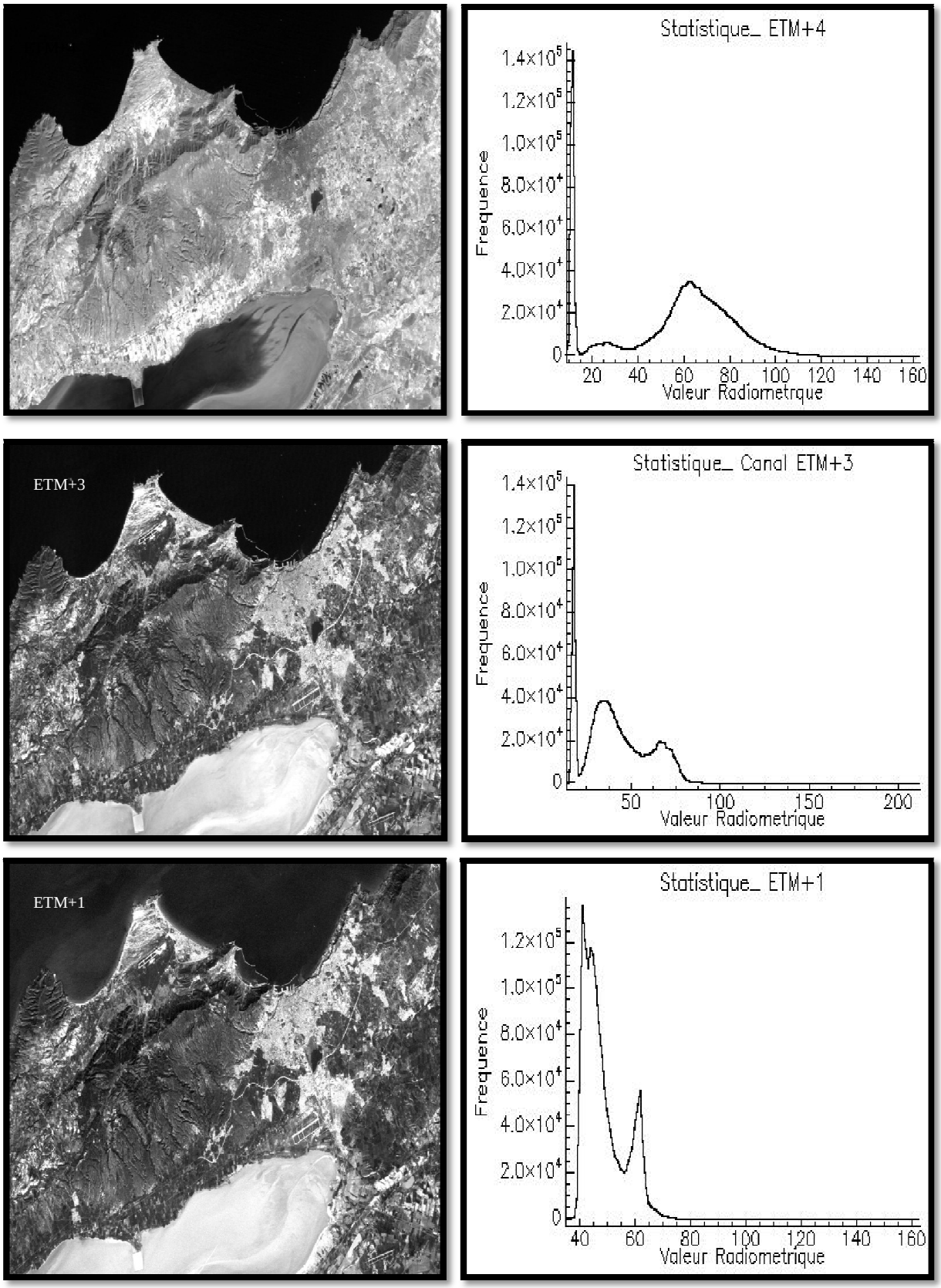


Figure IV.15 : Images et histogrammes des 3 canaux ETM+4, ETM+3 et ETM+1.

Les images des 3 canaux sont représentées en niveaux de gris avec une dynamique linéaire.

L'histogramme du canal ETM+4 est bimodal : les pixels noirs et gris très foncé correspondent aux comptes numériques compris entre 10 et 20 (réflectances très faibles de la mer), les pixels gris moyen correspondent aux surfaces terrestres (comptes numériques entre 40 et 120).

Les histogrammes des canaux ETM+3 et ETM+1 sont tri-modal : un troisième pic est observé relatif aux pixels gris claire qui correspondent aux urbain (comptes numériques entre 40 et 50).

Les statistiques extraites à partir de la figure IV.15 sont regroupé dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 : Statistiques relatifs aux 3 canaux ETM+.

Bande	Min	Max	Moyenne	Ecart-type
1	9	163	54.693795	26.753284
2	14	212	41.401460	18.225667
3	35	163	48.794532	7.495886

IV.5. Classifications

Le principe de la classification d'image est d'attribuer à chaque point une classe choisie parmi une collection de classes possibles. Si le nombre de classes et leurs règles d'appartenance sont fixées au départ, on parle de classification supervisée. Si, par contre, on désire réaliser une classification sans connaissance a priori du nombre de classes ou de leurs caractéristiques, on effectue alors une classification dite non supervisée.

Le but d'une classification est de simplifier la réalité d'un paysage pour pouvoir l'interpréter plus facilement. Cela consiste en fait à simplifier la radiométrie de l'image brute, qui représente le paysage, par la formation de classes.

IV.5.1. Classifications non supervisées

Dans cette partie, on testera les différentes méthodes de classification non supervisée (K-Means et ISODATA) des images.

Toutes les méthodes de classification considérées dans cette étude traitent chaque pixel individuellement. Due à la variabilité spectrale certains pixels ne sont pas associés à la bonne classe de culture surtout en périphérie des champs.

L'organigramme suivant présente, de manière synthétique, la méthodologie pour la classification non supervisée.

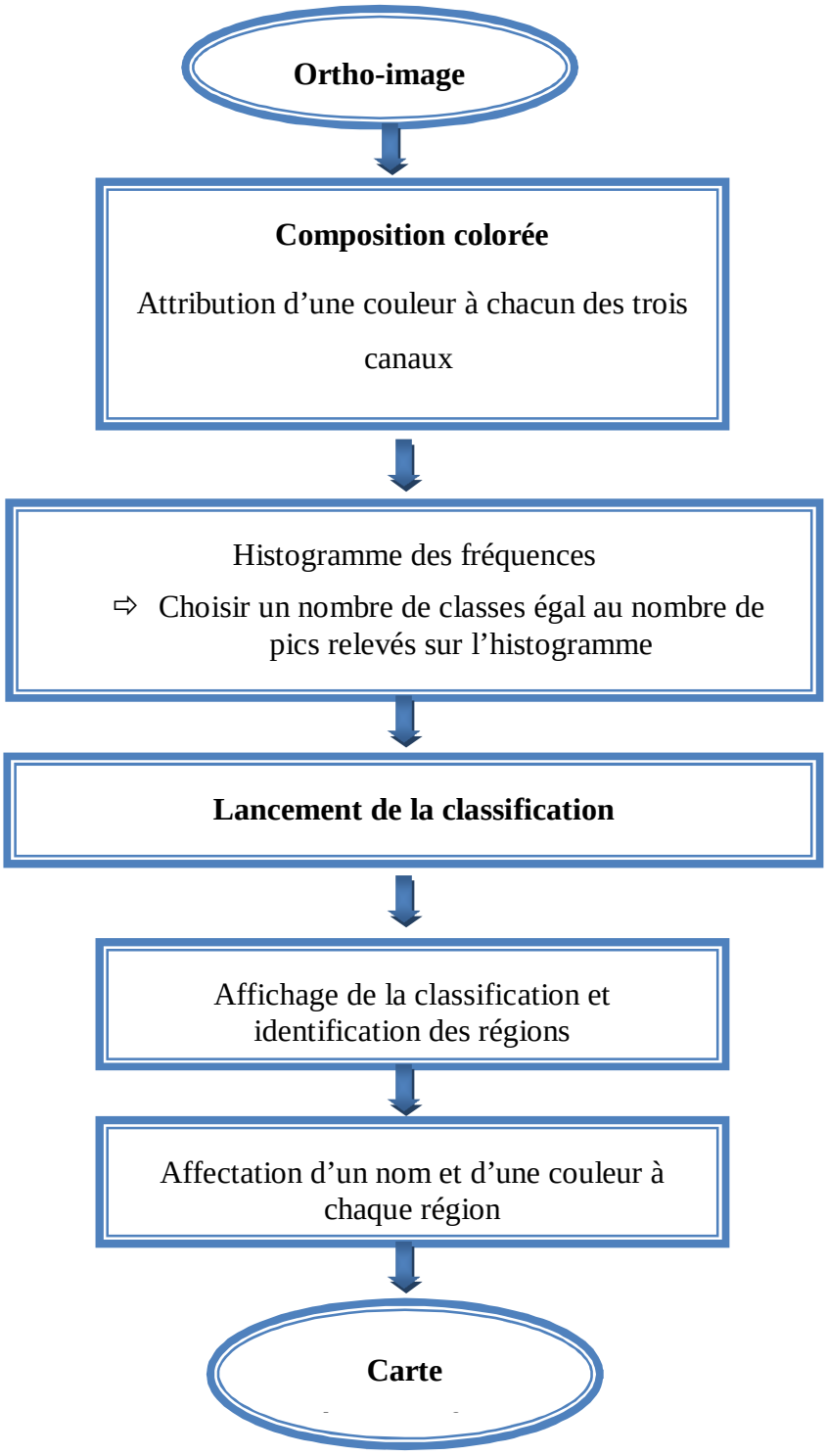


Figure IV.16: Les étapes de la classification non supervisée.

Le premier traitement par classification non supervisée est par la méthode de K-Means (K-Means : regroupement de pixels de l'image au centre de classes, régulièrement distribués dans l'hyperespace, les plus probables (statistiques)) a permis une analyse régionale des grands types homogènes de couvertures végétales.

Sur la figure IV.17, on présente le résultat d'une classification faite à l'aide de l'algorithme K-Means et appliqué à notre site d'étude 'Oran'. Ce test a été réalisé en fixant le nombre de classes à 8, ce nombre étant égal au nombre de thèmes existant sur cette portion du site d'étude. Le nombre d'itérations est fixé à 30 mais il converge à 6 itérations.

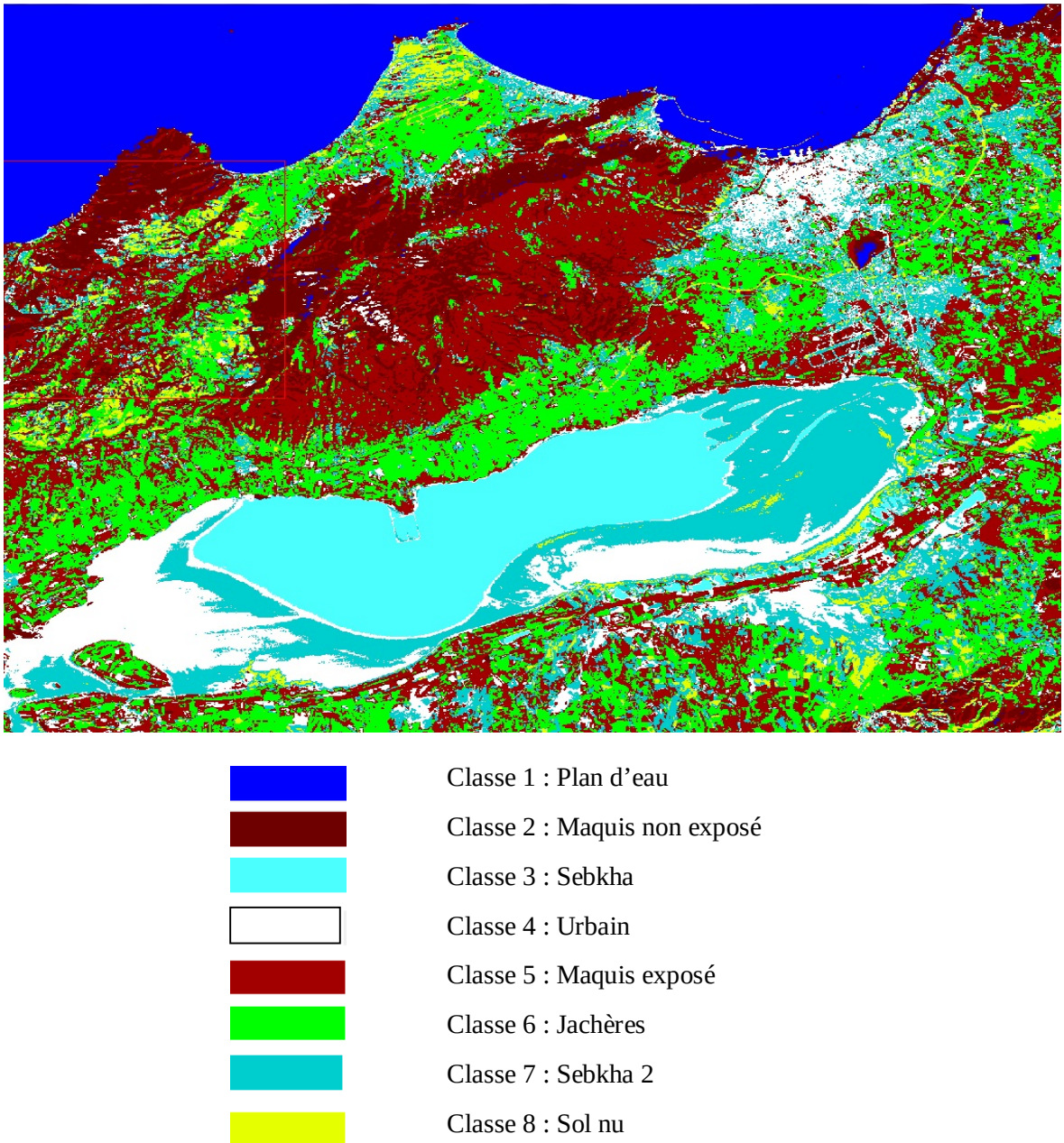


Figure IV.17: Classification du sol en huit classes avec une méthode non supervisée (K-Means).

Le second traitement par classification non supervisée est en valeur égales (Isodata : regroupement des pixels de l'image aux centres des classes, régulièrement distribués dans l'hyperespace, les plus proches (distance)) a été réalisé pour compléter l'analyse et valider ou invalider le premier traitement. Après une réalisation de plusieurs scénarii de classifications, 08 classes ont été finalement retenues.

Sur la figure IV.18, on présente le résultat d'une classification faite à l'aide de l'algorithme ISODATA avec un nombre de classes [5, 10] et le même nombre d'itérations que pour l'algorithme K-Means.

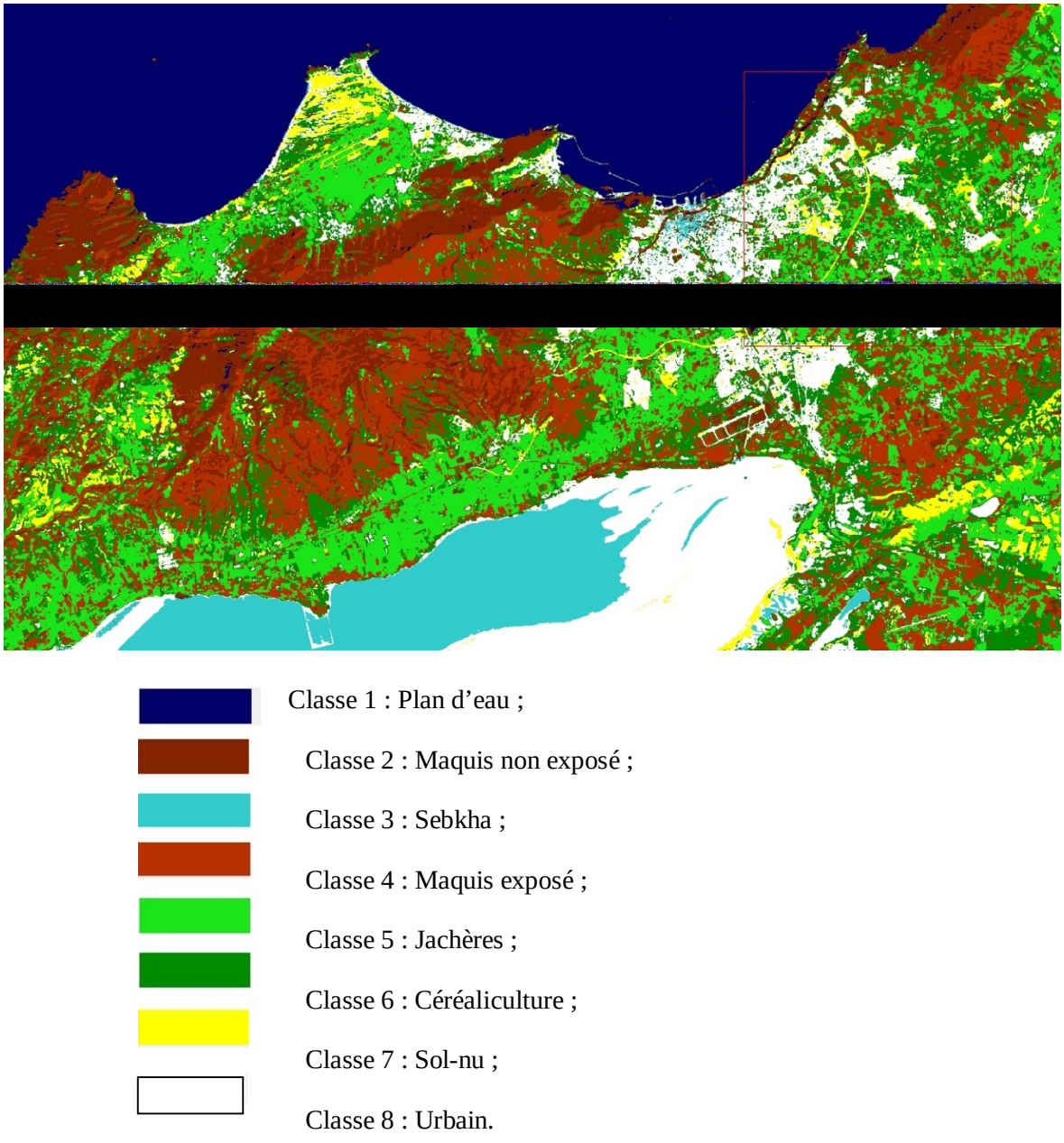


Figure IV.18: Classification du sol en huit classes avec une méthode non supervisée (ISODATA).

Le tableau IV.7 récapitule le paramétrage utilisé pour les deux méthodes de classification non supervisées (K-Means et ISODATA).

Tableau IV.7 : Paramétrage utilisé et comparaison entre les 02 algorithmes.

Algorithme	Nombre de classes	Nombre d'itérations	Convergence	Critère d'arrêt
K-Means	8	30	6	5%
ISODATA	[5, 10]	30	6	5%

Le seuil de 5% signifie que la classification par les deux méthodes K-Means et ISODATA est terminée lorsqu'un nombre de pixels ≤ 5% change de classe entre les itérations n-1 et n. Ceci signifie qu'un nombre d'itérations supérieur n'apporte qu'une légère amélioration de la classification finale. Plus ce seuil est petit plus la classification est précise.

L'homogénéité et l'étendue des classes donnant une impression des principales unités paysagères ont été appréciées avant d'aller sur le terrain grâce à la consultation de pré classifications de l'image satellitaire.

D'après les figures IV.16 et IV.17 on constate de la confusion, plus particulièrement entre les classes « Urbain et Sebkha » et« Plan d'eau et Maquis » Cette confusion est due à la similitude des réponses spectrales entre les classes.

Le résultat de la classification des images est représenté dans les tableaux qui suivent:

Tableau IV.8: Statistiques obtenue par les 2 algorithmes pour la classe plan d'eau.

Algorithme	Nombre de classes	Centre de classe	Nombre de pixels	Pourcentage	Thème
K-Means	01	TM4 12.018 TM318.323 TM141.694	298,309	19.983%	Plan d'eau
ISODATA	01	TM4 31 TM3 42 TM1 58	297,672	19.941%	Plan d'eau

Tableau IV.9: Statistiques obtenue par les 2 algorithmes pour la classe Sebkha.

Algorithme	Nombre de classes	Centre de classe	Nombre de pixels	Pourcentage	Thème
K-Means	01	TM4 26.931 TM3 66.210 TM1 61.578	87,065	5.832%	Sebkha
ISODATA	01	TM4 27.301 TM3 66.165 TM1 61.525	89,154	5.972%	Sebkha

Tableau IV.10: Statistiques obtenue par les 2 algorithmes pour la classe Urbain.

Algorithme	Nombre de classes	Centre de classe	Nombre de pixels	Pourcentage	Thème
K-Means	01	TM4 57.574 TM367.888 TM1 60.200	170,325	11.410%	Urbain
ISODATA	01	TM459.094 TM368.266 TM160.215	180,972	12.123%	Urbain

On note cependant que la deuxième méthode donne de meilleurs résultats et quelques confusions dues aux caractéristiques spéciales de l'image.

Donc dans cet exemple, la classification non supervisée donne un résultat insatisfaisant. Une grande confusion persiste entre l'eau et l'urbain. L'eau de la mer et l'eau de la sebkha n'ont pas la même signature spectrale et la signature spectrale de la sebkha se rapproche plus de la signature spectrale de l'urbain. En déterminant deux sites d'entraînement, un pour la mer, l'autre pour sebkha une classification supervisée devrait permettre d'obtenir un meilleur résultat.

IV.5.2. Classification supervisée

L'objectif de la classification supervisée consiste à rattacher tous les pixels de l'image d'Oran à une classe d'occupation du sol identifiée à priori. Ainsi, suppose-t-on que les statistiques calculées sur des échantillons sélectionnés à priori sont représentatives des classes et suffisantes pour effectuer la discrimination des pixels.

En premier lieu, sur la figure IV.18 nous pouvons visualiser les échantillons (zones) d'apprentissage choisies. Nous avons défini 10 classes correspondant aux différents thèmes qui composent la scène. Ces échantillons ont été choisis à partir de l'observation de l'image optique et du plan de la ville.

Les échantillons d'apprentissages (figure IV.19) se répartissent en 10 classes nommées et numérotées : Classe 1 : Plan d'eau.

Classe 2 : Sebkha1.

Classe 3 : Sebkha2.

Classe 4 : Urbain.

Classe 5 : Sol nu.

Classe 6 : Céréalicultures.

Classe 7 : Jachères.

Classe 8 : Feu de forêts.

Classe 9 : Maquis exposée.

Classe 10 : Maquis non exposé.

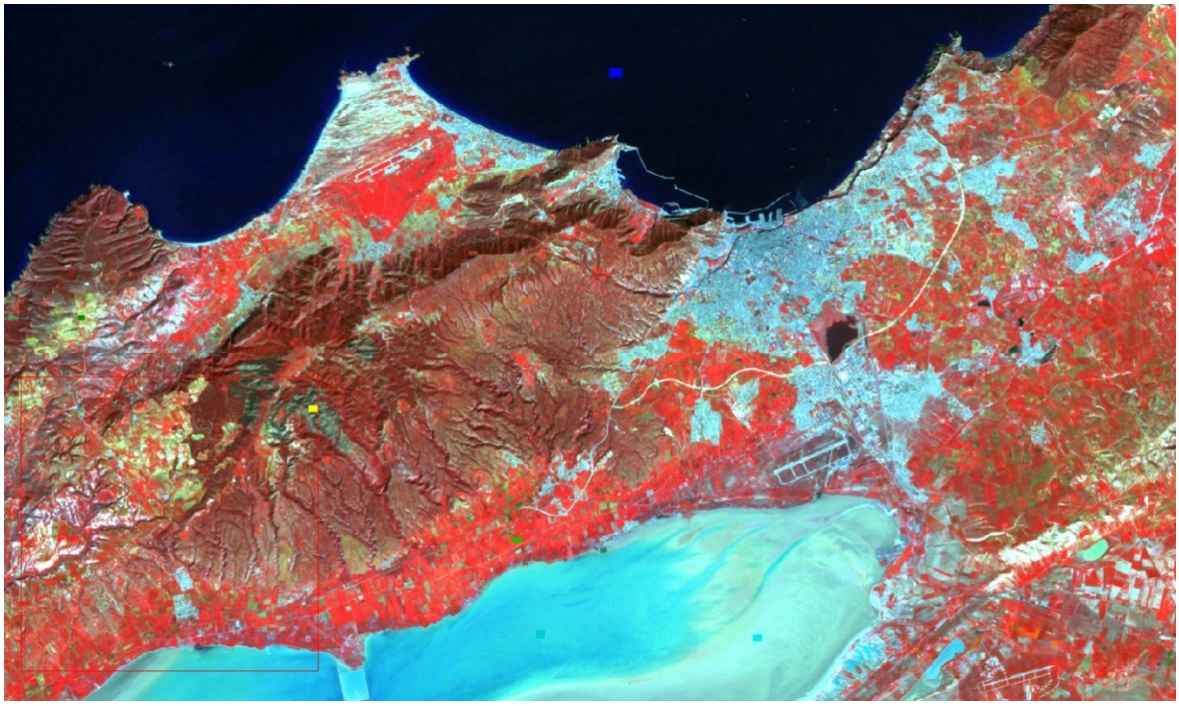


Figure IV.19 : Echantillons d'apprentissage sur l'image a classifiée.

En théorie, la vérité terrain sert à tester les performances de la classification d'une façon plus rigoureuse. Les zones de vérité terrain que nous avons choisi comme échantillons de validation sont présentés dans la figure qui suit.

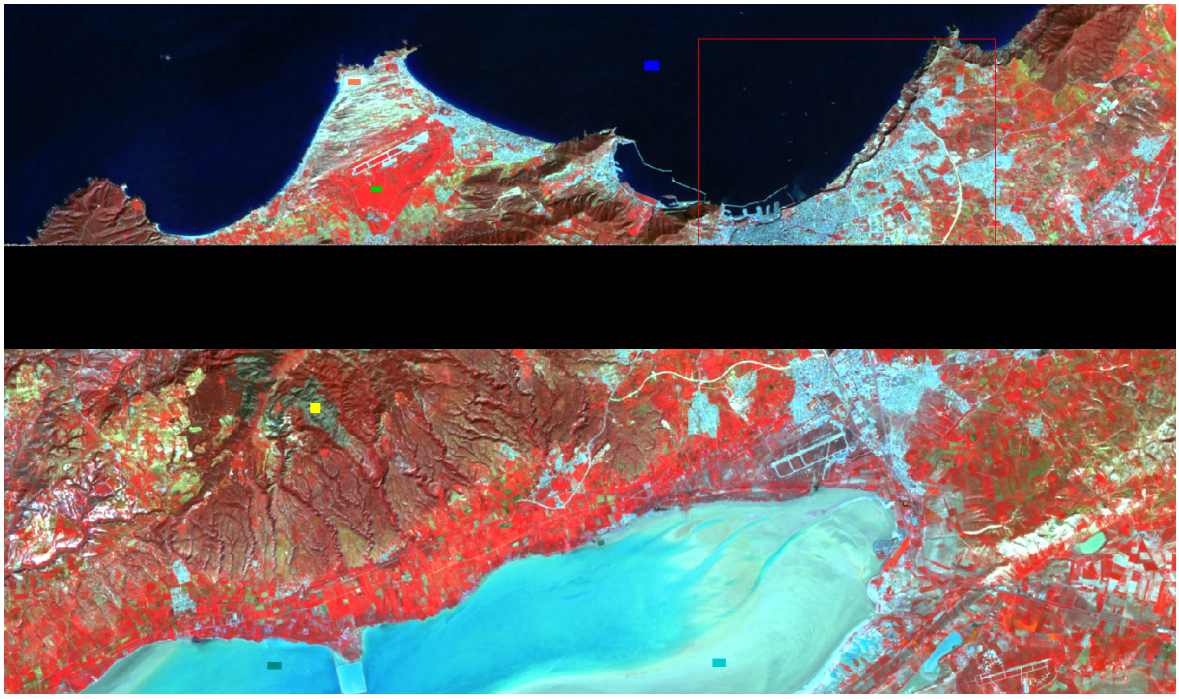


Figure IV.20 : Echantillons de validation sur l'image a classifiée.

Le processus de la classification supervisée est illustré dans la figure suivante :

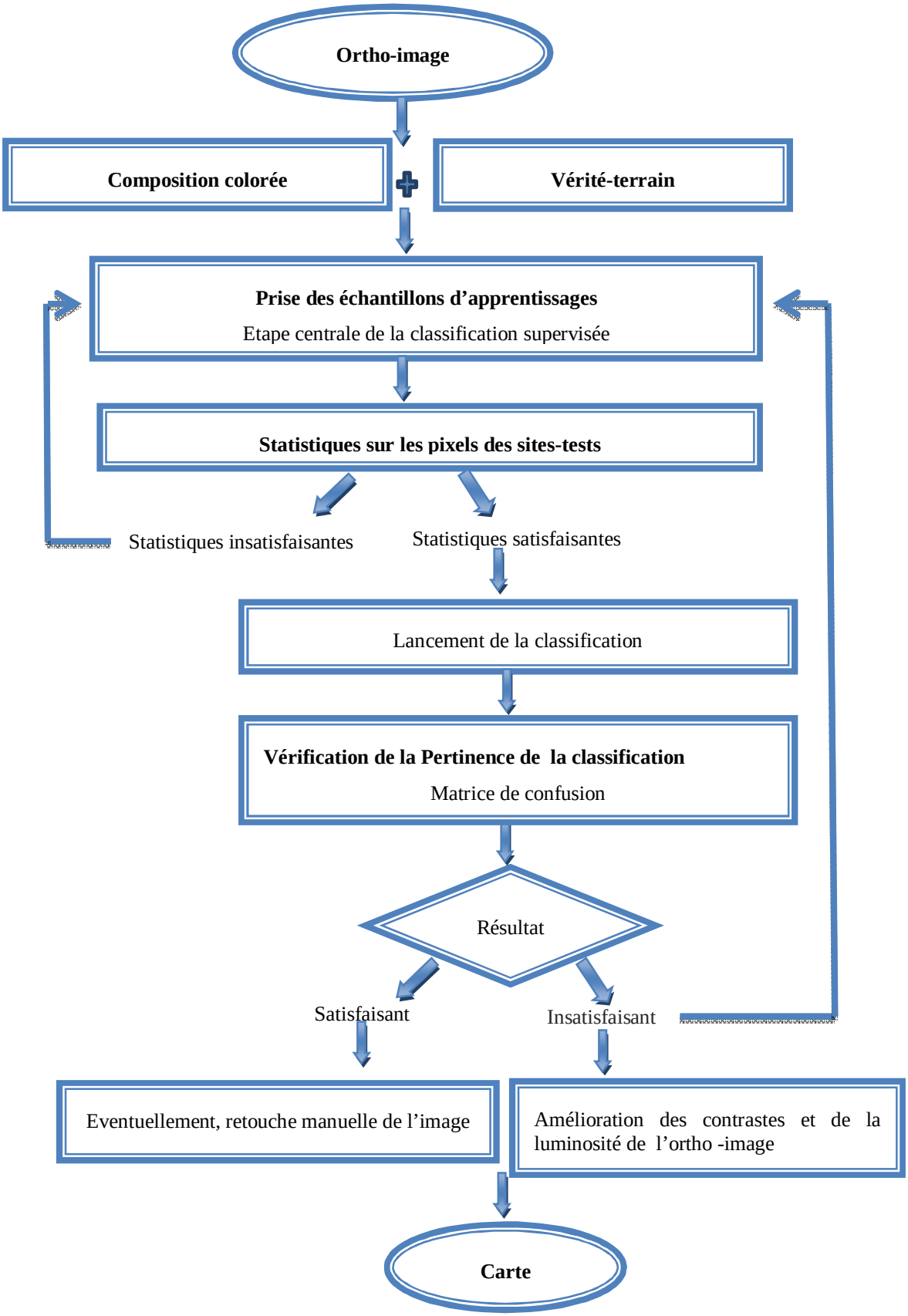


Figure IV.21: Les étapes de la classification supervisée.

Le principe de classification supervisée utilisé dans cette étude repose sur une procédure dite du « maximum de vraisemblance », lors de laquelle la signature spectrale de chaque pixel, dans chacun des trois canaux (ETM+4, ETM+3, ETM+1) est comparée à celle des zones d'apprentissage. Les pixels sont alors affectés dans la classe dont ils sont le plus proches.

La classification supervisée basée sur la méthode du maximum de vraisemblance, a été utilisée sur les canaux choisis (Tableau IV.5). Nous allons commencer par montrer la classification (figure IV.22) obtenu sur l'image de notre région d'étude (figure IV.14).

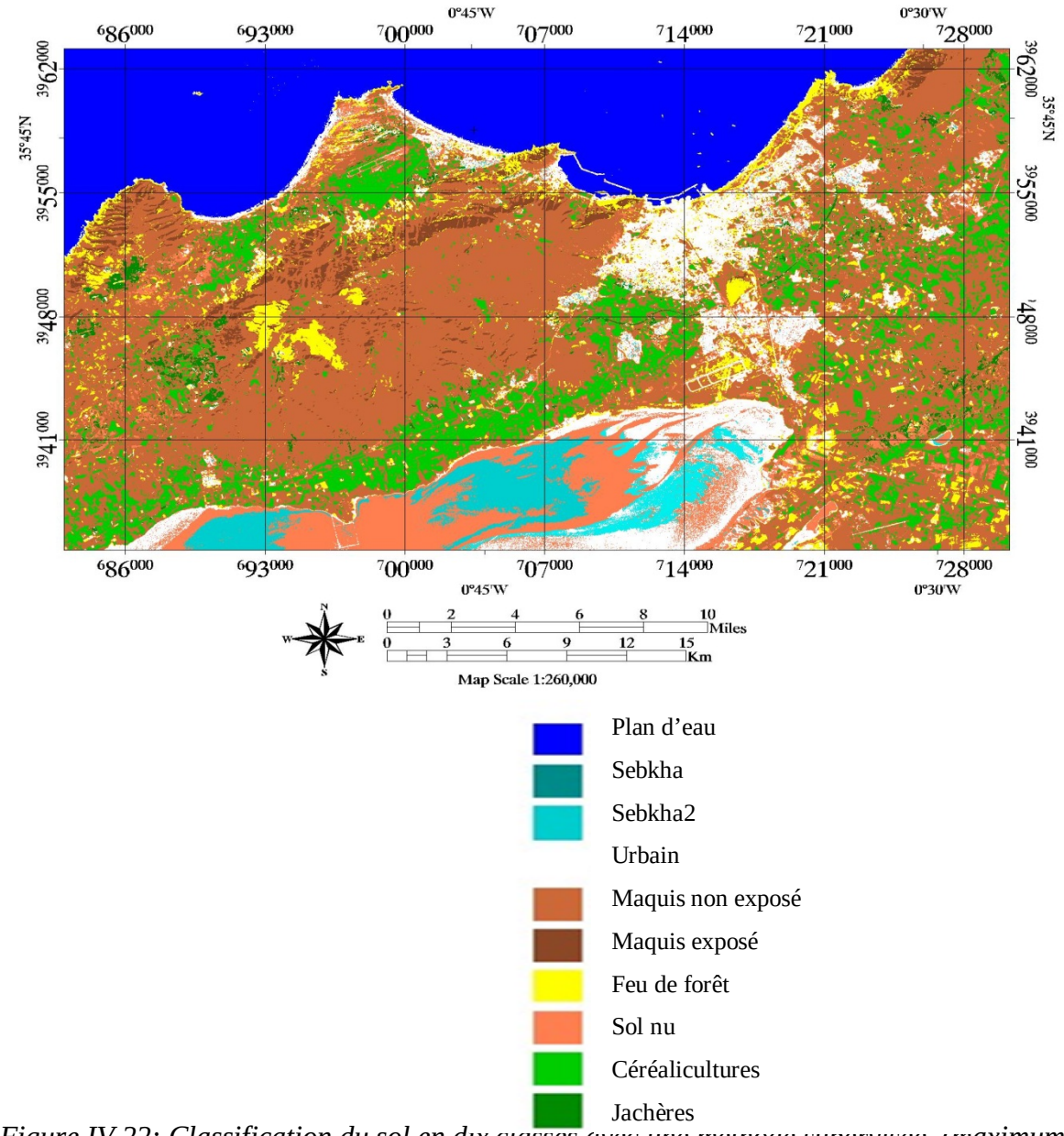


Figure IV.22: Classification du sol en dix classes avec une méthode supervisée (maximum de vraisemblance).

Le plan d'eau, qui est montré dans la classe 1, est bien classé par les deux méthodes, la radiométrie dans les images satellitaires est tellement homogène que c'est la classe la plus facile à détecter.

Dans cette scène, sebkha, qui correspond aux classes 2 et 3, présente une réponse en optique qui peut être facilement confondue avec l'urbain et le sol nu, en plus de sa position dans la périphérie de la ville.

L'interprétation de la classification obtenue se fera plutôt en terme de structure spatiale comme pour la méthode précédente et sera plus ou moins difficile selon le choix des couleurs.

Cette technique de classification est tout à fait satisfaisante d'un point de vue mathématique car les pixels sont classés en fonction d'une probabilité ce qui est souhaitable en traitement de l'image, en particulier en télédétection où un même objet peut contenir des pixels aux valeurs radiométriques très différentes. Elle présente aussi l'avantage de donner facilement une mesure de la qualité de la classification, et de permettre l'amélioration de la classification par itération.

Les statistiques relevées pour les différentes classes par cette méthode sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.11 : Statistiques obtenue par la méthode maximum de vraisemblance pour les différentes classes.

Thème	Bande	Min	Max	Moyenne	Ecart type	Nombre de pixel
Plan d'eau	TM4	9	15	11.667	0.693	273
	TM3	14	23	18.060	0.847	
	TM1	38	48	41.568	1.255	
Sebkha1	TM4	23	30	26.642	1.960	143
	TM3	63	74	67.886	1.833	
	TM1	57	67	61.714	1.131	
Sebkha2	TM4	59	67	64.055	1.557	117
	TM3	74	84	76.551	1.551	
	TM1	57	65	62.082	1.189	
Urbain	TM4	11	163	55.121	11.419	82
	TM3	17	212	63.886	11.900	
	TM1	39	163	59.284	5.391	
Maquis non exposé	TM4	43	103	67.618	9.383	144
	TM3	20	69	40.460	8.174	
	TM1	37	62	47.165	3.491	
Maquis exposé	TM4	23	48	40.712	4.962	72
	TM3	18	28	24.574	1.941	
	TM1	35	45	40.762	1.228	
Feu de forêt	TM4	10	78	50.618	12.108	126
	TM3	15	76	46.238	11.804	
	TM1	36	60	49.841	4.867	
Sol nu	TM4	75	140	93.003	10.275	68
	TM3	22	57	32.521	4.333	
	TM1	39	58	44.563	1.841	
Céréalicultures	TM4	75	140	93.003	10.275	105
	TM3	22	57	32.521	4.333	
	TM1	39	58	44.563	1.841	
Jachères	TM4	49	116	77.246	9.345	63
	TM3	41	137	68.574	12.697	
	TM1	41	84	54.161	6.010	

Le contrôle, l'évaluation et la validation de la classification se fait sur la base d'un échantillon de pixels vérifiés sur le terrain. L'échantillonnage se fait sur l'ensemble de l'image (et pas uniquement dans les sites d'entraînement).

A l'aide d'une matrice de confusion il est possible d'évaluer la précision de la classification. Donc la matrice de confusion est utilisée pour déterminer la pertinence et la qualité de l'image classée, nous avons essayé de faire un linkage entre l'image classée et la composition colorée.

La matrice de confusion correspondant à la figure IV.20 est montrée ci-après, cette fois, il y a six classes, 1, 2, 3, 5, 6 et 7 qui sont très bien représentées, et y a une confusion entre la classe maquis non exposé (1.39% de mal classés) et maquis exposé, et entre la classe urbain et la classe sebkha2 (1.48% de mal classés).

Tableau IV.12 : Matrice de confusion relative à la figure IV.20.

		Classification									
		Eau	Céréaliculture	Maquis non exposé	Maquis exposé	Jachères	Sebkha	Sebkha 2	Urbain	Sol nu	Feu de forêts
Echantillons de validation	Eau	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Céréaliculture	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maquis non exposé	0.00	0.00	98.61	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maquis exposé	0.00	0.00	1.39	98.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Jachères	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sebkha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sebkha 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	1.48	0.00	0.00
	Urbain	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.52	0.00	0.55
	Sol nu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00
	Feu de forêts	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	99.45
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision totale=99.46%

Kappa=0.99

Cette méthode nous a donné de très bons résultats puisque le pourcentage de pixels bien classé dépasse les 99% pour la majorité des classes et le coefficient kappa est de 0,99.

La classification de la scène LANDSAT 7 ETM+ (région d'Oran) par la méthode de classification supervisée SVM s'est déroulée comme suit :

Définition des classes, extraction des échantillons, classification supervisée par la méthode SVM et enfin la validation de la classification (matrice de confusion).

La figure suivante (figure IV.23) représente le résultat de cette classification

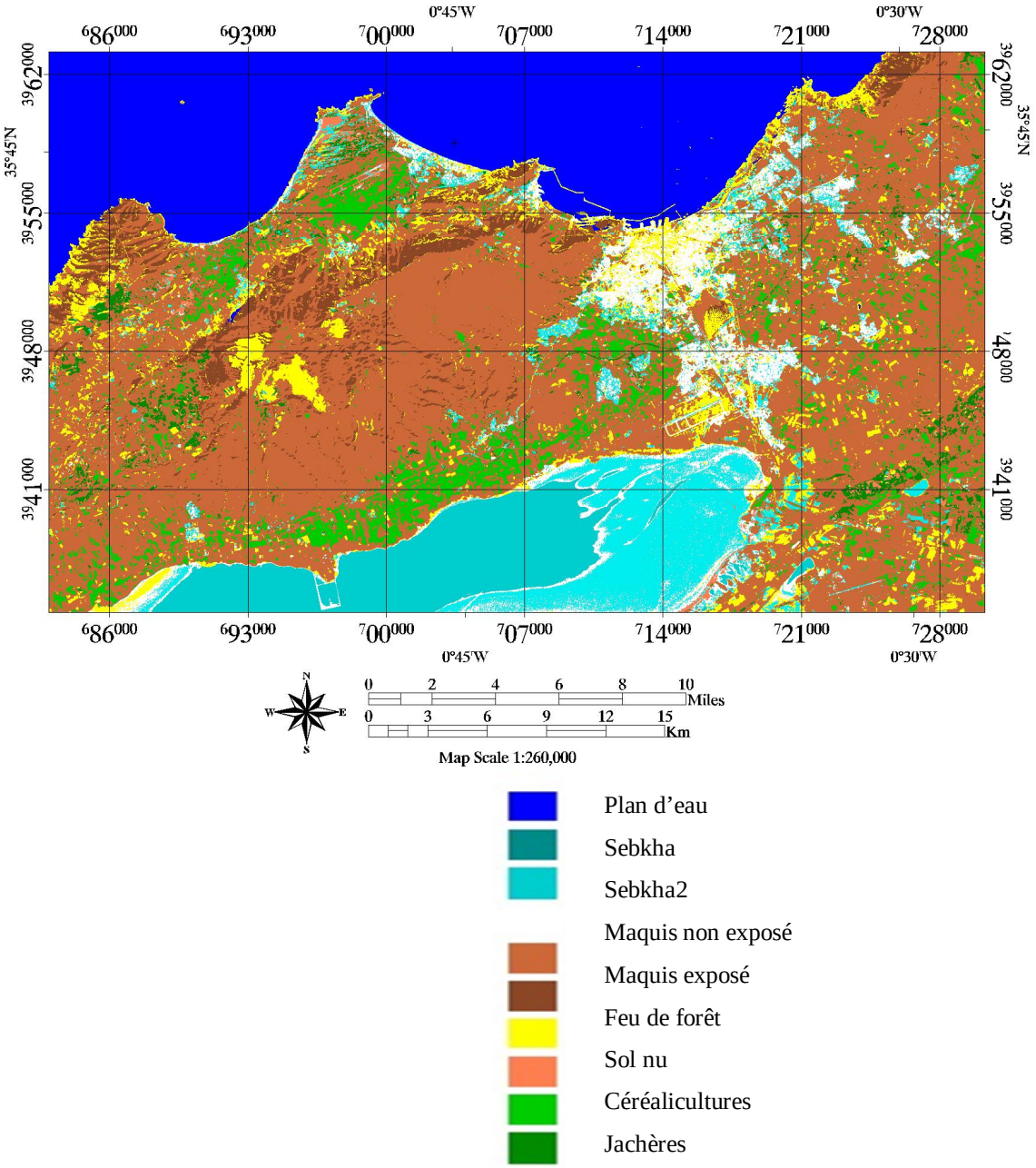


Figure IV.23: Classification du sol en dix classes avec une méthode supervisée (SVM).

Tableau IV.13: Statistiques obtenues par la méthode SVM pour les différentes classes.

Thème	Bande	Min	Max	Moyenne	Ecart type	Nombre de pixel
Plan d'eau	TM4	9	23	11.771	1.034	293,401
	TM3	14	43	18.203	1.334	
	TM1	36	58	41.687	1.549	
Sebkha1	TM4	15	44	26.648	5.657	85,054
	TM3	39	81	66.653	4.702	
	TM1	51	72	61.764	1.523	
Sebkha2	TM4	44	76	62.011	4.747	100,895
	TM3	57	90	70.480	5.056	
	TM1	49	67	59.965	2.147	
Urbain	TM4	39	84	55.648	6.632	77,118
	TM3	43	101	66.531	6.507	
	TM1	55	108	61.714	3.641	
Maquis non exposé	TM4	48	106	70.293	9.693	662,853
	TM3	21	67	40.297	8.198	
	TM1	38	67	47.162	3.568	
Maquis exposé	TM4	22	53	42.932	5.808	51,924
	TM3	18	33	25.719	2.541	
	TM1	35	46	41.227	1.373	
Feu de forêt	TM4	20	66	50.772	9.307	95,256
	TM3	22	69	46.479	9.366	
	TM1	39	62	49.931	4.181	
Sol nu	TM4	61	163	80.654	9.441	15,088
	TM3	66	212	86.517	11.457	
	TM1	59	163	69.060	6.848	
céréalicultures	TM4	85	140	99.902	9.148	79,260
	TM3	22	69	31.594	4.102	
	TM1	39	65	44.320	1.714	
Jachères	TM4	62	127	80.863	8.978	31,939
	TM3	58	130	71.000	8.945	
	TM1	44	84	57.373	4.859	

Sur le tableau IV.13, les statistiques obtenues par la méthode SVM pour les différentes classes, il ressort de ce tableau que les classes ‘feu de forêt, sol nu, sebkha, maquis exposé, maquis non exposé et jachères’ ont des valeurs moyennes indiquant une certain confusion entre ces différentes classes. Il importe de noter que ce tableau nous a permis uniquement d’avoir des indications quant à la séparabilité ou non des différentes classes de la nomenclature de départ.

L’évaluation de la classification supervisée nécessite toujours la détermination de la matrice de confusion (Tableau IV.14), cette dernière est définie comme la répartition des pixels classés dans les différentes classes pour chacune des régions de référence.

Tableau IV.14: Matrice de confusion relative à la figure IV.20.

		Classification									
		Plan d’eau	Céréaliculture	Maquis non exposé	Maquis exposé	Jachères	Sebkha	Sebkha2	Urbain	Sol nu	Feu de forêts
Echantillons de validation	Pan d’eau	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Céréaliculture	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maquis non exposé	0.00	0.00	98.61	1.39	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maquis exposé	0.00	0.00	1.39	98.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Jachères	0.00	0.00	0.00	0.00	97.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sebkha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sebkha2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	3.70	0.00	0.00
	Urbain	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.56	0.00	0.00
	Sol nu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00
	Feu de forêts	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	100
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision totale= 99.14%

Kappa=0.99

A partir de la matrice de confusion obtenue par croisement des échantillons de validation et les classes thématiques résultantes du classifieur, nous constatons une confusion apparente entre la classe maquis non exposé (1.39% de mal classés) et la classe maquis exposé, entre la classe urbain et la classe sebkha2 (3.70% de mal classés) et entre la classe jachères (2.56% de mal classés) et la classe maquis non exposé. Cette surestimation de la classe urbain au détriment de la classe feu de forêts d'une part, et de la classe sebkha2 par rapport à la classe urbain, d'autre part, est due aux données brutes initiales. Les réponses spectrales de ces thème sont tellement voisines qu'il est difficile, voire impossible, de procéder à une discrimination de ces derniers à partir des seules données radiométriques. Nous remarquons aussi une confusion entre les classes maquis exposé, maquis non exposé et jachères. Une intégration d'une autre donnée exogène s'avère nécessaire afin de pouvoir lever cette confusion. Deux solutions sont alors envisageables :

1. Reprise de la classification globale avec intégration de la donnée exogène.
2. Reprise de la classification localement sur les thèmes présentant des confusions.

Pour ce qui est de la première solution, une reclassification globale par intégration de la donnée exogène peut corriger la confusion existante mais elle peut aussi générer de nouvelles confusions parmi les thèmes bien classifiées. En plus, elle est coûteuse en temps de calcul. Cette solution est donc à éviter. La seconde solution apparaît mieux adaptée à cette situation. Le procédé de la reclassification est défini dans la figure IV.21.

Le tableau suivant récapitule les avantages et les inconvénients de chaque méthode

Tableau IV.15 : Avantages et inconvénients des classifications supervisées et non supervisées.

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Classifications non supervisées	Utiles pour réaliser une première classification des images en grands thèmes d'occupation du sol. Cette classification pourra être utilisée pour réaliser un masquage des thèmes non concernés par l'étude.	Le regroupement des valeurs de comptes numériques crée des classes dont la signification thématique est parfois difficile à identifier.
Classifications supervisées	Les classes obtenues ont une signification thématique précise.	Le temps de réalisation est long, en particulier pour le choix et la délimitation des zones d'apprentissage.

IV.6. Indice de végétation normalisé NDVI

La réponse spectrale d'un couvert végétal montre une forte réflectance dans le proche infrarouge et une faible réflectance dans le rouge. Ces domaines de longueurs d'onde sont donc très utilisés car la différence de réflectance dans ces deux bandes spectrales dépend des caractéristiques chlorophylliennes de la végétation. Une relation entre ces deux bandes permet de calculer un indice de végétation, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} \qquad \text{(IV.2)}$$

Où

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index ;

PIR : Bande du proche infrarouge ;

R : Bande du rouge.

Les indices sont des analyses multivariées, c'est-à-dire, des traitements élaborés à partir de plusieurs canaux. Il s'agit souvent d'opérations mathématiques visant soit à réduire la somme d'informations et/ou à mettre en évidence des thèmes particuliers (végétation, sols…) Le NDVI, comme la plupart des indices de végétation, est une fonction de la réflectance dans le rouge et le proche infrarouge.

La végétation a une forte réflectance dans le canal proche infrarouge et une faible réflectance dans le canal rouge. Par conséquent, l'équation NDVI donne des valeurs dans l'intervalle de -1,0 à 1,0, où les valeurs positives croissantes indiquent de plus en plus de végétation verte et les valeurs négatives indiquent les surfaces non végétales. Après les essais avec différents seuils. Les zones de végétation avec un NDVI inférieur à 0,2 ont été masquées.

Pour séparer le sol nu de la végétation, nous avons suivi la méthode basée sur le seuillage de l'histogramme des valeurs du NDVI (figure IV.24).

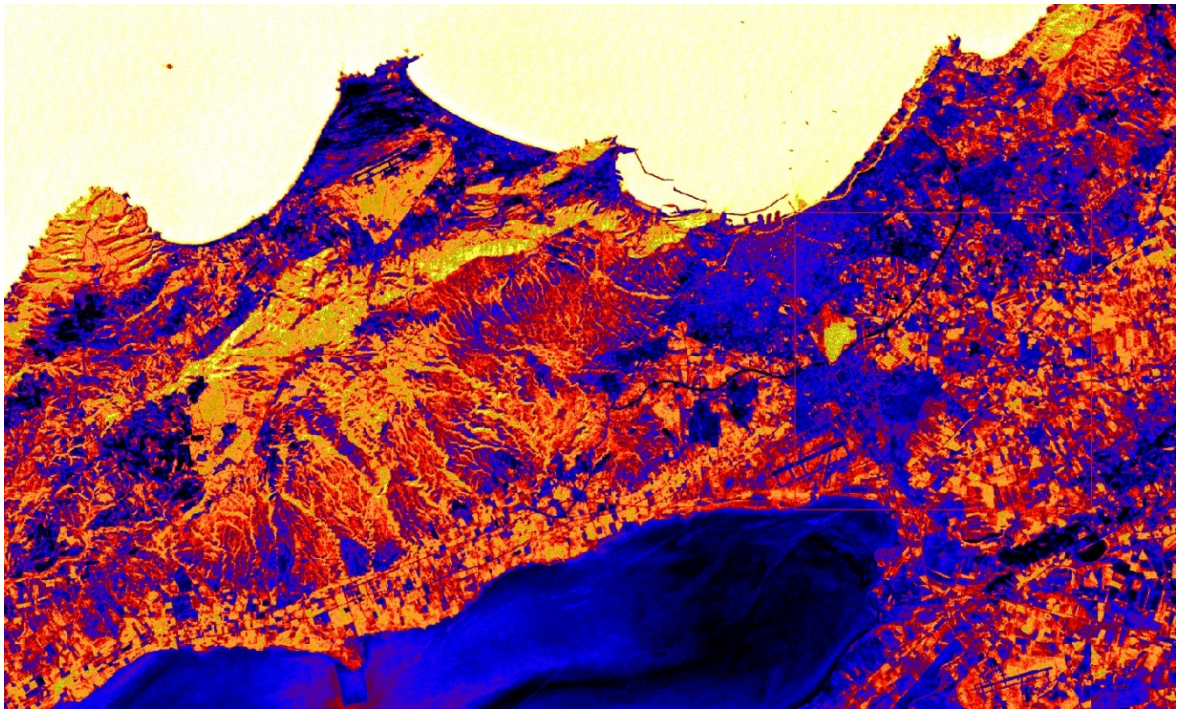


Figure IV.24 : Représentation de l'image du NDVI.

L'absorption dans le rouge par la chlorophylle explique la faible réflectance des tissus végétaux dans ces longueurs d'onde. La réflectance maximale dans le visible est obtenu dans le vert, ce qui explique la couleur des feuilles. Sur la figure IV.24, En raison du fort différentiel de réflectance entre le rouge et le proche infrarouge, le NDVI est élevé lorsque la densité de tissus végétaux contenant de la chlorophylle est élevée. La figure IV.24 montre également que les réflectances du sol dans le rouge et le proche infrarouge sont proches, ce qui induit un faible NDVI pour le sol nu. Les variations temporelles du NDVI sont liées aux variations de la densité de ces tissus, et donc aux évolutions temporelles du feuillage.

Conclusion générale

Conclusion générale

La simulation est un moyen efficace pour comprendre un phénomène complexe comme la mesure d'un rayonnement par un radiomètre embarqué par un satellite. Ce travail avait pour objectif, le développement d'un modèle physique interprété par programme.

L'analyse des mesures a permis de comprendre le comportement de la mesure satellitaire selon l'état de l'atmosphère, la nature des sols, les angles d'observation et les propriétés optiques des capteurs du système ALSAT 1 et LANDSAT TM & ETM+.

Cette étude nous a permis de constater que la mesure satellitaire est une mesure physique complexe, délicate, géométrique et radiative. Pour toute application qui nécessite des images satellitaires multispectrales une étude préalable sur la zone d'étude du point de vu conditions et disponibilité des données météorologiques est nécessaire afin de définir l'objectif à atteindre dans les meilleures conditions.

A l'issue de ce travail, on peut dire que le prétraitement a pour but de fournir, à partir d'image brutes, des images « propres », dont il est nécessaire de définir la qualité aussi bien en géométrie (positionnement de chaque point dans un référentiel donné) qu'en amplitude (exprimer toute les valeurs associées à chaque point dans des unités cohérentes).

Les corrections géométriques se posent de façon différente selon le satellite. Les éléments critiques dégagés au cours de l'étude des applications nous permettent cependant de bien nous sensibiliser sur l'ensemble des problèmes liés au prétraitement géométrique des images spatiales, sachant qu'on ne peut dissocier la géométrie de la radiométrie tant cette dernière exige des instruments plus performent et implique de nouveau développement algorithmiques pour restituer de manière très contrastée la richesse structurale des images de télédétection.

En définitive, il ne nous semble pas possible d'établir une méthodologie très rigoureuse et exclusive sur le prétraitement géométrique, tant chaque image à rectifier peut être un cas d'espèce de front d'onde (amplitude, fréquence des déformations).

Références bibliographiques

[1] K. SOUDANI, ‘ *Introduction générale à la télédétection ; Partie I : Bases physiques et exemples d’applications aux couverts végétaux*’, Paris, France, 2005.

[2] B. JANKOWSKI,’ *Analyse, traitement d’images de satellite*’, Alsace, France, 2008.

[3] Y. TIMOULALI, A. MEDOURI, ‘*Principe, méthode et application de la télédétection*’, ISESCO, Rabat, Maroc, 2000.

[4] N. BOUKERZAZA, A. CHAKER et Z. HADDAD, ‘*Influence de l’irradiation globale sur les caractéristiques de fonctionnement d’un distillateur solaire*’, ICRESD-07 Tlemcen, 2007.

[5] C. GOMEZ, Thèse de doctorat ‘*Potentiels des données de télédétection multisource pour la cartographie géologique : Application à la région de Rehoboth (Namibie)*’, Université CLAUDE BERNARD, Lyon, Novembre 2004.

[6] A. MOQUET, ‘ *Apports de la télédétection pour la cartographie d’habitats terrestres en zones humides méditerranéennes : Application aux zone habitats de la Réserve National de Camargue* ‘,’École Nationale Supérieure d’Agronomie et des Industries Alimentaires, Nancy, Septembre 2003.

[7] C. KERGOMARD ’ *La télédétection aérospatiale : Une introduction*’, paris, 2008.

[8] M. ASSLINEAU, ‘*Télédétection et risque du sous-sol essais d’application de la thermographie infrarouge aéroportée à l’auscultation des digues et développement d’un SIG* ‘, Université de Savoie, France, septembre 2003.

[9] A. BOUDHAR, Thèse de doctorat, ‘*Suivi spatio-temporel de la couverture neigeuse dans le Haut Atlas de Marrakech à l'aide des images SPOT-VEGETATION (Période 1998-2005)*’, Université CADI AYYAD, Marrakech, 2006.

[10] J.-P. BRUNEL, ‘*Mesures du rayonnement solaire à Nouméa*’, ORSTOM, Hydrol, vol XVII, N°= 1, Nouméa, 1980.

[11] F. BONN et G. ROCHON, ‘*Précis de Télédétection-volume 1 : principe et méthodes*’, Stefoy : presses de l’université du Québec/ AUPLEF, 1992.

[12] E.J.Sheffner, Jhonson,' *The Landsat program and Landsat science'* Controls World Services, NASA Ames Research Center, 1996.

[13] A. HILLION, J. BOUCHER et C. ROUX '*Le traitement des images de Télédétection: aperçus et perspectives*' Ed. UAPELF-UREF, Paris, 1989.

[14] N. GHAZALI, J. HEBERT et M. PARIZEAU ' *An Hybrid architecture for Active and Incremental Learning: The Self-Organizing Perception (SOP) Network'*, IJCNN 99, Canada, 1999.

[15] F. YAZDANI, KHAJE N. TOOSI,' *Sraristical and Intelligent Methods for Subpattern Recognition*', University of Technology, Tehran, Iran, 1993.

[16] L. SPARFEL, F. GOURMELON et I. LE BERRE, '*Approche orientée – objet de l'occupation des sols en zone côtière*', Revue Télédétection, 2008, vol. 8, n° 4, p. 237-256, France, 2008.

[17] M. SALMON, A. OZER et A. PISSART ,' *Les images satellitaires prises en périodes de sécheresse, outil utile pour la cartographie géologique de la Belgique*', bulletin de la société géographique de Liège,49, 2007.

[18] COLLECTIVE, '*Notions fondamentales de télédétection*', cours de télédétection, Centre canadien de la télédétection des ressources naturelles, Canada, (1998).

[19] M. EL GHAZZAOUI, '*fusion d'images radar /optique par la théorie de l'évidence de Dempster-shafer'*, Ecole supérieur des communications, Tunis, 2005.

[20] MARIO BEAULIEU, 'La télédétection : un mini-tour', Montréal, CRIM, 2001.

[21] M. BENKADDOUR, Mémoire de magister, '*Intégration des données radar et optiques dans un processus classificatoire'*, CNTS, Arzew, Algérie, 2002.

[22] J. CAZAUX, '*Les systèmes spatiaux d'observation de la terre*', CIHEAM, Options Méditerranéennes, Sér. A/ n°4, 1, La Télédétection en Agriculture, Toulouse, 1990.

[23] MEQUIGNON, CROISILLE et LEJEUNE,' *Application de la télédétection à l'étude des zones humides : identification des prairies, des roselières, des peupleraies et des gravières*', Rennes, France, 2005.

[24] M. OUGRINE, Thèse de doctorat, ' *Contribution des images ETM+ de Landsat7 à la mise à jour Cartographique à 1/200 000 Cas de la feuille de M'SILA (Hauts plateaux,*

Algérie)', Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace en Langue Française, Maroc, 2003.

[25] LANDSAT7 Orthorectified Imagery over Canada,Level 1 Product Specifications-Edition 1.0,GEOBASE, Canada, 2003.

[26] R. IRONS JAMES, L. WILLIAMS DARREL et L. MARKHAM BRIAN,'*LANDSAT 7ETM+ On Orbit Calibration and Data Quality Assessment*',0-7803-2567-2/95, IEEE, 1995.

[27] A. EMRAN, '*Données LANDSAT mises à disposition pour le Développement Durable en Afrique*', Institut Scientifique UMVA, Rabat, 2005.

[28] M. GIRARD et C. GIRARD, '*Traitement des donnée de télédétection*', DUNOD, Paris, 1999.

[29] David DUBOIS, Thèse de doctorat, '*Environnement logiciel d'exploitation des images satellitaires*', MONTRÉAL, 2009.

[30] A. MISSOUMI et K. TADJEROUNI,' *SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt*', 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, 2003.

[31] M. KAROUI, H. MAHI et D. YOUSFI,' *Suivi des incendies de forêts par utilisation des images Alsat-1 (région de Sidi Bel Abbes - Algérie) & implémentation sur le programme RANET*', SETIT 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, TUNISIA, 2005.

[32] S. SEGHIRI, thèse de magister, '*Utilisation de la télédétection pour quantifier l'influence de la hauteur solaire sur le coefficient de réflectance bidirectionnelle*', Université de Constantine, 2007.

[33] SING-TZE BOW, '*Pattern Recognition and Image Preprocessing*' Second Edition, Marcel Dekker, Inc, USA, 2002.

[34] B. LOUNIS, A. BELHADJ AÏSSA, ' *Processus de Correction Radiométrique Relative "PCRR" Appliqué Aux Images LANDSAT TM Multi Dates*', SETIT, 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, TUNISIA, 2005.

[35] T. PHAM, F. BONN et J. DUBOIS, ' *Démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcelé en utilisant des images à moyenne résolution*

spatiale : Application à une région littorale au VIÊT-NAM', Revue Télédétection, vol. 7, p. 303-323, 2007.

[36] A. BENSAID, Z. SMAHI, T. IFTENE et S. BENZINEH, '*Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'aide à la surveillance du risque de dégradation des parcours steppiques*', Télédétection, vol. 3, n° 5, p. 387–402, 2003.

[37] D. Puthier, '*Introduction aux méthodes de classification.Un exemple : le k-means et le clustering hierarchique appliqués à des données simulées*', Laboratoire INSERM TAGC/ERM206, Marseille, France,2007.

[38] I. Manakos, T. Schneider, U. Ammer, '*A comparaison between the ISODATA and the Ecognition classification methods on basis of field data*', ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.

[39] L. STATE, I. PARASCHIV-MUNTEANU et N. POPESCU-BODORIN, '*Blood corpuscles classification schemes for automated diagnosis of hepatitis using ISODATA algorithm and Run Length Encoding*', seria Matematica si Informatica, Nr. 16, p.1-16, 2009.

[40] S. IDBRAIM, thèse de doctorat, '*Méthodes d'extraction de l'information spatiale et de classification en imagerie de télédétection : Applications à la cartographie thématique de la région d'Agadir (Maroc)*', Université MOHAMMED V, Rabat, 2009.

[41] R. CALOZ et C. COLLET, '*Précis de télédétection – Volume 3 : Traitements numériques d'images de télédétection*', Presses de l'Université du Québec, 2001.

[42] I. MAFHOUD, thèse de doctorat '*Cartographie et mesure de la biodiversité du Mont Ventoux Approche par Système d'Information Géographique et Télédétection, préconisations méthodologiques et application pour l'aménagement forestier*', Université D'AVIGNON, 2009.

[43] C. BOUVEYRON, thèse de doctorat ' *Modélisation et classification des données de grande dimension Application à l'analyse d'images*', Université JOSEPHFOURIER– GRENOBLE1, 2006.

[44] O. ZAMMIT, X. DESCOMBES et J. ZERUBIA, '*Apprentissage non supervisé des SVM par un algorithme des K-moyennes entropique pour la détection de zones brûlées*', INRIA-I3S, 2004.

[45] F. LAFAGE, X. DESCOMBES et J. ZERUBIA, '*Noyaux texturaux pour les problèmes de classification par SVM en télédétection*', Projet ARIANA, rapport de recherche n° 5370, France, 2004.

[46] M. HANIFI, THÈSE DE DOCTORAT '*Extraction de caractéristiques de texture pour la classification d'images satellites*', Université MOHAMMED V, Rabat, 2009.

Memory : Image processing and analysis of surface wave associated with earth observation and space.

Family name: TOUMIAT **First name: Chahira** **Rapprteur: Pr Mouhamed BOUAFIA**

Abstract:

The aim of this work is to develop a physical model interpreted by program. Three kinds of data were analyzed: LANDSAT7 TM, ETM+ and ALSAT 1. After the geometric correction on the satellite image, and selection of the interested area, we have analyzed the spectral signatures of the classes which gave us an idea of their homogeneity and heterogeneity. We have carried out unsupervised and supervised classifications. And finally, we have used the normalized difference vegetation index (NDVI).

Key words : Classifications, space image, NDVI, TM and ETM+ of LANDSAT7, analysis of satellite images, image processing.

المذكرة : معالجة الصور و تحليل الموجات السطحية المرتبطة بالرصد الأرضي و الفضائي

اللقب : تومیات **الاسم : شهيرة** **المؤطر : بوعافية محمد**

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تطوير نموذج فيزيائي مفسر من قبل برنامج. وجرى تحليل ثلاثة أنواع من البيانات : ALSAT 1 و LANDSAT 7 TM, ETM+. بعد التصحيح الهندسي على صورة القمر الصناعي، واختيار المنطقة المعنية قمنا بالتحليل الطيفي للفئات الذي أعطانا فكرة عن تجانسها من عدمه , قمنا بالتصنيفات الخاضعة للرقابة و غير الخاضعة. وأخيرا، تناولنا دراسة مؤشر الغطاء النباتي NDVI.

الكلمات المفتاحية : التصنيفات, صور فضائية , NDVI, LANDSAT7 ل +ETM و TM, تحليل الصور الفضائية , معالجة الصور