

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

Université de Jijel

Faculté des Sciences

Département d'Ecologie



Mémoire

de fin d'études
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur
d'état
en Ecologie végétale et environnement.
Option: pathologie des écosystèmes.

Thème:

Evaluation optique de l'état de santé d'un
écosystème forestier par l'analyse des images
satellites (NDVI). W de Jijel

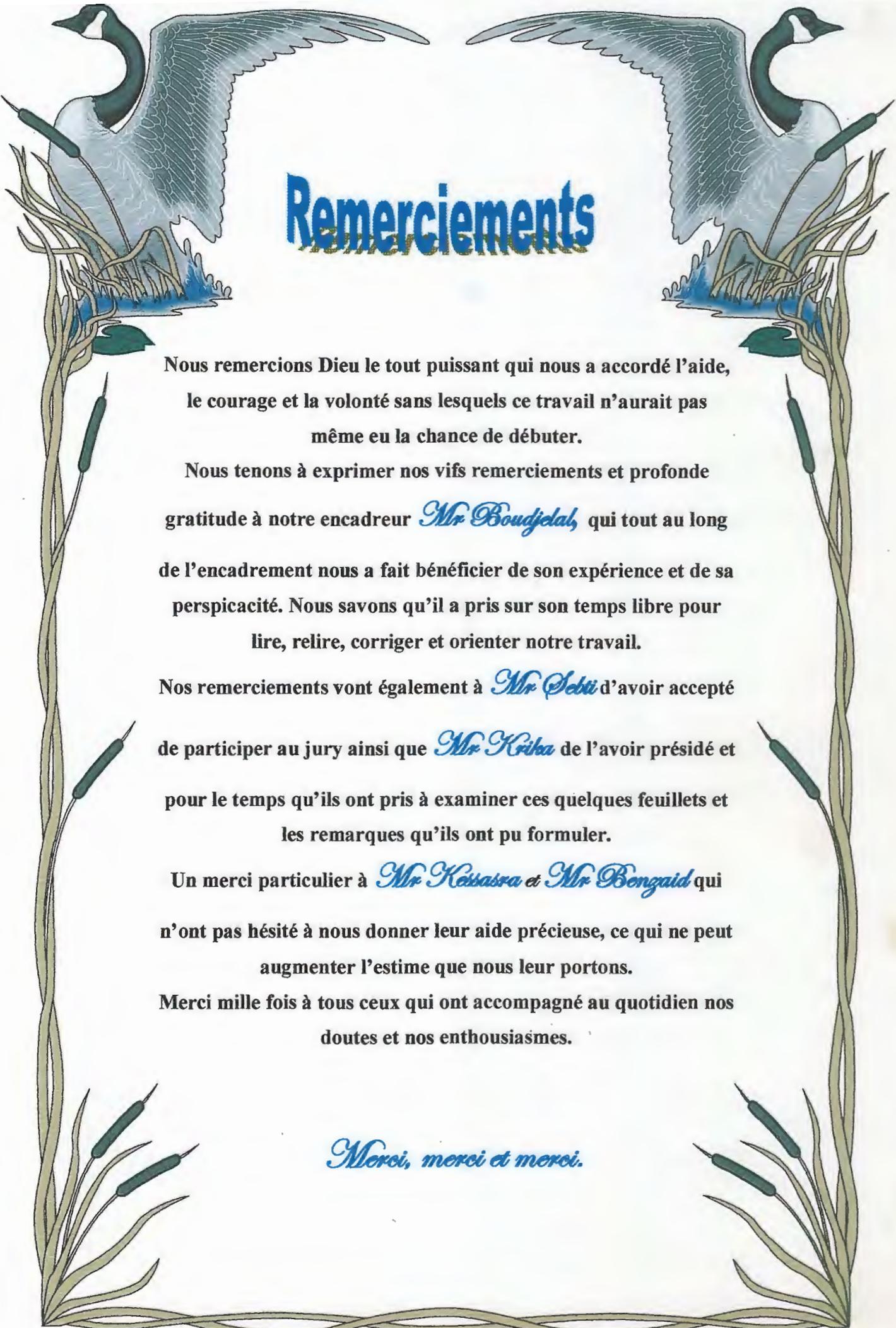
Membre de jury:

Président: Mr Krika A.
Examineur: Mr Sebti M.
Encadreur: Mr Boudjelal F.

Présenté par:

M^{elle} Berghida Imène.
M^{elle} Boudjedjou Lamia.

Promotion 2007

The page is framed by a decorative border of reeds and cattails. At the top corners, two swans are depicted on nests, each holding a cattail in its beak. The word "Remerciements" is written in a large, blue, stylized font in the center.

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a accordé l'aide, le courage et la volonté sans lesquels ce travail n'aurait pas même eu la chance de débiter.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et profonde gratitude à notre encadreur *Mr Boudjelal*, qui tout au long de l'encadrement nous a fait bénéficier de son expérience et de sa perspicacité. Nous savons qu'il a pris sur son temps libre pour lire, relire, corriger et orienter notre travail.

Nos remerciements vont également à *Mr Sebti* d'avoir accepté de participer au jury ainsi que *Mr Keiba* de l'avoir présidé et pour le temps qu'ils ont pris à examiner ces quelques feuillets et les remarques qu'ils ont pu formuler.

Un merci particulier à *Mr Kebbassa* et *Mr Bengaid* qui n'ont pas hésité à nous donner leur aide précieuse, ce qui ne peut augmenter l'estime que nous leur portons.

Merci mille fois à tous ceux qui ont accompagné au quotidien nos doutes et nos enthousiasmes.

Merci, merci et merci.

Dédicaces

C'est grâce à Dieu et son aide que ce temps-là est arrivé.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui comptent beaucoup pour moi, ceux qui m'ont montré les choses positives quand je touchais le fond, ceux qui m'ont fait rire quand j'en avais vraiment besoin:

Mes très chers parents qui, peu de mots peuvent exprimer ma reconnaissance envers leur patience, leur soutien, leur conseils et l'affection que m'ont apporté pendant la réalisation de ce travail. Mes chères grand-mères qui ont tant prié pour que je réussisse dans mes études.

Mon petit frère: *Ahmed Yasser* pour son sourire.

Mes sœurs: *Nour El Houda, Meryem et Amira* qui n'ont pas hésité dans les moments critiques à me donner quelques

«Coups de pouce».

Ma grande famille.

Mes chères amies: *Lamia, Mousfida et Asma* pour leur bonté, gentillesse, confiance et amitié.

La personne qui n'a pas hésité un moment de donner son aide, son soutien et ses encouragements: *Salim* « grand merci ».

Mes collègues de la promotion surtout: *Souhila, Leila,*

Nadja, Warda, Bilal et Zineddine pour plus

qu'occasionnels coups de main moraux.

Tous ceux qui m'aime.

Imène

Liste des abréviations:

CCT: Centre Canadien de Télédétection.

ETM: Enhanced Thematic Mapper.

IR: Infrarouge.

Lat N°: Latitude Nord.

Lat S°: Latitude Sud.

MB: Mega byte.

MSS: Multispectral scanner.

NDVI: Normalized Differential Vegetation Index.

O₃: Ozone.

KWh: Kilo Watt. heure.

R: Rouge.

PIR: Proche Infrarouge.

SGIAR: Système de Gestion Intégré de l'Information Agricole et Rurale.

Spot: Satellite pour l'observation de la terre.

TM: Thematic Mapper.

µm: Micromètre.

UTM: Universal Transverse Mercator.

UV: Ultra Violet.

WGS 84: Word Global System.

Liste des figures:

- Figure 01:** spectre d'absorption de la chlorophylle A (Devineau, 1990).
- Figure 02:** spectre de réflectance d'une feuille verte (Devineau, 1990).
- Figure 03:** étapes de la télédétection (CCT).
- Figure 04:** situation géographique de la forêt d'El Ancer (Google Earth).
- Figure 05:** coordonnées géographiques de la zone d'étude (Google Earth).
- Figure 06:** diagramme ombrothermique de Gaussen pour la région de Jijel (1997/2006).
- Figure 07 :** image représentant la forêt d'El Ancer en bande 2.
- Figure 08 :** histogramme représentatif de la forêt d'El Ancer en bande 2.
- Figure 09 :** transect dans la forêt d'El Ancer (bande 2).
- Figure 10 :** valeurs numériques du Transect.
- Figure 11 :** image représentant la forêt d'El Ancer en bande 3.
- Figure 12 :** histogramme représentatif de la forêt d'El Ancer en bande 3.
- Figure 13:** transect dans la forêt d'El Ancer (bande 3).
- Figure 14 :** valeurs numériques du Transect.
- Figure 15:** image représentant la forêt d'El Ancer en bande 4.
- Figure 16 :** histogramme représentatif de la forêt d'El Ancer en bande 4.
- Figure 17 :** transect dans la forêt d'El Ancer (bande 4)
- Figure 18 :** valeurs numériques du Transect.
- Figure 19 :** différence entre les bandes PIR et R.
- Figure 20 :** somme des deux canaux PIR et R.
- Figure 21 :** image NDVI $(PIR-R)/(PIR+R)$ pour la forêt d'El Ancer.
- Figure 22:** transect dans l'image NDVI.
- Figure 23:** Carte topographique de la forêt d'El Ancer (Echelle 1/50000).
- Figure 24 :** histogramme de l'image NDVI.

Sommaire

Introduction.....	01-02
-------------------	-------

Chapitre I: Synthèse bibliographique

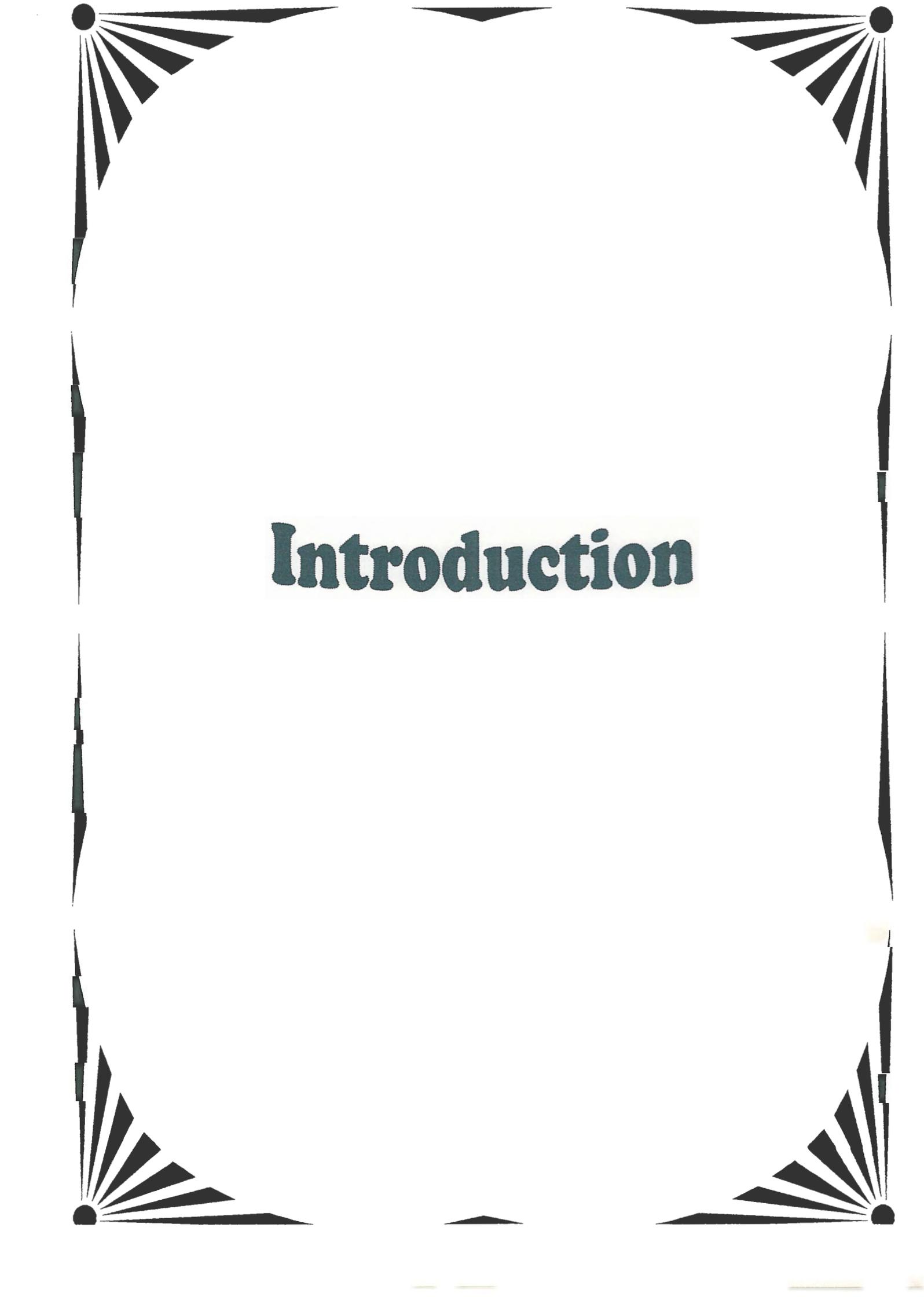
I-1-Ecosystème forestier.....	03
I-1-1-Notion d'écosystème.....	03
I-1-2-Concept de forêt.....	03
I-1-3-Flux d'énergie et fonctionnement des écosystèmes forestiers.....	04
I-1-3-1-Energie solaire.....	04
I-1-3-1-1-Spectre de longueurs d'onde du rayonnement solaire.....	04
I-1-3-1-2-Energie incidente.....	04
I-1-3-2-Rôles biologiques de l'énergie lumineuse.....	05
I-1-3-2-1-La photosynthèse.....	05
I-1-3-2-2-Spectre d'absorption de la chlorophylle.....	05
I-1-4-Les propriétés optiques de la végétation.....	06
I-1-4-1-Les facteurs qui affectent les propriétés optiques de la végétation.....	08
I-1-4-1-1-Les facteurs externes.....	08
I-1-4-1-2-Les facteurs internes.....	08
I-2-La télédétection.....	10
I-2-1-Définitions.....	10
I-2-2-Les étapes de la télédétection.....	10
I-2-3-Avantages de la télédétection.....	11
I-2-4-Les images satellitaires.....	12
I-2-4-1-Résolution.....	13
I-2-4-1-1-La résolution minimale.....	13
I-2-4-1-2-La résolution maximale.....	13
I-2-4-2-Acquisition et traitement des images satellitaires.....	14
I-2-4-3-Capteurs et bandes spectrales d'acquisition.....	14
I-2-5-Les indices de végétation.....	16
**Indice de végétation normalisée (NDVI).....	16

Chapitre II: Matériel & méthodes

II-1-Présentation de la zone d'étude	17
II-1-1-Localisation géographique.....	17
II-1-2-Climatologie.....	18
II-1-2-1-Climat général.....	18
II-1-2-2-Les précipitations.....	18
II-1-2-3-Les températures.....	18
II-1-2-4-Le diagramme ombrothermique de Gaussen.....	19
II-2-Matériel	20
II-2-1-Images utilisées.....	20
II-2-1-1-Origine et type d'images.....	20
II-2-1-2-Procédure d'acquisition des images satellitaires.....	20
II-2-2-Les logiciels.....	21
II-2-2-1-Spot2Titus.....	21
II-2-2-2-Titus.....	21
II-3- Méthode d'analyse des images Landsat	22

Chapitre III: Résultats et discussion

III-1-La réflectance dans la bande 2 (vert).....	32
III-2-La réflectance dans la bande 3 (rouge).....	35
III-3-La réflectance dans la bande 4 (infrarouge).....	37
III-4- Calcul de l'Indice de la Végétation par Différence Normalisée (NDVI).....	39
Conclusion générale.....	43
Références bibliographiques	
Glossaire	



Introduction

Introduction:

Depuis les temps les plus reculés, l'existence de l'homme et celle de la forêt sont étroitement liées (**Poruba et al., 1980**).

La forêt constitue la plus importante biomasse et la première source de matière organique présente sur les terres émergées.

Elle participe au cycle de l'eau, et à la lutte contre l'érosion des sols, sa disparition entraîne des bouleversements climatiques et édaphiques (**Faurie et al., 2003**).

Elle joue également un rôle dans la fixation du gaz carbonique, la régénération de l'oxygène et le maintien de la biodiversité.

Selon (**Bonn, 1996**) les forêts ont été considérées depuis longtemps comme source de nourriture, comme une ressource naturelle à exploiter ou comme un refuge des valeurs naturelles.

Malgré leur grande importance, les écosystèmes forestiers subissent de graves agressions (pollutions, déforestation, maladies, incendies, ...etc.), d'après (**Zerrouk, 2006**) l'homme est le responsable devant l'Eternel, de la perte de cette réserve hydrique et régulateur climatique. Tous cela a conduit à une prise de conscience mondiale de la nécessité de prendre en compte les problèmes dont souffrent les écosystèmes forestiers.

Plusieurs méthodes ont été élaborées dans le but d'une meilleure connaissance des phénomènes régissant les écosystèmes forestiers. Les mécanismes de ces phénomènes bien qu'ils soient relativement connus à l'échelle locale restent difficilement quantifiables à l'échelle globale à partir d'outils classiques.

Depuis les années 70, l'évènement des satellites d'observation de la terre a permis de répondre à ces besoins et de suivre l'évolution des écosystèmes à l'échelle planétaire. Le développement des technologies a permis une augmentation des données de télédétection s'accompagnant d'une meilleure évaluation des ressources forestières à plusieurs échelles et permet aussi d'observer et de mesurer les perturbations qui affectent la santé des milieux forestiers ainsi que leur évolution dans le temps (**Bijaber et al., 2005**).

Le besoin de répondre à ces questions a conduit les chercheurs à inventer des indices de végétation établis à partir de travaux portant sur les réflectances. Parmi ceux-ci, l'indice de végétation par différence normalisée destiné à évaluer la santé de la végétation qui est l'une

des méthodes optiques basées sur un calcul arithmétique de la bande proche infrarouge et la bande rouge.

Notre travail est consacré à l'évaluation optique de l'état de santé de la forêt d'El Ancer par l'analyse des images satellitaires.

Pour répondre à notre objectif, on a subdivisé notre étude en trois chapitres:

› Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique dans laquelle on s'est référé à des ouvrages spécialisés en télédétection.

› Nous passerons ensuite à la description de la zone d'étude, ainsi que le matériel et la méthode parcourue dans le traitement des images satellitaires.

› On trouvera par la suite une partie relative aux résultats obtenus et leur interprétation.

Enfin notre étude sera clôturée par une conclusion.

Synthèse bibliographique

Résumé

Lorsqu'il atteint le couvert végétal, le rayonnement solaire qui n'est pas absorbé ou diffusé par l'atmosphère interagit avec les différents éléments caractéristiques de celui-ci. L'énergie incidente peut être absorbée, transmise et/ou réfléchie. La portion de l'énergie reçue par la végétation et qui est réfléchie, est appelée "réflectance" du milieu végétal. En télédétection, c'est l'analyse de cette grandeur caractéristique qui permet d'accéder aux propriétés physiques de ce dernier, et comprendre les mécanismes d'interaction entre le rayonnement et le couvert. Les propriétés optiques d'un couvert végétal dépendent à la fois de la nature des plantes qui le composent, de leur arrangement spatial ainsi que du sol sous-jacent. Les feuilles représentent les surfaces principales d'un couvert végétal. Les autres organes (fruits, fleurs, tiges, ...) affectent peu sa réflectance.

I-1-Ecosystème forestier:

I-1-1-Notion d'écosystème:

La notion d'écosystème est née de notre esprit cartésien qui nous conduit à subdiviser tout système complexe en sous ensembles d'apparence homogène. Nous identifions ainsi les systèmes forêt, prairie, lacs, rivières, océans...pourtant, parmi ceux-ci, beaucoup ne présentent pas le caractère d'homogénéité que nous leur attribuons (rivières et océans par exemple).

Le terme présente toutefois un intérêt conceptuel évident dans la mesure où il nous est impossible, d'un point de vue pratique, d'étudier globalement l'ensemble du globe terrestre (Faurie et al., 2003).

Dans tout système naturel, il est possible de distinguer deux grandes composantes :

›Un biotope est le milieu physique et chimique dans lequel vivent les végétaux et les animaux. Ce milieu est l'élément non vivant, ou abiotique, de l'écosystème. Il renferme la totalité des ressources nécessaires à la vie.

›La seconde composante de l'écosystème est la biocénose qui comprend l'ensemble des êtres vivants, végétaux, animaux et micro-organismes, qui trouvent dans le milieu des conditions leur permettant de vivre et de se reproduire (Encarta, 2006).

I-1-2-Concept de forêt:

"Formation végétale dans laquelle les arbres prédominent, en modifiant les conditions écologiques du site". La densité du peuplement considéré est un élément essentiel et pour que le concept soit utilisable, il convient que les espaces ouverts restent limités, aussi la forêt sera-t-elle qualifiée de dense, ou fermée, si les arbres y sont pratiquement jointifs, alors qu'on la tiendra pour claire, ou ouverte s'ils n'occupent qu'entre 25 et 65% de la surface totale considérée (Boulard, 1992).

La forêt est un phénomène naturel qui est continu et hétérogène, elle n'est pas facile à catégoriser en peuplements qui sont, contrairement à la réalité, discrets et homogènes de nature (De Groeve et al., 1997 in Dubois et al., 1998).

I-1-3-Flux d'énergie et fonctionnement des écosystèmes forestiers:

I-1-3-1-Energie solaire:

Le Soleil rayonne sur la Terre une puissance de 16.10^{15} kWh par an, dans toutes les longueurs d'onde du spectre de la lumière visible. L'énergie lumineuse issue du Soleil est à la base de la majeure partie des formes d'énergie disponibles : énergies chimique, thermique, hydraulique, électrique.

L'énergie solaire est indispensable pour maintenir sur Terre les conditions lumineuses et thermiques nécessaires à la vie. Par exemple, la photosynthèse utilise cette énergie pour fournir aux plantes chlorophylliennes de la matière organique. Soixante pour cent de l'énergie solaire qui atteint la Terre est réfléchi par l'atmosphère ; 11 p. 100 est réfléchi par le sol et la végétation ; 16 p. 100 entretient, par évaporation, le cycle de l'eau , qui produit la pluie, les eaux de montagne et de rivière (Encarta, 2006; Cayrol, 2000).

I-1-3-1-1-Spectre de longueurs d'onde du rayonnement solaire:

Les radiations solaires parvenant à la limite supérieure de l'atmosphère ont des longueurs d'onde comprises entre 10^{-4} μm et plusieurs kilomètres. Cependant 99% de l'énergie est véhiculée par des longueurs d'onde comprises entre 0,2 et $4\mu\text{m}$, 42% l'étant par la partie visible du spectre lumineux dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,38 et $0,75\mu\text{m}$ (Faurie et al., 2003).

I-1-3-1-2-Energie incidente:

Mesurée au sommet de l'atmosphère, la quantité d'énergie incidente est, en moyenne, de 350 w/m^2 , soit $7,2 \times 10^6$ calories/ m^2 /jour.

Deux raisons font qu'une part importante de cette énergie ne parvient pas au sol.

›La première résulte du fait que les rayons ultraviolets (UV) dont la longueur d'onde est comprise entre 0,2 et 0,38 μm sont pratiquement tous absorbés par la couche d'ozone (O_3) située à 25Km d'altitude.

›La seconde c'est que les molécules de l'air, les poussières, les aérosols et les gouttes d'eau composant les nuages en absorbent ou en diffusent dans toutes les directions une quantité importante.

L'énergie reçue est en grande partie:

-Soit réfléchi par la surface réceptrice, cette fraction constituant l'albédo.

-Soit absorbée par cette surface (Faurie *et al.*, 2003).

I-1-3-2-Rôles biologiques de l'énergie lumineuse:

I-1-3-2-1-La photosynthèse:

Les producteurs eucaryotes (végétaux terrestres et algues) ainsi que les producteurs procaryotes captent l'énergie lumineuse incidente sous forme de photons, grâce à un pigment, la chlorophylle A.

La photosynthèse est le processus qui conduit à la biosynthèse de molécules organiques (exemple: le glucose) à partir de précurseurs inorganiques par les végétaux qui utilisent la lumière comme source d'énergie.

La réaction globale s'écrit:



(Jupin, 1996 in Lévêque, 2001)

I-1-3-2-2-Spectre d'absorption de la chlorophylle:

La lumière blanche visible à nos yeux émise par le soleil, est composée d'un spectre de plusieurs radiations (celles observées dans un arc en ciel) dont les longueurs d'onde varient de 0,38 à 0,75 μm . Toutes ces radiations n'ont pas la même efficacité vis-à-vis de la photosynthèse.

L'absorption est essentiellement concentrée dans les parties bleues de 0,38 à 0,44 μm avec un maximum à 0,43 μm et dans les parties rouges du spectre, de 0,62 à 0,68 μm avec un maximum pour 0,63 μm . Les longueurs d'onde correspondant au jaune et surtout au vert ne sont donc pratiquement pas absorbées et traversent les feuilles sans être arrêtées par les

chloroplastes, c'est pour cette raison que les végétaux apparaissent à notre vue de couleur verte dominante (Fig. 01) (Faurie et al., 2003).

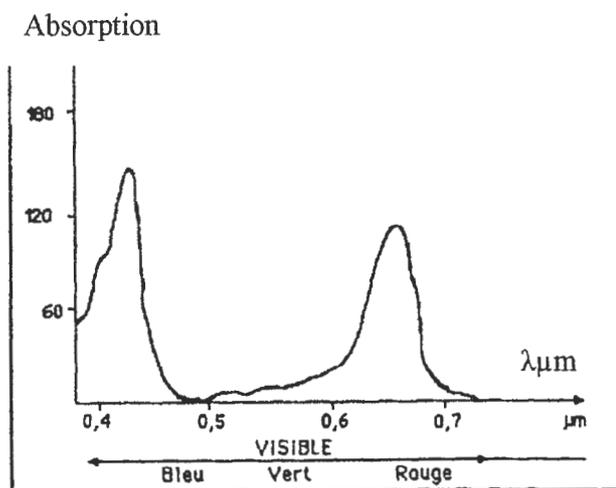


Fig. 01: Spectre d'absorption de la chlorophylle A (Devineau, 1990).

I-1-4-Les propriétés optiques de la végétation:

L'absorption des ondes électromagnétiques par les organes végétaux chlorophylliens est importante dans le domaine du visible, mais deux bandes d'absorption existent aussi dans le moyen infrarouge. La réflectance est en revanche élevée dans les longueurs d'ondes correspondant au proche infrarouge (Fig. 02) (Devineau, 1990; Jacquemoud et Bousquet, 2005).

Réflectance

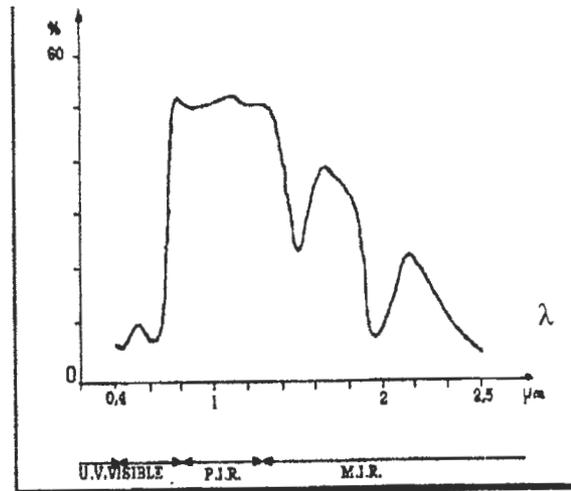


Fig. 02: Spectre de réflectance d'une feuille verte (Devineau, 1990).

› **Le visible: (400-700 nm)**

Les feuilles ont dans ce domaine une faible réflectance (maximum 10%) et une faible transmittance. La majeure partie du rayonnement reçu est absorbée par les pigments foliaires : chlorophylle, carotène, xanthophylle, anthocyane.

Le pigment principal est la chlorophylle qui présente deux bandes d'absorption dans le bleu à 450 nm et dans le rouge à 650 nm (Guyot, 1983).

› **Le proche infrarouge: (700-1300 nm)**

Dans ce domaine les ondes électromagnétiques sont pour l'essentiel transmises ou réfléchies. La partie réfléchie de l'ordre de 50%, dépend de la structure des tissus végétaux (Devineau, 1990).

› **L'infrarouge moyen: (1300-2800nm)**

Les propriétés optiques sont essentiellement affectées par leur teneur en eau (Brun, 2004).

I-1-4-1-Les facteurs qui affectent les propriétés optiques de la végétation:

Ces facteurs sont soit des facteurs externes soit des facteurs interne.

I-1-4-1-1-Les facteurs externes:

De nombreux facteurs externes au couvert végétal peuvent influencer sur ses propriétés optiques:

Selon **Guyot (1980)** ces facteurs sont les suivants:

› La dimension de la surface visée:

Lorsque la dimension de la surface visée diminue, une variabilité vient se superposer à la variabilité propre du couvert. Il faut donc que la surface visée ait comme taille minimale celle d'un échantillon représentatif du couvert.

› La hauteur du soleil:

Le rayonnement solaire pénètre d'autant plus profondément à l'intérieur d'un couvert végétal qu'il arrive moins incliné. La proportion des zones "ombragées" ombrées et éclairées dans le champ de visée d'un radiomètre évolue donc au cours de la journée.

› L'angle zénithal de visée:

La réflectance est maximale lorsque la visée est effectuée dans le sens des rayons solaires (dos au soleil). Lorsque la visée est effectuée vers le soleil (face au soleil) la réflectance diminue fortement dans le visible (ombre portées) et est peu affectée dans le proche infrarouge à cause de la forte transmission du rayonnement dans ce domaine.

› La vitesse du vent:

Le vent modifie la géométrie d'un couvert et peut soit accroître soit diminuer la réflectance.

I-1-4-1-2-Les facteurs internes:**A l'échelle de la feuille:**

Les principaux facteurs sont les suivants:

› **La structure anatomique:**

Les nombres d'assises cellulaires conditionnent le niveau du "plateau" du proche infrarouge. La présence de poils sur une face provoque une élévation de la réflectance dans le visible et dans l'infrarouge moyen, mais n'affecte pas sa valeur dans le proche infrarouge (Gausman et al., 1997, Baldy et al., 1981 in Guyot, 1983).

› **L'age:**

Les propriétés optiques des feuilles évoluent uniquement durant les stades juvéniles et la sénescence (Guyot, 1983).

Pendant la sénescence l'accroissement de la réflectance et de la transmittance dans le rouge est marqué à cause de la disparition rapide des pigments chlorophylliens. Dans le proche infrarouge la réflectance évolue seulement lorsque la structure foliaire est désorganisée par le dessèchement (Devineau, 1990).

› **Teneur en eau:**

A une action directe sur leurs propriétés optiques dans l'infrarouge moyen, mais agit également de manière indirecte sur la réflectance dans le visible et le proche infrarouge en modifiant la turgescence des cellules. La diminution de la teneur en eau des feuilles se traduit par une augmentation de la réflectance qui est cependant beaucoup plus forte dans l'infrarouge moyen que dans le visible et le proche infrarouge (Meyers, 1970 in Guyot, 1983).

› **Déficiences minérales:**

Elles affectent tout d'abord la teneur en pigments des feuilles puis leur structure anatomique. Lorsque seule la teneur en pigments est affectée, ce sont uniquement les propriétés optiques dans le visible qui sont modifiées mais bien souvent la structure anatomique des feuilles est modifiée (Gausman et al., 1978 in Guyot, 1983).

A l'échelle de la plante et du peuplement:

Selon Devineau (1990), ces facteurs sont:

› **Structure du couvert:**

Architecture des plantes et l'inclinaison des feuilles.

› **Interférences sol-végétation:**

Lorsque la végétation est peu couvrante la réponse spectrale des peuplements est affectée par la réflectance de la surface des sols.

› **Phénologie:**

Une conséquence de la variabilité des réponses spectrales en fonction de la structure du couvert est la variation de la réflectance d'un même peuplement végétal au cours du temps, notamment avec les saisons, suivant les différents stades phénologiques.

I-2-La télédétection:

I-2-1-Définitions:

› La télédétection est une technique d'acquisition à distance d'information sur la surface de la terre, de repérage d'objets éloignés, par l'intermédiaire des capteurs (**Pomerol et al., 2000**).

›Télédétection est l'ensemble des techniques et procédés utilisés pour obtenir une information sur un objet ou une zone à distance .Les appareils photo et les autres instruments qui recueillent et enregistrent l'information sont appelés capteurs. L'analyse à distance impose souvent l'usage d'un avion ou de satellites artificiels qui transportent différents capteurs. Ces systèmes de télédétection sont couramment utilisés pour surveiller et contrôler l'environnement et les ressources terrestres (**Encarta, 2006**).

›Selon **Ramade (2002)** la télédétection est une technique fondée sur l'usage de satellites pour l'étude des grandes caractéristiques géographique et écologique des zones continentales et océaniques de la biosphère.

I-2-2-Les étapes de la télédétection:

Le rayonnement émis par une source d'énergie ou d'illumination (A) parcourt une certaine distance et interagit avec l'atmosphère (B) avant d'atteindre la cible (C). L'énergie interagit avec la surface de la cible, en fonction des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Le rayonnement est réfléchi ou diffusé vers le capteur (D), qui l'enregistre et peut ensuite transmettre l'énergie par des moyens électroniques à une station de réception (E) où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image (F) est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible. La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier (G) (Fig. 03) (CCT).

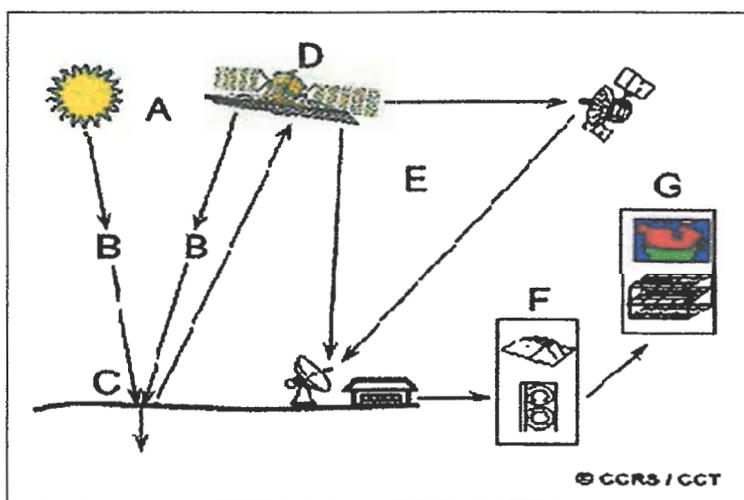


Fig. 03: Etapes de la télédétection (CCT).

I-2-3-Avantages de la télédétection:

Actuellement l'application de la télédétection dans l'étude de la végétation permet selon **Riom (1983); Labreque et Létourneau (2003):**

- › De réaliser pour un faible coût des enquêtes rapides sur de grandes surfaces.
- › D'avoir accès à des renseignements impossibles à obtenir par d'autres méthodes.
- › De suivre l'évolution de phénomènes biologiques grâce à la possibilité d'utiliser des données multitemporelles, fournies en particulier, par les satellites d'observation de la terre à orbites héliosynchrone.
- › Enfin le stockage permanent des données est intéressant pour le suivi des plantes pérennes.

La technologie de la télédétection aide à comprendre les écosystèmes forestiers. Elle fournit des données sur les ressources naturelles et facilite le suivi des changements environnementaux. L'interprétation de ces données nous aide à comprendre les écosystèmes forestiers permettant ainsi le développement de stratégies permettant de faire progresser la gestion soutenue des forêts (**Ressources naturelles Canada**).

I-2-4-Les images satellitaires:

Les images satellitaires, ou images de télédétection sont des images prises à partir d'une 'lune artificielle' (un satellite) qui orbite bien au-dessus de la Terre.

On appelle également les images satellitaires des images '*Remote Sensing*': *Remote* est le terme anglais pour éloigné ou à grande distance et *Sensing* signifie sentir ou balayer (**SRAS, 2003**).

L'imagerie satellitaire n'a rien avoir avec la photographie "classique" dans la mesure où la lumière n'impressionne pas une émulsion, mais se trouve en quelque sorte enregistrée puis réfléchi par des instruments d'optique à balayage il faut donc parler d'image et non de photographie (**Steinberg, 2003**).

Selon (**Gallay, 2003; Denore et Caballero, 2002**) l'étude d'images satellitaires successives permet de détecter les changements de taux de couvert forestier. Ce peut être un outil performant pour la surveillance sanitaire de la forêt (exp: défense des forêts contre les incendies).

Les images obtenues avec des satellites d'observation terrestre héliosynchrones comme Landsat ou Spot ont, par rapport aux photographies aériennes, les avantages suivants:

› Elles couvrent le monde entier entre 80° lat N et 80° lat S environ, alors que les couvertures aériennes de très nombreuses régions n'existent pas ou sont confidentielles. Les images satellitaires permettent d'avoir des données sur des régions inaccessibles soit par suite d'obstacles politiques, soit par suite de grandes catastrophes naturelles.

› Elles sont obtenues en temps quasi-réel, l'utilisateur pouvant en disposer quelques semaines, ou même quelques jours, après la prise d'image. Cela permet, pour certaines utilisations d'agir en temps utile.

› Elles sont répétitives, le coût des prises périodiques d'images n'étant que marginal dans le coût total de la mission, alors que le coût de couvertures aériennes est proportionnel à leur nombre, et qu'une couverture périodique demande un engagement de dépenses difficile à obtenir.

› Lorsqu'on ne cherche pas à distinguer de trop petits détails, elles fournissent davantage d'information car l'observation est faite séparément sur 4 bandes spectrales ou davantage.

› Une image satellitaire couvre une bien plus grande région qu'une photographie aérienne, ce qui permet d'étudier les grandes structures, mesurant des centaines, voire des milliers de kilomètres (Lliboutry, 1992).

I-2-4-1-Résolution:

Une image satellitaire consiste en éléments d'image ou pixels. Le plus petit détail encore reconnaissable sur une image satellitaire, ou la surface recouverte par un pixel, s'appelle la résolution de l'image satellitaire. La résolution dépend du type de satellite. Dans certains cas, un même satellite a à son bord plusieurs instruments de mesure (ou capteurs), qui effectuent des mesures à des résolutions différentes (SRAS,2003).

En télédétection, les objets peuvent être caractérisés par deux résolutions (Puech et al., 1995 in Girard et Girard,1999):

I-2-4-1-1-La résolution minimale:

Caractérise un objet donné par une radiométrie donnée. Ce seuil est atteint lorsque le rapport entre la résolution "r" (dimension du pixel, taille minimale d'observation) et la taille de l'objet "T" est de l'ordre de 2/3 : $r = 2/3 T$. Au-dessous de cette résolution, on différencie les éléments constitutifs de l'objet, et non plus l'objet en entier.

I-2-4-1-2-La résolution maximale:

Est atteinte lorsque le pixel est plus grand que l'objet observé, ce qui ne permet plus de caractériser par une valeur numérique précise.

I-2-4-2-Acquisition et traitement des images satellitaires:

Les différentes images de télédétection obtenues dans les différentes bandes de fréquences du spectre électromagnétique résultent de l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et la surface étudiée. Chaque image est définie par un ensemble de nombres indiquant des niveaux de luminance discrets (pixels). Le traitement commence par la correction radiométrique et géométrique de l'image, laquelle peut ensuite être enregistrée au moyen d'un système de coordonnées géographiques, de sorte que d'autres données spatiales puissent être ajoutées. Afin de permettre une meilleure analyse, les images sont encore accentuées et classées en différentes catégories d'objets (Dehra, 2000).

I-2-4-3-Capteurs et bandes spectrales d'acquisition :

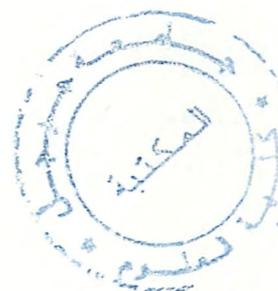
Il est intéressant de disposer de détecteurs dans différentes bandes spectrales plus ou moins fines, pour la détection de phénomènes spécifiques de certains domaines spectraux (Girard et Girard, 1999).

Les données des capteurs TM et MSS sont utilisées pour plusieurs applications comme la gestion des ressources, la cartographie, la surveillance de l'environnement et la détection du changement (par exemple, la surveillance des coupes à blanc) (CCT).

Les capteurs des satellites américains Landsat ETM présentent 8 bandes spectrales d'acquisition comme représente le tableau I :

Tableau I: Représente les bandes spectrales d'acquisition de Landsat ETM.

Bandes	Domaine spectral (microns)	Application
TM 1	0,45-0,52 (bleu)	Discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie/cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52-0,60 (vert)	Cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63-0,69 (rouge)	Discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76-0,90 (proche IR)	Identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol
TM 5	1,55-1,75 (IR de courte longueur d'onde)	Sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4-12,5 (IR thermique)	Discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08-2,35 (IR de courte longueur d'onde)	Discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensibles au taux d'humidité dans la végétation
TM 8	0.50 - 0.90 (Panchromatique)	



II-2-5-Les indices de végétation :

Les valeurs enregistrées par un satellite dans différentes bandes spectrales peuvent servir à calculer des indices combinant ces valeurs pour chaque point observé, sous forme de compte numériques ou de réflectance si ces mesures sont corrigées des effets directionnels et atmosphériques. Ils ont été développés pour dégager une information spécifique qui n'est forcément visible sur une image acquise à une longueur d'onde unique (Nascimento et Acerbi, 2003).

L'indice de végétation est un traitement d'image satellite permettant la mise en évidence et l'analyse de la végétation chlorophyllienne (verte). Il est très corrélé avec la densité et l'activité chlorophyllienne des couverts végétaux, et dans une moindre mesure avec la biomasse (quantité de végétation).

Il se calcule à partir de données enregistrées par les satellites d'observation de la terre (par exemple Landsat ou Spot); pour suivre les atteintes au couvert végétal à l'échelle des continents (déforestation, défoliation par les insectes, sécheresse, ...). Il existe différentes formules d'indice de végétation selon ce que l'on veut étudier (inventaire agricole, inventaire forestier, espaces verts urbains...). Il s'agit en général de combinaisons de 2 canaux: le rouge visible, absorbé par la chlorophylle pour la photosynthèse, et le proche infrarouge réfléchi (renvoyé) par la surface des feuilles (Minvielle et Souiah, 2003).

**** Indice de végétation normalisée (NDVI):**

L'indice de végétation normalisé (NDVI) est le rapport entre la différence entre le PIR-R et PIR+R (Saux Picart, 2003; ONU, 2001).

Cet indice est sensible aux effets atmosphériques et aux variations angulaires de la visée selon la position vis-à-vis du soleil (Rouse et al., 1974; Tucker, 1979 in Girard et Girard, 1999).

$$\text{NDVI}_{\text{Landsat TM}} = \frac{\text{TM4} - \text{TM3}}{\text{TM4} + \text{TM3}}$$

TM4: proche infrarouge.

TM3: rouge.



Matériel et méthodes

II-Matériel et méthodes:

II-1-Présentation de la zone d'étude:

II-1-1-Localisation géographique:

La localité d'El Ancer est située à l'Est du chef lieu de la wilaya de Jijel à une trentaine de kilomètres, limitée au Nord par la commune de Beni Belaid, au Sud par la commune de Belhadef, à l'Ouest par la commune de Djemâa Beni Habibi et enfin à l'Est par celle d'El Milia (Fig. 04 et 05).



Fig. 04: situation géographique de la forêt d'El Ancer (Google Earth).

Comme le montre la figure suivante, elle est limitée par les latitudes $36^{\circ} 47'$ et $37^{\circ} 48'$ Nord et par les longitudes $7^{\circ} 10'$ et $8^{\circ} 11'$ Est.



Fig. 05: Coordonnées géographiques de la zone d'étude (Google Earth).

La forêt d'El Ancer est formée d'une subéraie caractérisée par un sous bois très diversifié, parmi les espèces rencontrées nous citons :

Le lentisque, la bruyère, la lavande, le myrte, le cyste, la menthe, le cyclamen, la mouve sauvage, la petite centaurée... etc.

On y rencontre aussi quelques espèces ripisylves : le peuplier blanc, le peuplier noir, laurier rose et laurier noble.

Notant aussi que la forêt est traversée par l'oued El Kebir.

II-1-2-Climatologie:

II-1-2-1-Climat général

A partir des données de précipitations et de températures fournies par l'Office National de Météorologie pour la station de Jijel, on a pu réaliser une analyse climatique, sur une période de dix ans allant de 1997 jusqu'à 2006.

II-1-2-2-Les précipitations:

Durant la période pluvieuse située entre le mois de septembre et mai, la forêt d'El Ancer reçoit en moyenne 827,5 mm, soit 89,47% des précipitations annuelles.

Pour la période étudiée (1997-2006), le mois le plus humide étant novembre avec une moyenne de 172,6 mm, et le mois le plus sec est celui de juillet durant lequel les précipitations n'excèdent pas 4,85 mm.

Ces résultats sont récapitulés dans le tableau suivant et représentés graphiquement dans la figure 06 :

Tableau II: moyennes mensuelles des précipitations (O.N.M; période 1997-2006).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pluviométrie (mm)	160,2	107,3	45,8	73,8	49,5	13,77	4,85	20,22	89,5	63,7	172,6	114,6	924,84

II-1-2-3-Les températures:

Les températures moyennes mensuelles, calculées sur une période de 10 ans (1997-2006), montrent que le mois le plus chaud est celui d'août avec une moyenne de 26,03°C, alors que le mois le plus froid est celui de février avec une moyenne de 11,26°C.

Tableau III: températures moyennes mensuelles calculées sur une période de 10 ans (ON.M; 1997- 2006).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température (°C)	11,34	11,26	13,61	15,35	18,66	21,77	24,97	26,03	23,55	22,83	15,73	12,37

II-1-2-4-Le diagramme ombrothermique de Gaussen:

Pour avoir une idée sur le caractère des saisons dans la région nous avons établi le diagramme ombrothermique de Gaussen pour la station de Jijel. L'intersection des deux courbes de précipitations et de températures, montre une période sèche, qui s'étend du mois de mai au mois de septembre, et une saison humide qui s'étend sur le reste de l'année (Fig. 06).

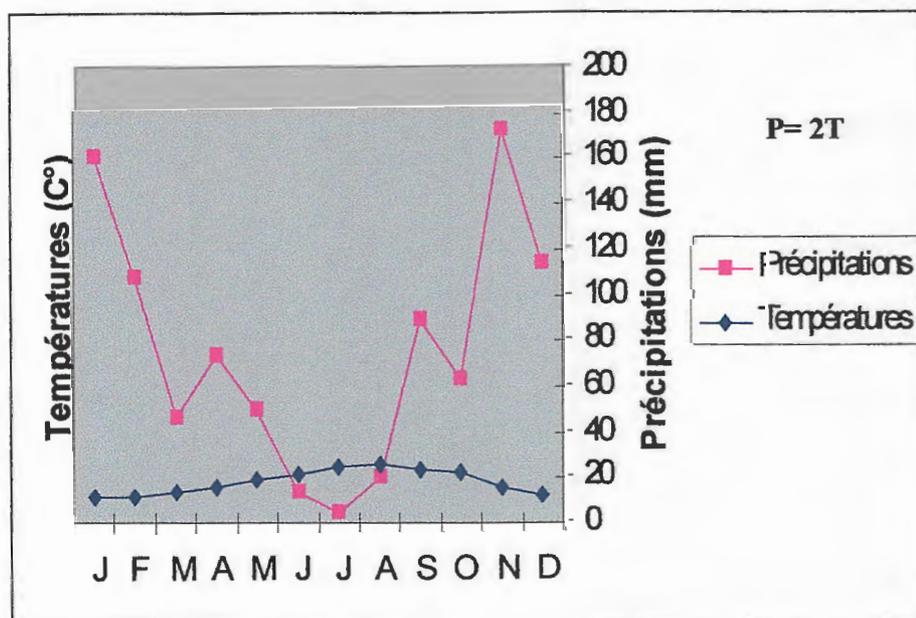


Fig. 06: Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la région de Jijel (1997/2006).

II-2-Matériel:

Pour évaluer l'état de santé d'un écosystème forêt par des méthodes optiques il est indispensable de pouvoir disposer d'images satellitaires les mieux adaptées au but poursuivi ainsi que de logiciels cohérents qui permettent de répondre aux principales questions posées dans le but d'atteindre cet objectif.

II-2-1-Images satellitaires utilisées:

II-2-1-1-Origine et type d'images satellitaires

Grâce au Service d'Accès à l'Information Géo-spatiale de la F.A.O (SGIAR) basé à Alger, nous avons pu disposer gratuitement d'images satellitaires du type Landsat qui ont été téléchargées et/ ou acquises auprès du site www.SGIAR.org

Ces images sont fournies par Landsat ETM, elles sont disponibles dans plusieurs bandes spectrales, il fallait donc sélectionner les bandes ayant une forte dynamique pour le phénomène que l'on veut détecter, pour cela on a recommandé les deux bandes spectrales du proche infrarouge (PIR)et du rouge (R).

Les images Landsat dont on dispose couvrent la zone UTM 32 et possèdent une résolution de 28,5m, ce qui permet une précision satisfaisante. Elles sont géoréférencées selon le système de projection WGS 84 –UTM. L'acquisition est faite entre 2000 et 2001, les images récentes ne sont pas disponibles au niveau du site.

II-2-1-2-Procédure d'acquisition des images satellitaires:

Les images satellitaires obtenues sont sous forme de fichiers compressés. Une image Landsat, même décompressée est un fichier volumineux qui fait entre 20 et 31 MB.

Après avoir été téléchargées, les images sont mises dans un répertoire du micro-ordinateur, elles sont par la suite décompressées à l'aide du logiciel de décompression (7-Zipe-442.exe). Elles deviennent par conséquent de plus en plus volumineuses.

Les images Landsat sont alors au format .tif, ce format peut être traité directement ou après transformation en format .img ou en format .t2(Titus2) par l'intermédiaire de logiciels spécialisés d'analyse et de traitement des images satellitaires.

II-2-2-Les logiciels:

La majorité du traitement et d'analyse des images couvrant la zone d'étude est effectué à l'aide du logiciel Spot2Titus. Néanmoins ce dernier ne dispose pas de toutes les fonctionnalités. Pour compléter ce manque on a été obligé de faire appel à un autre logiciel appelé Titus. Le travail est fait conjointement sur les deux logiciels Spot2Titus et Titus.

II-2-2-1-Spot2Titus:

Produit par le Ministère Français de l'Education Nationale-2002 est un utilitaire permettant la visualisation d'images satellitaires aux format TIFF et IMG. Il sert à:

- ›Afficher l'image en taille réelle;
- ›Extraire une sous-image;
- ›Visualiser l'histogramme;
- ›Visualiser le transect;
- ›L'extraction numérique.

II-2-2-2-Titus:

Le logiciel Titus, produit par le Ministère Français de l'Education Nationale est destiné à une initiation au traitement des images numériques des satellites d'observation de la terre.

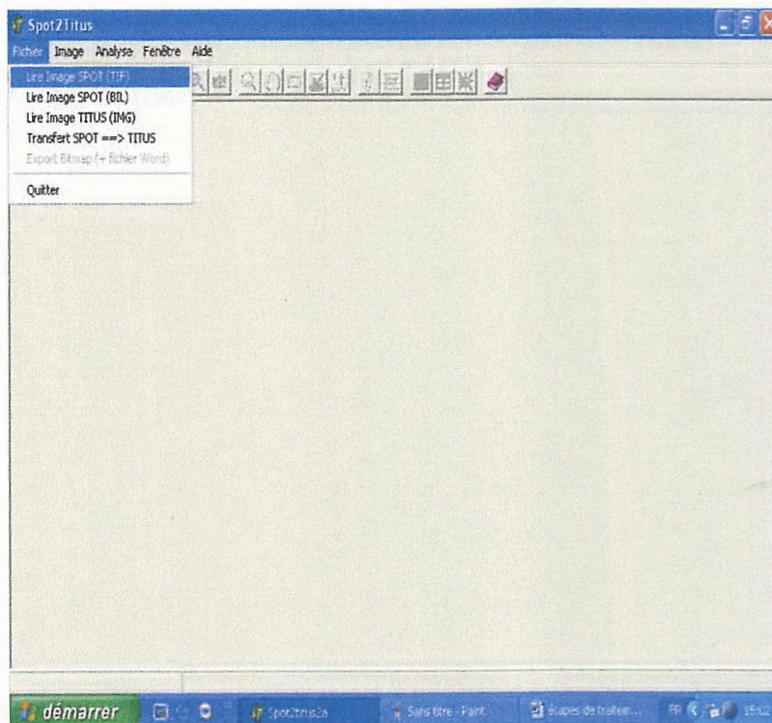
Il comprend les fonctions essentielles du traitement d'images:

- › Visualisation et analyse statistique d'une image;
- › Sélection interactive de sites de travail sur l'image et l'analyse radiométrique de ces sites pour établir une typologie en vue d'une classification;
- › Classification d'une image selon plusieurs méthodes;
- › Extraction d'une sous image et création de masques;
- › Calculs d'indices et transformation d'une image.

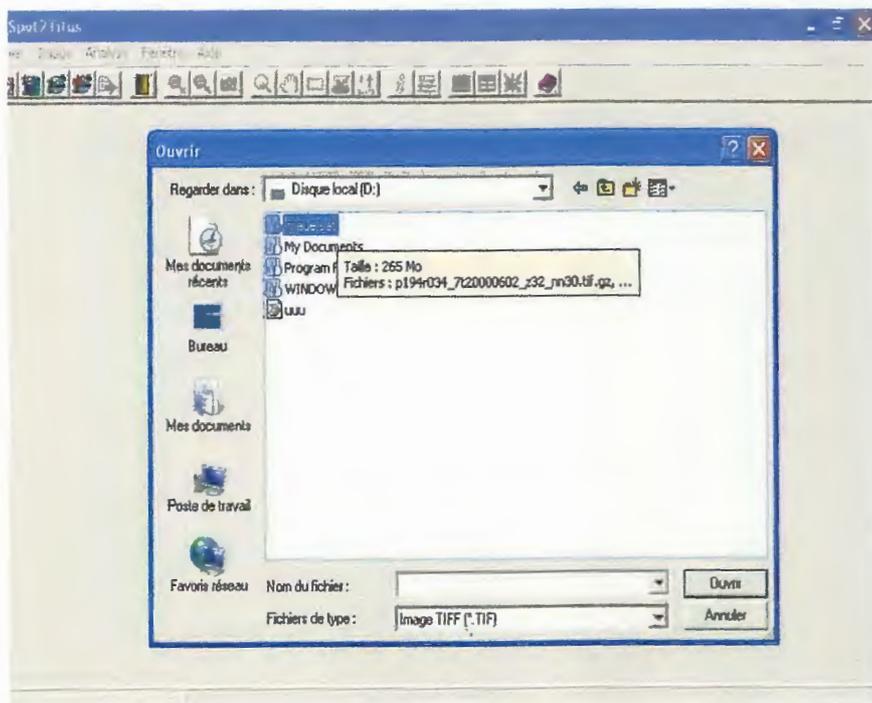
II-3-Méthode d'analyse des images Landsat:

1- Après le téléchargement des images Landsat ETM, on les sauvegarde dans un répertoire du micro-ordinateur (D/ image sat), on les décompresse ensuite par le logiciel de décompression (7-Zipe-442.exe).

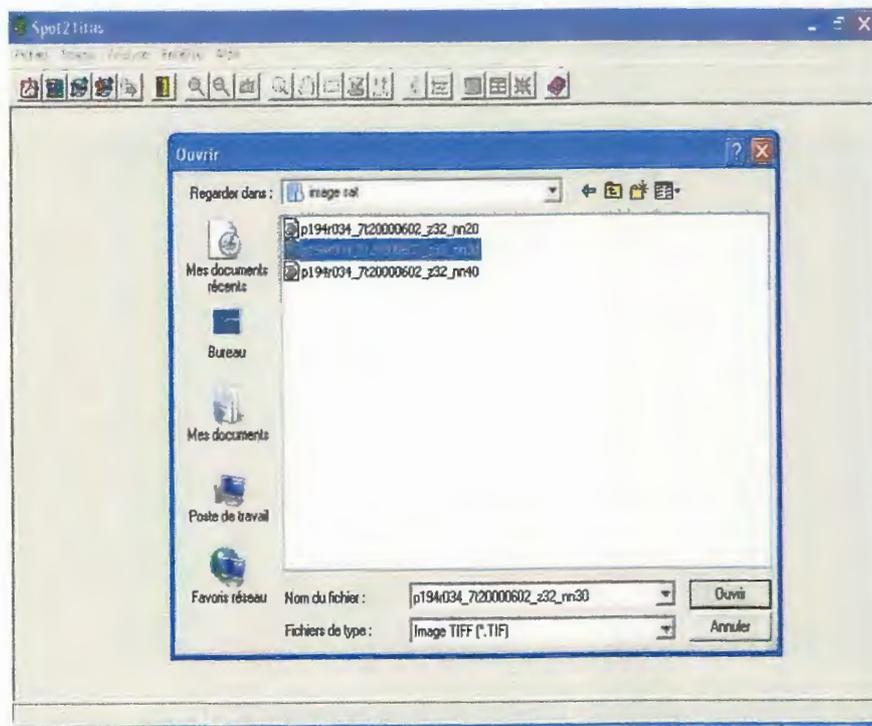
✕ 2- Les images Landsat sont en format .tif. A l'aide du logiciel Spot 2 Titus on les transforme en format .img. Mais avant de les transformer on passe par quelques étapes.



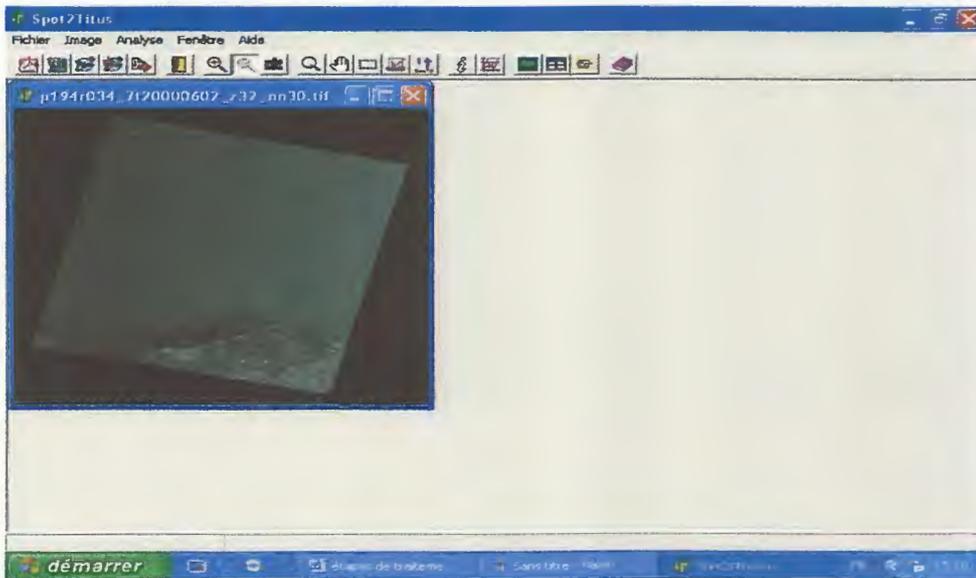
Répo *oplu*
3- Dans Spot2Titus, on clique sur Fichier ensuite sur Lire image Spot (Tif), une fenêtre apparaît, on choisit le répertoire où on a sauvegardé les images; Disque local (D:)/ image sat.



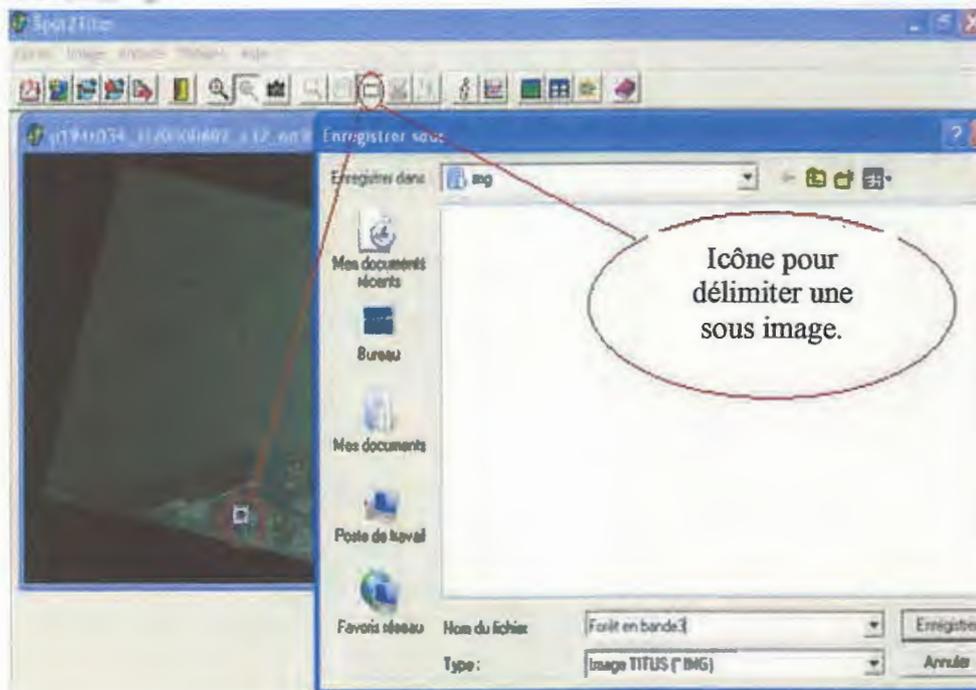
4- On choisit par la suite une image Landsat et on clique sur ouvrir.



5- L'image qu'on a choisie apparaît ensuite sur l'écran.



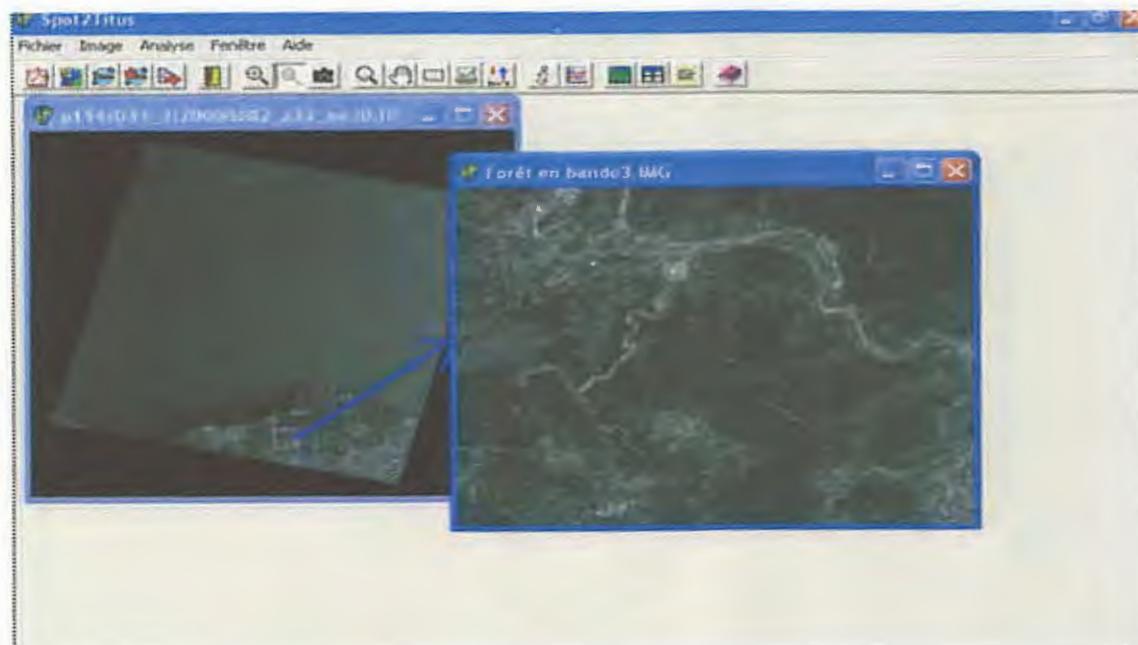
6- On va ensuite délimiter une sous image de la forêt d'EL Ancer et on la sauvegarde sous un nom (Forêt en bande 3) dans un nouveau fichier d'extension ".img".



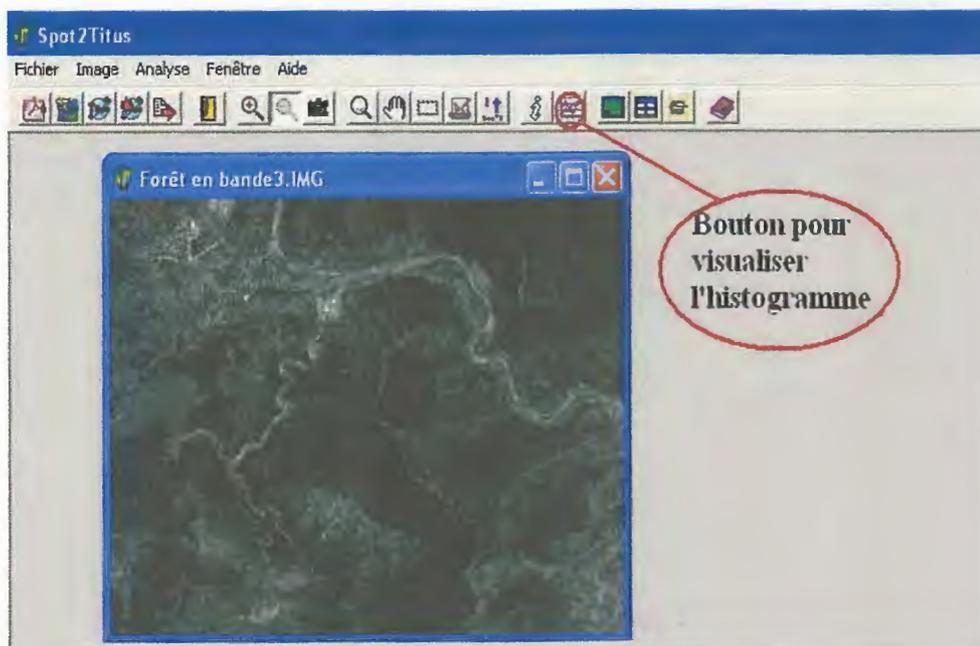
7- L'image découpée est maintenant en format .img, pour lire cette image on clique sur Fichier/ Lire image Titus (IMG), et une fenêtre apparaît, dans la fenêtre on choisit le fichier ".img" et on sélectionne l'image puis on clique sur ouvrir.



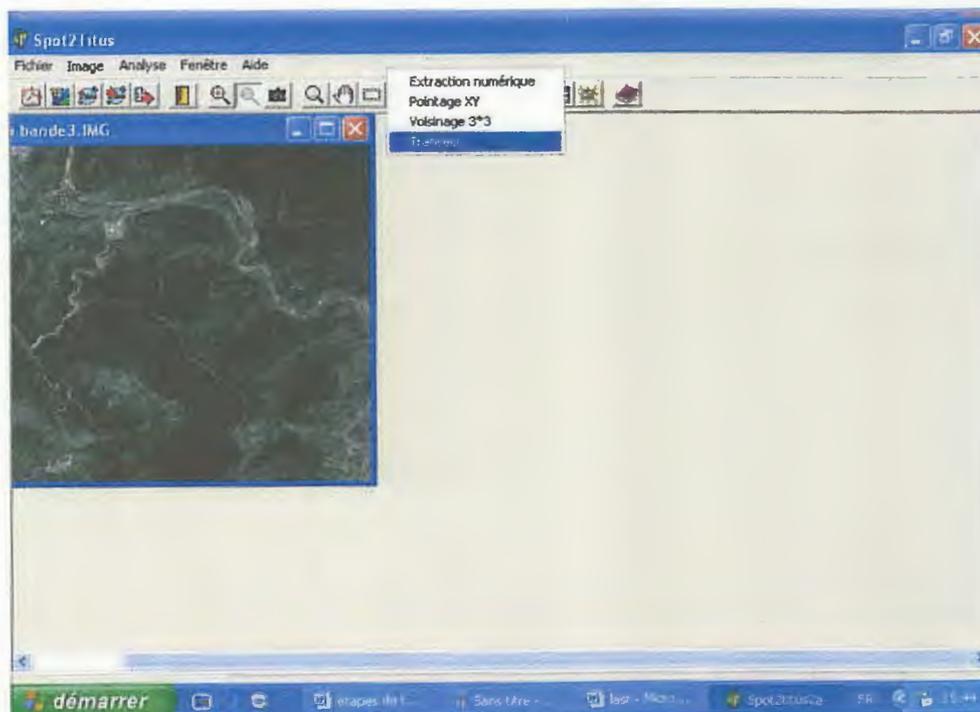
8- L'image découpée est qui représente la forêt d'EL Ancer apparaît sur l'écran du micro-ordinateur.



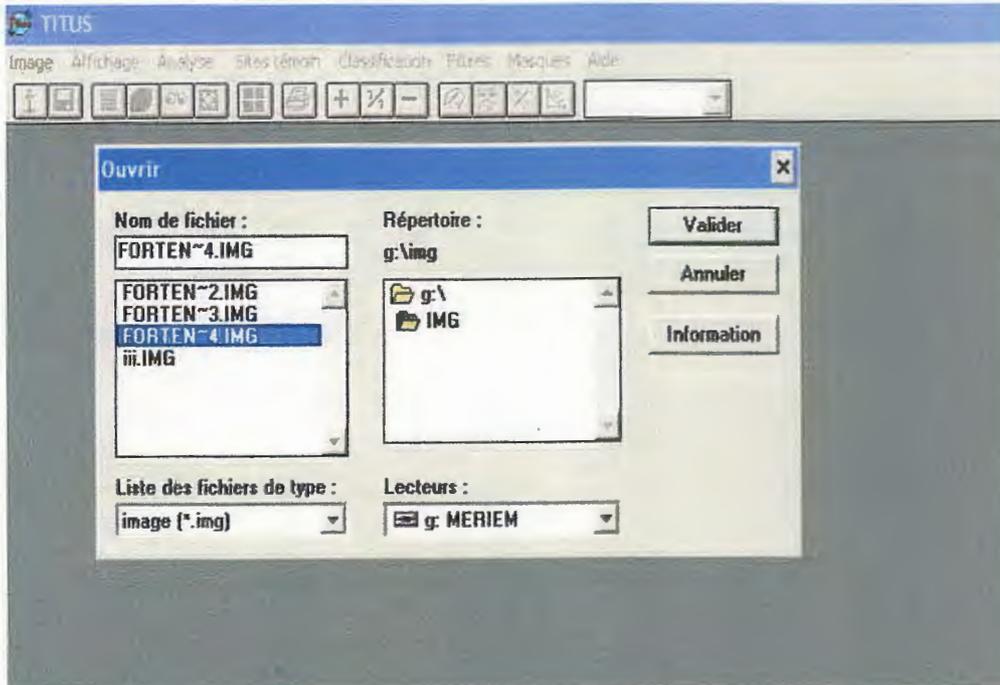
9- On passe après à la visualisation de l'histogramme en cliquant simplement sur le bouton qui sert à visualiser l'histogramme.



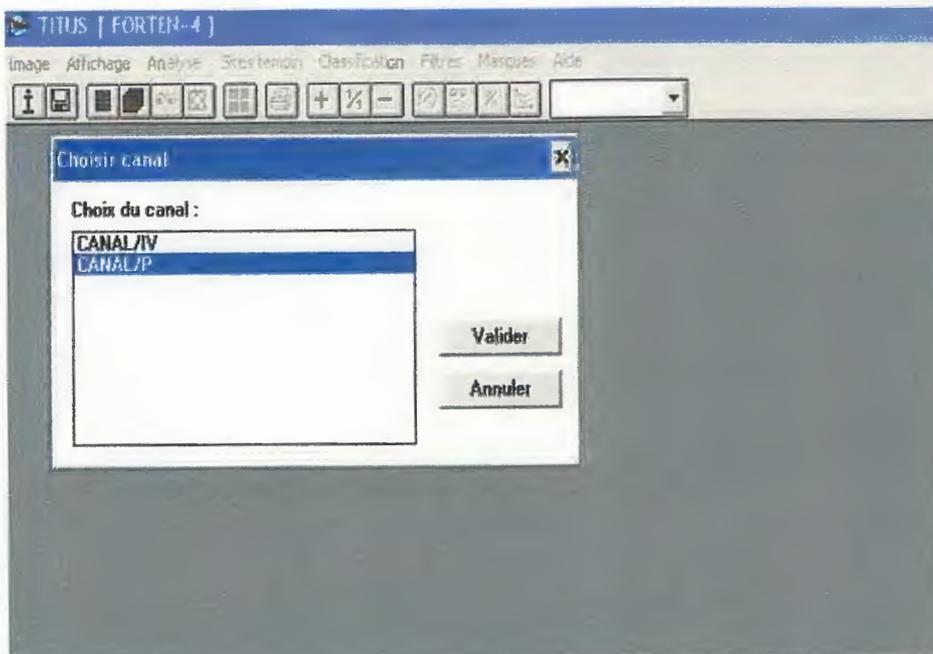
10- Pour la visualisation d'un transect, on clique sur Analyse/ Valeur numériques/ transect, on allant ensuite sur l'image on peut faire un transect et les valeurs numérique de ce dernier vont apparaître dans un schéma.



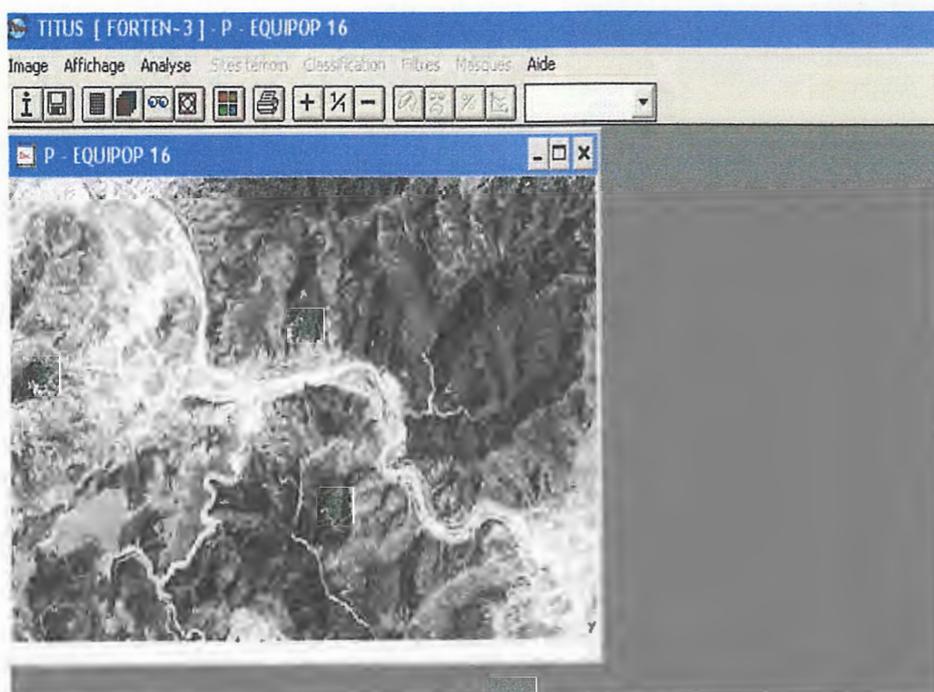
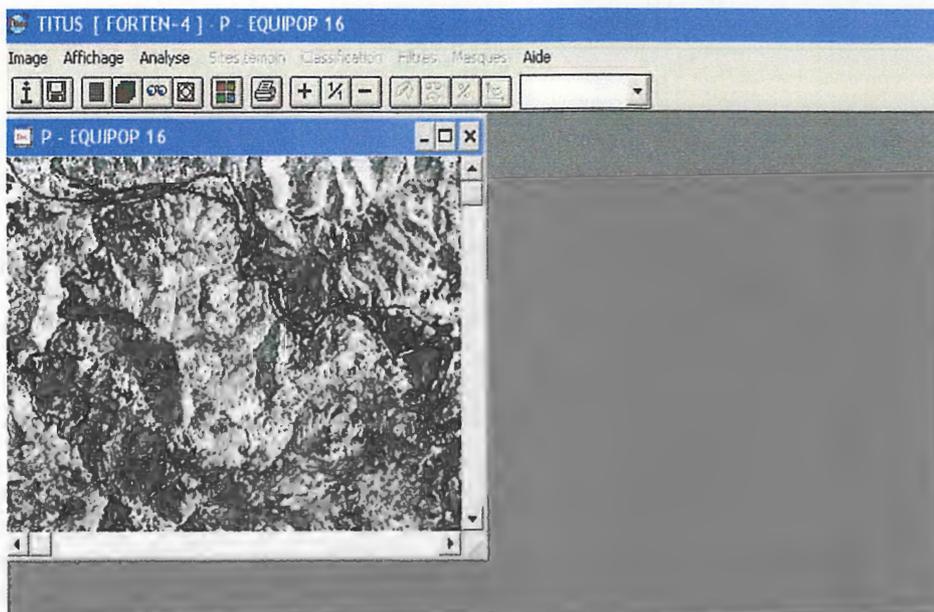
11- Pour le calcul de l'IVDN (NDVI en anglais) on a fait appel au logiciel TITUS. On clique sur image/ Choisir image...ensuite une fenêtre apparaît, on sélectionne la bande 4 (PIR) et on valide.



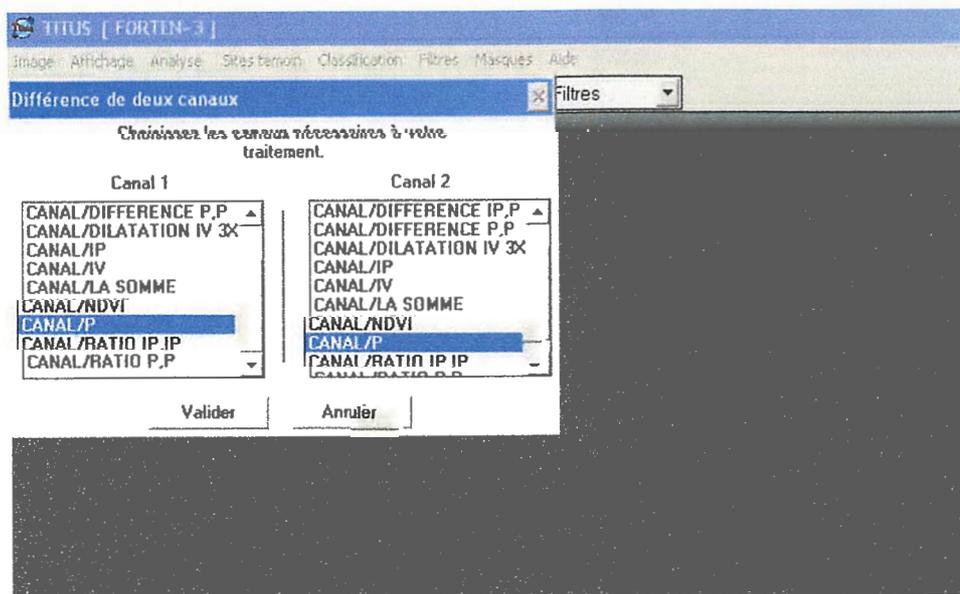
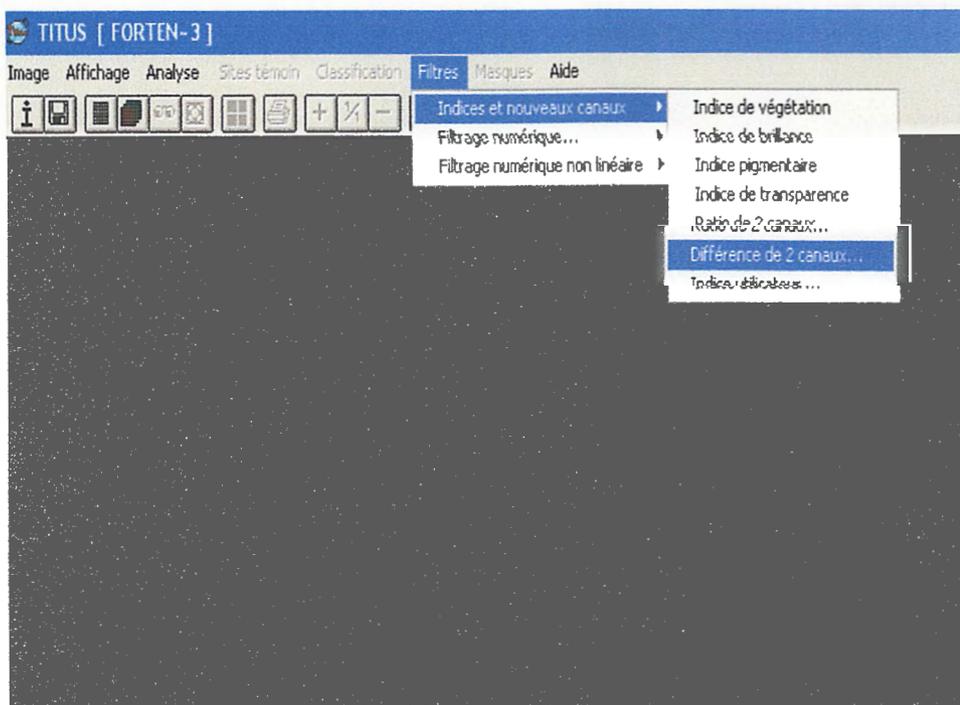
12- Pour afficher l'image on clique sur image/ choisir canal ou néo-canal...> on sélectionne CANAL/P et on valide.



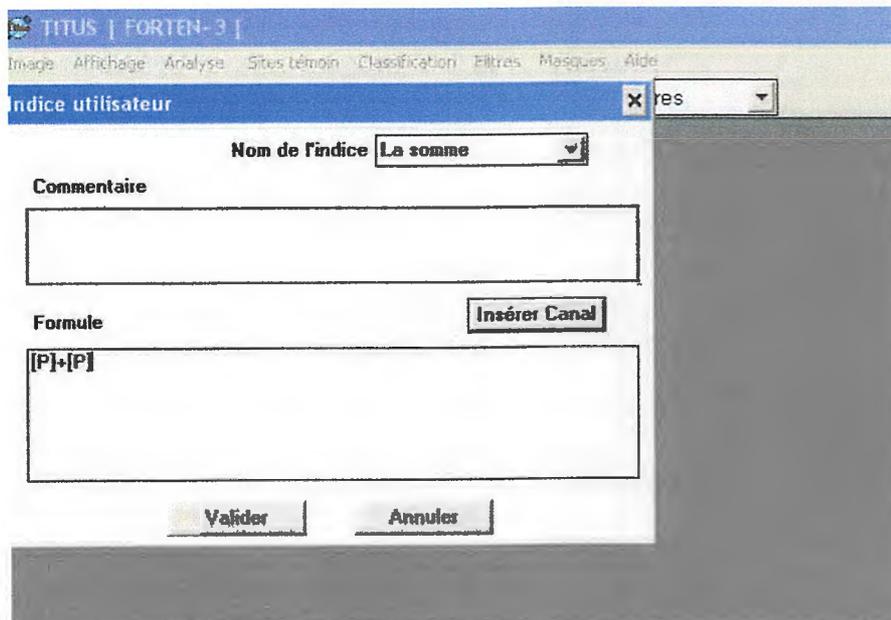
13- L'image en bande 4 est affichée sur l'écran, on suit les mêmes étapes pour afficher l'image en bande 3.



14- Pour calculer la différence entre la bande 4 (PIR) et la bande 3 (R), on clique sur Filtre/ Indices et nouveaux canaux/ Différence de 2 canaux et une fenêtre s'affiche, dans cette fenêtre on sélectionne dans le canal 1: CANAL/ P qui correspond au PIR (parce que c'est la bande 4 qu'on a ouvert en premier) et dans le canal 2: CANAL/ P qui correspond au R, puis on valide.



15- Pour calculer la somme des deux bande 4 et 3, on clique sur Filtre/ Indices et nouveaux canaux/ Indice utilisateur et une fenêtre s'ouvre, dans la fenêtre on tape le nom de l'équation qui est la somme, ensuite on clique sur Insérer canal et on choisit dans la fenêtre qui s'affiche CANAL/ P (PIR) et on valide, le caractère [P] s'écrit dans la fenêtre, on le suit par un "+" et on clique encore une fois sur Insérer canal, on choisit CANAL/ P (R) et on valide, la même chose le caractère [P] s'écrit dans la fenêtre, puis on valide à nouveau.



16- Pour calculer le rapport entre la différence et la somme des deux canaux on suit le même principe que celui utilisé pour calculer la somme, on clique sur Filtre/ Indices et nouveaux canaux/ Indice utilisateur; une fenêtre s'affiche, dans la fenêtre on tape le nom de l'indice "NDVI", ensuite on clique sur Insérer canal et on choisit DIFFERENCE (PIR-R) et on valide, on tape ensuite "/" et on clique encore une fois sur Insérer canal, on choisit LA SOMME (PIR+R) et on valide, une fois tous est affiché dans la fenêtre on valide pour la dernière fois.

Indice utilisateur

Nom de l'indice

Commentaire

Formule

[DIFFERENCE DIFFERENCE DIFFERE]/[LA SOMME]

17- En cliquant sur Analyse/ Valeurs numériques/ Extraction numérique du fichier, les valeurs numériques de l'image NDVI s'affichent.

18- Pour la visualisation de l'histogramme, on clique sur Analyse/ Visualiser l'histogramme.



Résultats et discussion

III-Résultats et discussion

Une fois les images sont affichées en format .img une analyse des réflectances dans les différentes longueurs d'onde (vert, rouge et infrarouge) a été effectuée afin d'aboutir à une caractérisation optique de la zone d'étude.

III-1-La réflectance dans la bande 2 (vert):



Fig. 07 : Image représentant la forêt d'El Ancer en bande 2.

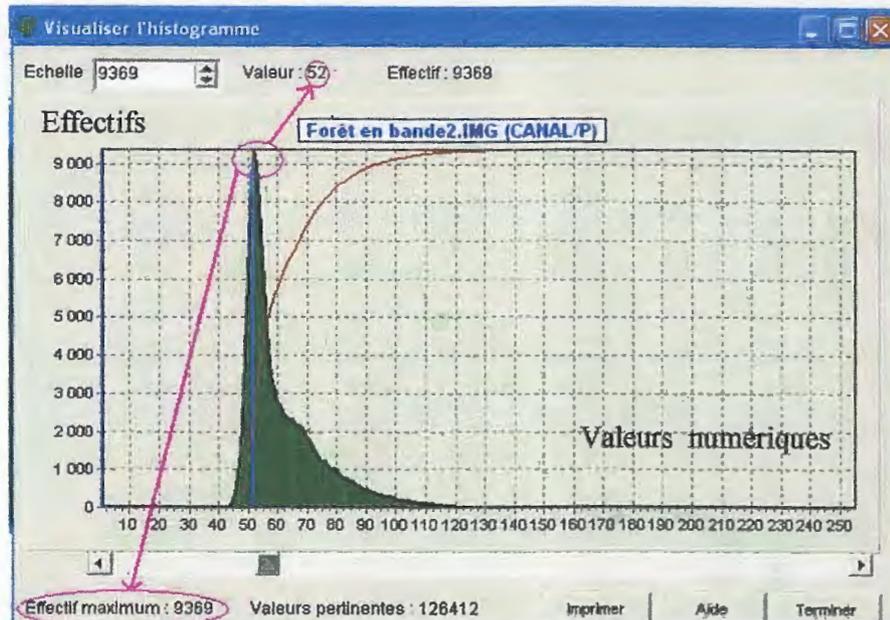


Fig. 08 : Histogramme représentatif de la forêt d'El Ancer en bande 2.

Les valeurs numériques de l'histogramme sont comprises entre (0 et 255). Les données de l'image appartiennent à un intervalle très réduit de la plage [0 – 255]. On constate que l'essentiel de l'information dans cette bande est dans l'intervalle [43 – 123]. L'histogramme a un seul mode: 52 avec un effectif de 9369 pixels, ce qui peut s'expliquer par la présence d'un seul milieu.



Fig. 09 : Transect dans la forêt d'El Ancer (bande 2).

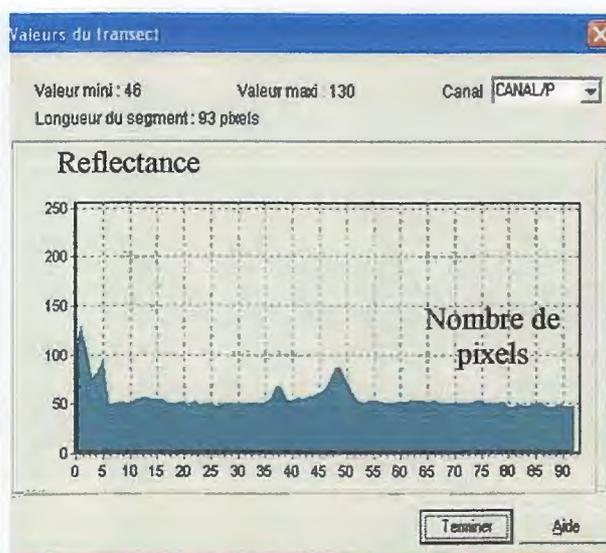


Fig. 10 : valeurs numériques du Transect.

L'analyse des valeurs de 83 pixels met en évidence un milieu homogène avec quelques variations. La valeur maximale enregistrée est 130 alors que la minimale est de 46.

Une comparaison entre les valeurs du transect et ce que l'on voit sur l'image montre que la valeur maximale est enregistrée dans le milieu aquatique et celle la plus basse est enregistrée dans la forêt.

Conclusion:

Dans les longueurs d'ondes du vert, l'eau et la végétation peuvent avoir une signature spectrale similaire. C'est pour cela qu'il est difficile de séparer les deux milieux.

III-2-La réflectance dans la bande 3 (rouge):



Fig. 11 : Image représentant la forêt d'El Ancer en bande 3.

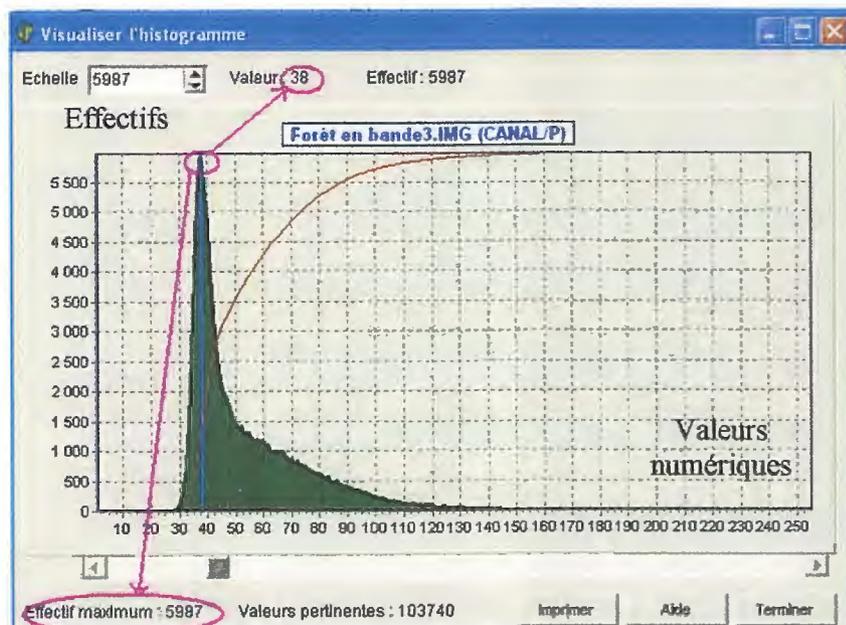


Fig. 12 : Histogramme représentatif de la forêt d'El Ancer en bande 3.

D'après l'histogramme les valeurs numériques varient entre 27 (valeur minimale) et 149 (valeur maximale). L'histogramme comprend un seul mode:38 avec un effectif de 5987, ce qui prouve l'existence d'un seul milieu.

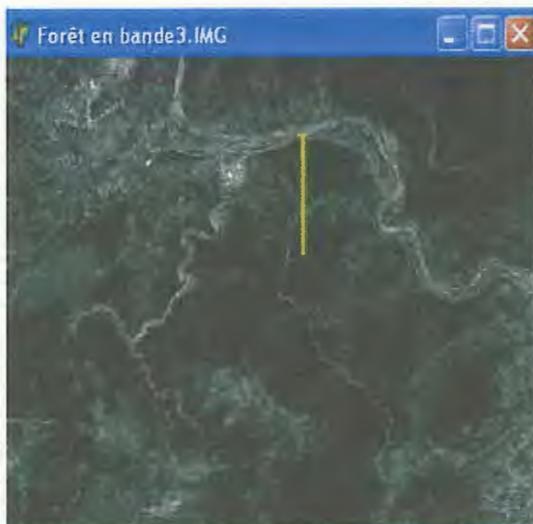


Fig. 13 : Transect dans la forêt d'El Ancer (bande 3)

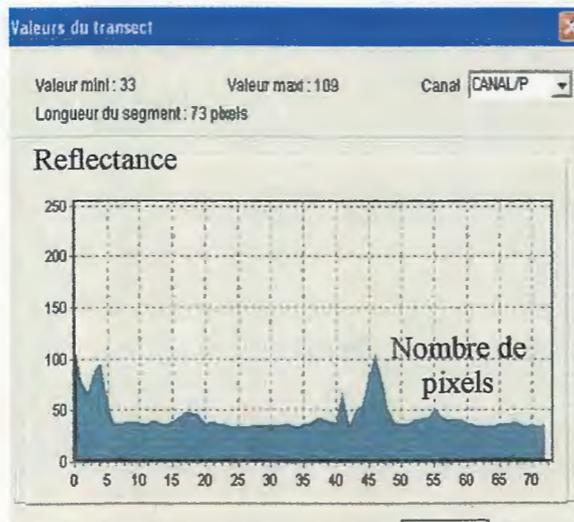


Fig. 14 : valeurs numériques du Transect.

L'analyse d'un transect de 73 pixels fait découvrir un milieu assez homogène, la valeur maximale est 109 est la valeur minimale est de 33.

Les valeurs les plus basses sont enregistrées dans le milieu forestier tandis que les valeurs les plus élevées correspondent au milieu aquatique.

Conclusion:

Dans les longueurs d'ondes du rouge la végétation a une faible reflectance, le maximum de l'énergie solaire est absorbée par les pigments foliaires. Dans le domaine du visible, le maximum de reflectance se trouve dans le vert (vers 550 nm), alors que cette dernière est négligeable dans le reste du spectre (visible).

Comme dans le vert, il n'est pas possible de séparer l'eau de la végétation à cause de la forte similarité de leurs signatures spectrales dans ce domaine.

III-3-La réflectance dans la bande 4 (infrarouge):

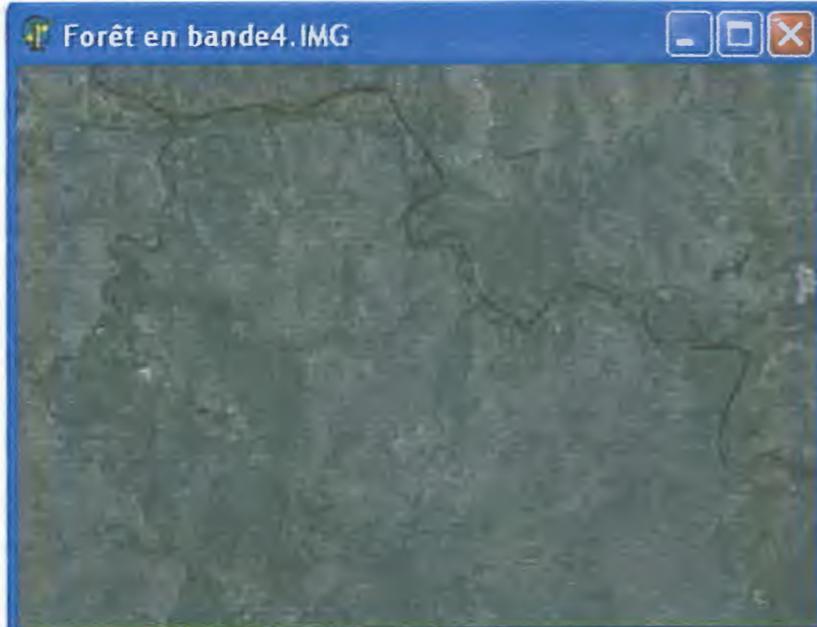


Fig. 15: Image représentant la forêt d'El Ancer en bande 4.

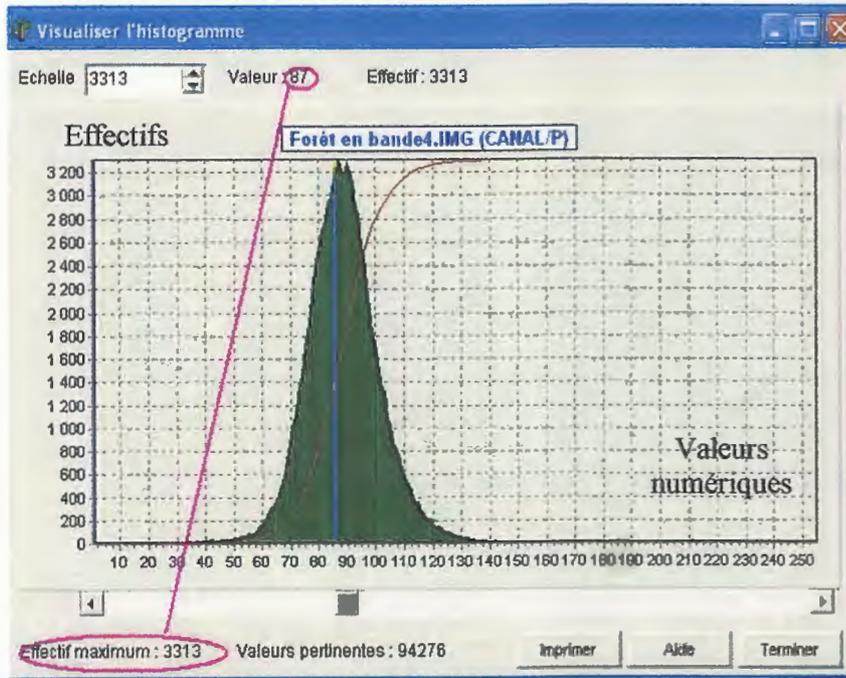


Fig. 16 : Histogramme représentatif de la forêt d'El Ancer en bande 4.

Les données de l'image appartiennent à un intervalle réduit allant de 34 à 145. L'histogramme a une forme bimodale: une population de pixels appartient au domaine aquatique et une population de pixels à la forêt.



Fig. 17 : Transect dans la forêt d'El Ancer (bande 4)

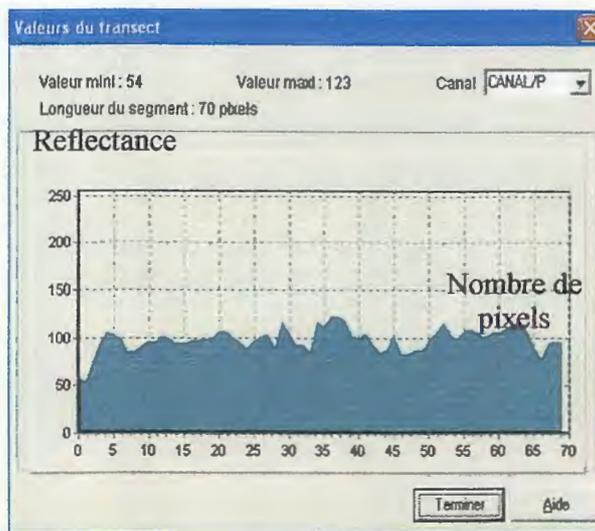


Fig. 18 : valeurs numériques du Transect.

L'analyse des valeurs d'un transect long de 70 pixels, montre que la valeur maximale (123) se rencontre dans le milieu forestier, alors que la valeur minimale (54) appartient au milieu aquatique.

Conclusion:

Dans le PIR (0.8 à 1.5 μ m), les végétaux ont une réflectance plus importante car l'énergie absorbée par les feuilles est très faible. Pour ce qui est de l'eau, les principales bandes d'absorption se situent vers 1200 nm, 1450nm, 1950 nm et 2500 nm, et sa réflectance est faible, ce qui permet de bien différencier les deux milieux (eau, végétation).

III-4-Calcul de l'Indice de la Végétation par Différence Normalisée (NDVI)

Le NDVI est basé sur un calcul arithmétique de la bande du proche infrarouge (PIR) et de la bande du rouge (R). On a calculé d'abord la différence PIR-R (Fig. 19) sur l'image et puis la somme des deux canaux PIR+R (Fig. 20).

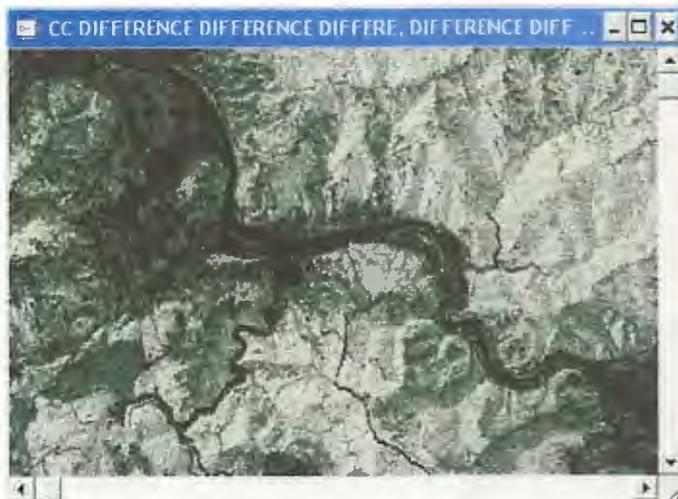


Fig. 19 : différence entre les bandes PIR et R.



Fig. 20 : somme des deux canaux PIR et R.

Le calcul du rapport $\text{PIR-R} / \text{PIR+R}$ nous a permis d'obtenir une image tout a fait différente (Fig. 21). Les valeurs du NDVI varient respectivement entre le 1 et le 0 (Tableau IV). Sur l'image on a pu distinguer nettement les massifs forestiers en blanc, la rivière et les petites agglomérations en noir (Fig. 22).

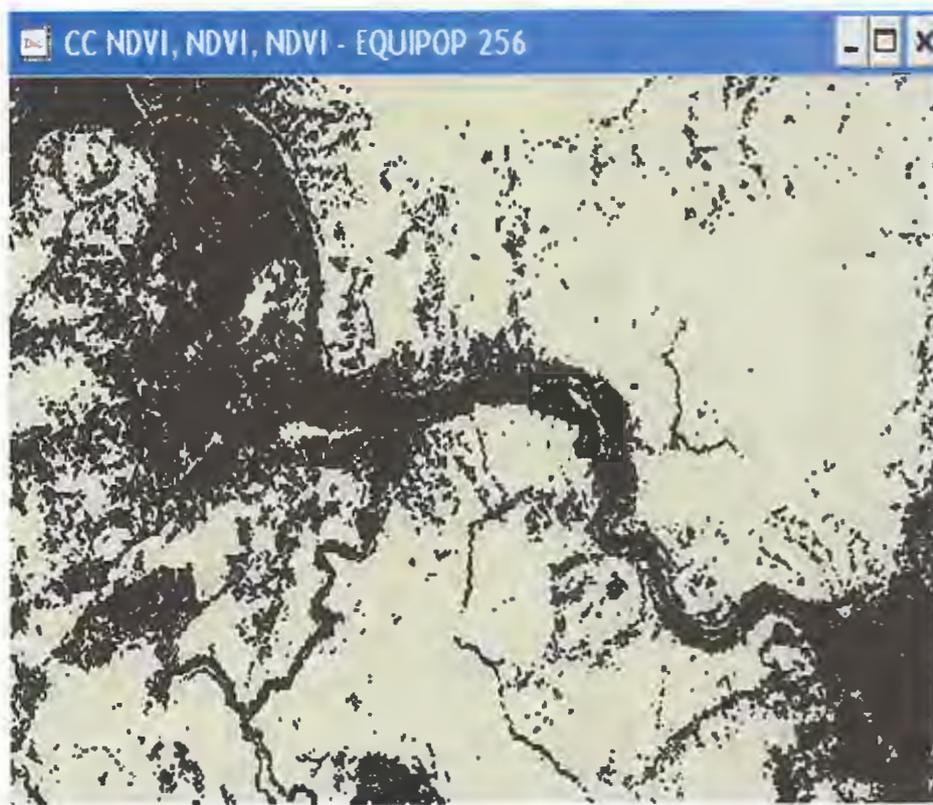


Fig. 21 : image NDVI $(\text{PIR-R}) / (\text{PIR+R})$ pour la forêt d'El-Ancer.

Tableau IV: extrait des valeurs radiométriques de l'image NDVI.

Valeurs numériques

	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
1 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4 :	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5 :	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
6 :	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
7 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10 :	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11 :	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
12 :	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

Sur plan
 00
 00
 00

Imprimer...

Valider

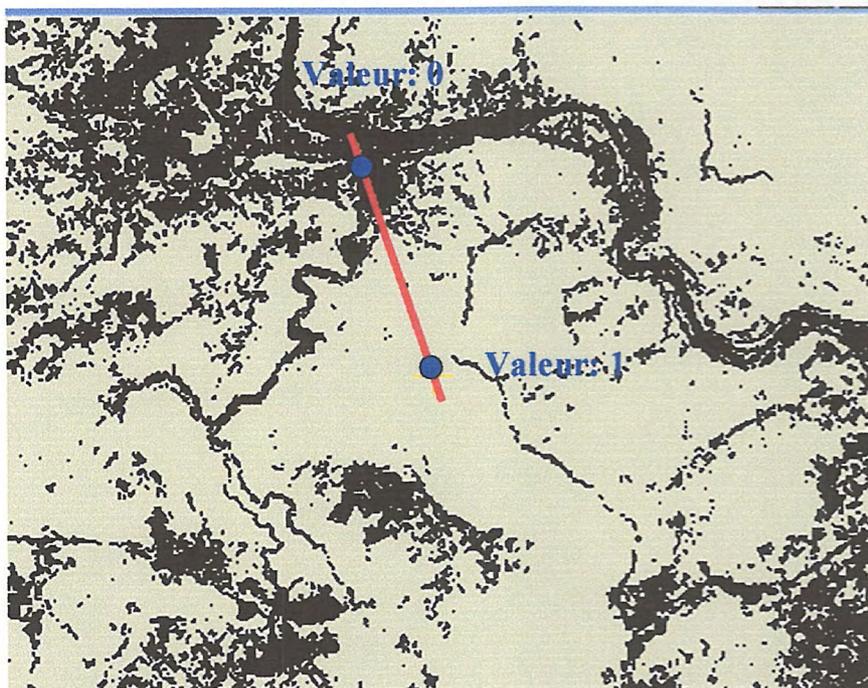


Fig. 22: transect dans l'image NDVI.

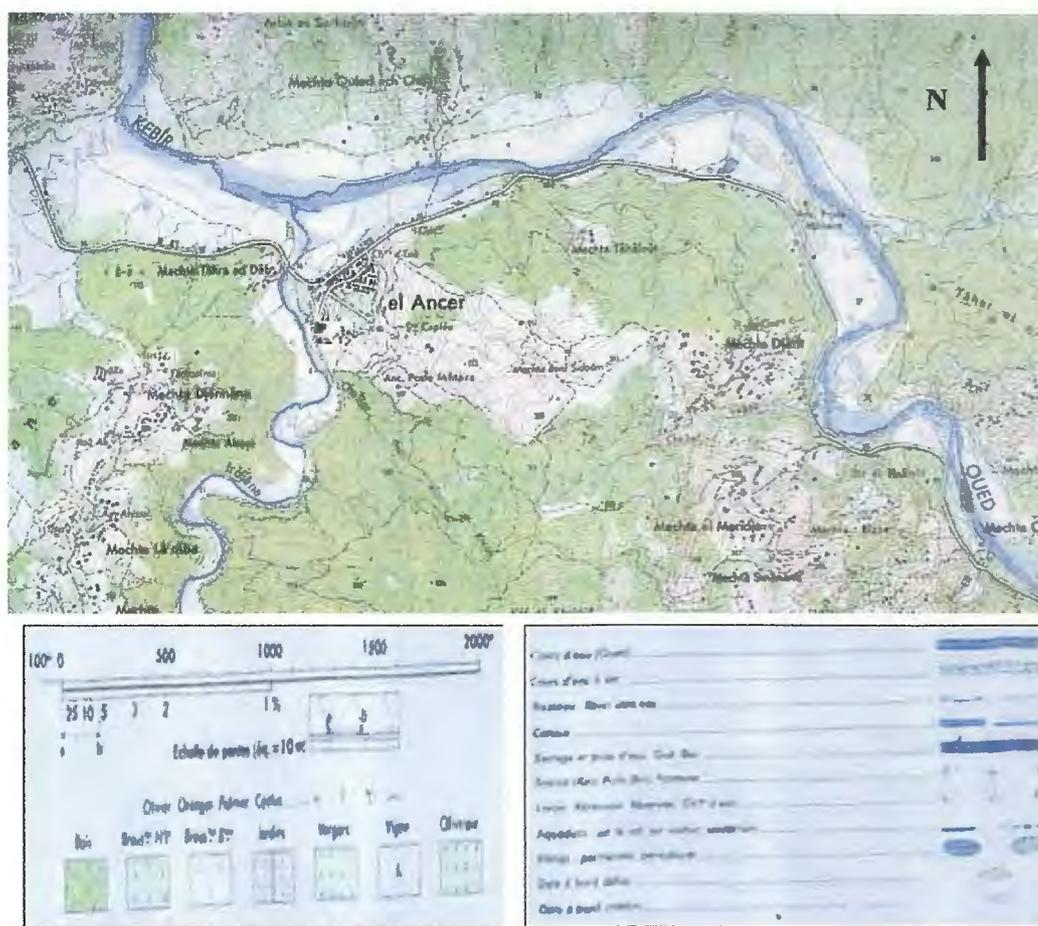


Fig. 23: Carte topographique de la forêt d'El Ancer (Echelle 1/50000).

Plus les valeurs du NDVI sont grandes plus la végétation apparaît blanche et plus cette dernière présente une forte activité chlorophyllienne.

Une sortie sur le terrain montre que les points blancs correspondent au chêne liège et son cortège floristique comprenant les espèces suivantes : *Myrtus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Cystus triflorus*, *Cystus monspeliensis*, *Lavandula stoechas*, *Erica arborea* et *Imula viscosa*. Quant aux points noirs, ils peuvent correspondre aux ripisylves (*Populus alba*, quelques sujets de *Populus nigra*, *Nerium oleander* et *Laurus nobilis*), à l'oued El Kebir, quelques petits cours d'eau, la route, le sol nu et les zones habitées.

Tableau V : Interprétation de l'indice NDVI sur l'image d'après la carte topographique (Fig. 23).

Valeur numérique	Couleur sur l'image	Légende
0	noir	Rivière+route+sol nu+zone habitée
1	blanc	Végétation chlorophyllienne (forêt)

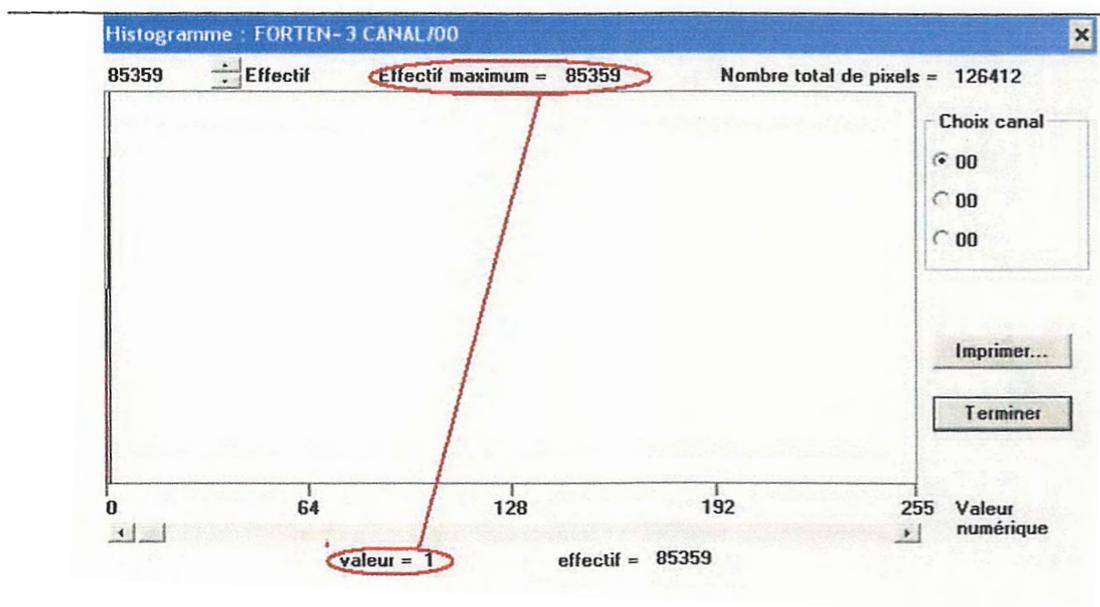
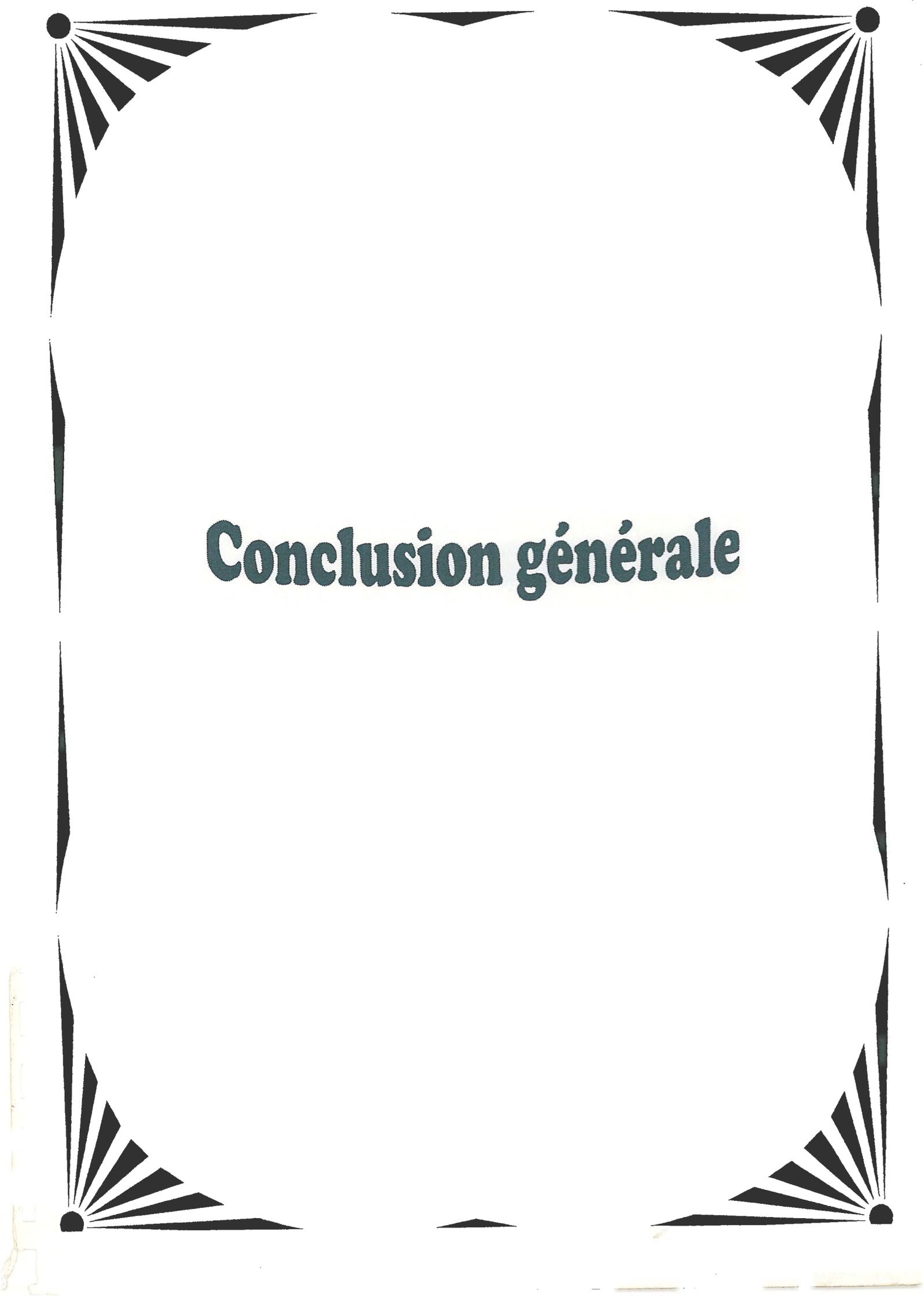


Fig. 24 : histogramme de l'image NDVI.

D'après l'histogramme de l'image NDVI (Fig. 24), on constate que la valeur 1 est la plus répétée avec un effectif de 85359.

Conclusion:

Le calcul de l'indice de végétation par différence normalisée nous a permis de conclure qu'une partie de la forêt d'EL Ancer est en bonne santé correspondant à un pourcentage de 67,52% et le reste (32,48%) est considéré comme pathologique.



Conclusion générale

-B-

› **Brun. J., 2004.** Etude du potentiel des indices de végétation de l'imagerie MODIS pour l'observation de l'évolution intra- et inter-annuelle de la couverture du sol, certificat de spécialisation en géomatique, université de Genève, 37 p.

› **Boullard. B., 1992.** Petite encyclopédie de forêt, édition MARKETING, Paris, 106p.

› **Bonn. F., 1996.** Précis de télédétection, volume 2, édition, Marquis Montmagny (Québec), pp 227-257 et pp 573-590.

› **Bijaber. N., Gay. M., Yessef. M., Bouhaloua. M., Tikert. A., et Ahlafi. Z., 2005.** Utilisation des méthodes avancées de classification pour la cartographie forestière par télédétection; Workshop international, résumés des communications, Rabat- Maroc.

-C-

› **Centre Canadien de télédétection, 2003.** Notions fondamentales de télédétection.

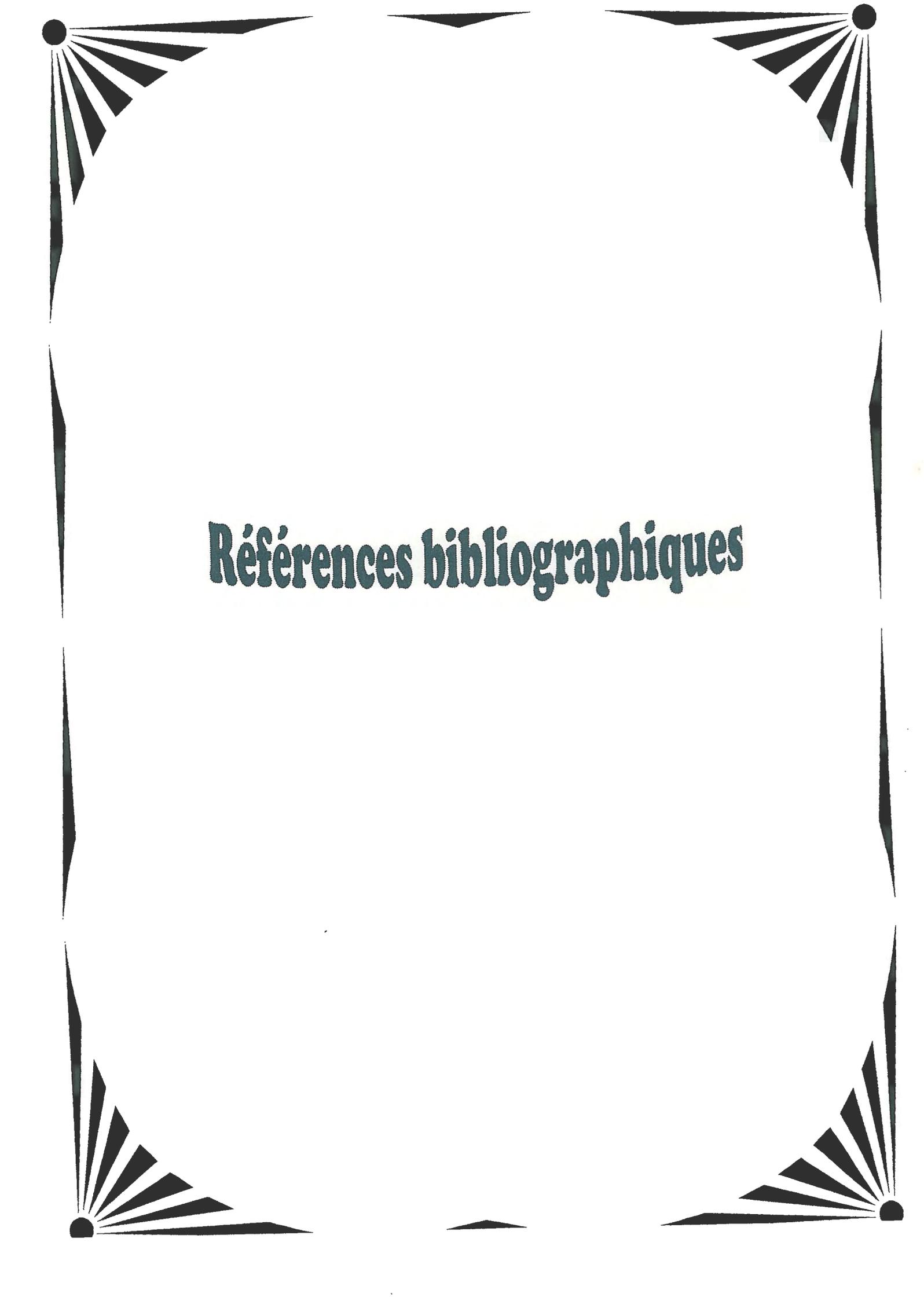
› **Cayrol. P., 2000.** Assimilation de données satellitaires dans un modèle de croissance de la végétation et de bilan d'énergie. Application à des zones semi-arides, thèse de Doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, 244 p.

-D-

› **Dubois. J.M., Bernier. M., Fortin. J.P., et Boivin. F., 1998.** La réalité de terrain en télédétection, pratiques et méthodes. Actes des journées scientifiques de Sainte-Foy, édition AUPELF-UREF, Montréal-Canada, 45p.

› **Devineau. J.L., 1990.** Propriétés spectrales de la végétation. Revue de cartographie des états de surface (SATCARTO), pp 43-48.

› **Dehra. D., 2000.** Gestion des ressources naturelles au moyen de la télédétection par satellite, rapport de l'atelier ONU/ agence spatiale européenne.



Références bibliographiques

› **Denore. B., et Caballero. D., année.** Utilisation des SIG et de la télédétection pour la défense des forêts contre l'incendie, présentation FOMFIS, 4 p.

-E-

- › **Encarta, 2006.** "Ecosystème", Microsoft Corporation, [CD].
- › **Encarta, 2006.** "Solaire, énergie", Microsoft Corporation, [CD].
- › **Encarta, 2006.** "Télédétection", Microsoft Corporation, [CD].

-F-

› **Faurie. C., Ferra. C., Médori. P., Dévaux. J., et Hemptinne. J.L., 2003.** Ecologie (approche scientifique et pratique), 5^{ème} édition, TEC&DOC, Lavoisier Paris, pp 1-11.

-G-

› **Gallay. G., 2003.** L'apport de la télédétection à la gestion durable du massif landais, 7^{ème} colloque ARBORA, France, pp 1-11.

› **Girard. M.C., et Girard. C., 1999.** Traitement de données de télédétection, édition DUNOD, Paris, pp 3-147.

› **Guyot. G., 1980.** Relation existant entre les propriétés spectrales des couverts végétaux et leur état biologique. Conséquences pour la prévision des rendements par télédétection, INRA, Séminaire, station de bioclimatologie-télédétection, Saint-Paul, France, pp 222-231.

› **Guyot. G., 1983.** Influence des attaques parasitaires sur les propriétés optiques des organes et des couverts végétaux, INRA, Séminaire, Paris 5, 6 et 7 décembre, édition ISBN, pp 88-101.

-J-

› **Jacquemoud. S., et Bousquet. L., 2005.** Modélisation des propriétés optiques des feuilles: état de l'art, perspectives et applications en télédétection, 12^{ème} Congrès de

l'Association Québécoise de Télédétection, "La relève : une télédétection en évolution", ville de Saguenay, Québec, Canada, pp 1-8.

-L-

› **Lévêque. C., 2001.** Ecologie (de l'écosystème à la biosphère), DUNOD, Paris, pp 263-270.

› **Lliboutry. L., 1992.** Sciences géométriques et télédétection, édition MASSON, Paris Milan Barcelone, p 235, 237 et pp 251-253.

› **Labrecque. P., et Létourneau. J.P., 2003.** De nouveaux horizons pour la cartographie forestière, bulletin du plan géomatique du gouvernement du Québec, édition électronique Prospection Inc, 11 p.

-M-

› **Minvielle. E., et Souiah. S.A., 2003.** L'analyse statistique et spatiale, éditions du temps, pp 155-166.

-N-

› **Nascimento. I., et Acerbi. C., 2003.** L'environnement en Ile-de-France- Mémento, Indice de végétation, p 61.

-O-

› **ONU, 2001.** Rapport de l'atelier ONU/ Agence spatiale européenne/ Comité de la recherche spatiale sur les techniques de réduction et l'analyse des données satellitaires, A/ Ac.105/746, pp 3-12.

-P-

› **Poruba. M., Pokorny. J., Rabsteiek. O., et Hrabak. R., 1980.** Guide du promeneur dans la forêt, 2^{ème} édition, Hatier, Fibourg (Suisse), pp 281-296.

› **Pomerol. C., Lagabrielle. Y., et Renard. M., 2000.** Elément de géologie, 12^{ème} édition, DUNOD, Paris, pp 712-716.

-R-

› **Riom. J., 1983.** Les recherches de l'INRA en télédétection phytosanitaire, INRA, laboratoire d'écologie et sylviculture, Pierroton, France, pp 11-15.

› **Ramade. F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 2^{ème} édition, DUNOD, Paris, p857.

› **Ressources naturelles Canada, 2003.** Technologie de la télédétection Géomatique, secteur des sciences de la Terre, Ottawa, Canada, 8 p.

-S-

› **Steinberg. J., 2003.** Cartographie (systèmes d'information géographique et télédétection), édition Cécile Geiger, CAMPUS-ARMAND COLIN, pp 85-94.

› **Service de Recherches et Applications Spatiales, politique scientifique fédérale belge, 2003.** Observation de la Terre par satellite, 24 p.

› **Saux Picart. S., 2003.** Synthèse de donnée végétation-Spot4 pour l'extraction de paramètres de sol en zones arides et semi arides, Mémoire d'ingénieur, école supérieure des géomètres et topographes, Toulouse, 85 p.

-Z-

› **Zerrouk. D., 2006.** La forêt algérienne face aux caprices du temps, journal El Watan.

Site d'Internet:

› **Http://www.SGIAR.org.**

<p>Noms et prénoms :</p> <p>Boudjedjou Lamia</p> <p>Berghida Imène</p>	<p>Date de soutenance :</p> <p>Le 11/09/2007.</p>
<p style="text-align: center;">Thème</p> <p style="text-align: center;">Evaluation optique de l'état de santé d'un écosystème forestier par l'analyse des images satellitaires (NDVI). W de Jijel.</p>	
<p style="text-align: center;">Résumé</p> <p>L'évaluation optique de l'état de santé de la forêt d'El Ancer est basée sur le calcul de l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN). L'analyse des valeurs de ce dernier a montré qu'une partie de la forêt (67,52%) sur laquelle porte notre étude est en bonne santé et le reste (32,48%) est considérée comme pathologique.</p> <p>Mots clés : forêt d'El Ancer, télédétection, végétation, réflectance, IVDN.</p>	
<p style="text-align: center;">Summary</p> <p>Evaluation of the health of the forest of El Ancer based on calculation of normalized differential vegetation index (NDVI). The analysis of the values of this last showed that a part of the forest (67,52%) which our study relates is in good health, the remainder (32,48%) is regarded as pathological.</p> <p>Key words: forest of El Ancer, remote sensing, vegetation, reflectance, NDVI.</p>	
<p style="text-align: center;">ملخص</p> <p>التقدير الضوئي للحالة الصحية لغابة العنصر تعتمد على حساب معامل النبات الطبيعي. تحليل قيم هذا الأخير برهنت أن جزء من الغابة (67,52%) التي تتمحور حولها دراستنا في حالة صحية جيدة بينما تعتبر (32,48%) مريضة.</p> <p style="text-align: center;">الكلمات المفتاحية: غابة العنصر, الاستشعار عن بعد, نبات, الانعكاس, معامل النبات الطبيعي.</p>	