

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH-ALGER

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة-الحراش-الجزائر--

THÈSE

En vue de l'obtention du diplôme du Doctorat en Sciences Agronomiques

THÈME

**TÉLÉDÉTECTION ET ANALYSE DES DÉPÉRISSEMENTS
DES FORÊTS NATURELLES EN ZONE SEMI-ARIDE (DJELFA)**

Par : Houda DEROUACHE épouse : Bouazza

Jury :

Président	M. DOUMANDJI. S	Professeur (ENSA El-Harrach)
Directeur de thèse	M. CHAKALI. G	Professeur (ENSA El-Harrach)
Examineurs	M ^{me} BELHADJ. S	Professeur (Université-Djelfa)
	M ^{me} KHARBOUCHE. O	Maitre de conférences (USTHB)
	M. HAMMACHE. M	Maitre de conférences (ENSA El-Harrach)
	M. BERTELLA. N	Maitre de conférences (Université-Batna)

Soutenu le : 18/03/2015

REMERCIEMENTS

Mes sincères et vifs remerciements s'adressent à Mr **CHAKALI. G.** Professeur à l'ENSA (Alger) de l'honneur qu'il m'a fait d'être directeur de thèse. C'est toujours la personne qui ne cesse jamais de faire le mieux de son possible pour présenter le bon travail. Je le remercie également pour ses suggestions, sa patience, ses critiques et sa disponibilité et ses précieux conseils qu'il m'a prodigué dans le cadre de ce travail.

Ma profonde reconnaissance à Mr. **DOUMANDJI. S,** Professeur à l'ENSA (El-Harrach), pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance.

Mes remerciements vont à **M^{me} BELHADJ. S** Professeur à l'université de Djelfa, **Mr. BERTELLA. N,** Maitre de conférences à l'université de Batna, **Mr. HAMMACHE M.** Maitre de conférences à l'ENSA (El-Harrach) et **M^{me} KHERBOUCHE.O,** Maitre de conférences à USTHB, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes sincères reconnaissances vont à tout le personnel du Cemagref à Montpellier, la maison de la télédétection, Mr **PIERRE B.** de m'avoir invité et pour leurs aimables accueils.

Toute ma gratitude et ma reconnaissance à Mr Idriss ex-responsable à la cellule de la télédétection (HCDS) de Djelfa, pour son aide et ces orientations dans la partie télédétection. Son soutien pour maintenir les supports de traitement m'a beaucoup aidé. Toute ma considération et ma gratitude à toutes les personnes qui ont participé à ma formation.

Je voudrais également exprimer mes remerciements à Mr Abou M et Mr Zneti.K pour leur aide au terrain au cours de la période d'étude. Que le personnel du secteur forestier et de l'HCDS de Djelfa, trouvent l'expression de mes remerciements.

Merci à Mr. Bouchnefa, Responsable à la station météorologique d'Alger de m'avoir fournis les données climatologiques.

Aucun mot ne saurait exprimer ce que je dois à ma mère, à mon père qui nous a quitté, une Pieuse pensée et que dieu ait son âme, je dis Merci.

Il m'est très agréable de rendre un grand hommage et toute ma considération à mon époux **MOHAMED,** qui sans lui je n'aurai pu terminer ma thèse.

Un grand merci aux nombreuses personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

1

PREMIERE PARTIE : DONNEES SUR LES PEUPELEMENTS FORESTIERS E T

4

LES DEPERISSEMENTS DANS LES PINEDES DE LA REGION DE DJELFA

CHAPITRE I : Les formations forestières et leur importance

4

1 Historique

4

2 Situation administrative et géographique

6

3 Aire de répartition

6

4 Les zones forestières et leur importance

7

5 Les formations forestières

7

5.1 Les forêts naturelles

7

5.2 Les reboisements

12

6 Etat actuel des forêts de la région de Djelfa

13

7 Aménagements sylvicoles dans les forêts de Djelfa

15

CHAPITRE II : Les dépérissements et leur importance

17

1 Chronologie et régression des peuplements forestiers dans le monde

17

2 Le dépérissement forestier en Algérie

18

3 Difficulté de l'étude du dépérissement forestier

19

4 Les diverses causes de dépérissement des forêts

20

5 Facteurs du dépérissement

20

5.1 Facteurs prédisposant

21

5.2 Facteurs déclenchant

21

5.3 Facteurs aggravants

21

6 Symptômes du dépérissement

22

7 Relation entre les scolytes et les dépérissements

25

CHAPITRE III : Données sur la télédétection et son utilisation

26

1 Généralités et histoire de la télédétection

26

2 Définition de la télédétection

27

3 Principes de base de la télédétection

28

4 Principales étapes de la télédétection

30

5 Les bases physiques de la télédétection

30

6 Propriétés optiques des surfaces

33

6.1 Propriétés optiques des feuilles et de la végétation chlorophyllienne

33

6.2 Propriétés optiques d'un sol nu

34

6.3 Propriétés optiques des surfaces d'eau

34

7 Indices radiométriques de végétation

35

8 Applications de la télédétection

35

9 Le satellite LANDSAT

36

10 Avantages et inconvénients de la télédétection

37

11 **Evolution des méthodes de détection**

39

12 **La télédétection et la gestion forestière**

39

DEUXIEME PARTIE : MATÉRIELS ET MÉTHODES	41
CHAPITRE I : Données climatiques sur le site d'étude	41
1 Généralités	41
2 Températures	40
3 Précipitations	42
4 Humidité	46
5 Gelée	46
6 Neige	46
7 Synthèse climatique	47
7.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953)	47
7.2 Climagramme d'Emberger	48
CHAPITRE II : Données de références et méthodologie de traitement des images satellites	50
1 Images sources et caractéristiques	50
2 Diagramme de l'étude diachronique suivie	54
3 Méthodes d'analyse des images satellites	56
3.1 Traitement des images satellites recueillies	57
3.1.1 Prétraitements des images	57
3.1.1.1 Corrections géométriques	57
3.1.1.2 Corrections radiométriques	59
3.1.2 Traitements des images	59
3.1.2.1 Rehaussement de l'image	59
3.1.2.2 Perfectionnement de contraste	59
3.1.2.3 Transformation des images	60
3.1.2.3.1 Extraction de la zone d'intérêt	60
3.1.2.3.2 Affichage en fausses couleurs et la composition colorée	62
3.1.2.3.3 Analyse de la composante principale (ACP)	63
3.1.2.4 Méthodes de Classification des images satellitaires	66
3.1.2.4.1 Classification non supervisée (ISO -DATA)	67
3.1.2.4.2 Classification supervisée (Maximum de Vraisemblance)	68
3.1.2.4.3 Evaluation statistique de la classification	69
3.1.2.4.4 Calculs des surfaces forestières	70
3.1.2.5 Digitalisation et estimation des surfaces forestières	70
3.1.2.6 Analyse multi-temporelle des images digitalisées	71
3.1.2.7 Détermination des foyers dépéris	71
3.1.2.8 Méthode de calcul des indices	71
3.1.2.8.1 Indice de végétation (NDVI)	71
CHAPITRE III: Méthodologie adoptée à l'étude des scolytes dans les milieux Prospectés	73
1 Au terrain	73
1.1 Prospection et choix des sujets dépéris	73
1.2 Abattage et préparation des échantillons	74
2 Au laboratoire	75
2.1 Écorçage des rondins	75
2.2 Identification des espèces récoltées	76
2.3 Mensuration des galeries de reproductions chez l'hylésine destructeur, <i>Tomicus destruens</i>	76
2.4 Méthodes d'analyses des données	77

TROISIEME PARTIE : RESULTATS	78
CHAPITRE I : Présentations des images après traitement	78
1 Organisation des images satellites traitées	78
1.1 Normalisation radiométrique	78
1.2 Ortho rectification des images traitées.	80
1.3 Profils spectraux de quelques formations végétales	82
1.4 Analyses statistiques initiales des images	84
1.4.1 Image satellite de l'année 1972	84
1.4.1.1 Statistiques de l'image	84
1.4.1.2 Courbe et histogramme de l'image	86
1.4.2 Image satellite de l'année 1987	87
1.4.2.1 Statistiques de l'image	88
1.4.2.2 Courbe et histogramme de l'image	89
1.4.3 Image satellite de l'année 2001	91
1.4.3.1 Statistique de l'image de l'année	91
1.4.3.2 Courbe et histogramme de l'image	92
1.4.4 Image satellite de l'année 2009	94
1.4.4.1 Statistique de l'image	94
1.4.4.2 Courbe et histogramme de l'image	95
1.5 Présentation des images satellites classifiées	97
1.5.1 Classification non supervisé par ISODATA	97
1.5.1.1 Image 1972 et statistiques des classes	97
1.5.1.2 Image 1987 et statistiques des classes	99
1.5.1.3 Image 2001 et statistiques des classes	102
1.5.1.4 Image 2009 et statistiques des classes	104
1.5.2 Classification supervisée par la méthode Maximum de Vraisemblance	106
1.5.2.1 Cas de l'image classifiée de l'année 1972	106
1.5.2.1.1 Statistiques des classes	107
1.5.2.1.2 Statistiques sur les ROIs	108
1.5.2.2 Cas de l'image classifiée de l'année 1987	109
1.5.2.2.1 Statistiques des classes	110
1.5.2.1.2 Statistiques sur les ROIs	111
1.5.2.3 Cas de l'image classifiée de l'année 2001	112
1.5.2.3.1 Statistiques des classes	113
1.5.2.3.2 Statistiques sur les ROIs	114
1.5.2.4 Cas de l'image classifiée de l'année 2009	115
1.5.2.4.1 Statistiques des classes	116
1.5.2.4.2 Statistiques sur les ROIs	117
1.5.3 Validation des résultats de la classification supervisée	118
1.5.4 Evaluation des surfaces de l'occupation du sol dans la région de Djelfa par les deux méthodes de classification	119
1.6 Synthèse des images satellites digitalisées	122
2 Evaluation temporelle des surfaces forestières	124
3 Exploration du changement des surfaces	127
4 Comparaison des foyers déperis dans la forêt naturelle de Senalba Chergui (2001 et 2009)	128

5	Indice de végétation normalisé entre 1972 et 2009	130
5.1	Indice de végétation (NDVI) 1987	131
6	Application de l'NDVI sur la forêt de Senalba Chergui	132
	CHAPITRE II : Diversité des espèces des scolytes identifiées et leur importance	135
1	Analyse qualitative	135
2	Présentation et importance des espèces identifiées	136
2.1	<i>Tomicus destruens</i>	136
2.2	<i>Orthotomicus erosus</i>	138
2.3	<i>Pityogenes bidentatus</i>	139
2.4	Le genre <i>Crypturgus</i>	140
2.5	Le genre <i>Hylurgus et Hylastes</i>	140
2	Analyse quantitative	143
2.1	Répartition de l'espèce de <i>Pityogenes</i>	143
2.2	Répartition de l'espèce de <i>Tomicus destruens</i>	144
2.2.1	Longueurs des galeries de reproduction de l'espèce de <i>Tomicus destruens</i>	146
3	Importance des dégâts	149
4	Analyses statistiques des dommages de reproduction de l'hylésine, <i>Tomicus Destruens</i>	151
4.1	Synthèse des données des variables étudiées	151
4.2	Matrice de corrélation des paramètres étudiés	152
4.3	Classification des variables étudiées	153
	QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION	154
	CHAPITRE I : Interprétations des traitements satellitaires	154
1	Interprétation visuelle des images satellites	154
2	Analyse de la dynamique de l'occupation du sol en fonction de NDVI	156
3	Etude de la dynamique des forêts classées	167
3.1	Analyse spatiotemporelle des formations forestières de la région de Djelfa	168
3.1.1	Cas de la forêt de Senalba Chergui	168
3.1.2	Cas de la forêt de Senalba Gharbi	169
3.1.3	Cas de la forêt de Sahary	169
3.1.4	Reboisement de Sahary	169
3.1.5	Reboisement de Moudjbara	170
4	Analyse des foyers dépéris dans la forêt de Senalba Chergui	174
5	Analyse du diagramme de détection de changement	176
	CHAPITRE II : Interprétation sur les populations des scolytes	178
1	Analyse globale de la diversité spécifique	178
2	Stratégie de la colonisation des espèces étudiées	179
3	Analyse de l'épidémie	179
4	Importance des pertes et conséquences	180
	Conclusions	181
	Références bibliographiques	184
	Annexes	198

Liste des abréviations

°C	Degré Celsius
RR	Précipitation
T	Température
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
Ha	hectare
MSS	Multi Spectral Scanner
NDVI	Indice de Végétation Différence Normalisée
PIR	Canal proche infrarouge
R	Canal rouge
V	Canal vert
B	Canal bleu
WGS 84	World Geodetic System (revision de 1984) .
ASAL	Agence satellitaire Algérienne
TM	Thematic Mapper
TIFF	Extension (Tagged Image File Format)
ENVI	The Environment for Visualizing Images
RMS	Moyenne Quadratique
µm	Micromètre
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques).
CEENU	Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies
BFH	Federal Research Centre for Forestry and Forest Products. Institute for World Forestry
EFI	European Forest Institute
DGF	Direction générale des forêts
ASAL	Agence spatial d'Alger

Liste des tableaux

Tableau 1. Superficies forestières par décennie des forêts de pin d'Alep en Algérie.

Tableau 2. Travaux de repeuplement réalisés dans les massifs forestiers de la région de Djelfa (1962 - 2014).

Tableau 3. Superficies des forêts dans la région de Djelfa.

Tableau 4. Les patrimoines forestiers naturels et leur surface (région de Djelfa).

Tableau 5. Travaux de reboisements réalisés dans la région de Djelfa (1962- 2014).

Tableau 6. Superficies forestières estimées en hectare en fonction des espèces forestières en 2014.

Tableau 7. Présentation des bandes spectrales et longueurs d'ondes correspondentes. (Soudani, 2006)

Tableau 8. Principales propriétés optiques des domaines du spectre électromagnétique.

Tableau 9. Principales caractéristiques des satellites LANDSAT (Bardinet, 1994).

Tableau 10. Cumul annuelle des quantités des précipitations mensuelles (en mm) de 1975 à 2010 de la région de Djelfa.

Tableau 11. Moyennes mensuelles de l'humidité relative de 1980 à 2010 en %.

Tableau 12: Nombre de jour de gelés enregistrés durant la période allant de 1980-2010.

Tableau 13. Nombre de jour de neige pour la période de 1980 à 2010.

Tableau 14. Caractéristiques des images utilisées.

Tableau 15. Caractéristiques des bandes spectrales du satellite LANDSAT TM.

Tableau 16. Présentation du matériel utilisé au laboratoire.

Tableau 17. Présentation des statistiques des bandes de l'image de l'année 1972.

Tableau 18. Présentation des statistiques de base de l'image de l'année 1987.

Tableau 19. Statistiques appliquées sur l'image de l'année 2001.

Tableau 20. Présentation des statistiques de l'image de l'année 2009.

Tableau 21. Statistiques de base des classes étudiées.

Tableau 22. Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 1972.

Tableau 23. Séparabilité entre les classes.

Tableau 24. Statistiques de base de l'image classifiée (1987).

Tableau 25. Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 1987.

Tableau 26. Séparabilité entre les classes.

Tableau 27. Présentation des Statistiques de base des classes de l'image classifiée.

Tableau 28 : Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 2001.

Tableau 29. Séparabilité entre les classes.

Tableau 30. Statistiques de base pour les bandes de 1 à 4.

Tableau 31. Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 2009.

Tableau 32. Séparabilité entre l'ensemble des classes.

Tableau 33. Résultats de l'évaluation de la classification.

Tableau 34. Présentation comparative entre les méthodes de classification dans l'évaluation superficielle de l'occupation du sol dans la région de Djelfa (1972 - 2009).

Tableau 35. Chronologie des surfaces forestières dans la région de Djelfa.

Tableau 36. Différence des surfaces occupées par les différentes classes d'occupation du sol (1972-2009).

Tableau 37. Biodiversité et répartition des espèces de scolytes sur *Pinus halepensis* Mill.

Tableau 38. Volume du bois exploité dans le cadre d'assainissement contre les scolytes à Senalba chergui (1999- 2010).

Tableau 39. Volume du bois exploité dans le cadre d'assainissement contre les scolytes dans les massifs forestiers de Djelfa (1999- 2010).

Tableau 40: Présentation des variables considérées.

Tableau 41. Matrice de corrélation des variables étudiés.

Tableau 42. Bilan des incendies dans la région de Djelfa (2000_2014)

Liste des figures

Figure 1. Présentation des zones limitrophes des massifs forestiers de la région de Djelfa.

Figure 2. Massifs forestiers dans la zone de Djelfa (1/50000).

Figure 3. Localisation du reboisement de Moudjbara et les massifs forestiers de Djellal dans la région de Djelfa.

Figure 4. Massifs de Sahary (1/50000).

Figure 5: Fréquences d'âge des peuplements forestiers de Senalba Chergui.

Figure 6. Facteurs majeurs participant à la mort d'un arbre (d'après Manion, 1981)

Figure 7: Schéma représentatif des symptômes et les principaux facteurs hypothétiques du dépérissement forestiers (d'après Roy, 1998).

Figure 8. Principes de base de la télédétection (d'après Soudani, 2005b).

Figure 9. Principales étapes de la télédétection (Centre canadien de la télédétection, 2008).

Figure 10. L'ensemble des fréquences du spectre électromagnétique.

Figure 11. Détails des domaines spectraux.

Figure 12. Variations des moyennes des températures maxima et minima dans la région de Djelfa (1975-2010).

Figure 13. Variations des quantités pluviométriques annuelles de la région de Djelfa (1975 et 2010).

Figure 14 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles et variations (1980 - 2010).

Figure 15. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen(1953) (Période:1980-2010).

Figure 16. Projection de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.

Figure 17. Répartition des surfaces forestières dans la region de Djelfa (1/250000).

Figure 18. Vue générale de la forêt de Senalba Chergui.

Figure 19. Image satellite initiale de l'année 1972.

Figure 20. Image satellite initiale de l'année (1987).

Figure 21. Image satellite initiale de l'année 2001

Figure 22. Image satellite initiale de l'année 2009.

Figure 23. Organigramme de l'étude diachronique de l'occupation du sol des forêts de Djelfa.

Figure 24. Présentation de la zone découpée.

Figure 25. Présentation de la partie découpée de l'image satellite globale (2009).

Figure 26. Application de l'ACP sur la scène 2009 de la région de Djelfa.

Figure 27. Résultat de l'ACP par la combinaison des trois bandes (TM2 TM4 TM3).

Figure 28. Abattage et localisation des arbres pièges (Senalba Chergui).

Figure 29 : Présentation des rondins après écorçage pour chaque série au laboratoire.

Figure 30. Image originale (valeur entre 0-255) et image améliorée : étalement entre 16-56.

Figure 31. Image du résultat de la normalisation (1972).

Figure 32. Image du résultat de la normalisation (2009).

Figure 33. Sélection des points d'appui sur l'image 2009.

Figure 34. Présentation des résultats de Calage.

Figure 35. Présentation des profils spectraux de l'occupation du sol.

Figure 36. Image satellite corrigée représentant les massifs forestiers de la région de Djelfa en 1972.

Figure 37. Variabilité des valeurs radiométriques des bandes (cas de l'image 1972).

Figure 38. Histogramme des bandes de l'image de l'année 1972.

Figure 39. Présentation des massifs forestiers développés dans la région de Djelfa (1987).

Figure 40. Variabilité des valeurs radiométriques des bandes (Image 1987).

Figure 41. Histogramme des canaux de l'image (1987).

Figure 42. Présentation des massifs forestiers de la région de Djelfa (2001).

Figure 43 : Courbe des canaux de l'image de l'année 2001.

Figure 44: Histogramme des bandes de l'image de l'année 2001.

Figure 45: Image satellite corrigée représentant des massifs de la région de Djelfa (2009).

Figure 46: Courbe des canaux de l'image de l'année 2009.

Figure 47. Histogramme des bandes de l'image de l'année 2009.

Figure 48. Image satellite classifiée par ISO-DATA avant et après combinaison des classes.

Figure 49. Présentation globale de l'image satellite classifiée par ISO-DATA (1972).

Figure 50. Présentation de la valeur moyenne des classes introduites par ISO-DATA.

Figure 51. Présentation de l'image satellite de l'année 1987 classifiée par la méthode ISO-DATA.

Figure 52 : Présentation de l'image de l'année 1987 classifiée par la méthode ISO-DATA

Figure 53. Moyennes des classes de l'image classifiée par ISO-DATA.

Figure 54. Présentation de l'image classifiée avec combinaison des classes (2001).

Figure 55. Classification non supervisée de l'image de l'année 2001 (ISO-DATA).

Figure 56. Moyenne des classes étudiées dans la classification non supervisée de l'image 2001 (ISO-DATA).

Figure 57. Image classifiée par la méthode ISO-DATA (2009).

Figure 58: Image classifiée par ISO-DATA (2009).

Figure 59. Moyennes des classes de l'image classifiée par ISO-DATA (2009).

Figure 60. Image satellite classifiée présentant l'occupation du sol en 1972.

Figure 61: Profils spectraux des classes de l'image classifiée (1972).

Figure 62. Image satellite classifiée présentant l'occupation du sol forestier dans la région de Djelfa (1987).

Figure 63. Profils spectraux des classes identifiées par la classification de Vraisemblance.

Figure 64. Image classifiée par la méthode de Vraisemblance (2001).

Figure 65. Profils spectraux des classes de l'image classifiée par la Vraisemblance (2001).

Figure 66: Image satellite classifiée par la méthode de Vraisemblance présentant l'occupation du sol dans la région de Djelfa (2009).

Figure 67. Profils spectraux des classes de l'image satellite classifiée (2009).

Figure 68. Evaluation des surfaces par classification non supervisée (ISO-DATA).

Figure 69. Evaluation des surfaces par classification supervisée (Vraisemblance).

Figure 70. Présentation de l'image satellite digitalisée (1972).

Figure 71. Présentation de l'image satellite digitalisée (1987).

Figure 72. Présentation de l'image satellite digitalisée (2001).

Figure 73. Présentation de l'image satellite digitalisée (2009).

Figure 74 . Evaluation de changements en surface durant la période (1972 à 2009).

Figure 75. Présentation comparative des images satellites illustrant les foyers les plus déperis dans la forêt de Senalba Chergui (2001 et 2009).

Figure 76. Présentation de l'NDVI de l'image satellite de l'année 2009.

- Figure 77.** Présentation de l' NDVI de l'image de l'année 1987.
- Figure 78.** NDVI des images ETM 1972 (A), TM 1987 (B) et ETM+ 2001 (C).
- Figure 79.** Présentation comparative de la forêt naturelle de Senalba Chergui entre 1972 et 2009, par le calcul de NDVI .
- Figure 80.** Contrôle de (RGB) sur l'image 2009 (Forêt de Senalba Chergui).
- Figure 81.** *Tomicus destruens* Woll (Original)
- Figure 82.** Ecoulement de la résine correspond au trou d'entrée de l'insecte.
- Figure 83.** Galeries maternelles et l'ensemble des tracés larvaires sur tronc et l'aubier
- Figure 84.** *Orthotomicus erosus* Woll.
- Figure 85.** *Pityogenes bidentatus*
- Figure 86.** *Crypturgus numidicus* F.
- Figure 87.** Récolte des espèces racinaires dans les massifs de Senalba Chergui.
- Figure 88.** *Hylurgus ligniperda* F
- Figure 89.** Empreintes laissées sur les écorces par diverses espèces de scolytes.
- Figure 90.** Répartition du nombre total des individus de *Pityogenes bidentatus* en fonction du diamètre des rondins.
- Figure 91.** Répartition du nombre total du *Pityogenes bidentatus* en fonction de l'épaisseur de l'écorce.
- Figure 92.** Répartition du nombre total des individus de *Tomicus destruens* en fonction du diamètre du rondin.
- Figure 93.** Répartition du nombre total des individus du *Tomicus destruens* en fonction de l'épaisseur de l'écorce.
- Figure 94.** Longueurs moyennes des galeries à 1 mètre de hauteur de l'arbre (exposition Nord).
- Figure 95.** Variabilité des moyennes des longueurs des galeries à 4 mètres de hauteur de l'arbre (exposition Nord).
- Figure 96.** Longueurs moyennes des galeries a 1mètre d'hauteur (exposition sud).
- Figure 97.** Variabilité des moyennes des longueurs des galeries à 4 mètre de hauteur de l'arbre (Exposition sud).
- Figure 98:** Arbre relationnelle des paramètres étudiés.
- Figure 99.** Comparaison visuelle des massifs de Senalba Chergui entre 1972 et 2009.
- Figure 100.** Exemple d'une zone développée dans la partie Sud Est de la forêt de Senalba.

Figure 101. Détails des zones réellement dégradées dans les massifs de Senalba Chergui entre 1972 et 2009.

Figure 102. Zones disparues à l'intérieure de la forêt de Senalba Chergui

Figure 103. Zone progressée dans les massifs de Senalba Chergui.

Figure 104. Zone progressée davantage dans les massifs de Senalba Chergui.

Figure 105. Zones stables dans les massifs de Senalba Chergui

Figure 106: Evolution des massifs forstiers de Sahary.

Figure 107: Zones dégradées dans le reboisement de Moudjbara (1987 - 2009).

Figure 108. Zone stable dans le reboisement de Moudjbara.

Figure 109. Présentation du reboisement de Moudjbara en NDVI entre 1987 et 2009.

Figure 110. Série dégradée dans la forêt de Senalba Chergui (Novembre-2014).

Figure 111. Série incendiée dans les massifs reboisés de Moudjbara (Juillet-2014).

Figure 112. Zones dégradées par le pâturage intense dans la forêt de Senalba Chergui (Octobre-2014)

Figure 113. Surpâturage dans le reboisement de Moudjbara (Novembre-2014).

Figure 114. Erosion hydrique sur le coté Sud Ouest de la forêt de Senalba Chergui (cas de la série III, Octobre-2014).

Figure 115. Partie dépéris dans les massifs de Senalba Chergui (Mars-2013).

Figure 116. Développement de l'Alfa dans les pinèdes de Senalba Chergui (Novembre-2014).

Figure 117.Reboisement installé dans les frontières de la forêt de Senalba Chergui (Nevembre-2015).

Introduction

Introduction

Les forêts couvrent un peu plus d'un quart des terres émergées et constituent un maillon clé entre l'atmosphère, la géosphère et l'hydrosphère (Zhou, 2012). Ces écosystèmes forestiers sont des communautés distinctes et cohérentes qui renferment un grand nombre de formes de vie et un environnement avec lequel ils ont un rapport d'interdépendance (Slocombe, 1993). Ils se composent d'arbres, d'arbustes, des arbrisseaux et des végétaux herbacés formant une structure stratifiée complexe, dans laquelle les arbres prédominent au point de modifier les conditions écologiques qui règnent au sol en créant un microclimat (Dajoz, 1980).

Actuellement les peuplements forestiers en Algérie sont sous une dépendance écologique agressive, qui contribue non seulement à une modification de l'état sanitaire de l'arbre mais également à un déséquilibre écologique. La forêt est un milieu naturel, fragile et perturbé, qui représente une communauté vivante et complexe au sein de laquelle règne un équilibre écologique instable et dynamique qui vient parfois perturber l'évolution de cette biocénose (Carle, 1973). Cette source inépuisable en bois qui est un milieu de faible sécurité a subi des dégradations sur son espace vital. L'importance économique forestière contribue à l'utilisation de bois dans l'industrie, le bois de pâte à papier et le bois de chauffage (Mouna, 1982).

La forêt algérienne est estimée à 4.200.000 hectares, représentant 70% d'espèces résineuses et 30 % de feuillues. Parmi les conifères, le pin d'Alep couvre de très vastes surfaces sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, la question de sa meilleure valorisation se pose ainsi pour tous les pays méditerranéens (Bentouati et Bariteau, 2005). C'est une richesse naturelle qui contribue à l'économie du pays.

Le pin d'Alep est présent dans toutes les variantes bioclimatiques avec une prédominance dans l'étage semi-aride (Cherak, 2010). C'est l'espèce la plus utilisée dans les reboisements, la surface qui lui est consacrée chaque année en Algérie dépasse 20 000 hectares, soit environ 40 000 000 de plants mis en terre (Kadik, 1987).

En Algérie le pin d'Alep couvre une aire de l'ordre de 800.000 ha (Mezali, 2003). De part sa plasticité et ses faibles exigences, il se présente en grande partie dans l'Atlas tellien et saharien. Les plus importantes pinèdes se localisent dans les massifs d'Ouled Naïls qui renferme les plus beaux peuplements des zones semi-arides.

Les peuplements forestiers sont en déclin, Benabdelli (1996) note que plus de 780.000 ha sont considérés comme dégradés à un stade régressif irréversible. La variabilité spatiotemporelle des écosystèmes forestiers qui sont influencés par plusieurs facteurs anthropozoïques, contribue à une modification de la morphologie de l'arbre et le sol. En zones semi-arides, les forêts de la région de Djelfa sont en dégradation, à titre d'exemple, l'abattage d'environ 40.000 m³ de bois en 10 ans dans le cadre d'assainissement des forêts (Chakali, 2003).

La sécheresse qui a sévi a engendré la faiblesse des sujets et leur vulnérabilité vis-à-vis des attaques des insectes xylophages, qui sont conditionnées par le climat méditerranéen de tendance xéothermique et par le régime irrégulier des pluies. De tous les facteurs de dégradation, les incendies sont les plus dévastateurs entraînant la destruction totale de la végétation sur place mais en plus, ils altèrent aussi le sol, déforment le paysage et influent souvent sur la reconstitution végétale (Benabdelli, 1996).

De même, le stockage prolongé du bois exploité à l'intérieur de la forêt dû aux difficultés d'écoulement du bois, présente des foyers de multiplications de divers xylophages qui constituent le groupe le plus redoutable des conifères. Ils profitent du moindre affaiblissement pour s'y installer et tenter d'y proliférer (Abgrall et Schveser, 1987). Tous ces facteurs conjugués ont entraîné une diminution de la couverture forestière qui a provoqué une rupture du système naturel de défense et de restauration des sols.

La gestion et l'exploitation des ressources forestières nécessitent au préalable, la cartographie et l'inventaire du domaine forestier. L'ensemble des techniques cartographiques représente la science de la télédétection, qui permettent d'obtenir de l'information sur la forêt et sa géographie à travers l'analyse des données acquises à distance sans contact direct (Giacobbo, 2000). Ce moyen d'identification et de surveillance des changements du couvert forestier, est depuis quelques années utilisé pour l'analyse du couvert végétal dans les aires protégées particulièrement en milieu tropical (Jusoff et Setiawan, 2003).

La télédétection satellitaire s'avère un outil efficace pour la cartographie et le suivi de la végétation dans le monde. C'est ainsi que nous avons choisi d'utiliser les outils de cette discipline pour évaluer la dégradation forestière dans la région de Djelfa. La cartographie est une simplification logique et scientifique d'une réalité infiniment plus complexe, tout en faisant ressortir les faits les plus significatifs (Carreras *et al*, 1990).

La représentation cartographique peut se concevoir de plusieurs manières, dont la plus importante est la reconnaissance de la couverture du sol à partir d'interprétations automatiques d'images satellitaires (Leckie *et al*, 2002).

Dans un premier volet et à travers cette investigation nous procédons à un diagnostic de l'état du couvert forestier en quantifiant l'évolution des surfaces forestières qui est notre principale objectif, à partir des traitements et d'analyse des images satellites au cours des 40 dernières années, entre 1972 et 2009. Le suivi de l'évolution de la réserve forestière des zones semi arides de la région de Djelfa à travers la détection des changements forestiers, permet d'assurer un suivi continu de l'évaluation, et l'intégration des résultats sous forme d'une base de données.

Plusieurs méthodes ont été proposées dans cette investigation, nous préconisons à l'utilisation des méthodes de classification pour produire les cartes d'occupation du sol de la zone d'étude considérée pour la périodicité des années (1972, 1987, 2001 et 2009) en appliquant deux méthodes de classifications :

- **Classification non supervisée par la méthode d'ISO DATA.**
- **Classification supervisée par la méthode de Maximum de Vraisemblance.**

Après acquisition des cartes, nous procédons à l'application des indices des structures spatiales dont le plus essentiel est l'indice de végétation (NDVI) qui nous permet d'évaluer la dynamique d'occupation du sol afin de quantifier la dégradation et la détermination du paysage considéré.

Des tableaux récapitulatifs de l'évaluation des surfaces forestières unitaires et totales sont effectués pour quantifier la dégradation et localiser les zones réellement dégradées et déperies. De même le but recherché et d'avoir des résultats fiables sur l'évolution spatio-temporelle des pinèdes de la région de Djelfa.

Ces données satellitaires mettent en évidence les états chronologiques et l'évolution temporelle du couvert forestier prospecté durant la période considérée.

Dans le second volet, nous préconisons à compléter l'investigation par une étude entomologique des espèces xylophages sous corticoles en relation avec les dépérissements dans les zones prospectées. L'intensité du dépérissement explique en grande partie la réduction des extensions forestières, et menace l'intégralité de la réserve en l'absence d'une réelle politique de gestion forestière. C'est dans ce contexte que le sujet a été choisi.

PREMIERE PARTIE

DONNEES SUR LES PEUPLEMENTS

FORESTIERS ET LES

DEPERISSEMENTS DANS LES

PINEDES DE LA REGION DE DJELFA

PREMIERE PARTIE

DONNEES SUR LES PEUPELEMENTS FORESTIERS ET LES DEPERISSEMENTS DANS LES PINEDES DE LA REGION DE DJELFA

CHAPITRE I : Les formations forestières et leur importance

1. Historique

La forêt algérienne a subi l'action prépondérante de l'homme tout au long de l'histoire et durant des siècles, cette action a donné un manteau végétal avec la forme, la composition et la structure que nous lui connaissons actuellement (Kadik, 1986). L'Algérie s'étale sur un vaste territoire d'une superficie près de 238.174.100 hectares, avec une couverture forestière de 4.200.000 hectares. Les forêts avec 1,7 % de couverture engendrent le 239^e rang du classement mondial (DMF, 2014). Ce vaste territoire est très diversifié par son climat, son relief, ses sols et ses végétations naturelles (Letreuch-Belarouci, 1995). Les forêts n'occupent que 1.700.000 ha sur 4.110.000 ha des terres forestières (DGF, 2010).

L'essence prédominante en Algérie est le pin d'Alep, elle occupe actuellement 881.000 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides (FOSA, 2000). Cette espèce présente dans tous les étages bioclimatiques, depuis le littoral jusqu'à l'Atlas saharien, trouve son optimum de croissance essentiellement en zone semi aride. Sa grande plasticité et son tempérament robuste ont fait d'elle une essence pionnière de grand reboisement (Bentouati et Bariteau, 2005).

Les superficies occupées par l'essence de pin d'Alep sont variables au cours du temps, le tableau (1) résume les superficies de cette essence forestière durant des cinq dernières décades.

Tableau 1. Superficies forestières par décennie des forêts de pin d'Alep en Algérie.

Essence	Boudy (1955)	Services des forêts (1966)	Administrati-on des forêts(1978)	Seïgue (1985)	Ghazy et Lahouati (1997)	RNE (2000)	DGF (2007)
Pin d'Alep	852000	792000	792000	855000	800000	881000	881000

(Sources: 1. Boudy, (1955), 2. Kadik, (1985);3. Letreuch-Belarouci, (1991), 4. Seïgue, (1985), 5. Khalifi, (2002), 6. DGF, (2010).

Les milieux forestiers Algériens ont été profondément marqués au cours du temps par la plus grande extension estimée à cinq millions d'hectares en 1830, les pinèdes sont distribués entre les massifs des Aurès, les hauts plateaux, les massifs de l'Ouarsenis et au niveau des monts de Djelfa. A l'ouest du pays, le Pin d'Alep se localise dans un bioclimat semi aride qui lui convient, allant jusqu'à l'Atlas Saharien où les conditions climatiques sont difficiles. Les pinèdes de la région de Djelfa constituent l'une des dernières reliques forestières de cet étage bioclimatique.

D'après les bilans de réalisation recueillis de la conservation des forêts de la région de Djelfa, un total de 30636,7 hectares est destiné au repeuplement depuis l'indépendance. Le tableau présenté ci-dessous englobe ces travaux de repeuplement qui ont été lancés en 1962.

Tableau 2. Travaux de repeuplement réalisés dans les massifs forestiers de la région de Djelfa (1962 - 2014).

Période de 1962 à 1996		Période de 1997 à 2014	
Années	Repeuplements (ha)	Années	Repeuplements (ha)
62-70	1355	1997	0
71-80	6451	1998	0
1981	400	1999	0
1982	1400	2000	0
1983	720	2001	0
1984	500	2002	240
1985	2473	2003	0
1986	1954	2004	500
1987	3982	2005	0
1988	779	2006	705
1989	880	2007	2787,5
1990	0	2008	2380
1991	0	2009	820
1992	0	2010	1010
1993	0	2011	500
1994	0	2012	150
1995	0	2013	650
1996	0	2014	0
Total			30636,5

Au cours de cette période (1962 à 2014) les travaux de plantation forestière dans la région de Djelfa, sont comptés à un total de 98797,04 ha répartis entre reboisement et repeuplement, semble glisser rapidement sur la voie de dégradation progressive

de ces massifs forestiers, dont les causes sont complexes et les conséquences redoutables.

2. Situation administrative et géographique

Les pineraies d'Ouled Nails se trouvent dans la partie centrale de la wilaya de Djelfa, à 300 Km de la capitale. Elle reste l'une des rares régions steppiques disposant d'un patrimoine forestier conséquent (Fig.1). Elle est limitée au Nord Ouest par la région asylvatique des hauts plateaux, au sud par Ghardaïa et Ouargla et à l'est par la wilaya de Msila.

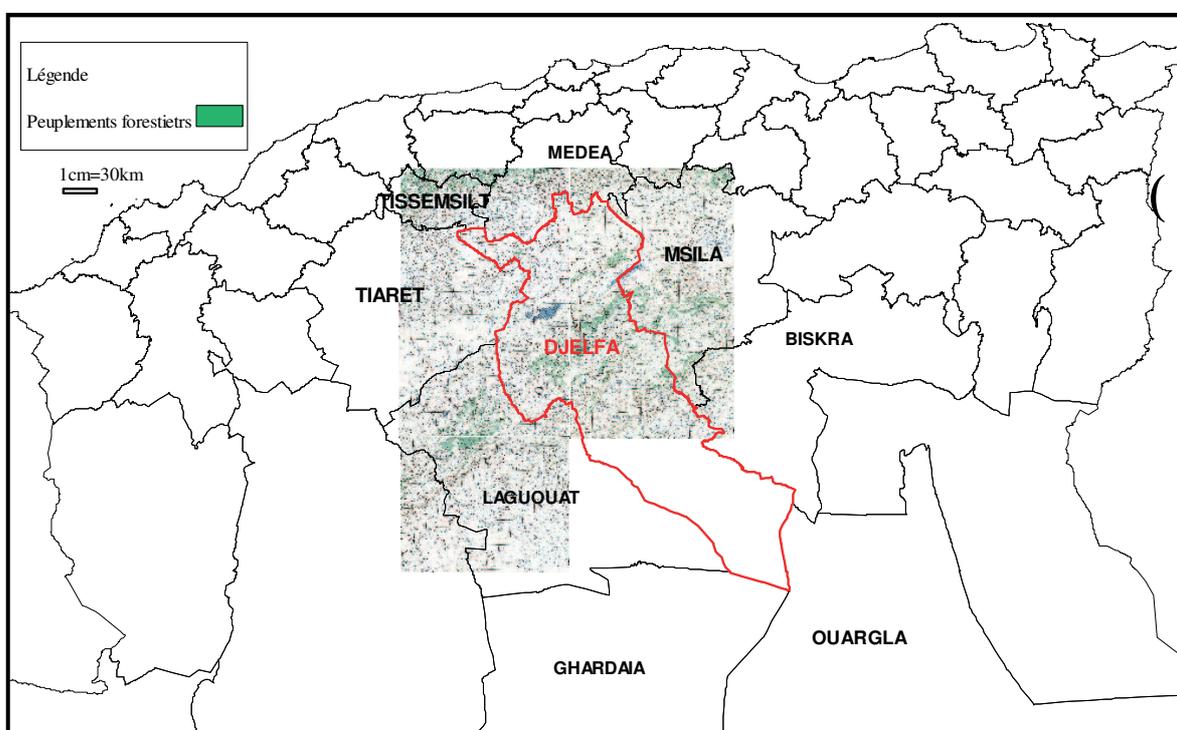


Figure 1. Présentation des zones limitrophes des massifs forestiers de la région de Djelfa.

3. Aire de répartition

Le pin d'Alep est l'essence occupant la superficie la plus élevée en Algérie, il constitue la plus grosse masse d'un seul tenant, la surface est de l'ordre de 881000 hectares (DGF. 2010), se trouvent en grande partie dans la zone semi- aride. Les données recueillies de la conservation des forêts montrent que les massifs forestiers de la région de Djelfa occupent 222000 hectares. Ces massifs dénommés monts de Ouled Nails font partie des chaînes montagneuses de l'Atlas saharien et sont comprises entre

1000 et 1500 mètres d'altitude. Ces peuplements sont localisés sur les montagnes jurassiques et crétacées des monts des Ouled Nails à Ain-Gotaia à Senelba, et à Sahary (Kadik, 1986).

4. Les zones forestières et leur importance

Les dernières statistiques faites par la direction de la planification agricole et de l'environnement ainsi que les services de conservation des forêts en 2013, montrent que les forêts de la région de Djelfa occupent un taux de surface de l'ordre de 6% de la surface forestière en Algérie, ces massifs se concentrent dans la partie centrale du territoire de la région et sont représentés par les monts de Ouled Nails. Ces forêts occupent la zone montagneuse et constituent un rempart de lutte contre l'avancé de désert, elles contribuent amplement dans l'équilibre écologique dans la région et la protection du milieu naturel. Ces surfaces forestières sont estimées à un total de 209552 hectares, le tableau 3 regroupe la distribution de cette surface forestière selon les données fournies par les services de conservation des forêts de la région de Djelfa en 2013.

Tableau 3. Superficies des forêts dans la région de Djelfa.

Type de forêt	Superficie en Ha
1. Forêts naturelles (a+b)	152.753,05
a - Forêts denses de Pin d'Alep	71.707,64
b - Maquis à reconstituer (compris les vides)	81.045,41
2. Reboisements	56.799,34
Total des superficies des forêts (1+2)	209.552,39

5. Les formations forestières

La région de Djelfa possède un patrimoine forestier typique de forêts naturelles et de reboisements essentiellement de pin d'Alep.

5.1. Les forêts naturelles

Par sa géographie, la région de Djelfa dispose d'une association formée de massifs forestiers distribués sur une grande partie de son territoire régional. Les plus importants sont les massifs de Senalba Chergui et Guarbi, Shary Guebli et Dahri. Les peuplements de Sahary Guebli sont localisés à l'Est de la région commune de

Djelfa. C'est une forêt naturelle de l'Atlas saharien qui sépare en grande partie le milieu aride des zones semi arides et s'étend sur une surface de protection de 32400 hectares. De part sa situation géographique elle s'inscrit dans un écosystème fragile et sensible au phénomène de désertification.

Au Sud-ouest de la ville de Djelfa, se localise une série de forêts montagneuses qui sont classées parmi les futaies naturelles les plus représentatives de la région, ce sont les pinèdes de Senalba Chergui et Guarbi qui constituent la principale chaîne des monts des Ouled Nails (Atlas Saharien). Les peuplements de Senalba occupent la partie orientale du massif, l'individualité de cette forêt est bien soulignée à la fois par des tracés de routes et par des différences d'altitude. Ces limitations sont au Nord Douar Ouled Ghouini, à l'Est la route nationale n°1, et la route de la wilaya n°164 reliant Djelfa et Charef au Sud, à l'Ouest un large couloir de terre dénuée (Fig. 2).

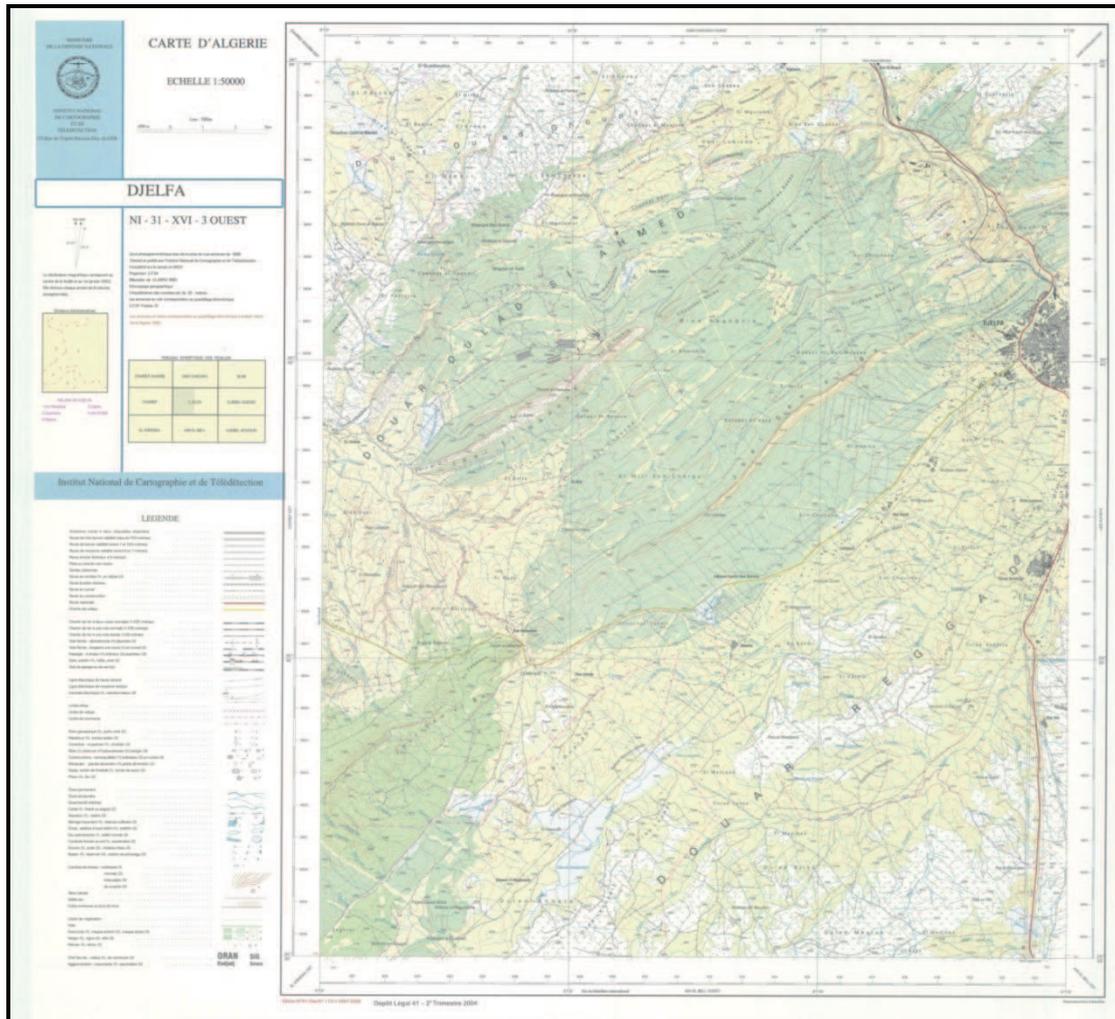


Figure 2. Massifs forestiers dans la zone de Djelfa (1/50000).

Les forêts naturelles de la région de Djelfa sont constituées par 8 massifs distincts d'après les données de la direction de conservation des forêts de la région de Djelfa. Elles couvrent une surface totale de l'ordre de 152753 hectares et se répartissent comme suit (Tab.4) :

Tableau 4. Les patrimoines forestiers naturels et leur surface (région de Djelfa).

Massifs forestiers	Surfaces en hectares
Forêt domaniale de Sahary Guebly	31800,30
Massif de Sahary Dahri.	29 151,09
Forêt domaniale de Senelba Garbi	42339,96
Forêt domaniale de Senelba Chergui	19833,63
Forêt domaniale de Djellal (Chergui et Gharbi)	7374,54
Forêt de Chouach	3846,05
Forêt de Boudeir Takouka	3407,48
Massif de Bouk'hil	15000
Total	152753,05

- **La forêt naturelle de Djellal**

C'est une forêt naturelle de pin d'Alep de 7374, 54 hectares, se localise à 17 kms au Sud est de la ville de Djelfa. Ces massifs de pin d'Alep sont associés à quelques sujets de genévriers avec une couverture dégradée d'Alfa.

La figure 3 présente les peuplements de Djebel Djellal Chergui et Gharbi et les reboisements de Moudjbara.

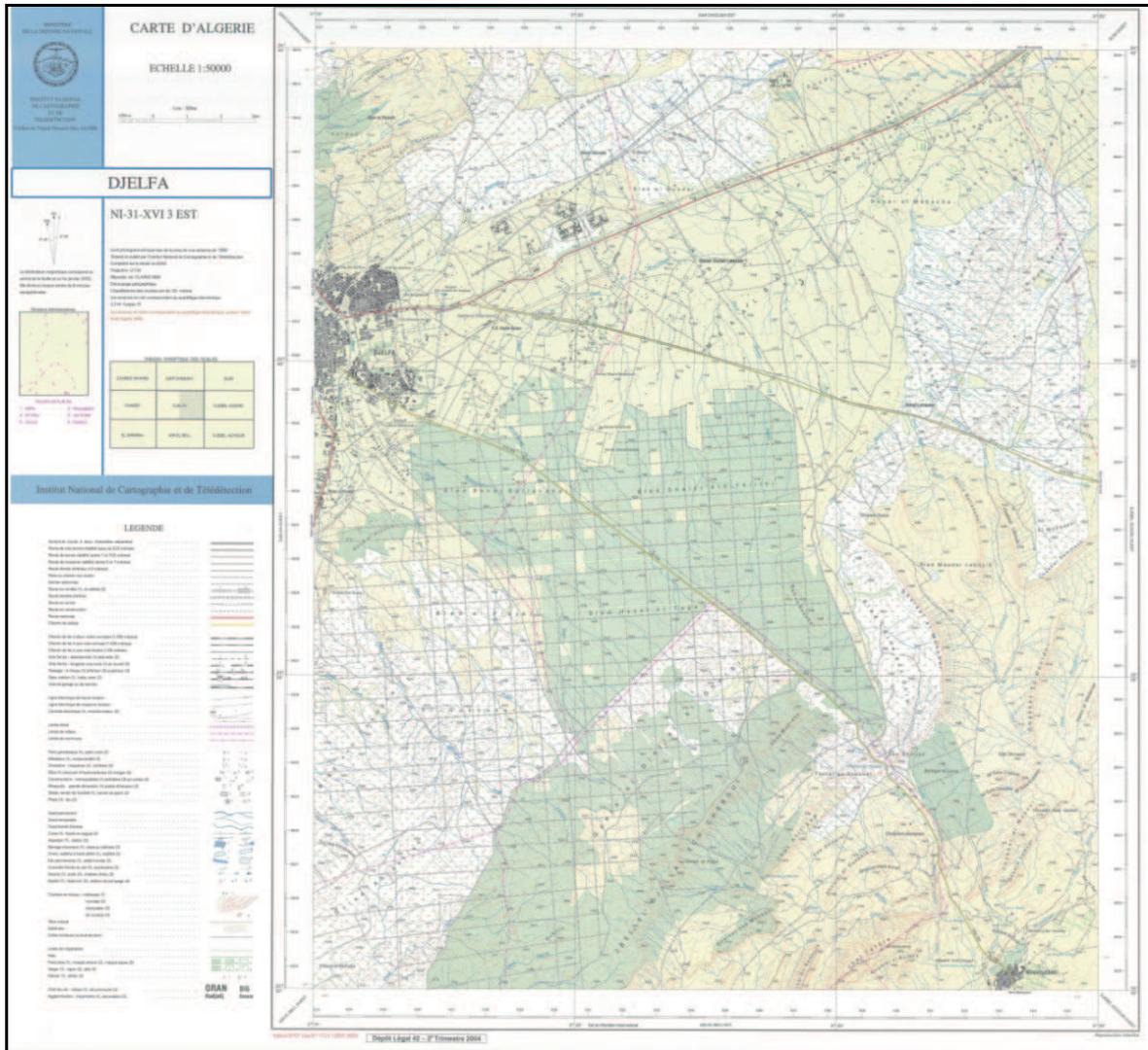


Figure 3. Localisation du reboisement de Moudjbara et les massifs forestiers de Djellal dans la région de Djelfa.

- **Les forêts de Sahary**

Ce sont des massifs situés dans la région de Dar Chiokh qui se trouve à 41kms de la ville Djelfa. Ces forêts naturelles de pin d'Alep sont regarnies d'une surface reboisée située dans la partie Sud des massifs (Fig.4).

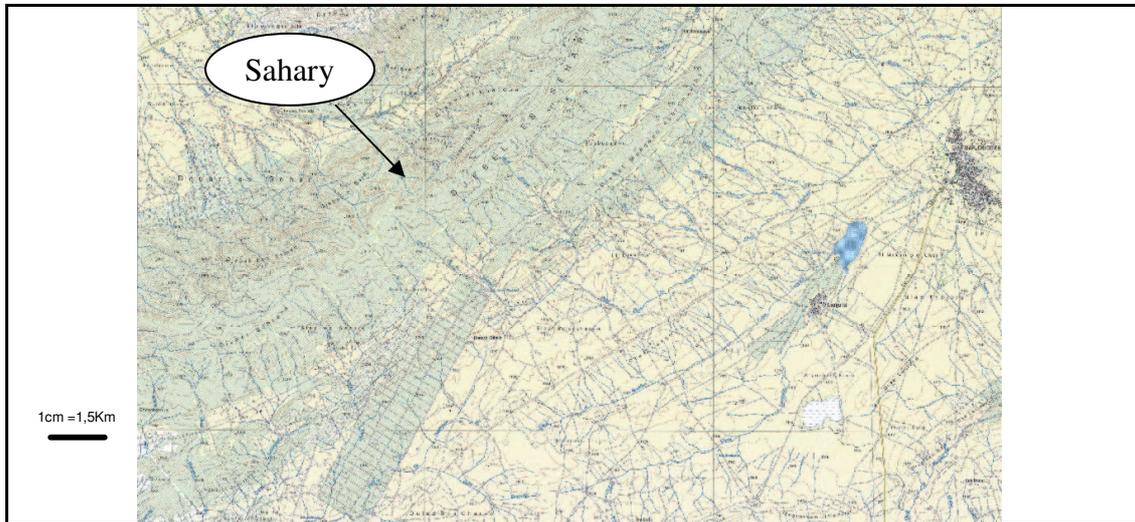


Figure 4. Massifs de Sahary (1/50000).

5.2. Les reboisements

Depuis 1970, un effort considérable a été conduit dans le cadre de reboisements en zones semi-arides et arides. Dans la région de Djelfa, les principaux projets sont localisés à Moudjbara et à Taadmit avec respectivement 13000 hectares et 10000 hectares de pin d'Alep. Ces préoccupations d'origine écologique ont alors conduit à constituer dès 1962, plusieurs projets de reboisements déployés à l'arrière des forêts naturelles de pins d'Alep, dans les monts d'Ouled Nails le premier périmètre reboisé fut celui de Moudjbara.

Le reboisement de Moudjbara est caractérisé par un relief plat légèrement vallonné (Chakali, 1985), situé dans une enclave à relief relativement homogène avec un taux de recouvrement très variable entre 10 et 100%. Ce reboisement se trouve à cinq kilomètres au Sud-est de la ville de Djelfa aux piémonts des Ouled Nails (Djellal Chergui), à une altitude variant entre 1200 et 1400m. Les zones limitrophes sont au Nord par la ville de Djelfa, au Sud la forêt dégradée de Djellal chergui, à l'Ouest par la route nationale N1 et à l'Est la région commune de Moudjbara et une importante nappe alfatière (DGF, 2010). La hauteur des arbres varie entre 1,70 mètre en relief et 5,30 mètres en dépression.

De 1962 à 2014, la surface reboisée à l'échelle de la willaya de Djelfa est distribuée sur tout le territoire régional. Dans un bilan de réalisation établie par les services de la conservation, un tableau récapitulatif englobe les surfaces reboisées (Tab.5).

Tableau 5. Travaux de reboisements réalisés dans la région de Djelfa (1962- 2014)

Période de 1962 à 1996		Période de 1997 à 2014	
Années	Reboisements (ha)	Années	Reboisements (ha)
62-70	3407	1997	3599
71-80	27047,34	1998	1432
1981	1580	1999	400
1982	700	2000	522
1983	2335	2001	92
1984	100	2002	250
1985	380	2003	100
1986	169	2004	140
1987	0	2005	0
1988	0	2006	495
1989	0	2007	3460
1990	1439	2008	2215
1991	800	2009	820
1992	0	2010	1010
1993	132	2011	500
1994	1366	2012	150
1995	2911	2013	650
1996	1682	2014	389
Total		60272,34	

Depuis l'indépendance, la région de Djelfa a fait des efforts considérables en matière de protection des ressources naturelles et de lutte contre la dégradation forestières. Une priorité absolue a été accordée aux programmes de reboisement sur tout le territoire régional de la zone de Djelfa. Aussi, en matière de reboisement, le bilan physique des plantations pour la période de 1962 à 2014 fait ressortir la réalisation de 60272 hectares.

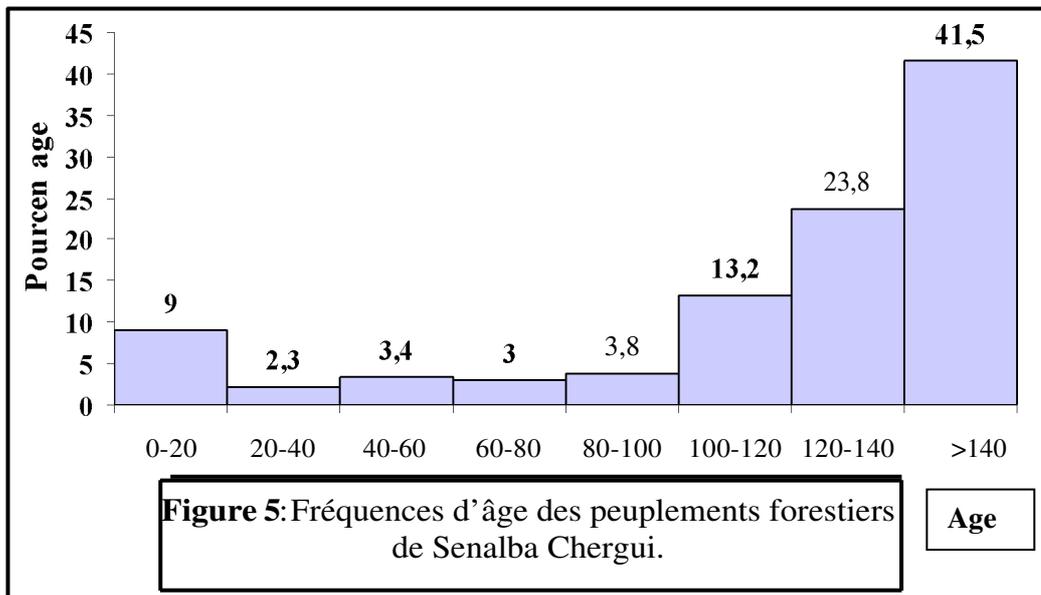
6. Etat actuel des forêts de la région de Djelfa

Les formations forestières de Djelfa sont en déséquilibre et subissent une régression au cours de ces dernières décennies ceci n'empêche pas la remontée considérable remarquée durant les années quatre-vingt. La dernière décennie un dépérissement a sévi en étroite relation avec divers groupes d'insectes xylophages particulièrement les scolytes, a été mis en évidence avec la période de sécheresse. Une dégradation et une disparition de certaines espèces ainsi qu'une diminution de la biodiversité forestière, du fait du stress climatique et des vagues de chaleur et de sécheresse plus fréquentes ont

entraîné une occurrence plus grande des feux de forêts, ce qui rendra la forêt plus vulnérable à la dégradation. Les effets néfastes des changements climatiques sur la base du constat de la dégradation des ressources forestières et alfatières l'administration des forêts s'est assigné les forestiers à freiné la flamme de la dégradation.

Plusieurs espèces ont proliféré et se sont multipliées dans les diverses forêts naturelles, les arbres en déficience physiologique particulièrement le stress hydrique succombent aux attaques denses et répétées de ces insectes (Chakali, 2003).

Sur la base des données menées par la conservation des forêts de la région de Djelfa, le massif de Senalba Chergui est considéré comme la forêt la plus touchée par la dégradation. Ces pinèdes sont d'un âge variable, plus de 40% des peuplements sont des arbres en sénescence dépassants les 140 ans, et occupant la plus grande surface du territoire forestier. Les sujets de 120 à 140 ans occupent plus de 23,8% du total de la surface forestière. Les peuplements jeunes moins de 20 ans ne présentent que 9% de cette surface forestière totale (Fig.5). La forêt de Senalba Chergui est une vieille forêt naturelle.



7. Aménagements sylvicoles dans les forêts de Djelfa

Vu le rôle écologique que jouent ces forêts sur l'environnement, une politique de reconstitution fait l'objet d'un programme établi dans le cadre de la protection des forêts de Djelfa, mais ces surfaces forestières présentent une évolution régressive qui est très préoccupante et mérite une attention particulière.

Les reboisements de regarnis concerne surtout la forêt de Senalba Chergui, dont une grande surface reboisée est signalée par la conservation des forêts de la région de Djelfa dans le cadre d'aménagement.

La stratégie actuellement adoptée vis-à-vis des dépérissements de ces formations forestières est surtout basée sur les méthodes sylvicoles. Les travaux réalisés sont surtout les coupes sanitaires pour assainir les forêts qui peuvent être réalisées sur plusieurs années, c'est l'exploitation des sujets âgés. Ces forêts ont subi des travaux d'assainissements de grande envergure.

Ces données restent des valeurs estimées et résultent des enquêtes administratives qui donnent une idée sur l'état des milieux forestiers, malgré les chiffres qui diffèrent entre les collaborateurs et qui s'accordent sur l'état régressif du couvert forestier.

Les statistiques faites par les services de la conservation des forêts présentent un tableau récapitulatif des surfaces forestières selon les espèces actuellement signalées par commune, cette répartition des espèces forestières existantes en forêt est représentée sur le tableau 6.

Tableau 6. Superficies forestières estimées en hectare en fonction des espèces forestières en 2014. (Conservation des forêts de la wilaya Djelfa).

Commune	Pin d'Alep	Cyprès	Genévrier du phénicien	peuplier	Eucalyptus	Total en ha
Djelfa	19062,02	195	0	0	0	19257,02
Ain Oussera	1400	0	0	0	0	1400
Guernini	166	0	0	0	0	166
Birine	400	0	0	0	105	505
Benhar	0	0	0	0	100	100
Had Shary	1682,75	0	14815,56	0	0	16498,31
Ain Fekka	107	0	7184	0	0	7291
Bouiret Lahdeb	1170	0	7151,53	0	0	8321,53
Hassi Bahbah	1847	0	0	0	0	1847
Hassi El Euch	576	0	0	0	0	576
Ain Maabed	19726,94	0	0	0	0	19726,94
Zaafrane	14528,21	0	0	400	0	14928,21
Dar Chioukh	2335	0	0	0	0	2335
Sidi Baizid	19608,87	0	0	0	0	19608,87
M'Liliha	10852,73	0	0	0	0	10852,73
Ain El Ibel	5134,35	0	0	0	0	5134,35
Taadmit	13945,76	0	0	0	0	13945,76
Zaccar	4359	0	3181,06	0	0	7540,06
Moudjebara	7015	0	0	0	0	7015
Feidh El Botma	100	0	15000	0	0	15100
Charef	16661,14	0	0	0	0	16661,14
El Guedid	50	0	0	0	0	50
Ben Yagoub	7693,47	0	0	0	0	7693,47
El Idrissia	4097	0	0	100	0	4197
Ain Chouhada	0	0	0	0	0	0
Douis	235	0	0	0	0	235
Sed Rahal	0	0	0	0	0	0
Selmana	0	0	0	0	0	0
Deldoul	0	0	0	0	0	0
Total Wilaya	152753,24	195	47332,15	500	205	200985,39

CHAPITRE II : Les dépérissements et leur importance

1. Chronologie et régression des peuplements forestiers dans le monde

Les forêts jouent un rôle socio-économique et écologique clé au niveau mondial (Eastaugh, 2008). Un accroissement des symptômes de dépérissement forestier a été enregistré depuis une quarantaine d'années (Allen, 2009) dont le climat a vécu un changement majeur (Moisselin et al, 2002 et IPCC, 2013). Ce constat provoque l'inquiétude des forestiers, mais aucun lien de cause entre ces phénomènes n'a pu être mis en évidence. L'évaluation de l'implication du changement climatique dans les dépérissements forestiers devient donc une nécessité très discutée.

Etat de fragilité écologique et de dégradation avancée sous l'aboutissement d'un ensemble de facteurs, soumet la richesse forestière à des attaques successives de plusieurs ravageurs, le cas des scolytes qui sont de redoutables ravageurs forestiers dont les dégâts sont considérables (Piou *et* Lieutier, 1989). En Amérique, deux millions et demi d'hectares de pin ont été détruits entre 1962 et 1964, à raison d'environ 100000 arbres par jour sur un front de 180 Kms (Pesson et Chararas, 1969). Les scolytes détruisent chaque année en Californie le bois de conifères pour une estimation de deux millions de Dollars, ces xylophages ravageurs de premier rang sont des ennemis des forêts et responsables de 85 à 90% des dommages (Pesson, 1974).

En Algérie, diverses forêts naturelles et de reboisements sont en ligne de dégradation, plus de 10 millions de mètres cubes de bois résineux et 9 millions de mètres cubes de bois feuillus sont destinés chaque année aux usines de tranchage et de déroulages, et près de 95 millions de mètres cubes d'industries servent chaque année comme matières premières aux industries de la pâte à papier et à la fabrication de poteaux (FOSA, 2000). De même, les incendies périodiques des forêts, notamment les incendies coloniaux durant la guerre de libération, ont modifié grandement l'état boisé.

Les forêts sont affectées par divers facteurs qui se propagent sur une grande échelle temporelle et spatiale induisant des pressions directes ou indirectes sur son état (Requardt *et al*, 2007).

Au niveau des agressions de toute nature que subit la forêt, il est difficile d'isoler la part des accidents climatiques dans un environnement de plus en plus modifié par l'homme (Bastien *et al*, 2000).

Sfea (2008), notent que l'augmentation de la fréquence et de la durée des périodes sèches ont un fort impact sur la physiologie des peuplements forestiers et peuvent permettre des pullulations de xylophages.

Les dépérissements forestiers constituent un thème environnemental de premier ordre depuis l'année 1980 (Landmann, 1994). Beaucoup d'exemples de dépérissement des espèces forestières sont cités par différents chercheurs. Au Maroc, Bakry et Abourouh (1996) citent le dépérissement du chêne liège. Le phénomène de dépérissement sur *Quercus cerris* a été aussi décrit en Italie par Vannini (1990). En France, le dépérissement du pin maritime est signalé par Guyon (1991). Sur chêne pédonculé, chêne sessile, épicéa et hêtre le dépérissement est étudié par Laurent et Lecomte, (2006). En France, l'étude de ce phénomène de dégradation sur chêne liège est faite par Rigolot en 2008, Garrigue et *al.*, (2008), sur hêtre et sapin les travaux sont recommandés par Rigolot en 2008, Garrigue et *al.*, (2008), Le Meignen et Micas (2008) et Dentand (2008). De même en Espagne, Portugal et le Maroc par Varela (2008).

Ces dernières décennies, les principales espèces forestières des régions méditerranéennes sont concernées par ce phénomène, cas du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Benabid, 1994 ; Badraoui et Assali, 2007 ; Bentouati, 2008). Diverses espèces de pin au Maroc sont concernées par des déclin (Zine el abidine, 2003). De même en France (Rigolot, 2008; Le Meignen et Micas, 2008 ; Dentand, 2008) notent des dépérissements dans plusieurs milieux forestiers.

Le nombre de cas de déclin dans le monde a augmenté significativement en 25 ans et la tendance est en hausse.

2. Le dépérissement forestier en Algérie

Le dépérissement forestier désigne toute sorte d'agents qui affectent négativement l'état, la vitalité et la biodiversité des forêts. Les dégâts peuvent être causés par des agents biotiques et abiotiques ou une combinaison des deux, engendrant la mortalité ou des pertes importantes en vitalité, productivité ou en valeur d'arbres et d'autres composants de l'écosystème forestier (CEENU, 2000 in BFH, EFI 2007).

Le terme de dépérissement est une symptomatologie, il se traduit par une altération durable de l'aspect extérieur des arbres, mortalité d'organes pérennes, réduction de la qualité et de la quantité de feuillage et une réduction de la croissance. Il peut être traduit pour l'arbre par une perte de vitalité progressive et des mortalités d'organes pérennes (branches, rameaux

notamment chez les feuillus) ou des pertes prématurées d'aiguilles chez les conifères (Fiot *et al*, 2007). Le dépérissement est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs de stress, ces facteurs agissent de façons consécutives ou concomitantes et provoquent l'affaiblissement de l'arbre et souvent sa mort (Dussureault 1985 in Laflamme, 1992). Les cédraies des Aurès sont l'exemple du dépérissement en Algérie, il s'est aggravé ces dernières années (Bentouati, 2007). L'intensité du dépérissement s'accélère depuis plusieurs années principalement par le facteur de sécheresse (Bariteau, 2003). D'autres facteurs d'affaiblissements tels que les insectes défoliateurs ou champignons, comme l'armillaire observée chez les arbres dépérissants ou morts du pin, interviennent par la suite. La sécheresse prolongée au cours de ces dernières années ainsi que l'âge avancé des peuplements seraient les principaux facteurs ayant prédisposé le pin au dépérissement. L'exposition de ces massifs aux influences de l'étage sahariennes a accéléré la mortalité des arbres (Bentouati, 2007).

3. Difficulté de l'étude du dépérissement forestier

L'étude du dépérissement des arbres est complexe, puisqu'il s'agit bien souvent de déterminer et d'évaluer plusieurs facteurs (abiotiques et biotiques) agissant simultanément sur le peuplement forestier et pendant une longue période (Benoit, 2005). Pour Lanier (1976), l'étude des dépérissements forestiers présente de grandes difficultés en raison de la complexité des trois domaines dans lesquels ils se manifestent à savoir le sol, l'atmosphère et l'environnement biologique des arbres concernés. Chaque cas de dépérissement est induit généralement par un ensemble de facteurs agissant simultanément selon une chronologie, ou les uns après les autres dans le processus de détérioration des arbres (Manion, 1981).

Un arbre est dit dépérissant quand son houppier perd plus de 50 % de ses ramifications (Nageleisen, 2006). Par contre Ciesla (1993) note que l'identification de dépérissement est délicate à partir des symptômes et des facteurs qui sont en causes. Il est donc très difficile d'évaluer le facteur décisif dans une situation donnée (Gartner, 1988), De ce fait, il n'est pas facile de déterminer l'ordre de l'intervention de chacun des éléments mis en cause, et la tâche est encore plus ardue s'il s'agit de définir la part des responsabilités de chacun d'eux dans le processus (Lanier, 1976). Dans bien des cas, les agents contributifs sont jugés responsables du phénomène alors qu'ils ne sont que des interventions secondaires.

4. Les diverses causes de dépérissement des forêts

Un dépérissement est un processus évolutif, faisant intervenir de multiples causes qui agissent en synergie (Fiot *et al*, 2007). Il peut être de causes purement naturelles, humaines ou une combinaison des deux (Fiot *et al*, 2007 ; Requardt *et al*, 2007). Les causes humaines et naturelles sont multiples et toujours associées dans les cas de dépérissement de l'ancienne forêt, les plus fréquentes sont des extrêmes climatiques (canicules, sécheresses, grands froids). Les conséquences des changements climatiques pourraient se traduire par une augmentation de la mortalité des espèces forestières due au stress hydrique (Taore *et al*, 2006 ; Allen, 2010).

Les conditions de sol défavorables (trop pauvres, trop acides ou basiques, peu profonds, salins), des pollutions (pollutions acides, fluorées, soufrées), des incendies de forêts endommagent fortement la couverture végétale, du point de vue quantitatif et qualitatif (Chevron, 2005). Les incendies restent l'élément le plus dévastateur entraînant la destruction totale de la végétation sur place, ils altèrent le sol, le paysage et compromettent souvent la reconstitution végétale (Benabdeli, 1996). Le feu exerce une action traumatisante sur la végétation et bloque leur système physiologique, surtout lorsqu'il est répété chaque fois et à la même saison (Chevron, 2005). Les erreurs de gestions provoquées par l'homme aboutissent à une introduction accidentelle du xylophage, un potentiel destructif d'une arrivée naturelle ou d'une explosion des peuplements d'une espèce dévastatrice avec les modifications climatiques (André, 2012).

5. Facteurs du dépérissement

Pour récapituler les facteurs réels de dépérissements Sinclair (1964 et 1967), Manion (1981) ont proposé une notion plus limitée et plus complétée aux dépérissements ; c'est un phénomène complexe évolutif, dans lequel interviennent des facteurs, prédisposants, déclenchants et aggravants en partie interchangeables.

- **Les facteurs prédisposants** ; agissent de façon durable et pérenne sur le peuplement.
- **Les facteurs déclenchants** ; abiotiques ou biotiques agissent sur une courte durée.
- **Les facteurs aggravants** ; conduisant souvent à une issue fatale (Sinclair, 1964, 1967 ; Manion, 1981, Delatour, 1990 ;).

5.1. Facteurs prédisposants

Les peuplements forestiers se présentent dans des conditions pérennes qui influent pendant une longue période sur l'état physiologique et la vigueur de l'arbre, qui aboutit au dépérissement qui peut être lié à la nature des sols (Nguyen et Lamant, 1989a). Gaouas *et al.*, (1997) notent que la présence de calcaire localisé dans les forêts de pentes peut causer indirectement le dépérissement, c'est le cas de la série VI de la forêt de Senalba Chergui. Un autre facteur toujours persistant, la sénescence du peuplement et son exposition au sud, influent indirectement sur l'aspect forestier des peuplements. D'autre part Manion (1981) constate que le potentiel génétique, le tassement du sol, l'appauvrissement en minéraux, l'âge, la station à faible réserves en eau peuvent conduire au dépérissement.

5.2. Facteurs déclenchants

Ce sont des facteurs favorisant l'apparition des symptômes et interviennent durant une courte période, peuvent être d'origine abiotique (accidents climatiques) qui s'explique par de longues périodes sèches. De même, les attaques par les insectes défoliateurs (facteur d'origine biotique), conduisent au phénomène de dépérissement des arbres. L'addition de ces derniers facteurs avec les facteurs prédisposant entraînent le déclenchement du dépérissement (Roy, 1998).

5.3. Facteurs aggravants

Ces facteurs provoquent des symptômes très visibles et identifiables sur les sujets dépéris, ceci par la succession de plusieurs facteurs causaux, leurs actions sur l'hôte provoquent la mort de l'arbre. Les conséquences des facteurs primaires précités sont l'installation et la succession d'une multitude d'espèces d'insectes xylophages qui accélèrent le processus de dépérissement.

L'installation de ces facteurs se réalise spécialement sur les arbres affaiblis précédemment, leurs actions est très nocive affectant la vigueur de l'arbre dont le résultat est souvent la mort de celui-ci, induisant des symptômes visibles et moins identifiables considérés souvent d'être à l'origine du dépérissement (Tremblay, 1999), Le dépérissement forestier est généralement apprécié par deux symptômes macroscopiques; la défoliation et le jaunissement du feuillage (Landmann *et al.*, 1987).

Ceci représente la spirale de dépérissement, considéré comme un enchaînement d'événements défavorables (Fig.6). Les facteurs qui prédisposent aux maladies entraînent lentement l'arbre vers les facteurs incitatifs qui accentuent sa perte de vigueur, à leur tour d'autres facteurs contribuent à amener le végétal vers un déclin certain (Manion, 1981).

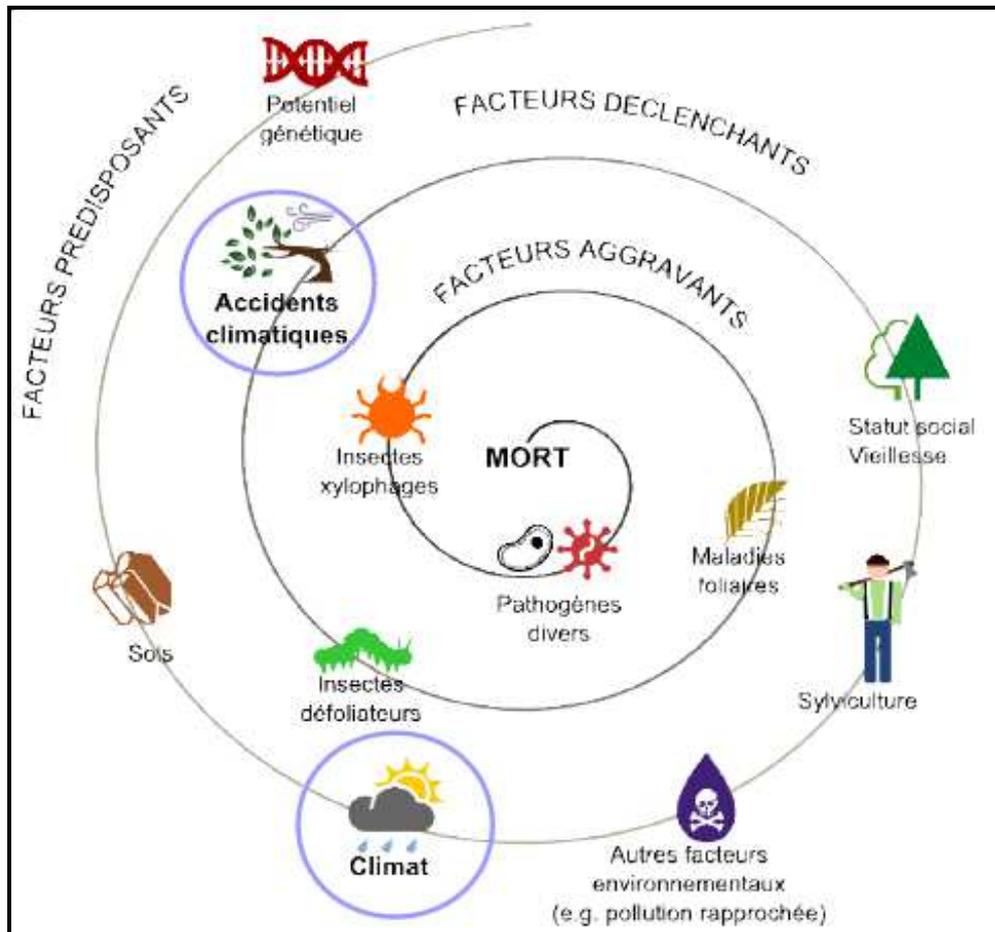


Figure 6. Facteurs majeurs participant à la mort d'un arbre (d'après Manion, 1981)

6. Symptômes du dépérissement

Le dépérissement traduit une altération durable de l'aspect extérieur des arbres et une diminution de la croissance. La mort d'un certain nombre d'individus n'est pas obligatoirement un signe de fatalité pour le peuplement même si la situation est préoccupante (Delatour, 1990 et Nageleisen, 2006). En termes de symptomatologie, Zine El abidine (2003), Badraoui et Assali (2007) définissent les dépérissements forestiers comme étant « des phénomènes causés

par un ensemble de facteurs interagissant entraînant ainsi une détérioration générale et graduelle de la santé.

Les symptômes d'un dépérissement peuvent être provoqués par des associations de conditions défavorables ou d'agressions fortes et différentes. Les arbres sont capables de réagir aux influences exercées par divers agents, par des signes apparaissant sur leurs parties aériennes (Hartman *et al*, 1991). Ces symptômes concernent trois niveaux :

- **Sur aiguilles et feuilles** ; chute prématurée « défoliation précoce », éclaircissement, dénudement de rameaux, de parties ou de la totalité de la couronne.
- **Sur bourgeons, pousses et rameaux** ; chute des pousses, décoloration jaunâtre, flétrissement, anomalie de croissance, déformations (Hartman *et al*, 1991).
- **Sur tronc et branches** ; chute, décoloration jaunâtre, flétrissement, écoulement de gomme ou de résine, anomalies de croissance, déformations, plaies ouvertes ou cicatrisées (Landmann, 1994).

Le schéma présenté ci-dessous résume les différentes phases engendrant le dépérissement. Il provoque une réduction de la croissance de quelques années à plusieurs décennies avant l'apparition des symptômes plus visibles. Parmi les symptômes ainsi cités associés aux dépérissements, le ralentissement de la croissance, la réduction des réserves nutritives, le jaunissement ou l'atrophie et la chute des feuilles, la mort des branches, les rejets d'eau par les bourgeons adventifs et enfin la mort de l'arbre.

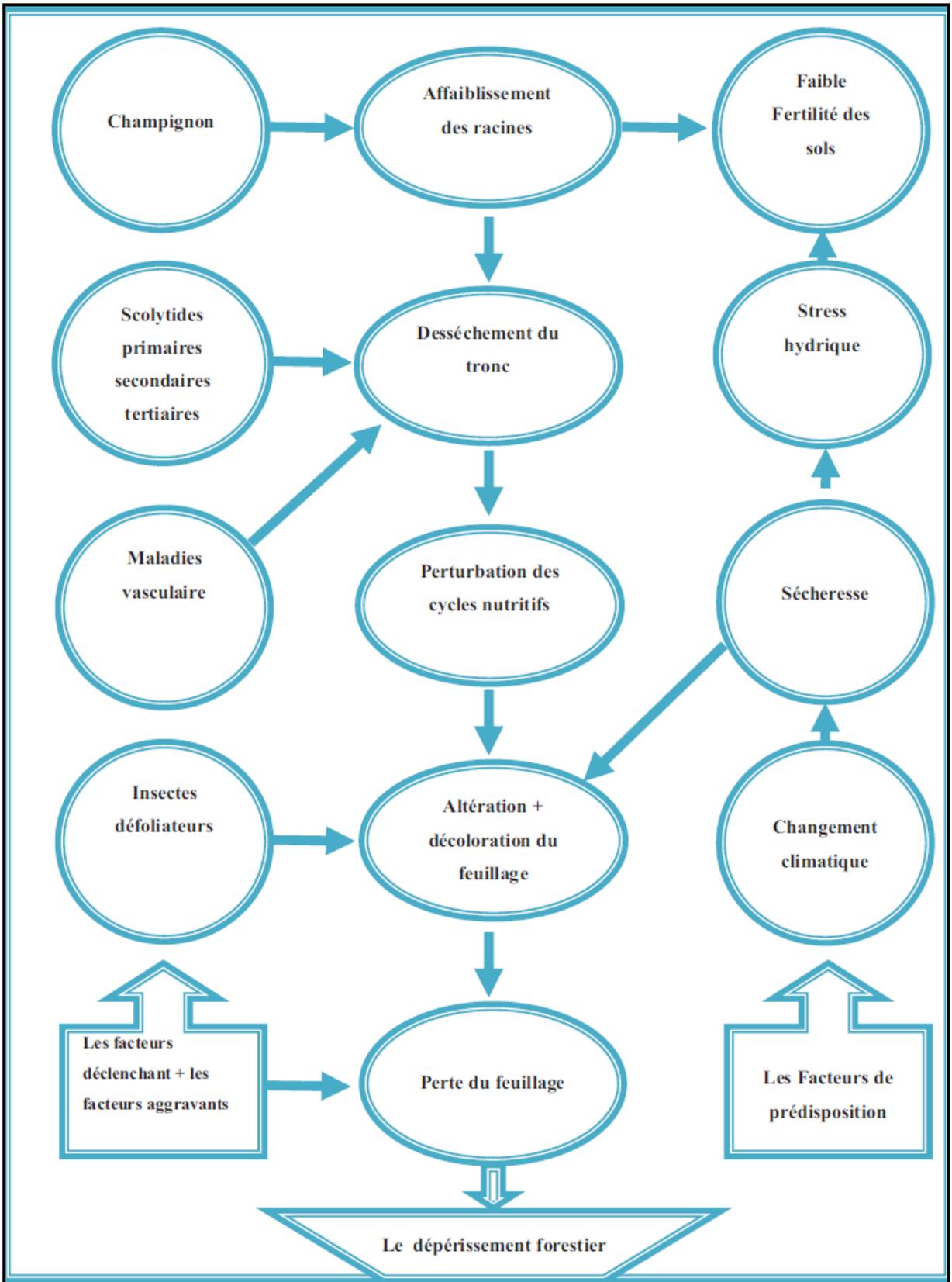


Figure 7: Schéma représentatif des symptômes et les principaux facteurs hypothétiques du dépérissement forestiers (d'après Roy, 1998).

7. Relation entre les scolytes et les dépérissements

Les dépérissements des forêts de pin d'Alep en zone semi-aride sont en étroite relation avec l'activité des populations de diverses espèces de scolytes. Les périodes de sécheresse enregistrées au cours de ces dernières décennies expliquent en grande partie le passage de l'état endémique à l'état épidémiologique de certaines espèces. Les fluctuations saisonnières des températures et des quantités pluviométriques enregistrées au cours du temps ont conditionné la multiplication et l'activité de plusieurs espèces de scolytes (Chakali, 2007).

Les dépérissements forestiers déjà en accroissement dans le monde, une bonne façon de se persuader de la réalité du risque futur de dépérissement des forêts, est de mesurer l'évolution des mortalités au cours des dernières décennies où le réchauffement climatique a été pourtant d'ampleur relativement faible de 0,6 à 1,2 °C.

CHAPITRE III : Données sur la télédétection et son utilisation

1. Généralités et histoire de la télédétection

Dés le début des années vingt, la première application est réalisée à partir des photographies aériennes pour aider à l'établissement d'un inventaire forestier en Birmanie (Blandford, 1924). Puis l'observation des forêts et la cartographie forestière à petite ou grande échelle, ont été largement effectuées par cette voie (Holdridge, 1971).

L'histoire des techniques de la télédétection peut être scindée en cinq grandes époques ;

- de 1856, date à laquelle pour la première fois un appareil photographique a été installé de façon fixe à bord d'un ballon. Depuis la première guerre mondiale l'utilisation de la photographie aérienne verticale pour la cartographie est développée et exploitée.
- Entre la première guerre mondiale et la fin des années 50, la photographie aérienne devient un outil opérationnel pour plusieurs disciplines, la cartographie, la recherche pétrolière et la surveillance de la végétation. un progrès considérable dans le domaine de l'aviation est apparu, des appareils photographiques et des émulsions (couleur, infrarouge noir et blanc, infrarouge en fausse couleur). Les méthodes de la photo-interprétation sont prises à des envergures précises.
- Entre 1957 et 1972, le début de l'approche de la télédétection et le lancement des premiers satellites, l'apparition des vaisseaux spatiaux habités à bord desquels sont embarqués des caméras, révèle l'intérêt de la télédétection depuis l'espace. La première application opérationnelle de la télédétection spatiale apparaît dans les années 60 avec les satellites météorologiques.
- Le lancement en 1972 du satellite ERTS (nommé ensuite Landsat1), premier satellite de la télédétection des ressources terrestres ouvre l'époque de la télédétection moderne. Le développement constant des capteurs et des méthodes de traitement des données numériques permet de plus en plus le champ des applications de la télédétection, un instrument indispensable à la gestion de la planète et un outil économique. Au cours de cette période on assiste à un développement continu de la télédétection, marqué notamment par l'augmentation de la résolution spatiale des capteurs déjà évoqué et la diversification des capteurs qui utilisent des domaines de plus en plus variés et spécialisés du spectre électromagnétique (Cazaux, 1990).

Dans le milieu des années 1980 c'est également la période du lancement du premier satellite opérationnel français SPOT.

- Dans les années 90, c'est la diversité des satellites équipés de capteurs actifs, radars en particulier. Dans le domaine du rayonnement visible et infrarouge, les capteurs à très haute résolution spectrale sont aujourd'hui d'utilisation courante dans leur version aéroportée et font leur apparition à bord de satellites.

La diffusion des données sur une base commerciale est envisagée dès le lancement du programme SPOT en 1986. Elle se traduit aujourd'hui par le lancement des satellites de télédétection par des sociétés privées, les données de télédétection deviennent l'objet d'un marché concurrentiel.

Des techniques de la télédétection résultent de la conjonction entre l'invention des vecteurs, ballons, avions ou satellites, permettant de s'éloigner de la surface du sol. Ces appareils permettent d'enregistrer le rayonnement électromagnétique pour reconstituer les caractéristiques de la surface (terrestre ou océanique).

La diffusion accélérée et l'augmentation de la puissance des ordinateurs contribuent à inciter de nouvelles méthodes d'utilisation des données toujours plus abondantes que fournit la télédétection spatiale. Les données des satellites météorologiques et océanographiques sont aujourd'hui un auxiliaire indispensable de la prévision numérique du temps et du climat, et font l'objet d'une assimilation directe par les modèles numériques. Les images de la télédétection destinées à l'observation fine de la surface terrestre y compris les photographies aériennes traditionnelles, sont sous forme numérique intégrées aux Systèmes d'Information Géographique (Léo Provencher et Dubois, 2007).

2. Définition de la télédétection

Le mot télédétection désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'étudier à distance des objets ou des phénomènes. Selon la Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale (1988) « c'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 du matériel avec ceux-ci ».

Selon cette définition très large, la télédétection peut se pratiquer de la surface de la terre vers l'atmosphère ou vers l'espace, comme de l'espace vers la terre. Le Centre

Canadien de Télédétection propose une définition plus précise « La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images d'obtenir de l'information sur la surface de la terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information ».

La télédétection utilise les propriétés physiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques d'émission et de réflexion des rayonnements électromagnétiques. Ces rayonnements ont la particularité de se propager dans le vide sans atténuation mais sont plus ou moins absorbés dans différents milieux (Girard, 1999). L'acquisition de l'information se fait grâce à un système d'observation qui reçoit ce rayonnement et le traduit en éléments perceptibles par l'utilisateur (Bonn et Rochon, 1992).

3. Principes de base de la télédétection

Bonn (1996), note que la télédétection se base sur l'utilisation des propriétés physiques des objets ou cibles pour acquérir des informations sur leur nature et les identifier. C'est une interaction entre l'énergie transmise par le rayonnement électromagnétique provenant d'une source naturelle (le soleil) ou artificielle (émissions micro-ondes) et la cible. Cette énergie est ensuite captée par un système d'observation, le capteur est embarqué à bord d'un satellite qui l'enregistre et la transmet à une station de réception traduisant alors ce signal en image numérique. Le rayonnement électromagnétique interagit une première fois avec l'atmosphère, lors de son parcours de la source vers la cible puis dans le sens inverse de la cible vers le capteur. Ces interactions induisent des modifications du signal électromagnétique qu'il est nécessaire de prendre en compte dans la caractérisation de l'objet observé à la surface du sol.

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux, la source d'énergie, une cible et un vecteur (Soudani, 2005a). La figure 8 illustre les principaux éléments de base de la télédétection.

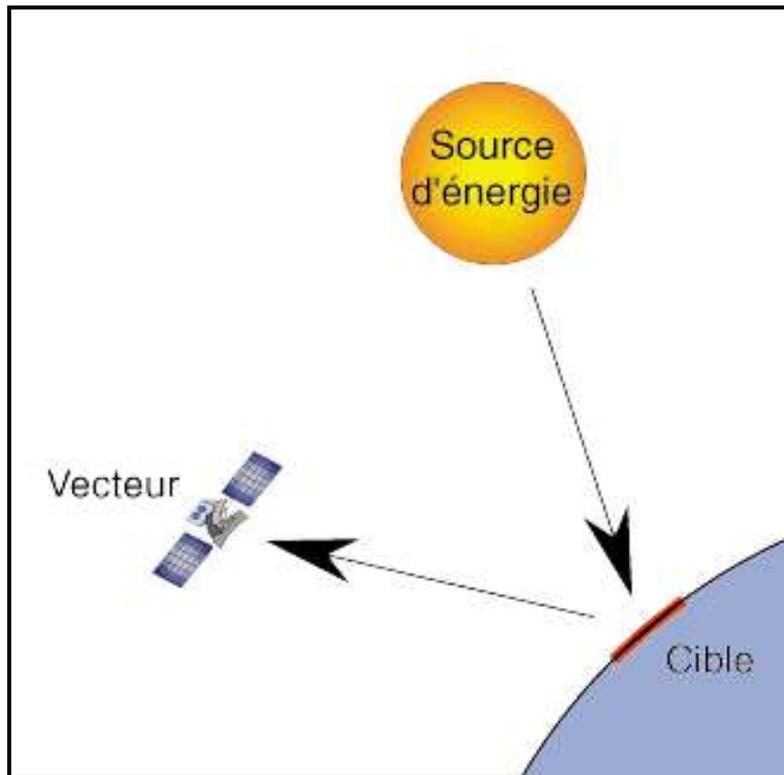


Figure 8. Principes de base de la télédétection (d'après Soudani, 2005b).

- **La cible** est la portion de la surface terrestre délimitée par le satellite, sa taille varie de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- **La source d'énergie** est l'élément qui éclaire la cible par une onde électromagnétique. La principale source d'énergie est le soleil et parfois la cible qui est une source d'énergie, il s'agit d'énergie solaire stockée et réémise.
- **Le vecteur** est la base de la télédétection, il mesure l'énergie solaire par le rayonnement électromagnétique réfléchi par la cible. Le vecteur peut-être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36000 kilomètres. Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoi l'image sur terre vers des stations de réception.

Divers capteurs sont présentés et améliorés, les radiomètres sont des capteurs passifs qui enregistrent le rayonnement naturel, lumière visible mais aussi infrarouge ou micro onde sous forme numérique. Les capteurs actifs comme les radars émettent artificiellement un rayonnement pour en étudier les interactions avec l'objet à étudier.

Les capteurs actuels produisent des données numériques qui peuvent faire l'objet d'une restitution, pour fournir des documents à interpréter selon les méthodes de la photo-interprétation (De Joinville, 2011).

4. Principales étapes de la télédétection

La télédétection englobe 7 étapes dans son principe (Fig.9).

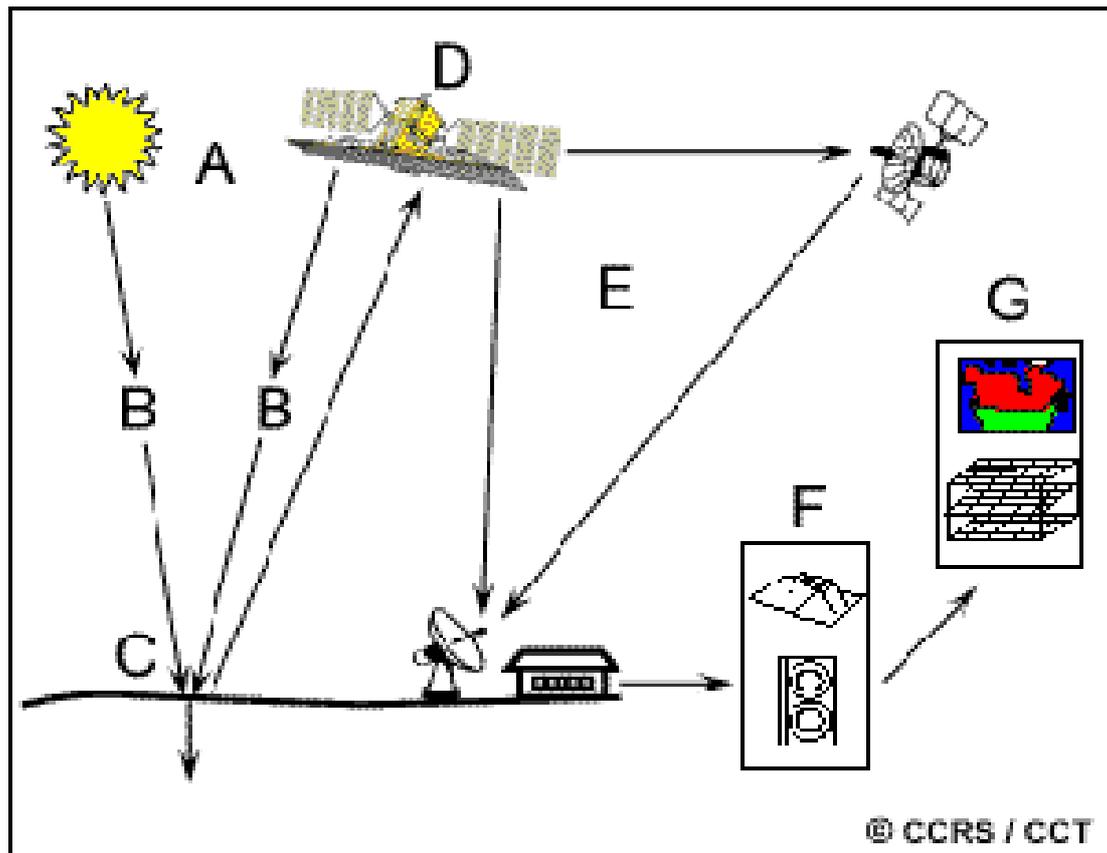


Figure 9. Principales étapes de la télédétection (Centre canadien de la télédétection, 2008).

- **Source d'énergie ou d'illumination (A) :** La source d'énergie en télédétection est le soleil pour éclairer la cible, c'est la principale source d'énergie dite passive et active. Dans le domaine de la télédétection radar le satellite lui même est une source d'énergie.
- **Rayonnement et atmosphère (B) :** Le parcours est réalisé entre la source d'énergie et la cible d'une part où le rayonnement interagit avec l'atmosphère, d'autre part une interaction se produit entre la cible et le capteur. Sur cette trajectoire une interaction s'effectue entre le rayonnement et l'atmosphère, entre la cible et la source et entre la cible et le capteur.

- **Interaction avec la cible (C)** : Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique, cette caractéristique s'appelle le comportement spectral. Dans le domaine de la télédétection, tout objet sur la surface terrestre possède sa propre empreinte digitale dans le spectre électromagnétique, ceci est en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même (Lacombe et Sheeren, 2007).
- **Enregistrement de l'énergie par le capteur (D)** : L'énergie diffusée ou émise par la cible sera captée à distance par un capteur, qui se trouve embarqué à bord d'un satellite ou d'un avion, l'information sera enregistrée sous format numérique.
- **Transmission, réception et traitement (E)** : L'information enregistrée par le capteur est transmise à l'aide des moyens électroniques à une station de réception, ou à des satellites relais où l'information est transformée en images soit numériques ou photographiques.
- **Interprétation et analyse (F)** : Une interprétation visuelle et numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- **Application (G)** : c'est une étape qui consiste à interpréter l'information extraite de l'image pour mieux comprendre et caractériser la cible, dans le but de découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. Les traitements se basent sur des théories et techniques souvent complexes et servent à extraire les informations utiles.

5. Les bases physiques de la télédétection

En télédétection, les éléments physiques de base se résument en trois contenus *indispensables pour la réalisation d'un parcours complet.

- **Le rayonnement électromagnétique**

Soudani (2006) définit le rayonnement électromagnétique comme un flux de particules élémentaires appelés photons, composé de deux vecteurs perpendiculaires le champ électrique et un autre magnétique. Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique, la longueur d'onde et la fréquence.

- **Le spectre électromagnétique**

C'est la répartition des longueurs d'ondes en classes, les longueurs d'ondes les plus utilisées en télédétection sont résumées dans le tableau 7.

Tableau 7. Présentation des bandes spectrales et longueurs d'ondes correspondentes. (Soudani, 2006)

Bandes Spectrales	Longueurs d'ondes (μm)
Le visible	0,4 à 0,7
Le proche infrarouge	0,7 à 1,5
L'infrarouge moyen	1,5 à 3
L'infrarouge thermique	3 à 15
Les micro-ondes ou Hyperfréquences	1 mm à 1 m

Le spectre électromagnétique englobe l'ensemble des fréquences constituantes qui s'étale des courtes longueurs d'onde rassemblant les rayons gamma et les rayons X aux grandes longueurs d'onde des micro-ondes et ondes radio (Fig.8). L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé spectre électromagnétique.

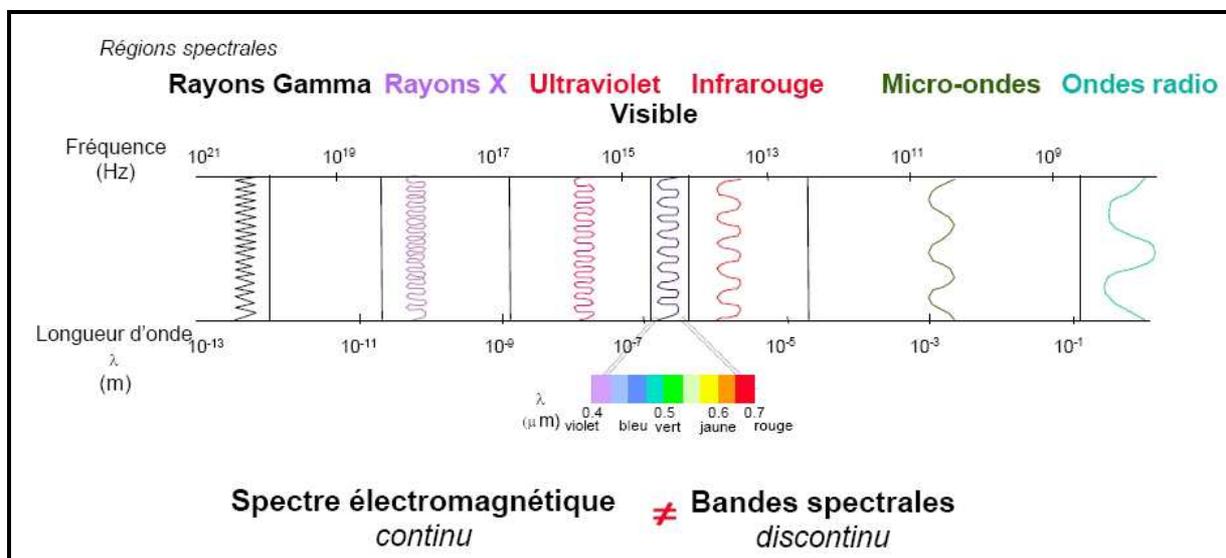


Figure 10. L'ensemble des fréquences du spectre électromagnétique.

La présentation plus détaillée sur le spectre électromagnétique est représenté sur la figure 11.

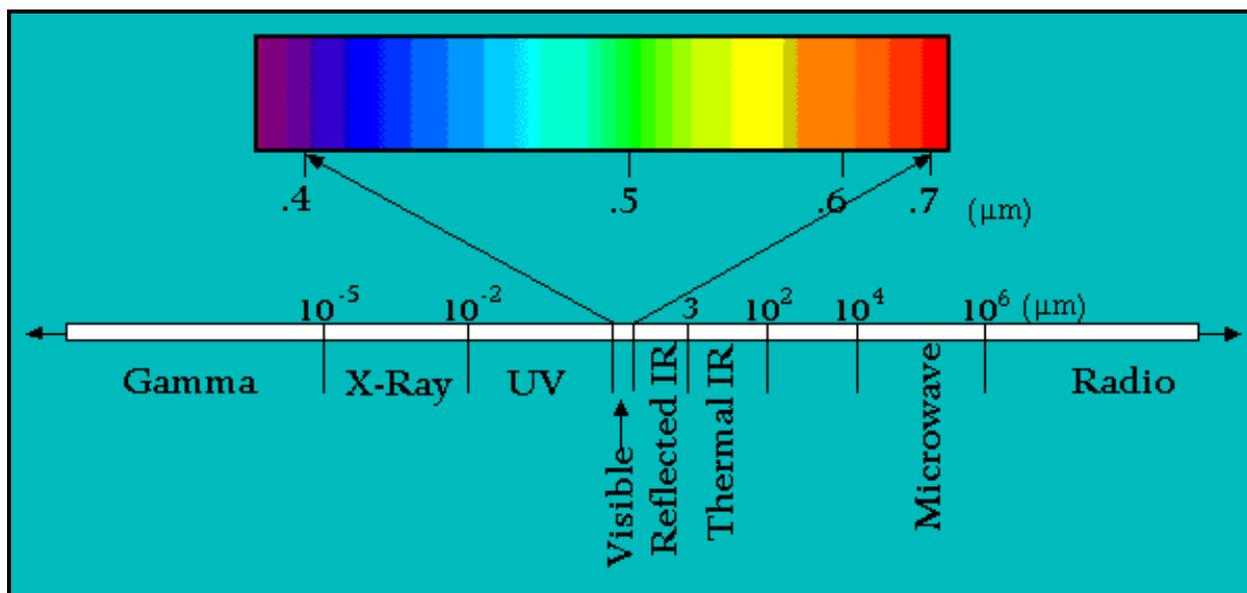


Figure 11. Détails des domaines spectraux.

- **Signatures spectrales**

Les signatures spectrales sont la réponse radiométrique des objets dans une succession de longueurs d'ondes (Deshayes et Morel, 1990). L'objet de la télédétection est de distinguer des types de surface en vue de leur cartographie et de mesurer certaines caractéristiques à partir du rayonnement reçu par le capteur. En télédétection les surfaces naturelles se caractérisent par de très importantes variations de la réflectance selon la longueur d'onde, donc la signature spectrale des surfaces correspond aux variations de la réflectance spectrale (Soudani, 2006)

Chez les conifères, la réflectance des aiguilles diminue lorsque l'âge augmente, cette diminution est provoquée par l'augmentation de la concentration chlorophyllienne et la structure interne des aiguilles, qui devient de plus en plus dense (Guyot *et al.*, 1989).

6. Propriétés optiques des surfaces

6.1. Propriétés optiques des feuilles et de la végétation chlorophyllienne

On se réfère aux travaux de synthèse de Guyot (1989), Guyot *et al.*, (1989), Baret et Guyot (1991), Breda *et al.*, (2003), pour identifier les propriétés optiques des surfaces végétales ou nues et les surfaces d'eau et des propriétés optiques et spécifiques. Les facteurs affectant les propriétés optiques des feuilles sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8. Principales propriétés optiques des domaines du spectre électromagnétique.

Domaine spectrale	Propriétés optiques
Visible	-Fortes absorptions par les pigments foliaires dans le bleu et le rouge. -Le maximum de réflexion est atteint dans le vert.
Proche infrarouge	Faible absorption due à la structure interne des feuilles.
Moyenne infrarouge	Absorption de plus en plus forte, les mêmes bandes d'absorption de l'eau

6.2. Propriétés optiques d'un sol nu

La réflectance d'un sol nu croît du visible à l'infrarouge moyen. Les effets les plus marquants s'observent autour des bandes d'absorption de l'eau. Les facteurs affectant les propriétés optiques du sol sont :

- **Teneur en eau ;**
- **Composition minérale ;**
- **Taux de matière organique ;**
- **Structure (rugosité de surface) ;**

Il existe une relation reliant la réflectance d'un sol nu dans les bandes rouge et proche infrarouge. En général, le sol nu est plus réfléchissant que la végétation dans le visible et l'infrarouge moyen mais pas dans le proche infrarouge.

6.3. Propriétés optiques des surfaces d'eau

L'eau absorbe une grande partie du rayonnement qu'elle reçoit, cette absorption est davantage dans les grandes longueurs d'ondes. Le maximum de réflexion concerne le bleu, dans le proche infrarouge et l'infrarouge moyen, l'eau peut être assimilée à un corps noir absorbant tout le rayonnement qu'elle reçoit. Les irrégularités de la surface de l'eau, la concentration en sédiments en algues affectent fortement les propriétés optiques de l'eau. La présence de la matière chlorophyllienne fait augmenter la réflectance de l'eau dans le vert. Ces différents facteurs sont à l'origine des fortes variations de la couleur de l'eau (Soudani, 1999).

De nombreux travaux ont permis de construire des modèles destinés à définir le comportement optique des feuilles suivant les caractéristiques anatomiques, les

caractéristiques de surface, la teneur en eau et en pigmentation foliaire (Jacquemoud et Ustin, 2001).

7. Indices radiométriques de végétation

Les données radiométriques ou les comptes numériques peuvent être utilisés sous forme de canaux brutes ou d'indices combinant les canaux TM3 (Rouge) et TM4 (Proche infrarouge) du satellite LANDSAT (TM). Ces indices sont exprimés de manière à utiliser le contraste important entre ces deux bandes. Ce contraste résulte de la forte absorption du rayonnement dans le rouge et de la forte réflectance dans le proche infrarouge. La complexité structurale des couverts et la multitude des facteurs externes perturbateurs (Baret et Guyot, 1991):

- **Indices caractérisés par une pente c'est le RVI (Ratio Vegetation Index) et le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).**
- **Indices caractérisés par une distance, c'est le WDVI (Weighted Difference Vegetation Index) et le PVI (Perpendicular Vegetation Index).**

Le rapport entre canaux permet de minimiser les effets de conditions d'éclairement et de la géométrie de visée, les effets atmosphériques et les erreurs de calibration (Baret et Guyot, 1991 ; Bonn et Rochon, 1992).

Les espèces feuillues apparaissent dans des teintes claires et correspondent à des fortes valeurs de l'indice NDVI (0,6 à 0,7 en moyenne). Les résineux apparaissent dans des teintes plus foncées (0,4 à 0,5 en moyenne). Les sols nus et les surfaces d'eau libre apparaissent dans des teintes très foncées et correspondent à des valeurs de l'indice faibles.

8. Applications de la télédétection

Les domaines d'application sont multiples, dans la météorologie, la climatologie, l'océanographie, la cartographie et dans la géographie. Pour avoir une bonne utilisation des données numériques il faut une bonne conception des principes physiques sur les techniques de télédétection pour tous les domaines d'applications.

9. Le satellite LANDSAT

Gomez (2004) note que les satellites LANDSAT fournissent des données d'une même surface à différentes dates. Les données des capteurs Thematic Mapper (TM) à bord de Landsat 4 ou 5 sont utilisées pour diverses applications, comme la gestion des ressources, la cartographie, la surveillance de l'environnement et la détection des changements anthropiques ou naturels à la surface de la terre. La limite de résolution spatiale du capteur TM est de 30 m pour toutes les bandes, sauf l'infrarouge thermique qui est de 120 m. Toutes les bandes sont enregistrées sur une étendue de 256 valeurs numériques (8 octets).

LANDSAT 7, le dernier satellite de la famille LANDSAT, possède à son bord le capteur multi-spectral ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Ce capteur enregistre la réflectance de la surface terrestre dans sept bandes spectrales. Quatre dans le visible et proche infrarouge, deux dans l'infrarouge moyen, une dans l'infrarouge thermique et une bande en mode panchromatique. L'image panchromatique est obtenue à partir de données acquises dans une seule bande spectrale, correspondant à la partie visible du spectre à l'exception du bleu. Ces bandes spectrales peuvent être utilisées pour la discrimination lithologique. L'ensemble de ces bandes spectrales sont représentées sur le tableau 9.

Tableau 9. Principales caractéristiques des satellites LANDSAT (Bardinet, 1994).

Satellites	Landsat (MSS)	Landsat (TM)	Landsat 7 (ETM+)
Date de lancement	1972	1984	15 Avril 1999
Altitude	705 km	705 km	705 km
Capteurs	MSS	TM	ETM+
Bandes spectrales	MSS-1 [0.5 – 0.6 μm] MSS-2 [0.6 –0.7 μm] MSS-3 [0.7– 0.8 μm] MSS-4 [0.8–0.11 μm	1.[0.45-0.52 μm] 2 .[0.52-0.60 μm] 3 .[0.63-0.69 μm] 4. 0.76-0.90 μm] 5. [1.55-1.75 μm] 6. [10.4-12.5 μm] 7. [2.08-2.35 μm]	1.[0.45-0.52 μm] 2.[0.52-0.60 μm] 3.[0.63-0.69 μm] 4.[0.76-0.90 μm] 5.[1.55-1.75 μm] 6.[10.4-12.5 μm] 7.[2.08-2.35 μm] Pan [0.52-0.90 μm]
Resolution spatiale	80x80 m	30 x30 m Bande 6 : 120 x 120 m	30 x 30 m Bande 6 : 120 x 120 m Panchro : 15 x 15 m
Dimension d'une scène	185 x 172 km	185 x 172 km	185 x 172 km
Fréquence de passage	16 jours	16 jours	16 jours

L'étude de Bardinet (1994) sur le choix d'un système de télédétection a déterminé les caractéristiques des principaux satellites LANDSAT.

1. Avantages et inconvénients de la télédétection

La télédétection a des informations qui peuvent être intégrées avec d'autres types de données dans le SIG, ces systèmes constituent des outils particulièrement intéressants dans la gestion des ressources dont les diverses composantes du paysage sont saisies ensemble dans leurs rapports mutuels éco géographiques (Bonn, 1996).

La télédétection a ajouté une dimension supplémentaire à l'étude du paysage, trois grands avantages sont produits par la télédétection selon Quattrochi et Pelletier (1990);

- L'influence de l'observateur est éliminée à cause de la grande distance qui sépare le capteur et l'objet.
- Des mesures à grandes échelles régionale ou globale peuvent être effectuées et de façon répétée.
- Une grande variété de données peut être obtenue grâce à la grande gamme de bandes spectrales et de capteurs.

Léo et Dizier (1986), reportent que la numérisation complète des données permet de créer des banques de données géographiques qui assurent la conservation en réduisant les risques d'altération ou la variation des supports traditionnels. La fréquence d'obtention des données varie selon les capteurs. Une étude évolutive sur la dynamique d'un phénomène donné, fournit des informations globales et instantanées. Un autre avantage est l'analyse diachronique basée sur l'interprétation d'anciennes scènes aériennes dans le but de déterminer la dynamique de l'occupation des sols. Le croisement des situations passée et actuelle permet de mettre en évidence les changements intervenus dans un paysage donné.

Par contre l'inconvénient majeur de la télédétection est sa limitation dans l'élaboration des cartes d'occupation des sols. La difficulté de la recherche d'une limite de la résolution spatiale de plus en plus fine et la quantité de données générées augmente en fonction du carré du nombre d'éléments d'image (ou pixels). Un problème se pose sur le niveau de la transmission, du stockage et du traitement de l'information (Saley, 2006). En plus, le coût des images est élevé et n'est pas à la disponibilité de tous les chercheurs. Les images de télédétection destinées à l'observation fine de la surface terrestre, y compris les photographies aériennes traditionnelles, sont sous forme numérique, intégrées aux Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Un autre avantage de la photographie aérienne est lié à l'excellente résolution pour les satellites à haute résolution spatiale (SPOT), la finesse des détails fournit par ces images enrichit l'interprétation. Par contre les images de faible résolution donnent une couverture spatiale faible, nécessite un très grand nombre de photographies aériennes, pour couvrir l'étendue d'une scène obtenue par un radiomètre embarqué à bord d'un satellite. La réalisation de mosaïques de photographies aériennes est rendue difficile par les déformations géométriques de celles-ci. L'angle d'observation varie fortement du centre vers les bords de l'image, ce qui est à la fois un inconvénient et un avantage. Un inconvénient car il introduit des distorsions géométriques d'une photo aérienne non

superposable à la carte considérée, un avantage car ces déformations permettent l'observation du relief par la stéréoscopie.

11. Evolution des méthodes de détection.

La résolution temporelle ou la répétitivité correspond à la période entre deux acquisitions de la même scène. Cette résolution ne dépend pas du capteur mais de l'orbite et du mode de manœuvre du satellite, 16 jours pour LANDSAT TM (Soudani, 2006). Dans le domaine des méthodes d'analyse des données par télédétection, un progrès considérable a été réalisé, l'analyse visuelle des objets par photo-interprétation avec l'utilisation des procédés informatiques, le développement très rapide des logiciels et matériels adaptés aux besoins. En effet, de nouvelles techniques de classification, notamment la classification supervisée, non supervisée et l'interprétation visuelle à l'écran ont remplacé la photo-interprétation. De même, le traitement informatique fournit de façon immédiate et précise les surfaces des éléments cartographiés pouvant être traités à l'aide des analyses statistiques authentiques.

Dans le domaine spatial, la télédétection a tenté de concilier deux objectifs ; le plus vaste espace avec la meilleure précision possible, une transmission rapide des images vers la terre a amélioré les limites de résolution spatiale, qui correspond à la surface élémentaire d'échantillonnage observée par le capteur du satellite (Soudani, 2006). La discrimination des types de végétation se fait plus finement avec LANDSAT puisqu'il présente des nombreuses bandes spectrales. Actuellement les images satellitaires utilisées dans les études d'occupation des sols sont issues des satellites SPOT et LANDSAT. Le choix de ces deux systèmes est guidé par leur aptitude spectrale et spatiale. Les données fournies par le satellite SPOT ont une haute résolution spatiale permettant d'envisager une cartographie de l'occupation des sols, mais il existe d'autres satellites qui ont une résolution spectrale de 0,6 m, Quick Bird en est un exemple (Richard, 1992).

12. La télédétection et la gestion forestière

L'utilisation de la télédétection pour l'analyse des caractéristiques environnementales, culturelles et la gestion des ressources naturelles est bien connue (Quattrochi et Pelletier, 1990 ; Jensen, 1996). La contribution de la télédétection dans le suivi de la dynamique des aires protégées est très intéressante. Les analyses diachroniques basées sur l'utilisation des photographies aériennes, des imageries satellitaires numériques de

différentes périodes permettent de saisir non seulement la dynamique des zones forestières, mais aussi de saisir l'ensemble des changements environnementaux, afin de les intégrer dans un système d'information géographique pour mieux cerner les changements intervenus dans un contexte spatial et temporel .

La télédétection permet entre autre une mise à jour plus facile des cartes existantes par traitement des images satellitaires. En matière de cartographie, elle permet la réalisation des cartes thématiques avec des statistiques d'occupation des sols pour d'éventuels inventaires localisés. En plus, les images satellitaires viennent en compléments aux couvertures aériennes, qui sont les informations de base. Elles donnent une vision plus vaste d'un espace et permettent des analyses spécifiques approfondies sur la base de traitements spécifiques des images. Les prises de vue multi spectrale et la présentation des données sous formes numériques permettent de faire des combinaisons qui facilitent la reconnaissance de certains aspects particuliers. Les images satellitaires permettent une vision globale sur le domaine forestier, la détection des modes d'occupation du sol et des unités d'aménagement composant la forêt et l'état de santé des peuplements forestiers.

La télédétection semble venir en appoint aux enquêtes traditionnelles sur l'occupation des sols, permettant l'amélioration et la précision des résultats, elle fournit des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (Marc Robin, 2002). Elle permet d'approcher le paysage à différentes échelles. Elle prend en compte la dimension spatiale dans des régions où l'accessibilité et le manque d'informations géographiques entraînent des difficultés à généraliser des observations réalisées au sol. En effet, les données satellitaires sont des sources importantes de description et de différenciation spatiales des phénomènes survenant à la surface de la terre. Ces observations répétées dans le temps permettent l'évaluation des dynamiques d'occupation des terres et la mise en évidence de processus spatiaux et temporels (Jean-Fiston, 2010).

DEUXIEME PARTIE

MATÉRIEL ET MÉTHODES

DEUXIEME PARTIE

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE I : Données climatiques sur le site d'étude

1. Généralités

Le climat est un élément important qui caractérise une région donnée, c'est le facteur déterminant du tapis végétal et forestier. La zone de Djelfa présente un climat semi aride à aride avec une nuance continentale, semi aride dans la partie Nord et centre de la wilaya, par contre il est aride dans toute la partie Sud de la région. Il est de type méditerranéen a tendance xérothermique avec une saison estivale sèche et chaude et une saison hivernale variablement humide et froide.

Les facteurs climatiques varient selon l'altitude et l'exposition. Les précipitations augmentent au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude et que les versants Nord sont plus pluvieux que les versants Sud. Les données climatologiques nous ont été fournies par la station de l'office national de la météorologie de Djelfa, située à 1150mètres d'altitude et aux coordonnées 34°41 latitude Nord et 03°15 longitude Est.

Afin d'apporter une analyse relative au climat de la région de Djelfa nous avons considéré les données sur une période de 35 ans de 1975 à 2010.

2. Températures

L'un des facteurs climatiques majeurs limitant l'extension du pin d'Alep est la température. Elle représente un facteur limitant de première grandeur (Ramade, 2003). La région de Djelfa est caractérisée par des températures variables, elles sont basses en hiver et élevées en été. La figure 12 représente les variations des moyennes des températures mensuelles calculées sur une période de 30 années.

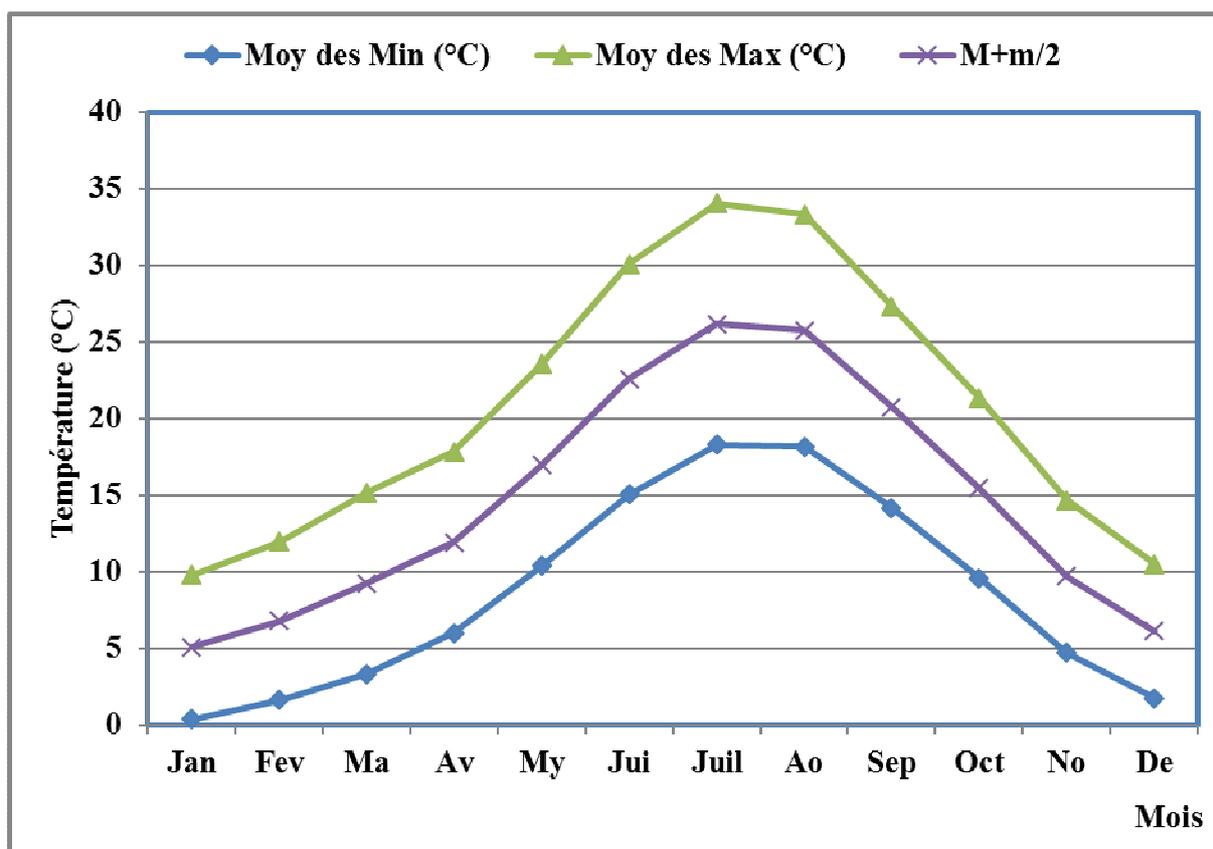


Figure 12. Variations des moyennes des températures maxima et minima dans la région de Djelfa (1975-2010).

Les températures pour la période allant de 1975 à 2010 sont variables caractérisant le climat méditerranéen. Au mois d'août la moyenne des maxima est de 34,12°C, les plus faibles températures peuvent atteindre 0°C en janvier et en décembre. Les températures moyennes ne dépassent pas 26°C au mois d'août.

La moyenne des minima (m) du mois le plus froid et la moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud représentent les deux extrêmes entre lesquelles se déroule la vie végétale (Sauvage, 1961)

3. Précipitations

La pluviosité du point de vue quantitatif est exprimée en général par la pluviosité moyenne annuelle et peut être utilisée comme un élément caractéristique du climat (Le Houérou, 1969). Elle a une influence importante sur l'environnement et sur les écosystèmes forestiers.

Pour déterminer la variation interannuelle, on procède au cumul des quantités pluviométriques annuelles durant la période d'étude. La quantité pluviométrique calculée pour chaque année contribue à identifier les années déficitaires et excédentaires. Le tableau 10 regroupe les données pluviométriques annuelles calculées.

- **Les variations annuelles**

Le tableau 10, illustre les quantités des précipitations annuelles enregistrées au cours des années considérées.

Tableau 10. Cumul annuelle des quantités des précipitations mensuelles (en mm) de 1975 à 2010 de la région de Djelfa.

Années	Quantité (mm)	Excédent(+)/ Déficit (-)	(%)
1975	337	-	3,7
1976	510	+	47,7
1977	272	-	22,3
1978	175	-	50
1979	368	+	5,1
1980	389	+	11,1
1981	329	-	6
1982	435	+	24,3
1983	180	-	48,6
1984	244	-	30,3
1985	364	+	4
1986	395	+	12,9
1987	299	-	14,6
1988	334	-	4,6
1989	337	-	3,7
1990	447,4	+	27,8
1991	451,5	+	29
1992	380	+	8,6
1993	291,4	-	16,7
1994	371	+	6
1995	281,1	-	19,7
1996	438,8	+	25,4
1997	394	+	12,6
1998	177	-	49,4
1999	295,6	-	15,5
2000	150,7	-	56,9
2001	238,9	-	31,7
2002	212,8	-	39,2
2003	295,3	-	15,6
2004	376	+	7,4
2005	376	+	7,4
2006	288	-	17,7
2007	355,1	+	1,4
2008	337,3	-	3,6
2009	387,9	+	10,8
2010	311,2	-	11

Les excédents et les déficits sont calculés en pourcentage par rapport à la moyenne pluviométrique annuelle qui caractérise la zone semi aride de la région d'étude (350mm). Cette évaluation est reportée dans la figure 13. La moyenne des hauteurs cumulées des précipitations de la zone d'étude enregistrées sur les dernières 35 années est de 328,5 mm.

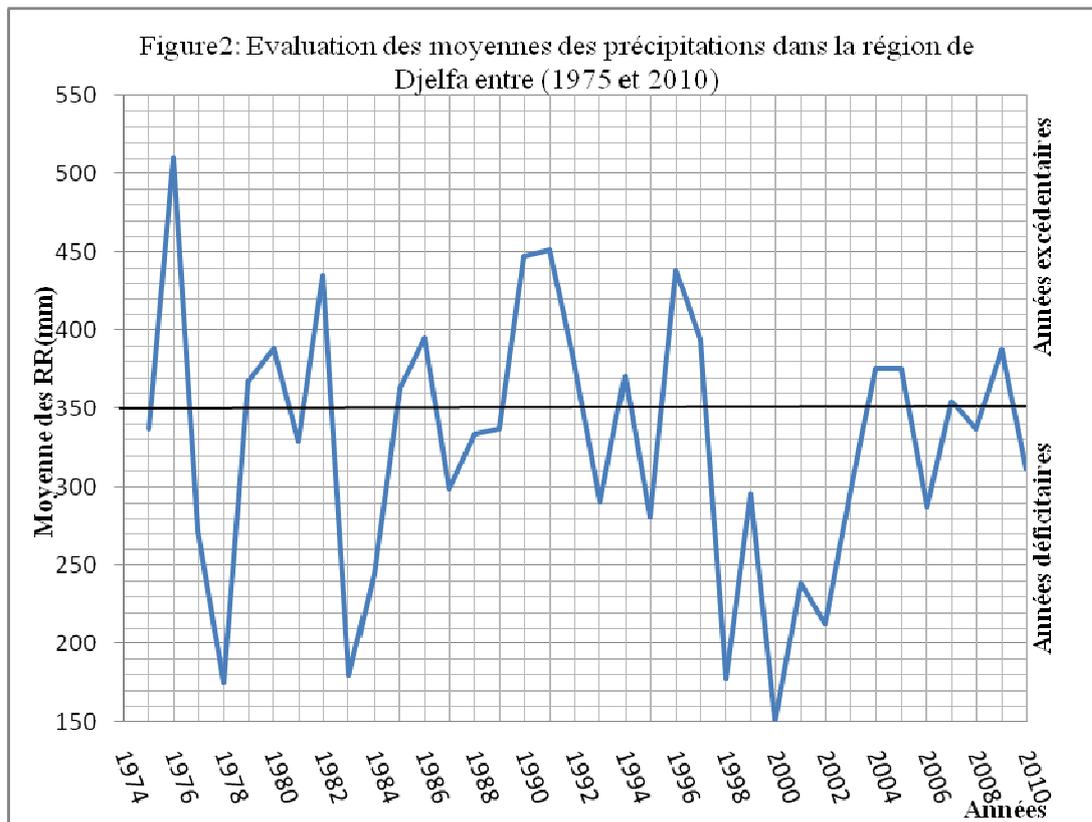


Figure 13. Variations des quantités pluviométriques annuelles de la région de Djelfa (1975 et 2010).

Les quantités pluviométriques année par année de 1975 à 2010, montrent une grande irrégularité inter annuelle. Les années 76, 82, 90, 91 et 96 sont les années qui ont connu les pluviosités les plus conséquentes dépassant 400 mm par année. Les années 79, 80, 85, 86, 92, 94, 97, 2004, 2005, 2007, 2009 sont des années d'une moyenne pluviométrie, le reste des années ont connu un déficit. Notons que les plus fortes pluviosités ont été enregistrées en 1976 avec une valeur de 510 mm environ 47,7% d'excédent, par contre l'année 2000 est considérée la plus sèche par sa faible quantité de 150,7 mm. Les déficits en eau calculés varient de 3,6% à 56,9%, ceci témoigne de l'irrégularité des précipitations au cours de cette série d'années qui est relative à des périodes de sécheresse, ce qui provoque une perturbation de l'écosystème

forestier et traduit réellement une répercussion sur la physiologie des peuplements forestiers de la région de Djelfa. Cependant, L'analyse quantitative des apports pluviométriques annuels relevés sur cette période indique une évolution irrégulière des précipitations d'une année à l'autre. Les pluies sont souvent sous forme d'orage accentuant de ce fait le phénomène d'érosion des sols.

- **Les variations mensuelles**

Les moyennes mensuelles calculées des précipitations enregistrées pour la région de Djelfa, durant la période de 1980 à 2010 sont présentées en annexe et illustrées sur la figure (14).

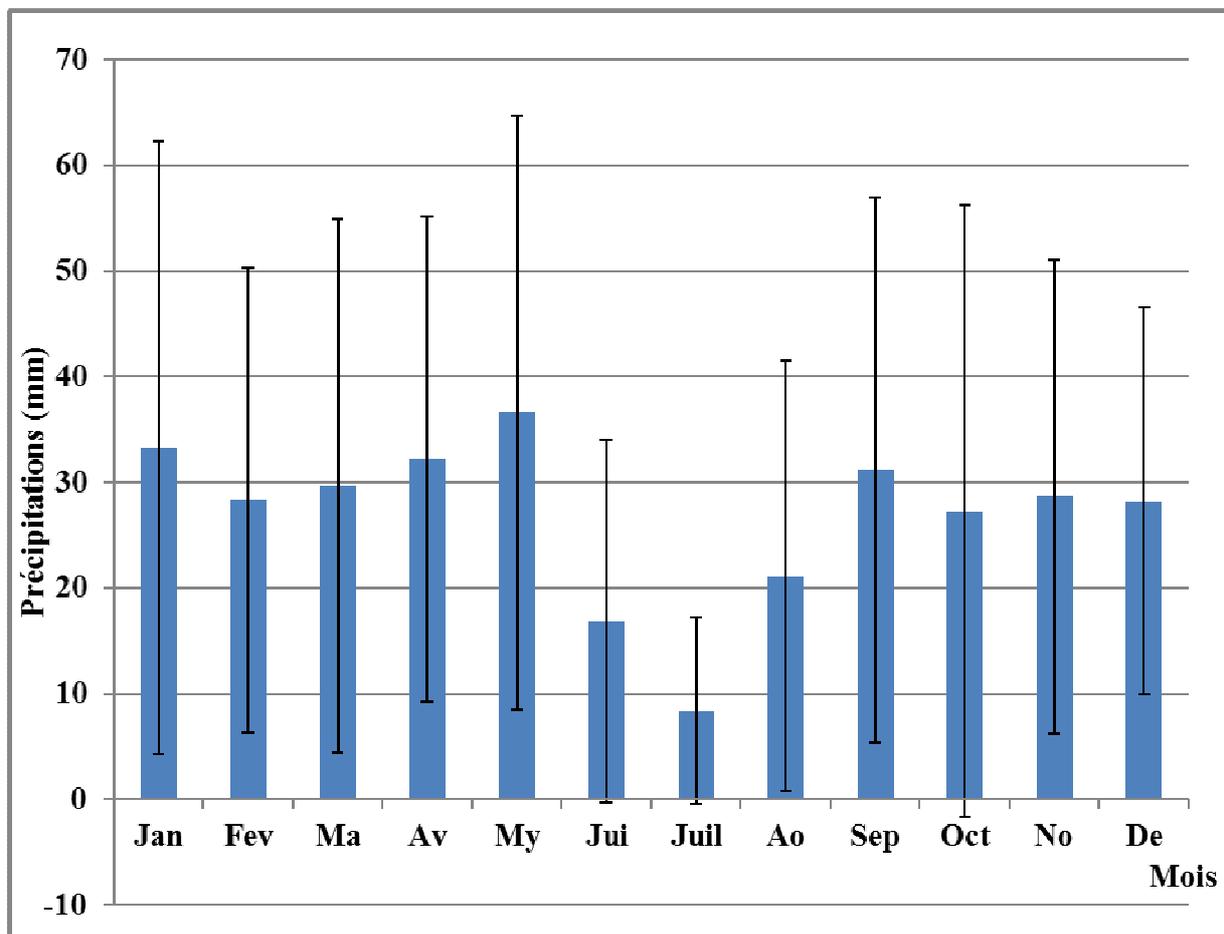


Figure 14 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles et variations (1980 - 2010).

D'après les valeurs de la moyenne mensuelle des précipitations pour la période allant de 1980 à 2010. Les précipitations les plus importantes sont enregistrées au cours de la période allant de septembre à mai dont le mois le plus arrosé est le mois de mai avec une moyenne de

38,57mm, les écarts types varient entre 8,7 et 29 respectivement pour les mois de juillet et janvier. La période sèche apparaît à partir du mois de juin avec un minimum de 9,58mm de pluviosité en juillet.

4. Humidité

L'humidité relative est un élément important à la physiologie des végétaux. L'évaluation des moyennes mensuelles de l'humidité est présentée dans le tableau 10.

Tableau 11. Moyennes mensuelles de l'humidité relative de 1980 à 2010 en %.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Humidité (%)	75,6	69,2	63,5	58,2	52,8	42,9	34,6	38,6	52,4	61.8	71.3	76.2

La moyenne annuelle de l'humidité entre 1980 et 2010 est de 58,1% dans la zone de Djelfa. L'humidité la plus élevée est enregistrée en hiver au mois de décembre de l'ordre de 76,2%, par contre la valeur la plus faible est enregistrée en été au mois de juillet avec une valeur de 34,6%.

5. Gelée

Les périodes de gelées sont notées en hiver et au printemps ce qui constitue un réel danger pour la végétation, les jeunes plants et l'écosystème forestier.

Tableau 12: Nombre de jour de gelés enregistrés durant la période allant de 1980-2010.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Totale
bre N de jours	11	8	3	1	0	0	0	0	0	0	3	9	35

Le tableau 12 regroupe le nombre de jours de gelées. Au total on compte 35 jours de gelée blanche par an dans la région de Djelfa.

6. Neige

La neige est un facteur important, par son rôle thermique sur le sol, elle protège les bourgeons et les jeunes pousses contre le froid excessif et la dessiccation. Les chutes de neige sont fréquentes en hiver et au début du printemps. La durée d'enneigement reste variable au cours du temps. La synthèse des données sur les chutes de neige est reportée dans le tableau 13.

Tableau 13. Nombre de jour de neige pour la période de 1980 à 2010.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
N ^{bre} de jours	77	50	41	6	0	0	0	0	0	0	11	53	238

Au total on compte 238 jours de neige par an dans la région de Djelfa, dont le moi le plus enneigé est le mois de Janvier avec 77 jours.

7. Synthèse climatique

7.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Pour la période d'étude, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (Fig.15) indique que le climat de la région de Djelfa définit une période sèche de 6 mois s'étale du mi mai jusqu'au mi octobre. Durant cette période les peuplements forestiers souffrent d'une déficience en eau et agit défavorablement sur sa croissance pour les jeunes plans boisés. La période humide s'étale de la fin novembre jusqu'à mois de mai.

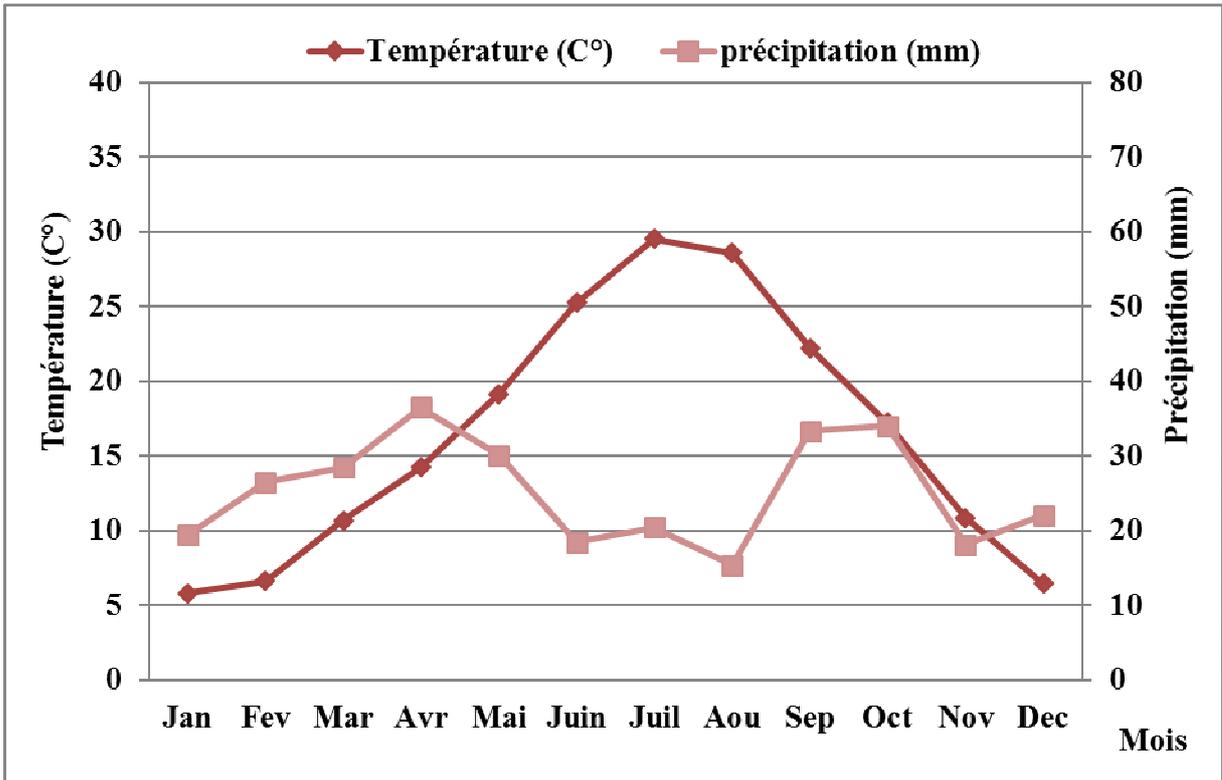


Figure 15. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausse(1953) (Période:1980-2010).

7.2. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (Dajoz, 1971). Pour caractériser la zone prospectée nous avons procédé à l'application de la relation d'Emberger (1932) modifiée par Stewart (1969) :

$$Q_3 = 3,43P/M-m$$

Q₃ : Indice de Stewart

P : Précipitation annuelle en mm (P=327,8mm)

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M=34,05 C°)

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m=0,37C°).

Pour ceci le quotient est égal à :

$$Q_3 = 33,38$$

Pour Emberger le quotient pluviométrique est donné par la formule suivante :

Le diagramme $Q_2 = 2000 p/M^2 - m^2$ donne $Q_2=33,53$

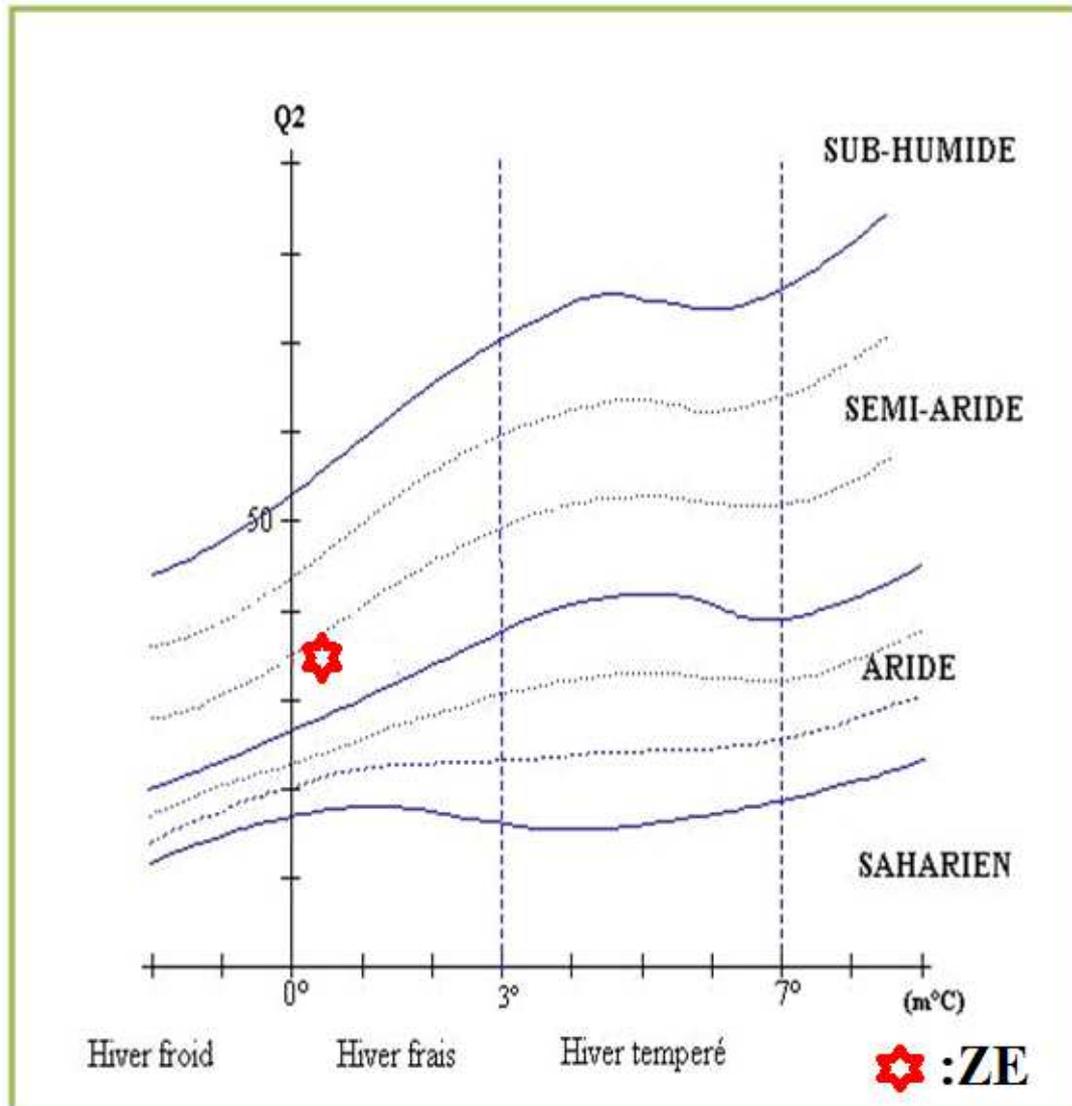


Figure 16. Projection de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.

Après la projection de la station sur le Climagramme d'Emberger selon la classification de Stewart, l'étage bioclimatique de la région de Djelfa est le semi aride caractérisé par un hiver frais.

CHAPITRE II : Données de références et méthodologie de traitement des images satellites

1. Images sources et caractéristiques

L'étude conduite sur les monts de Ouled Nails localisés dans la région de Djelfa fait partie des hauts plateaux algériens et se situe entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33 ° et 35° de la latitude Nord. Elle s'étend sur une superficie totale de 3225635Km² et reste l'une des régions steppiques disposant d'un conséquent patrimoine forestier. Sa situation géographique lui confère une place privilégiée dans les relations Nord Sud de l'Algérie, elle possède une association des massifs forestiers distribués sur une grande partie de son territoire régional (Fig.17).

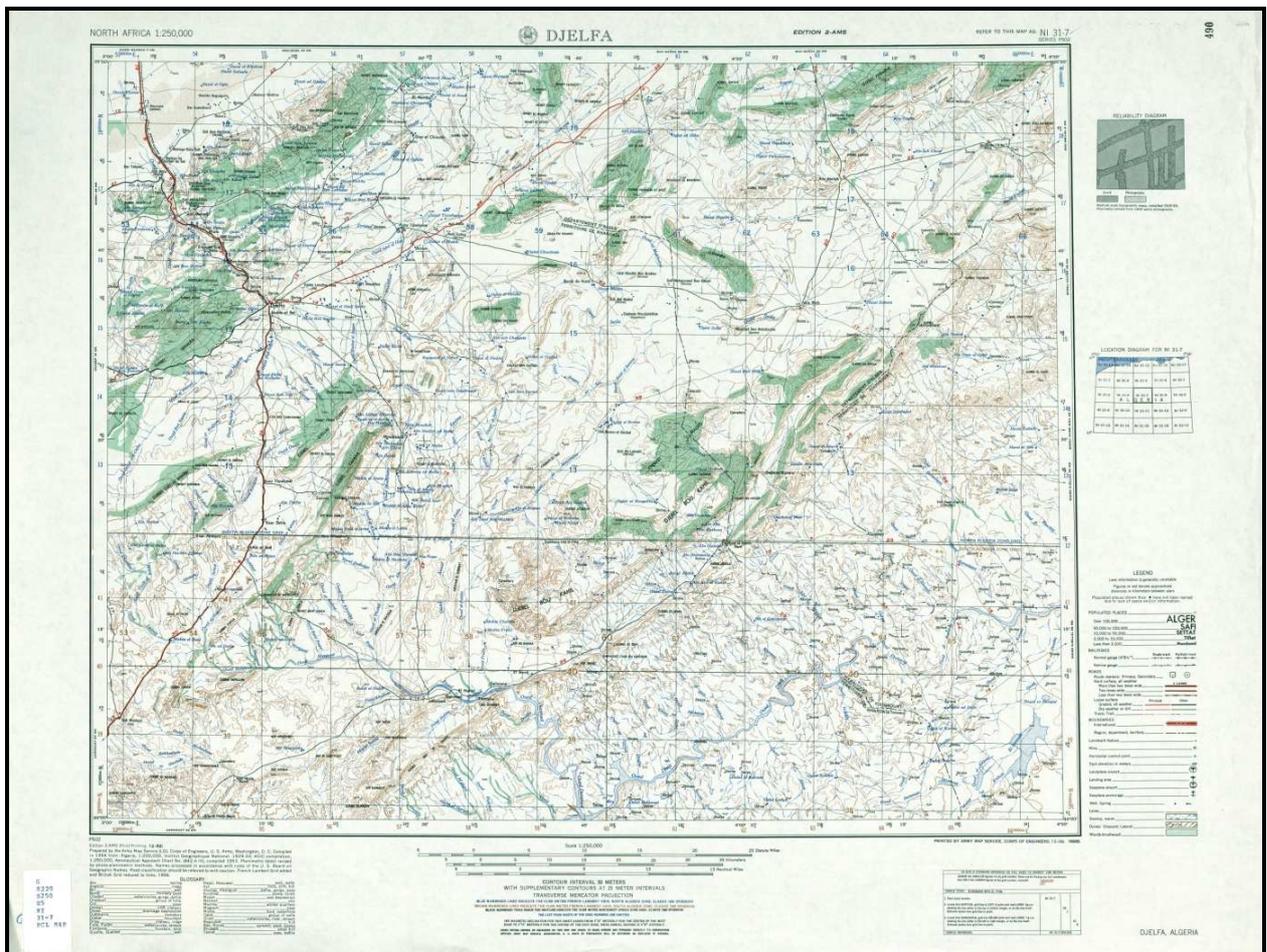


Figure 17. Répartition des surfaces forestières dans la région de Djelfa (1/250000).

La figure 18 présente un exemple d'une forêt naturelle dans la région.



Figure 18. Vue générale de la forêt de Senalba Chergui.

Les images satellites initiales des patrimoines forestiers des années 1972, 1987 et 2001 nous ont été fournies par la cellule de la télédétection du haut commissariat de développement de la steppe de la région de Djelfa, l'image de 2009 a été fournie par l'ASAL (Alger). Ces images sont présentées par les figures 19 à 22.



Figure 19. Image satellite initiale de l'année 1972.

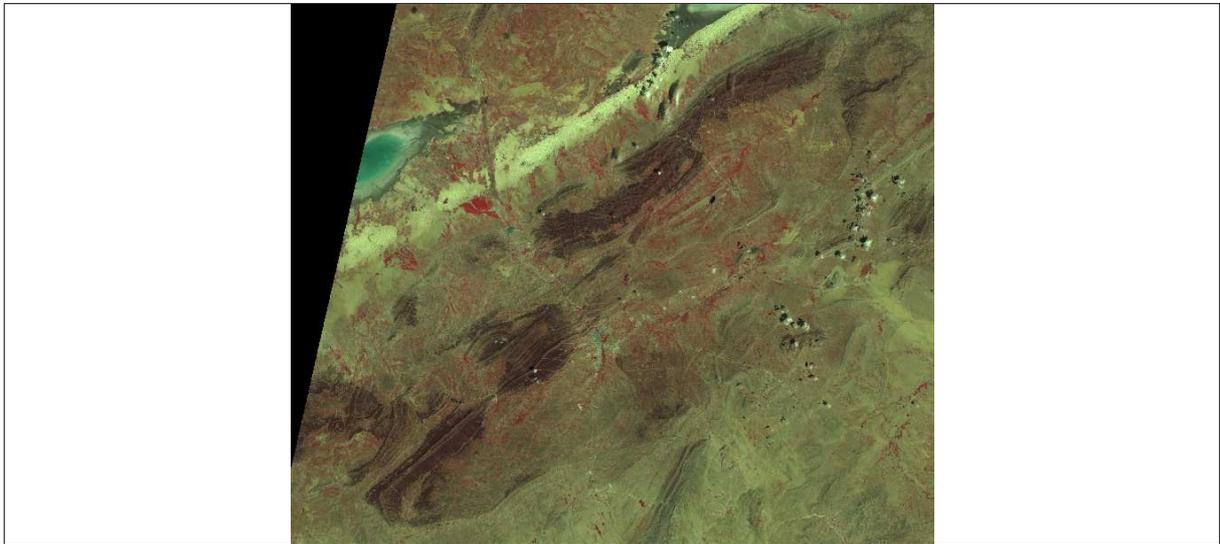


Figure 20. Image satellite initiale de l'année (1987).

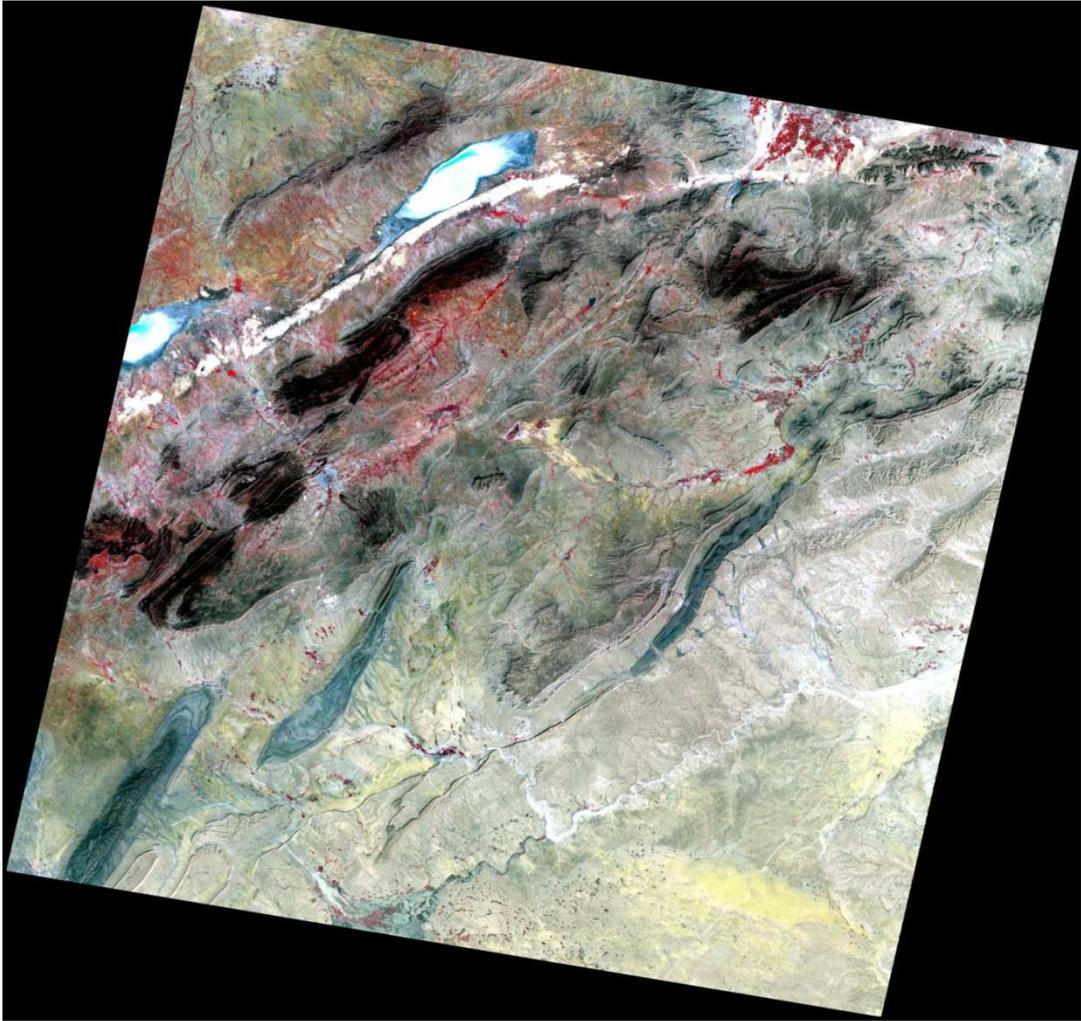


Figure 21. Image satellite initiale de l'année 2001.

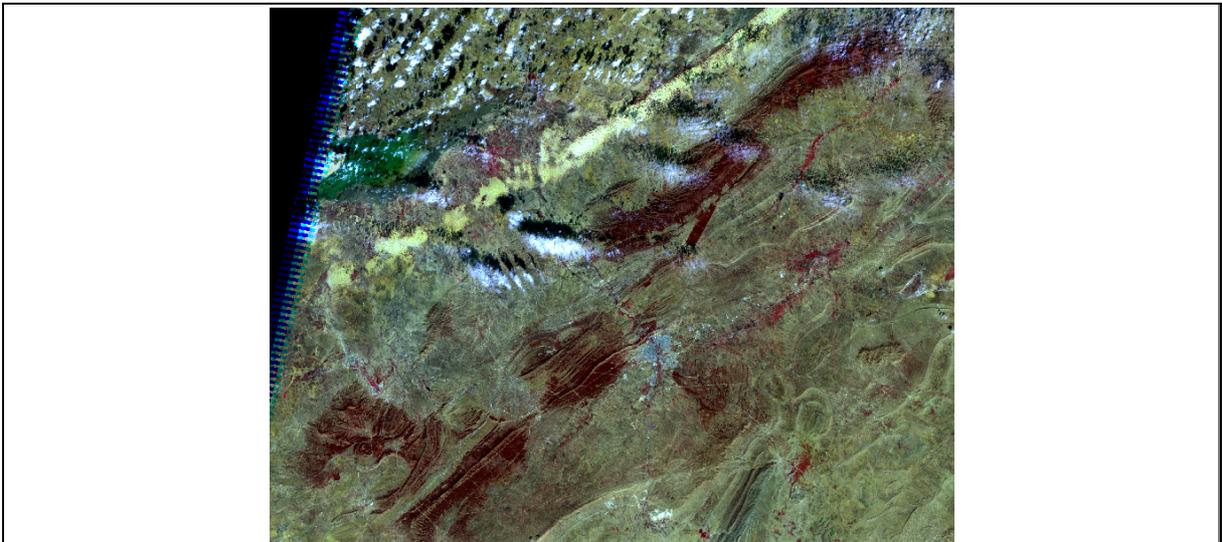


Figure 22. Image satellite initiale de l'année 2009.

2. Diagramme de l'étude diachronique suivie

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources, elles sont descriptives et apportent une information spatiale et spectrale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (Pouchin, 2001). Elles permettent la caractérisation des objets dans une large bande spectrale. L'interprétation visuelle ou automatique permet d'identifier des objets et d'extraire de l'information.

Pour étudier l'évolution de l'occupation du sol dans les massifs forestiers de la région de Djelfa durant la période allant de 1972 à 2009, et dans le but d'extraire les zones réellement sensibles et dégradées, nous procédons à suivre une approche illustrée sur la figure 23. Ce procédé passe par plusieurs étapes de traitements d'images dont la méthodologie adoptée s'appuie sur deux méthodes de classifications supervisée et non supervisée, et ceci après diverses étapes de traitements des images satellitaires. L'évaluation des résultats s'effectue par le calcul des superficies et de l'indice de végétation (NDVI). La méthodologie proposée est largement utilisée par divers auteurs dans le cadre de la réalisation des études spatio-temporelles. Bonn et Rochon (1992), Richards (1993), la même méthodologie a été appliquée par Duveiller *et al* en (2007) ; Barima, (2009) ; Vancutsem *et al* (2009), Bencherif (2010) ; Bakr *et al* (2010); Bouiajira *et al* (2011) ; Rakotonaina *et al* (2013) ont utilisé les méthodes de classifications pour le suivi du changement d'occupation du sol dans différentes zones.

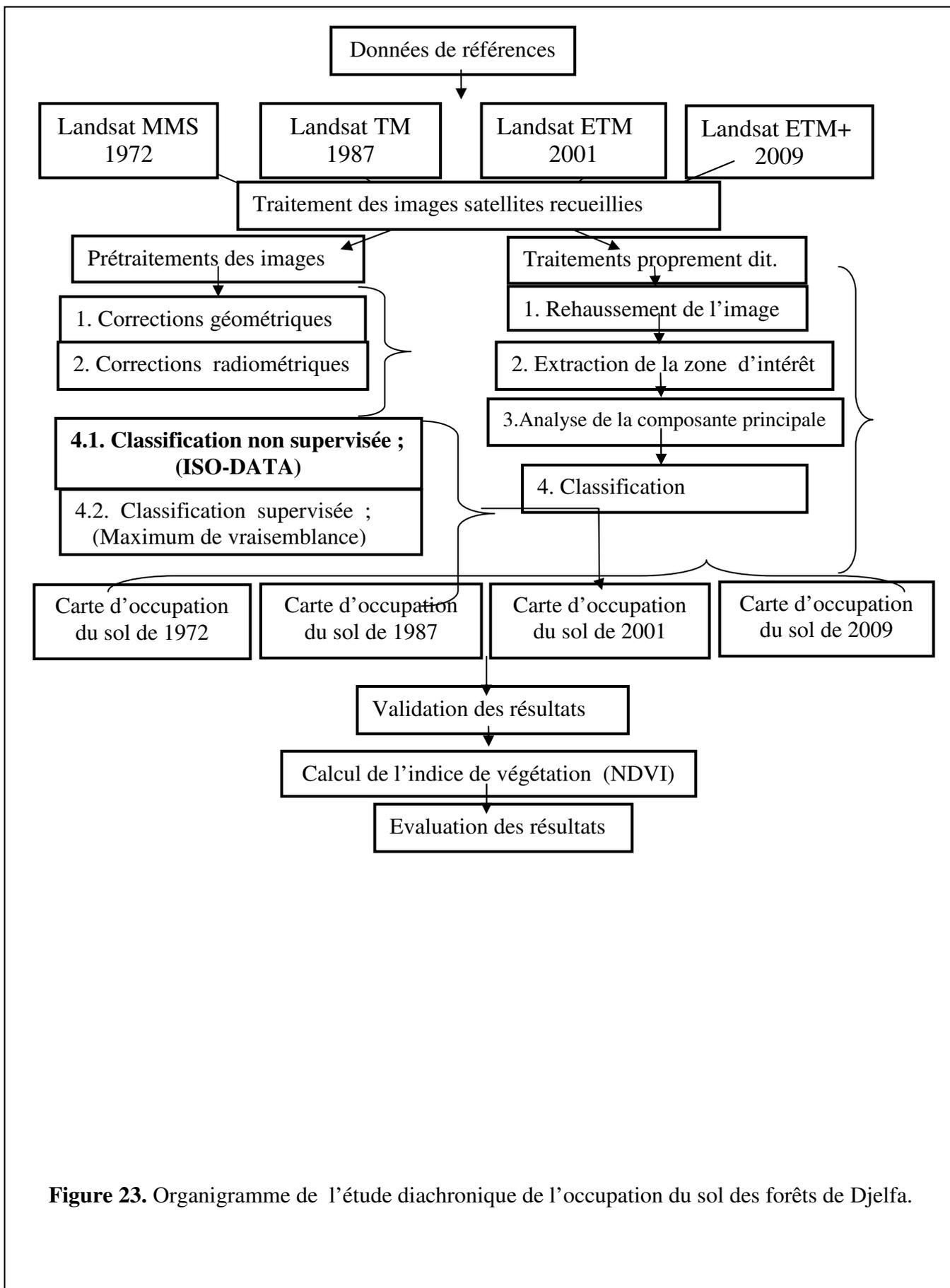


Figure 23. Organigramme de l'étude diachronique de l'occupation du sol des forêts de Djelfa.

3. Méthode d'analyse des images satellites

Les méthodes appliquées pour tirer l'information recherchée varient selon le type de support, photographique ou forme numérique qui caractérise la photo-interprétation. Le secteur étudié correspond à la scène LANDSAT d'une résolution 30m, à l'exception de l'image de l'année 1972 qui est de 57m. Les images couvrant les massifs forestiers de la région de Djelfa sont prises périodiquement à différentes dates mais au cours de la même saison dont la plus ancienne MMS (1972), la seconde TM (Thematic Mapper) et les deux dernières sont respectivement ETM et ETM+, elles sont représentées par 7 canaux sauf la scène de 1972 est déterminée par 4 canaux et considérée comme année de départ pour cette analyse. Pour l'interprétation des images nous avons considéré les images numériques sous format TIFF et ENVI. Les principales caractéristiques des images sont présentées dans le tableau 14.

Tableau 14. Caractéristiques des images utilisées.

Années	1972	1987		2001		2009
Qualité d'image	une seule image	fusion de 02 images		fusion de 02 images		une seule image
Patch/Row	210-36	195-36	196-36	195-36	196-36	inconnu
Date de prise de vue.	13/11/1972	11/04/1987	20/05/1987	24/03/2001	16/04/2001	Printemps
Projection	UTM _ WGS 84 Zone 31 Nord					

Les images identifiées précédemment sont traitées, interprétées et gérées à l'aide des logiciels MAPINFO version (8.0) et ENVI. Les bandes qui favorisent l'apparition de ces images sont (1, 2, 3, 4, 5 et 6), notant que les bandes panchromatiques favorisent la coloration des zones en question et sont spécifiques à chaque satellite. Les résultats satellitaires sont confrontés à des références recueillies sur le terrain. Les données numériques sont par contre traitées à l'aide de moyens informatiques munis de logiciels spécifiques.

Serradj, (1985) note que le logiciel ENVI (The Environment for Visualizing Images) est un système de traitement d'images ultramoderne qui fournit une possibilité d'analyse complète des images satellitaires.

- **Il fournit aussi un environnement de visualisation et d'analyse puissant, innovant et facile d'utilisation pour des images de toutes tailles et des données provenant de différente plate-forme, avec son approche de traitement d'image combinée.**
- Il permet avec ces fichiers-bandes de travailler avec des images entières, sur des bandes spécifiques ou bien les deux. Quand une image est chargée, chaque bande spectrale devient disponible à toutes les fonctions du système. Quand plusieurs images sont chargées, on peut facilement sélectionner des bandes provenant de différents fichiers (superposables ou géoréférencés) pour être traitées ensemble.
- Il est entièrement écrit en IDL (Interactive Data Langage), qui est un langage de programmation structuré très puissant, fondé sur les tableaux (matrices) et offre un traitement d'image intégré et une grande capacité de visualisation.

Il est important de signaler que l'ENVI est conçu en langage IDL- RS (Interactive Data Langage – Research System), il offre des moyens de programmation évoluée (Soudani, 2006).

Une image sur le logiciel ENVI est composée de deux fichiers:

- Fichier image qui contient les données-image numériques.
- Fichier.hdr qui contient les métadonnées (paramètres de l'image).

3.1. Traitement des images satellites recueillies

Classiquement on procède toujours à des traitements préalables destinés à la mise en forme optimale des données, et les traitements proprement dits pour interpréter les données et évaluer les résultats.

3.1.1. Prétraitements des images

Ce procédé a pour but d'augmenter la lisibilité des données et de faciliter leur interprétation, et d'assurer une bonne acquisition de l'information. Cette application correspond à une correction radiométrique et géométrique qui contribue à améliorer le contraste pour obtenir des documents calés et géo référencés.

3.1.1.1. Corrections géométriques

Elle consiste à rectifier les images satellites de manière à les rendre superposables à d'autres images ou à des documents cartographiques de référence (Shlien, 1997, in El Hadraoui,

2013). Ces corrections sont destinées à corriger les déformations systématiques des images dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variations de vol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable avec une carte d'état major de la région d'étude. Les corrections sont faites à partir de paramètres d'orbite et d'altitude enregistrés durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu (UTM ou Lambert II étendu, par exemple) (Deshayes *et al*, 2009). En Algérie la projection connue est UTM zone 31 Nord WGS 84. Ce type de projection permet de passer d'une acquisition brute géo localisée à une image rectifiée qui sera géoréférencée dans un système de projection en tenant compte des déformations engendrées par le relief et les angles de prise de vue (Close, 2008). Les image satellites initiales ont été corrigées géométriquement et référencées dans le système de coordonnées UTM, Zone 31 Nord.

Les lois de déformations sont calculées à partir de points particuliers encore appelés amers, dont les coordonnées sont connues à la fois sur le terrain et sur l'image (croisement de routes, point de repère) afin de rendre la projection de l'image enregistrée identique à celle des cartes habituelles. Ce type de traitement est nécessaire pour l'analyse multi temporelle et l'assemblage des images pour assurer une bonne superposition des images satellites dans le but de détecter le changement.

Soudani (2007), propose des orientations de corrections pour les images de télédétection, dont elles représentent un espace géographique qui consiste à attribuer des coordonnées cartographiques aux pixels de l'image. L'opération est appelée géo référencement. Cela pour exprimer les coordonnées d'une image dans le même référentiel d'une autre image c'est la registration. Au contraire le géoréférencement d'une surface terrestre fait appel à un système de coordonnées lui-même rattaché à un système de projection terrestre. Notons que le géoréférencement proprement dit permet seulement d'exprimer les coordonnées d'une image dans un système de coordonnées cartographiques sans aucune modification de l'image. Lorsque l'image présente des distorsions satellitaires, le géo référencement est précédé par une opération de rectification qui permet de corriger ces distorsions. La procédure de rectification consiste en une simple conversion des coordonnées initiales de l'image en coordonnées cartographiques.

Sur les images satellites cette application du calage ou le géo référencement est appliquée sur les deux dernières images, la même opération est appliquée sur l'image de l'année 1987 mais avec un fort calage. Cette opération s'effectue par rapport à une autre image calée, pour corriger les erreurs et assurer une meilleure superposition des images.

Un calage conséquent a été effectué pour les deux points choisis A et B, (Point A de (X1=-6' 10' 48", Y1= -23' 11' 24") à un nouveau point (X2= 5' 55' 12", Y2= -23' 15' 0"). De même le point B de (X1= -2' 12' 0", Y1= -0' 5' 24") à (X2=2' 2' 24", Y2= -0' 5' 24"). Ceci a été réalisé pour l'image de l'année 1972 et appliqué aux quatre angles directionnels, les deux images de 2001 et 2009, ont subi relativement un calage plus limité.

3.1.1.2. Corrections radiométriques

Ce modèle de correction diminue les perturbations dues à l'atmosphère et aux capteurs. Dans le cas d'étude multi-temporelle, il est souvent souhaitable de corriger la radiométrie en fonction de la date (éclaircissements solaires différents) afin de pouvoir comparer les deux images. Dans la filière de la production des données, ces traitements sont réalisés de manière générale en amont de l'utilisation finale (Deshayes et Maurel, 1990)

3.1.2. Traitement des images

3.1.2.1. Rehaussement de l'image

L'étude de rehaussement est abordée en plusieurs étapes, les transformations simples telles que l'agrandissement ou la réduction de la taille de l'image, les transformations qualifiées de globes s'appuyant sur les anamorphoses d'histogramme, les applications des filtrages spatiaux et fréquentiels, traitements des méthodes de fusion d'images (Caloz *et al*, 2001).

3.1.2.2. Perfectionnement de contraste

Ce modèle permet à améliorer l'apparence des données avant d'entamer les traitements proprement dits, les supports des images LANDSAT TM et ETM, fournissent six valeurs radiométriques par pixel et une bande thermique, dont le choix du canal s'effectue en fonction du domaine d'utilisation.

L'amélioration des contrastes est appliquée pour la série des images, l'opération est recommandée pour l'année 1987 avec étalement linéaire – 2% sur les queues des histogrammes à l'aide de l'onglet (Enhance) sur la fenêtre de l'image ouverte.

3.1.2.3. Transformation des images

Les transformations des images se réfèrent aux techniques de manipulation des images brutes entre elles pour produire d'autres images dérivées utiles à un objectifs donnée. Ces transformations ont pour but d'extraire le maximum des informations par la combinaison des bandes spectrales, qui peut être un bon indicateur d'une propriété biophysique de la couverture du sol c'est l'exemple de l'indice de végétation (Caloz et Golay, 2007).

3.1.2.3. 1 Extraction de la zone d'intérêt

A l'aide de logiciel (MAPINFO) et dont le but de délimiter la zone d'étude, en procède à extraire la partie intéressante de la scène 2009. Une nouvelle couche de dessin qui présente la délimitation de la zone forestière de la région de Djelfa sera introduire et enregistrer. La méthode se base sur l'utilisation du curseur qui va délimiter et découper la zone en question, cette zone est représentée en un polygone fermé (Fig. 24).

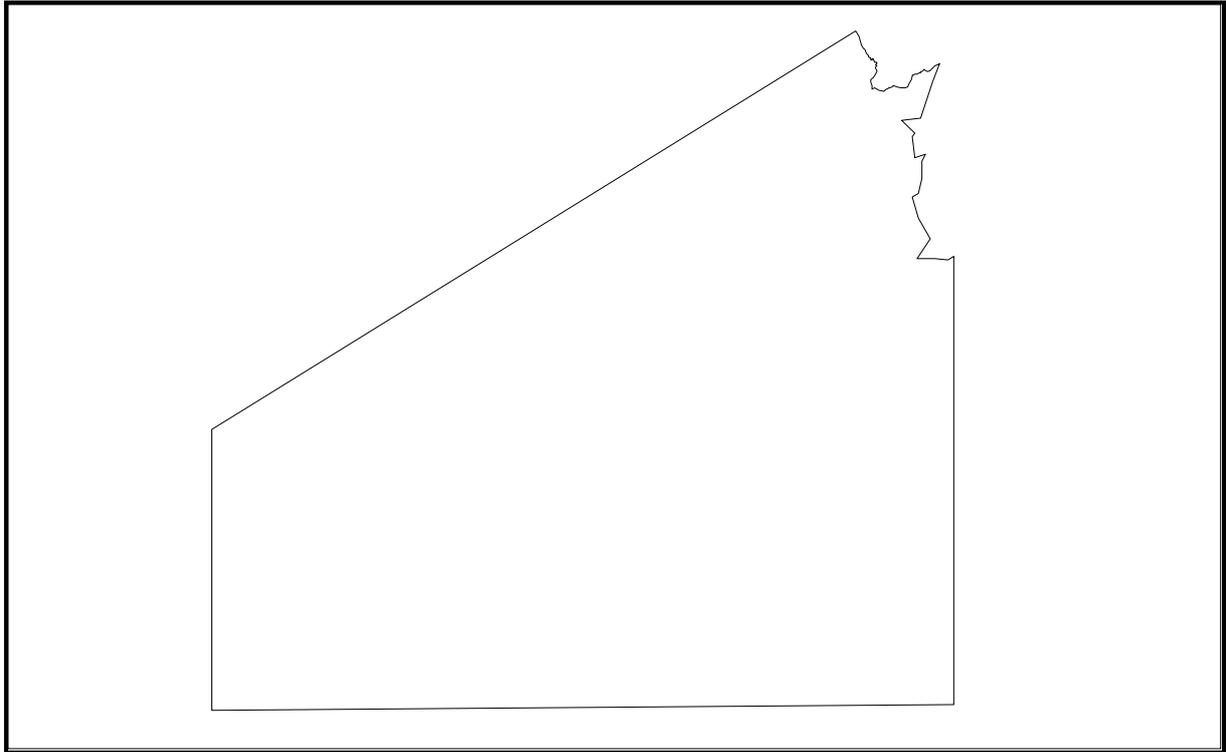


Figure 24. Présentation de la zone découpée.

Cette délimitation de la zone d'étude sera traduite par une nouvelle présentation des images satellites découpées en fonction de l'objectif recherché. L'exemple de l'image de l'année 2009 découpée est représenté sur la figure (25).

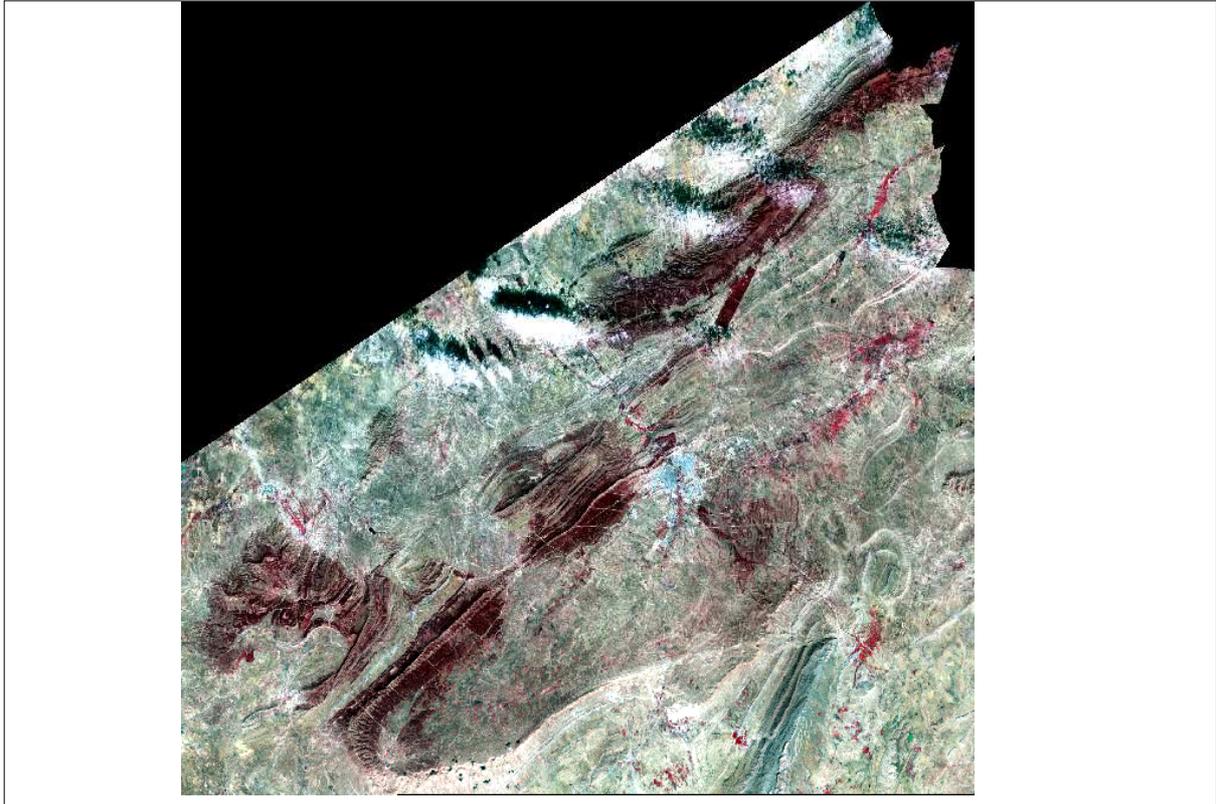


Figure 25. Présentation de la partie découpée de l'image satellite globale (2009).

3.1.2.3. 2 Affichage en fausses couleurs et de la composition colorée

L'affichage en fausses couleurs consiste à attribuer des couleurs fictives aux bandes spectrales. L'image résultante est dite de composition colorée et se compose de trois plans de couleur rouge, de vert et de bleu. Par convention on attribue la couleur rouge à la bande spectrale proche infrarouge, la couleur verte à la bande rouge et la couleur bleue correspond à la bande verte (Soudani, 2006).

Dans une composition colorée et comme pour toute image couleur, la formation de la couleur est basée sur les trois couleurs primaires rouge, vert et bleu. Pour le cas de l'étude forestière on procède à une synthèse d'une nouvelle composition colorée, qui se base sur la combinaison entre les bandes 2 pour le vert, avec une longueur d'onde (0,52- 0,60mm) et le rouge pour la bande 3 avec une longueur d'onde varie (0.63-0.69mm) et l'infrarouge avec la bande 4 de (0,75 à 0,90mm). Seules les bandes spectrales 4, 3 et 2 ont été respectivement affectées aux canaux rouge, vert et bleu donnant une composition colorée en fausses couleurs standards. Donc trois couleurs fondamentales (rouge, vert, bleu) en fonction de leur longueur d'onde soit respectivement le proche infrarouge, le rouge et le vert dont l'association des trois canaux précédemment citer donne naissance à la zone forestière en question.

La composition colorée la plus utilisée dans se travail (R_4, G_3, B_2) est celle de Girard et Girard (1989) qui permet de séparer l'eau des autres classes et permet aussi de différencier la végétation des sols nus. Il est a noté que l'utilisation d'un grand nombre de bandes spectrales n'apporte guère plus de discrimination entre les objets au sol que celle de quelques bandes judicieusement choisies (Beaudoin *et al*, 1995).

3.1.2.3. 3 Analyse de la composante principale (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est la technique similaire qui a pour but de résumer l'information des canaux originaux (ex : les six canaux de LANDSAT TM) dans un nombre plus réduit (deux ou trois). Le choix des premiers canaux représentent le maximum d'information, dont la corrélation entre les premiers canaux choisis d'une image n'entraîne qu'une faible perte d'information (Deshayes et Maurel, 1990).

La combinaison des bandes spectrale est affectée sur les images LANDSAT des années 1972, 1987, 2001, et 2009. L'information contenue dans les composantes par la corrélation entre les bandes adjacente est plus importante que l'information portée par chaque bande séparément. L'ACP réduit le bruit de l'image et crée une image sur laquelle chaque bande est peu corrélée aux autres et contient des informations uniques (Jensen, 1996; Caloz et Collet, 2001). L'ACP présente l'avantage que la plupart de la variance de données est contenu dans les premières composantes, le « bruit » des bandes est en général contenu dans la dernière composante, non seulement que les différences de réponse spectrale entre bandes peuvent être rehaussées.

Les trois images illustrées sur la figure 26 résultent de la combinaison entre trois bandes choisies respectivement, pour la première image le rouge est attribué a la bande 1 (R : TM1), (V : TM2) et la Bande 3 au canal bleu (B : TM3). La seconde image on accorde (R : TM2, V : TM3, B : TM4), la dernière image représente la composition colorée des trois bandes soit (R : TM1, V : TM4, B : TM7), la composition colorée ainsi retenue est proche des couleurs naturelles de la surface terrestre.

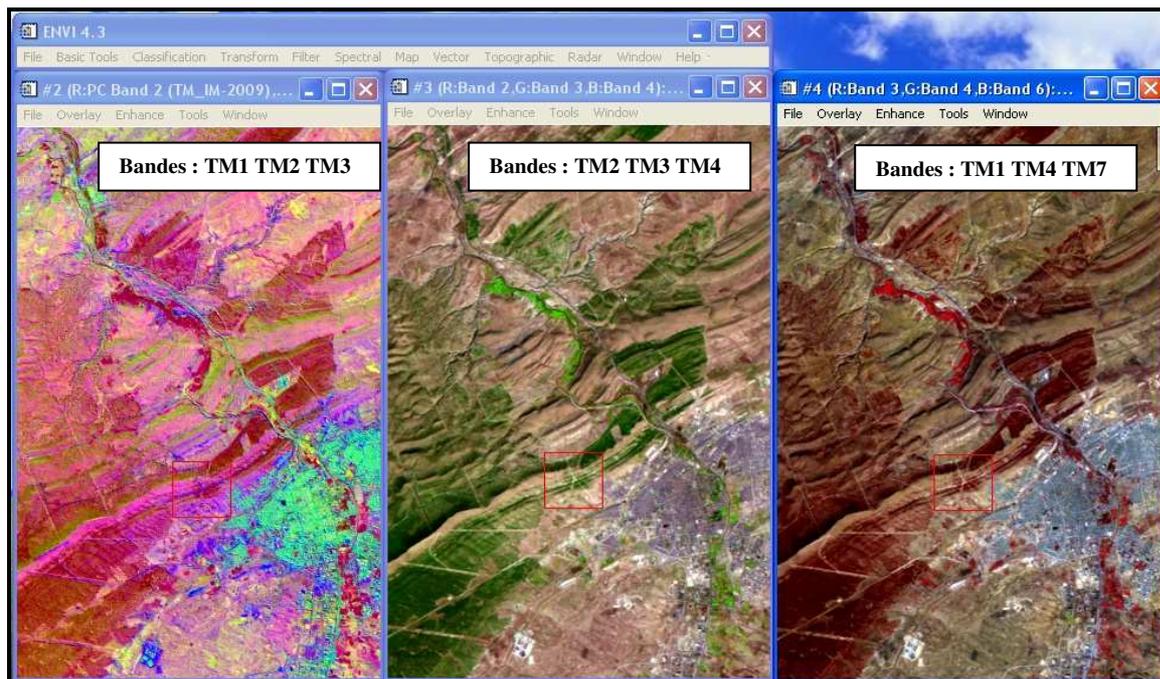


Figure 26. Application de l'ACP sur la scène 2009 de la région de Djelfa.

La composition colorée en fausse couleur de l'image multi spectrale LANDSAT 2009 des forêts naturelles de la région de Djelfa a plusieurs intérêts, dont le plus important est l'étude de changement temporel, l'occupation des sols en zone urbaine et l'état des forêts dans la défoliation des conifères.

Une autre configuration de l'ACP issue par la combinaison de plusieurs bandes dont la composition colorée est le résultat de la superposition des trois couches (R-V-B). Dans le cas des données de capteurs comportant plus de trois Canaux, comme le LANDSAT (TM) plusieurs compositions colorées sont possibles, la présentation colorée issue de l'assemblage des canaux TM2 (Rouge), TM4 (Vert) et TM3(Bleu) est présentée par la figure 27.

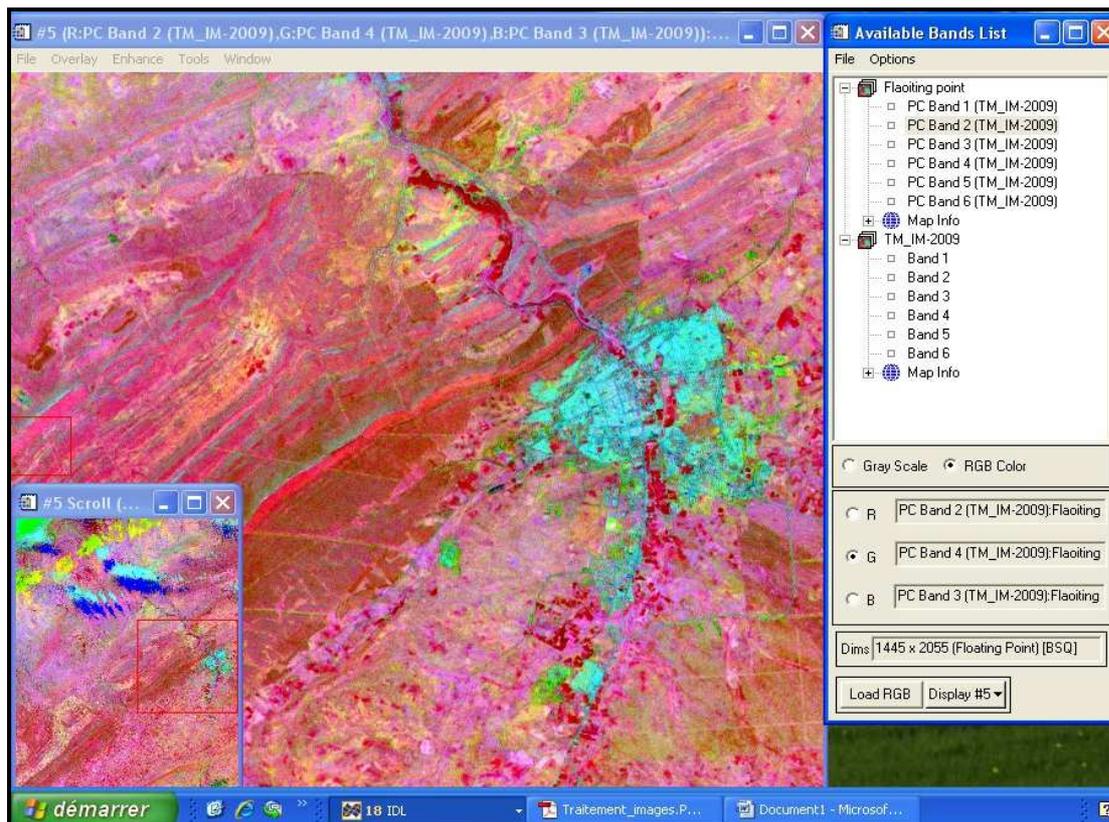


Figure 27. Résultat de l'ACP par la combinaison des trois bandes (TM2 TM4 TM3).

L'image LANDSAT TM présente une résolution spatiale de 30m et 7 bandes spectrales, ces bandes et leurs caractéristiques spatiales sont représentées dans le tableau 15.

Tableau 15. Caractéristiques des bandes spectrales du satellite LANDSAT TM.

Bandes	Intervalle spectral (µm)	Désignation	Résolution Spatiale
TM1	0,45-0,51	Visible (bleu)	30 m
TM2	0,52-0,59	Visible (vert)	30 m
TM3	0,61-0,68	Visible (rouge)	30 m
TM4	0,8-0,9	Proche infrarouge	30 m
TM5	1,5-1,7	Moyen infrarouge	30 m
TM6	10-12	Infrarouge thermique	120 m
TM7	2,1-2,3	Moyen infrarouge	30 m

3.1.2.4. Méthodes de Classification des images satellitaires

De nombreuses méthodes ont été développées pour la détection des changements de l'occupation du sol. Les méthodes évoluent rapidement et de nouvelles méthodes sont développées pour répondre au besoin réel des changements de la surface de la planète. Plusieurs auteurs ont publiés des évaluations des méthodes de détection de changements (Singh, 1989; Lunetta et Elvidge, 1998 ; Mas, 2000 ; Jensen, 2004 et Lu *et al*, 2004. L'approche utilisant la post classification est cependant la plus courante (Adeoye, 2012). Dans la plus récente contribution celle de Lu *et al* (2004) divisent les méthodes de détection de changements en cinq catégories : Algébrique, de transformation, classification, approche SIG, d'analyse visuelle et autres techniques.

Dans notre cas on procède à deux méthodes d'analyses, une analyse visuelle et une classification pour évaluer les résultats. Ces méthodes réduisent les impacts de l'environnement et elles fournissent des informations concernant la nature des changements. Elles produisent une bonne détection de maximum probabilité. La classification nécessite une connaissance de terrain, l'identification de seuils, une grande exactitude de la classification et un nombre et une qualité d'échantillons d'entraînement suffisants (Lu *et al*, 2004).

La méthode d'interprétation visuelle permet d'incorporer la connaissance de l'analyste, elle permet d'analyser deux ou trois images en même temps. Elle demande plus de temps et dépend essentiellement des connaissances et de savoir-faire de l'analyste. C'est le procédé qui ne donne pas d'informations détaillées sur les changements (Fiston *et al*, 2010).

Cependant, la classification est la procédure permettant la confection des cartes thématiques par un classement des données satellitaires. C'est de grouper les unités primaires qui les composent (pixels) en un nombre donné thématiquement connu ou spectralement homogène (Defourny, 1992a). Cette opération consiste à découper l'ensemble des pixels en cubes, en sphères ou en ellipsoïdes, l'ensemble des éléments regroupant le même symbole ayant la même couleur dans l'image appartenant à la même classe. Cette technique consiste à réaliser un découpage optimal pour avoir un nombre maximal de classes de l'occupation de sols. L'association des pixels appartient à la même classe s'effectue automatiquement par le logiciel, elle consiste en plus à comparer les distances du point considéré au centre des deux cubes ou sphères.

Les méthodes appliquées pour la classification se divisent en 2 grands groupes : La méthode non supervisée et la méthode supervisée.

3.1.2.4.1. Classification non supervisée (ISO-DATA)

Cette dernière met en évidence les points qui peuvent être utilisés lorsque l'on ne dispose pas d'information sur la zone d'étude. Une classification automatisée a été aussi développée pour se focaliser sur l'analyse de la détection de changement (Zhang *et al*, 2005). Le traitement regroupe alors les pixels radiométriques semblables en un nombre de classes fixé au départ. Ce qui procède ensuite à donner un nom à chacune des classes obtenues. Le procédé en question n'est toujours pas facile, c'est pourquoi que la méthode la plus appliquée est le mode supervisé, dont l'image se dispose au départ d'échantillons des différentes classes que l'on cherche à obtenir.

La méthode appliquée pour ce type de classification est ISO-DATA qui regroupe automatiquement les pixels dont les radiométries sont proches les unes des autres, selon des critères ne faisant pas appel à une référence. Le nombre de classes retenues a été fixé dans l'intervalle de 5 à 10, chaque classe ayant pour amplitude minimale 5 et pour écart-type maximal 1. Le seuil ou le critère d'arrêt est de 5%, ce qui signifie que la classification par la méthode ISO-DATA est terminée lorsqu'un nombre de pixels $\leq 5\%$ change de classe entre les itérations (n-1 et n), ce qui traduit qu'un nombre d'itérations supérieurs n'apporte qu'une légère amélioration de la classification finale. Plus ce seuil est réduit plus la classification est précise (nombre d'itérations est de 10) (Soudani, 2006).

Lorsque la classification est affichée on préconise à affecter des noms aux classes pertinentes et attribué une couleur choisie pour représenter chaque classe. Pour le cas des forêts denses les échantillons choisis appartenant à cette classe sont dotés d'une coloration verte ou noire nommée «forêts denses». Pour le cas d'un affichage doublé des classes on procède à une combinaison des classes semblables par post classification, une nouvelle classification s'affiche avec une légende représentative de l'ensemble des classes affectées.

La classification non supervisée par la méthode ISO-DATA, nécessite un traitement statistique pour chaque image classifiée, la procédure s'effectue en cliquant sur l'icône (post classification) puis (class statistics) pour calculer les statistiques des classes.

3.1.2.4.2. Classification supervisée (Maximum de Vraisemblance)

Le processus de classification d'image implique la conversion des images raster multi-bande dans une trame unique de la bande, avec un certain nombre de catégories nominales qui se rapportent à différents types d'occupation du sol et qui se traduisent par un nombre de classes selon la connaissance du terrain.

Cette classification supervisée prend en compte la bonne connaissance du terrain et consiste à identifier visuellement un certain nombre d'éléments, ou objets naturels ou artificiels qui peuvent-être ponctuels linéaires ou surfaciques sur l'image.

Pour distinguer le changement temporel dans les pineraies de Djelfa, on procède a produire des cartes thématiques de l'occupation du sol, ces documents satellitaires sont utilisés ensuite dans les analyses diachroniques, dans le but de la détection de changement et la détermination des surfaces forestières occupées par ces zones.

La méthode appliquée pour cet objet permet de classer les images à l'aide de leurs signatures spectrales (valeurs de réflectance), obtenues à partir d'un échantillonnage de formation symbolisée par des polygones, qui représentent les zones sélectionnées distinctes des différents types d'occupation du sol pour être classés selon la connaissance réelle de terrain. Le logiciel introduit les classes spectrales de l'image multi-bandes sans l'intervention d'analyse. Une fois que les groupes sont repérés, l'identification des classes sera établie par le logiciel.

La technique opérationnelle de cette classification supervisée se déroule en deux étapes:

- La première étape consiste à sélectionner des zones de l'image dont on connaît la vraie occupation du sol. Ces zones sont appelées régions d'intérêt (Regions of interest) sous ENVI.
- La seconde et d'utiliser ensuite ces zones comme références à la généralisation sur l'ensemble de l'image.

La méthode adoptée pour cette classification supervisée est nommée en plus (Likelihood). Elle est appliquée sur les quatre documents satellitaires calés (1972, 1987, 2001, 2009), L'algorithme de maximum de vraisemblance est l'un des plus largement utilisés dans la classification de l'imagerie satellitaire (Vorovencii, 2005).

Pour obtenir un bon support de comparaison, la détermination du nombre de classes et le choix des parcelles sont basés préalablement sur la connaissance du terrain et le couvert végétal de chaque site. Cette détermination peut aboutir à une confusion entre certaines

composantes surtout entre les sols nus et peu couvertes. On procède enfin à une synthèse cartographique des classes choisies sur l'image satellitaire.

Le choix des zones d'intérêt et leurs paramètres déterminants sont mises en place dans la boîte de dialogue (ROIs Tools), qui nécessite enfin un traitement statistique des classes déterminées et un autre sur les ROIs. Le traitement englobe des signatures spectrales et la détermination de seuil de séparabilité des classes des ROIs.

Deux méthodes de mesure de la séparabilité entre les différentes classes sont proposées. Pour plus de détails sur la formulation mathématique des ces méthodes, Richards (1986) a retenus seulement les deux méthodes de calcul de la distance spectrale interclasses qui fournissent des statistiques variant entre 0 et 2.

- $0,0 < x < 1,0$ (séparabilité très faible, 0 implique une confusion totale entre deux classes)
- $1,0 < x < 1,9$ (séparabilité faible)
- $1,9 < x < 2,0$ (bonne séparabilité, 2 séparabilité parfaite sans risque de confusion).

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

Pour valider notre classification on procède a appliquée pour l'ensemble des images classifiées une matrice de confusion.

3.1.2.4.3. Evaluation statistique de la classification

L'estimation de la qualité de la classification a été faite par le biais d'une matrice de confusion (Godard, 2005). Le coefficient de Kappa (K) donne une estimation plus précise et tient compte des pixels bien classés de la qualité de la classification (Congalton, 1991).

La fiabilité de notre classification est basée sur les résultats statistiques de la classification. Le principe de cette méthode consiste à prélever aléatoirement des points puis les comparer avec des points de référence. Le résultat est donné sous forme d'une matrice dite matrice de confusion qui contient les deux indices qui seront utilisés pour la validation finale :

- La précision globale : Elle est égale au nombre total de pixels correctement classifiés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels de vérification (Singh, 1986).
- L'indice de Kappa : indique comment les données à classer s'accordent aux données de références. Il constitue une mesure fiable dans l'évaluation des classifications

thématiques car il examine tous les éléments dans la matrice de confusion et prend en compte à la fois des erreurs d'omissions et de commissions (Rosenfiel et Filzpatrick-lins, 1986).

Les résultats de ces comparaisons sont exprimés en pourcentage. Selon Afro et Descplnoy (2010) in El Hadraoui (2013), une classification est fiable et exploitable que si les pourcentages sont supérieurs à 80%.

3.1.2.4.4. Calculs des surfaces forestières

Sur la base des images satellites classifiées, les surfaces forestières sont calculées automatiquement après que les traitements statistiques et la validation des résultats sont préconisés sur l'ensemble des images classifiées.

Une autre méthode d'évaluation des surfaces forestières est réalisée sur les documents satellitaires traités et calés, ce procédé est utilisé pour ressortir les surfaces forestières unitaires. C'est la méthode de la digitalisation qui consiste à délimiter les zones forestières et ressortir les zones réellement touchées par la dégradation.

3.1.2.5. Digitalisation et estimation des surfaces forestières

Une autre méthode d'évaluation de changement sera accomplie par la digitalisation des surfaces forestières. Cette démarche est appliquée sur l'ensemble des images à l'aide de logiciel MAPINPHO. La limitation des patrimoines forestiers donne automatiquement une estimation de ces surfaces forestières.

Une fois la digitalisation est achevée, il est possible d'estimer automatiquement les surfaces forestières digitalisées, en cliquant deux fois sur la zone considérée. On obtient alors la superficie forestière pour chaque massif forestier dans les dates considérées.

Les résultats obtenus permettent de calculer l'équilibre écologique des quatre périodes considérées, ce qui conduit à déterminer le degré de régression du couvert forestier durant la période considérée.

3.1.2.6. Analyse multi-temporelle des images digitalisées

Elle est destinée à comparer deux images prises à des dates différentes. Cette analyse visuelle nécessite que les deux images aient la même géométrie de manière qu'elles soient superposables. Lorsqu'une zone d'étude se situe sur plusieurs images à des dates différentes et présentes la même géométrie, la comparaison devient plus pratique selon l'ajustement géométrique de ces données.

3.1.2.7. Détermination des foyers dépéris

Dans le but de déterminer les foyers les plus dépéris et de tirer les informations relatives à la stratégie d'extension de dépérissement des pinèdes de la région de Djelfa, plusieurs visites et prospections ont été effectuées dans toutes les séries de la forêt de Senalba Chergui, qui est l'exemple le plus représentatif des forêts touchées par la dégradation dans les massifs forestiers d'Ouled Nails. Pour chaque foyer dépéris des relevés des coordonnées géographiques ont été notés et mémorisés sur place à l'aide du GPS. Ces relevés sont introduits sur l'image satellite la plus récente celle de l'année (2009) et sur l'image de l'année (2001) pour assurer et faciliter la comparaison.

3.1.2.8. Méthode de calcul des indices

Sur la base des travaux communs effectués par Deshayes et Maurel (1990), le calcul des indices est classé comme une méthode de compression des données qui sont issus de l'analyse physique des phénomènes. Les images résultantes ont une signification concrète dont l'examen des réponses obtenues dans les canaux du rouge et du proche infrarouge ont conduit à la définition de l'indice de végétation pour évaluer le taux de recouvrement.

3.1.2.8.1. Indice de végétation (NDVI)

Dans la classification des néo-canaux il est intéressant d'inclure l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Caloz et Collet, 2001) pour réduire les confusions qui pourraient exister entre les différentes classes. Deshayes et Maurel (2009) ont dégagé que l'indice de végétation est lié à l'activité du couvert végétal, les pigments foliaires absorbent fortement le rayonnement dans le rouge (R) alors que le parenchyme lacuneux réfléchit une grande partie du rayonnement proche infrarouge (PIR). Les données radiométriques peuvent être utilisées sous forme d'indices combinant les canaux rouge et proche infrarouge. Ainsi en

phase de développement d'un couvert forestier, la biomasse et les quantités de pigments augmentent, ce qui entraîne une hausse dans le proche infrarouge et une baisse dans le rouge, l'inverse se produit en fin de cycle végétatif. Plusieurs indices sont préconisés et l'NDVI est le plus connu:

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R})$$

dont les valeurs varient entre - 1 et + 1
(NDVI pour : *Normalized Difference Vegetation Index*)

L'indice NDVI réduit les effets d'éclairement ou de pente sur la réflectance des couverts végétaux (Bonn, 1996 ; Lau, 1997) et permet de mieux séparer la végétation (forêts, cultures) des sols nus et des surfaces urbanisées (Hoang *et al*, 2008). L'étude menée sur les forêts de la région de Djelfa en appliquant l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) met en évidence l'ampleur des changements du couvert végétal entre 1972 et 2009. L'estimation du taux de recouvrement sur la base de l'analyse par l'NDVI nécessite une combinaison des deux bandes 3 et 4 pour obtenir une nouvelle image. Le néo-canal résultant présente un gradient croissant d'activité végétale allant du noir se qui traduit une absence de couverture, au blanc où l'activité chlorophyllienne est très élevée (Bouiadjra, 2011).

CHAPITRE III : Méthodologie adoptée à l'étude des scolytes dans les milieux prospectés

1. Au terrain

1.1. Prospection et choix des sujets dépéris

La récolte des scolytes à l'intérieur des forêts de Djelfa est obtenue à partir des prospections sur terrain et des observations analytiques effectuées au laboratoire, des échantillons d'écorces prélevés à différents niveaux des arbres dépéris ont été préconisés. Ceci a été réalisé au cours de l'année 2013 où des sorties saisonnières ont été effectuées dans les forêts naturelles de Senalba Chergui. Les observations sont multipliées avec l'activité des scolytes au cours des périodes estivale et hivernale pour tirer plus d'informations sur la répartition spatio-temporelle des scolytes. Les sujets attaqués sont facilement reconnaissables par la présentation des trous de pénétration, les sciures et l'écoulement de la résine permettent la réaction de la défense de l'hôte. Les arbres abattus sont placés comme arbres pièges dans toutes les séries de la forêt de Senalba Chergui (De la série 1 à 11).

Les prélèvements et l'examen d'échantillons à partir des sujets dépéris nous ont permis de répertorier les espèces de scolytes susceptibles de contribuer au dépérissement.

1.2. Abattage et préparation des échantillons

10 arbres dépéris ont été abattus et découpés en une trentaine de rondins de 30 à 50 centimètres de longueur à l'aide d'une tronçonneuse (Fig. 28).



Figure 28. Abattage et localisation des arbres pièges (Senalba Chergui).

2. Au laboratoire

2.1. Ecorçage des rondins

Le reste des manipulations se déroule au laboratoire, les échantillons ainsi préparés sont écorcés et examinés minutieusement au laboratoire (Fig.29).



Figure 29 : Présentation des rondins après écorçage pour chaque série au laboratoire.

On note le diamètre et l'épaisseur de l'écorce de l'arbre afin de tirer des renseignements sur les corrélations possibles qui peuvent s'établir entre les différents paramètres. Le diamètre et l'épaisseur de l'écorce des arbres choisis sont notés à la partie médiane du rondin. Les espèces récoltées des troncs sont conservées dans l'alcool à 70°C pour être identifiées par la suite.

2. 2. Identification des espèces de scolytes récoltées

Les espèces récoltées à partir des écorces des rondins sont examinées sous une loupe binoculaire, le matériel utilisé est déterminé sur le tableau (16). Les formes des galeries de reproduction ont été prises en considération dans l'identification des genres appartenant à la famille des Scolytidae. Parmi les clefs utilisées, les ouvrages de Balachowsky (1949), Chararas (1962), Joly (1975) et Pfeffer (1995).

Tableau 16: Présentation du matériel utilisé au laboratoire.

Matériels utilisés	
1) Boîte de pétri.	8) Tubes à essais
2) Burin	9) Alcool
3) Marteau	10) Tube en verre et plastique
4) Pince entomologique	11) Une règle
5) Pinceau	

2.3. Mensuration des galeries de reproductions chez l'hylésine destructeur, *Tomicus destruens*

Les galeries de pontes de *Tomicus destruens* ont été étudiées sur des arbres dépéris. Ils sont abattus en été après que les femelles ont terminé leur reproduction.

Un nombre de 10 arbres de pin d'Alep a été retenu au versant nord le plus attaqué. A partir de la base de l'arbre abattu, on note le diamètre et l'épaisseur de l'écorce de l'arbre à 1 mètre et à 4 mètres de hauteur. Sur les parties délimitées, nous écorçons deux bandes de 10 centimètres de largeur sur 1 mètre de longueur une à l'exposition nord et l'autre à l'exposition sud de l'arbre. Les caractéristiques biologiques des principales espèces récoltées seront déterminées. Les paramètres liés à l'arbre tel que le diamètre et l'épaisseur de l'écorce des arbres abattus, à 1 et à 4 mètre de hauteur seront déterminés, l'âge de l'arbre est un facteur complémentaire à déterminer, il est calculer

selon le nombre de cernes de chaque tronc.

Après le nettoyage des surfaces décortiquées, nous procédons à des mesures des longueurs des galeries de reproduction de *l'hylésine destructeur* rencontrées au niveau des rondins.

Sur les surfaces écorcées et nettoyées de l'aubier, nous dénombrons les galeries maternelles forées dans le bois. Ces paramètres liés à l'insecte permettent de déterminer la relation entre les densités d'attaque avec les galeries de reproduction.

Les paramètres retenus des calculs dendrométriques vont subir des traitements statistiques, dont le but d'acquérir les liaisons existante entre ces variables.

2.4 Méthodes d'analyses des données

Sur la base des paramètres dendrométriques liés à l'arbre et d'autre liés à l'insecte, plusieurs méthodes d'analyses biométriques ont été prises en considération.

L'analyse quantitative exprimée en analyse croisée entre les effectifs totaux et les deux paramètres de l'hôte, épaisseur de l'écorce et le diamètre du rondin. Cette analyse est réalisée pour les deux principales espèces répertoriées, *Tomicus destruens* et *Pityogenes bidentatus*.

Une analyse complémentaire est évaluée en fonction des paramètres liés à l'insecte particulièrement *L'hylésine destructeur*. La méthode consiste à apprécier les dommages causés par l'espèce de *Tomicus destruens* en fonction du nombre d'individus. Les variables prises en considération sont la densité d'attaque et les moyennes des longueurs des galeries de reproduction.

Pour distinguer le choi sélectif de l'insecte on procède à une classification hiérarchique des paramètres étudiés.

Les traitements statistiques appliqués sur les variables étudiés sont réalisés à l'aide du logiciel Statistica.

TROISIEME PARTIE

RESULTATS

TROISIEME PARTIE : RESULTATS

CHAPITRE I : Présentation des images traitées

1. Organisation des images satellites traitées

1. 1. Normalisation radiométrique

La transformation linéaire est la méthode choisie dans ce cas où les images satellites deviennent plus claires. Cette transformation linéaire se traduit par une relation entre les valeurs de pixels d'origine et après rehaussement de chaque image. L'opération est appliquée sur les trois fausses couleurs attributaires et pour toutes la série des images considérées (Fig.30).

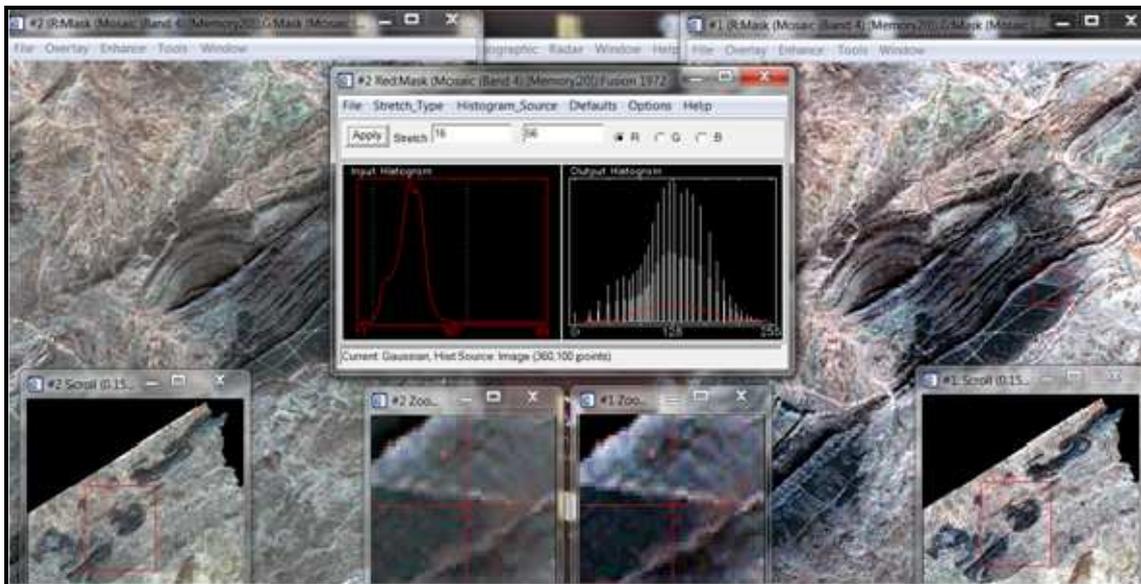


Figure 30. Image originale (valeur entre 0-255) et image améliorée : étalement entre 16-56.

Les présentations des images normalisées en RGB ou proprement dit des images corrigées en images normalisées à l'aide de l'ENVI sont illustrées par les figures 31 ; 32.

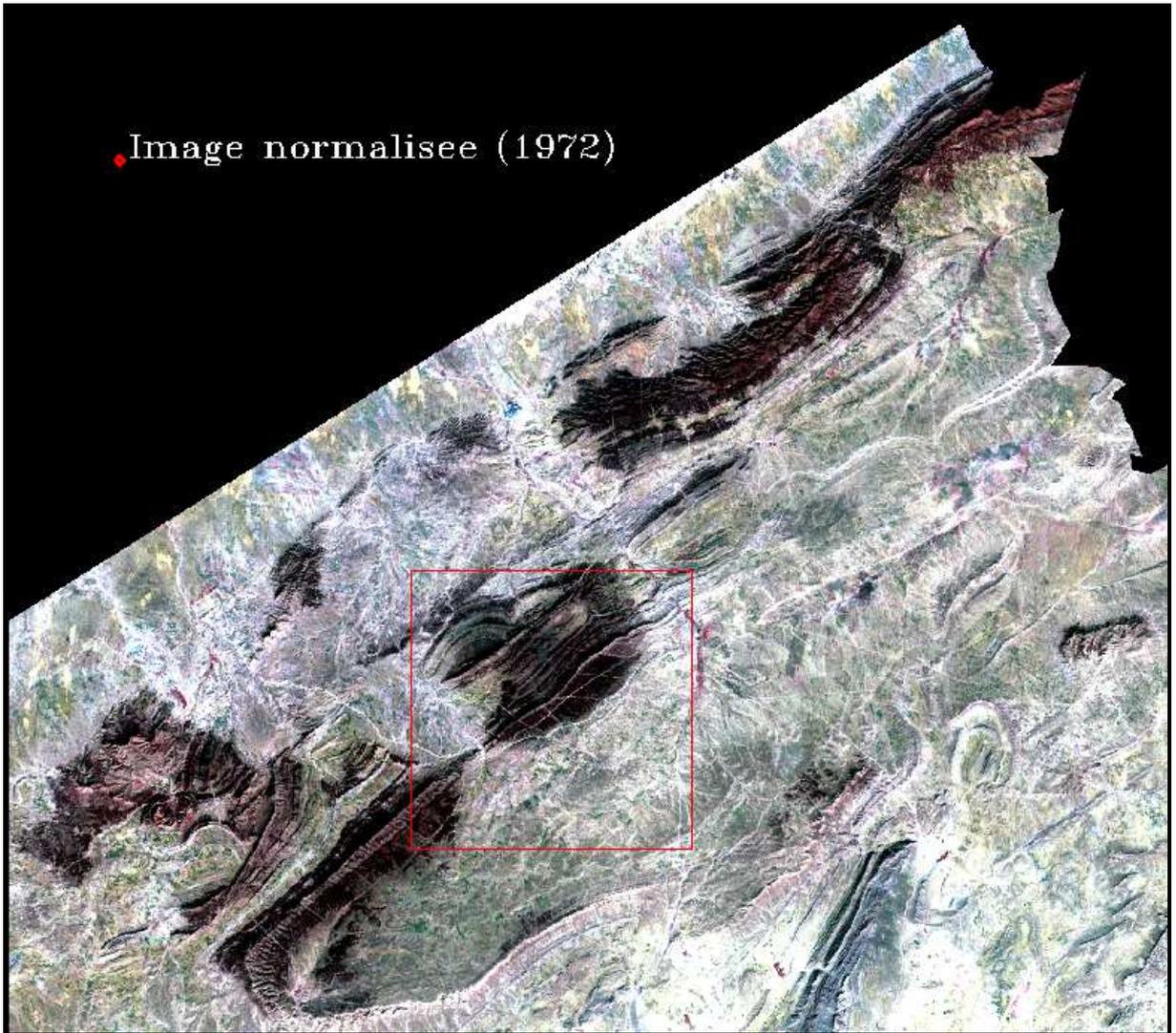


Figure 31. Image du résultat de la normalisation (1972).

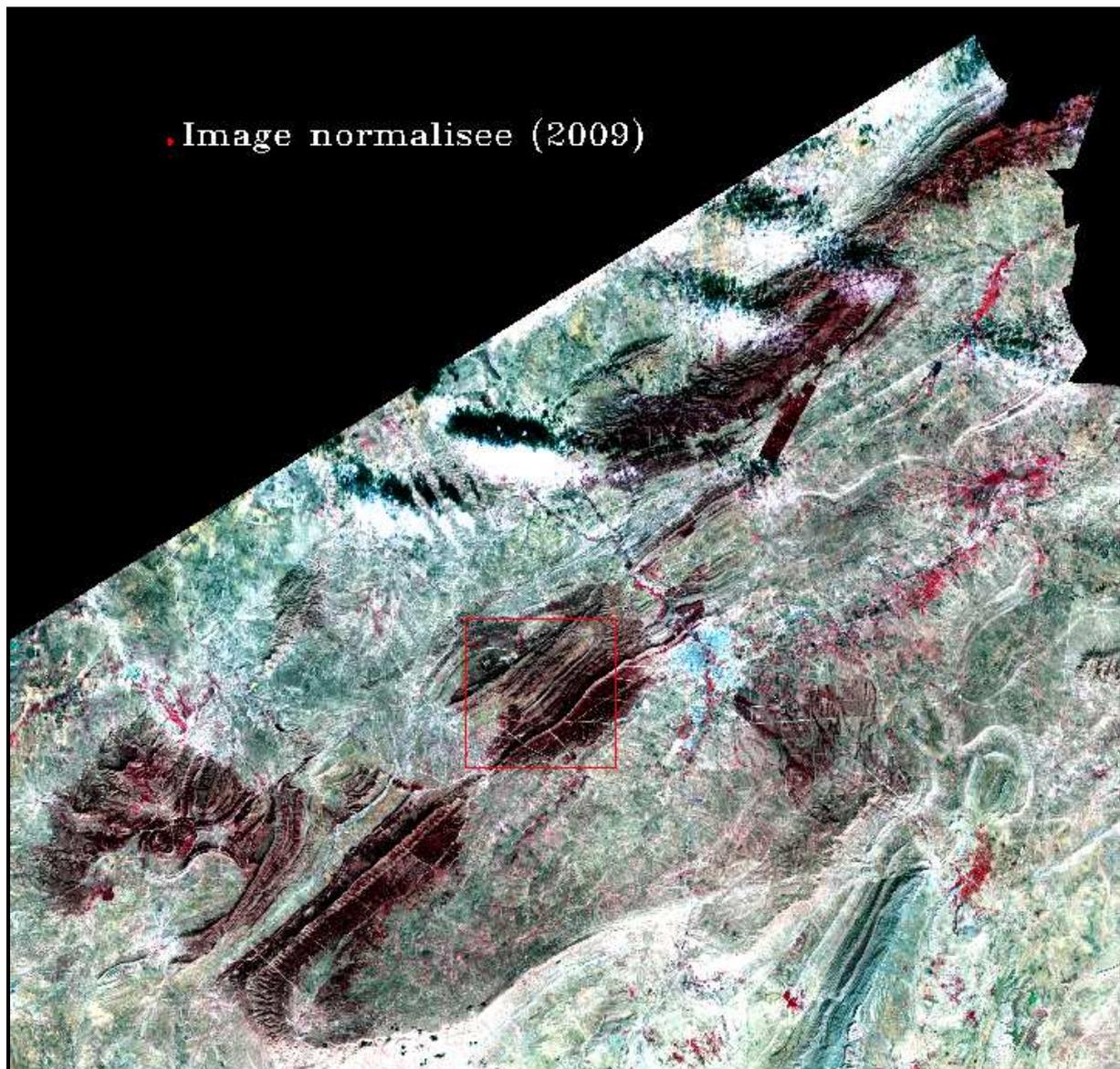


Figure 32. Image du résultat de la normalisation (2009).

1.2. Ortho rectification des images traitées.

Dix points d'appui ont été sélectionnés pour la rectification de chaque scène. La méthode choisie dans la transformation des images est polynômiale du premier degré et l'image de 2009 fait l'exemple (Fig.33). Cette image est considérée pour corriger les images de 2001, de 1987 et de 1972 qui est l'image de référence. La moyenne Quadratique (RMS) des erreurs est de (0,41, 0,35, 031) respectivement pour les images de 2001, de 1987 et de 1972

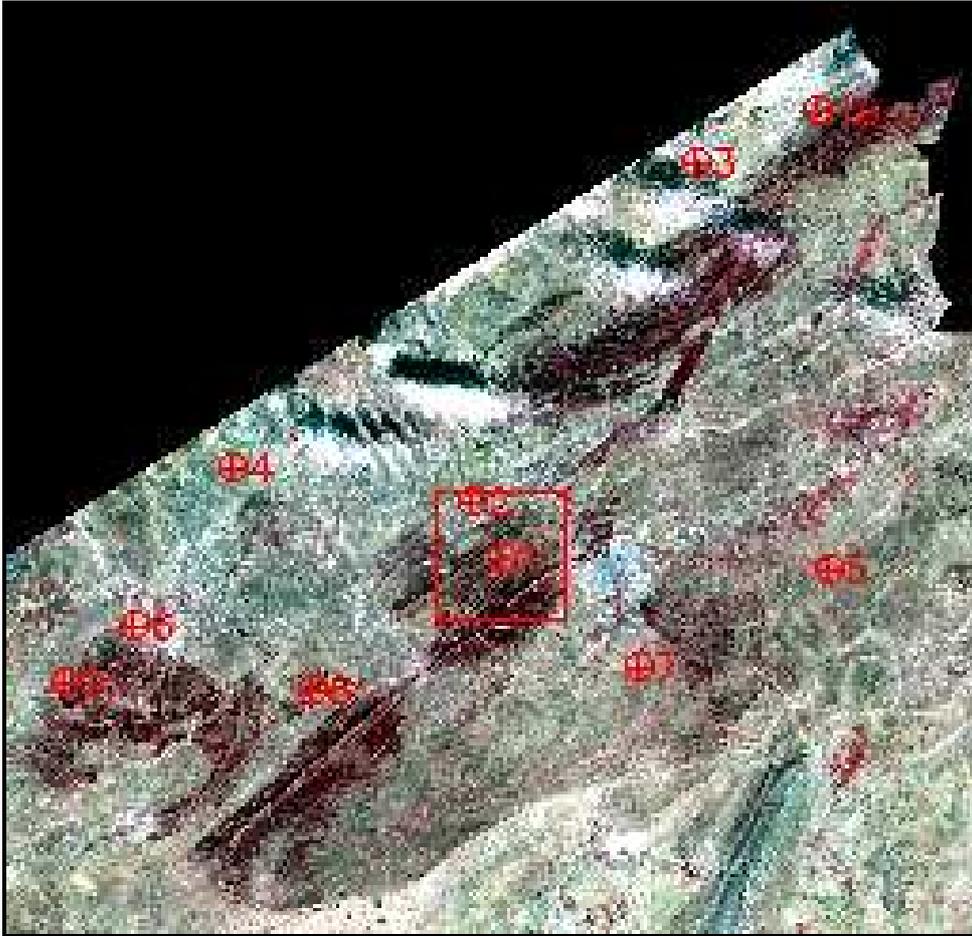


Figure 33. Sélection des points d'appui sur l'image 2009.

La figure 34 illustre respectivement les images de l'année 1972, 1987, 2001 et 2009, déterminant le succès de la correction géométrique, le choix d'une zone d'intersection connue sur une image, fait apparaître le même point sur les quatre images prises en considération. La fenêtre zoom confirme réellement ce géo référencement.

La figure présentée ci dessous rassemble les images résultantes du calage, dont la superposition est réalisée avec réussite.

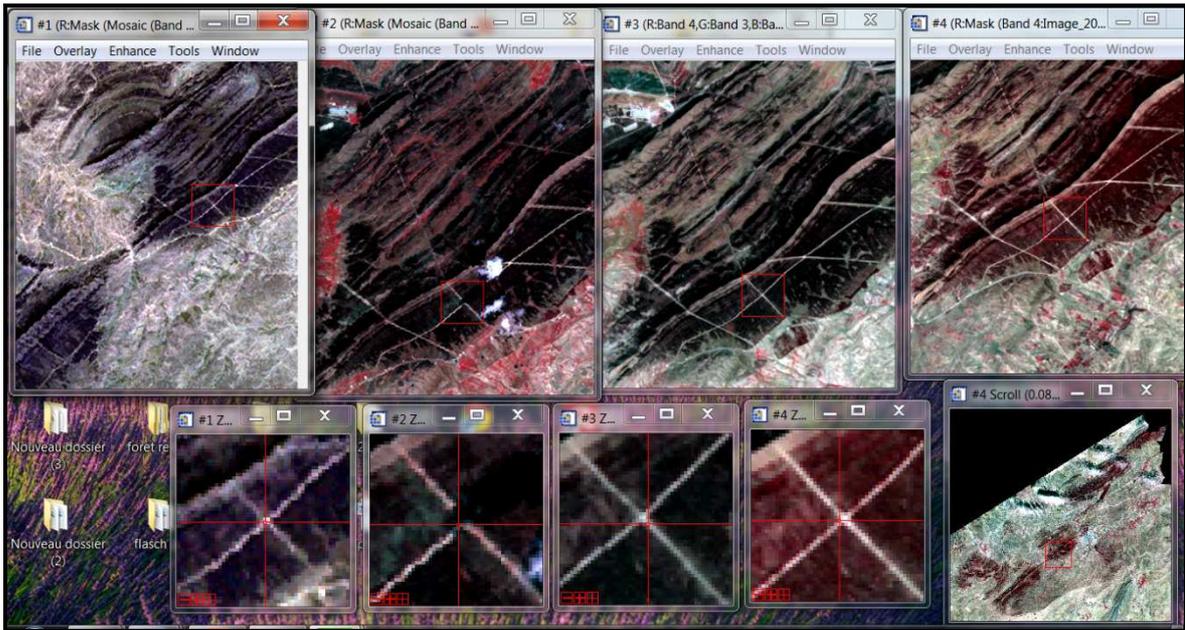


Figure 34. Présentation des résultats de Calage.

Le curseur indique que le point choisi présente les mêmes coordonnées géographiques.

1.3. Profils spectraux de quelques formations végétales

La présentation des profils spectraux de l'image satellite choisie, fournit un ensemble d'informations sur le taux de réflectance pour chaque classe d'occupation du sol. Cette composition colorée traduit le taux de réflectance de chaque classe pour des valeurs radiométriques relative a l'objet (Fig.35).

Pour chacun des profils spectraux les valeurs du compte numérique sont basés sur des valeurs de 0 à 250.

- ✓ Les valeurs qui se rapprochent de zéro représentent une faible réflectance (Forêts denses, matorrals, agriculture),
- ✓ Les valeurs qui se rapprochent de 250 signifient une forte réflectance (tels les parcours dégradés et les sols nus).

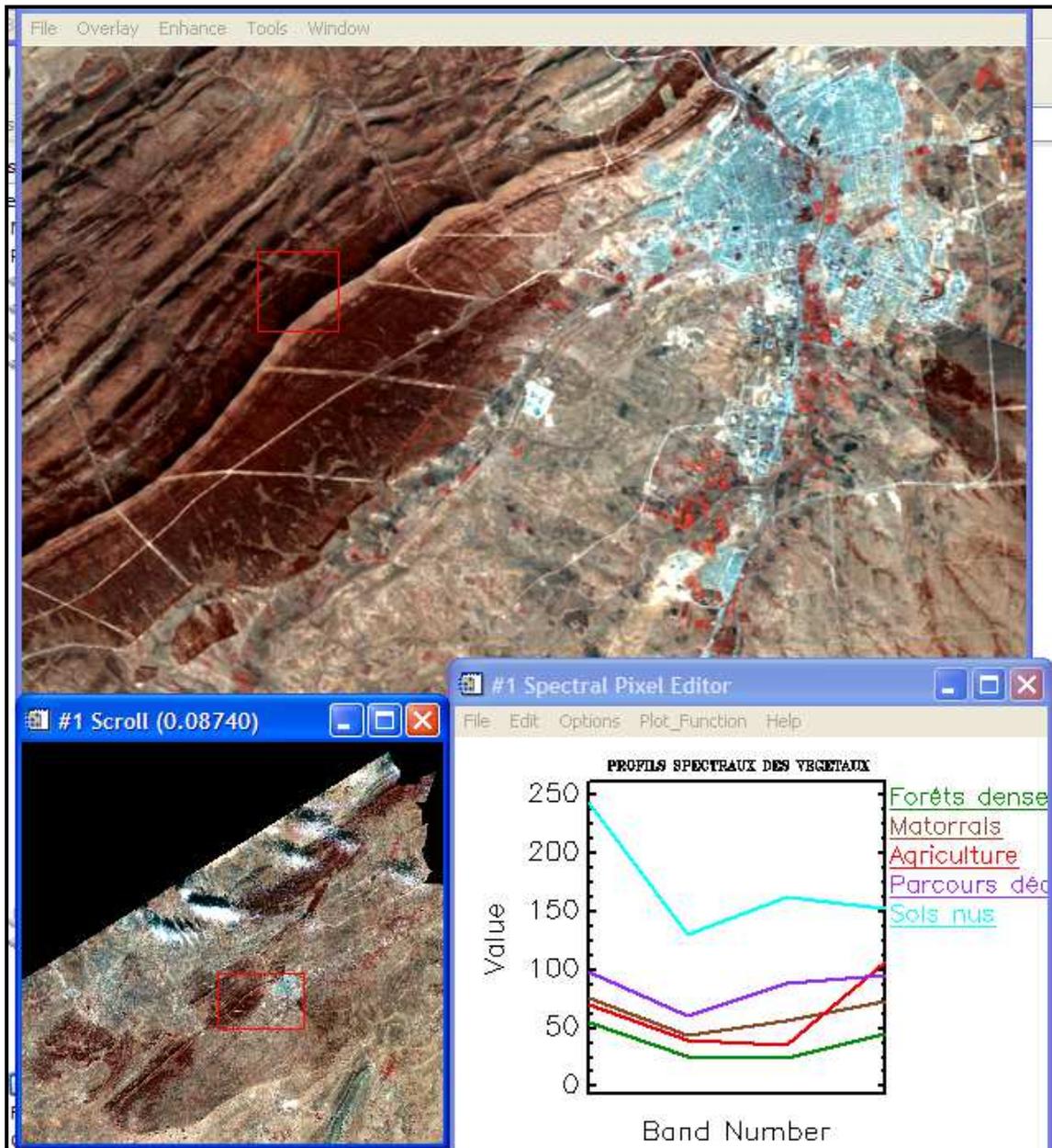


Figure 35.Présentation des profils spectraux de l'occupation du sol.

Cette figure met en évidence quelques profils spectraux déterminés sur certaines entités du paysage de l'image de l'année 2001. Les formations forestières montrent une courbe de luminosité caractérisée par un pic dans le vert, une baisse dans le rouge et une forte valeur dans le proche infrarouge. La courbe de sol nu montre un comportement proche de celui attendu sur un sol parfaitement nu, c'est-à-dire une luminosité de plus en plus forte dans le vert et le proche infrarouge.

La mise en place de ces classes peut être identifiée par les méthodes de classification qui favorisent l'introduction de l'occupation du sol en fonction de la reconnaissance du terrain.

1.4. Analyses statistiques initiales des images

1.4.1. Cas de l'image satellite de l'année (1972)

Les images ont été corrigées géométriquement et référencées dans le système de coordonnées UTM, Zone 31 North. L'image de l'année 1972 a une dimension de 1645 x 1465 x 4 [BSQ] et Size: 9.639.700 [Byte]. Elle englobe les massifs forestiers de la région de Djelfa au cours des années soixante dix qui apparaissent par une coloration marron foncée dans la totalité. Ceci traduit une densité importante des peuplements. La coloration claire apparait au niveau de quelques couloirs forestiers et indique la présence d'une végétation basse ou des forêts d'une faible densité (Fig.36).

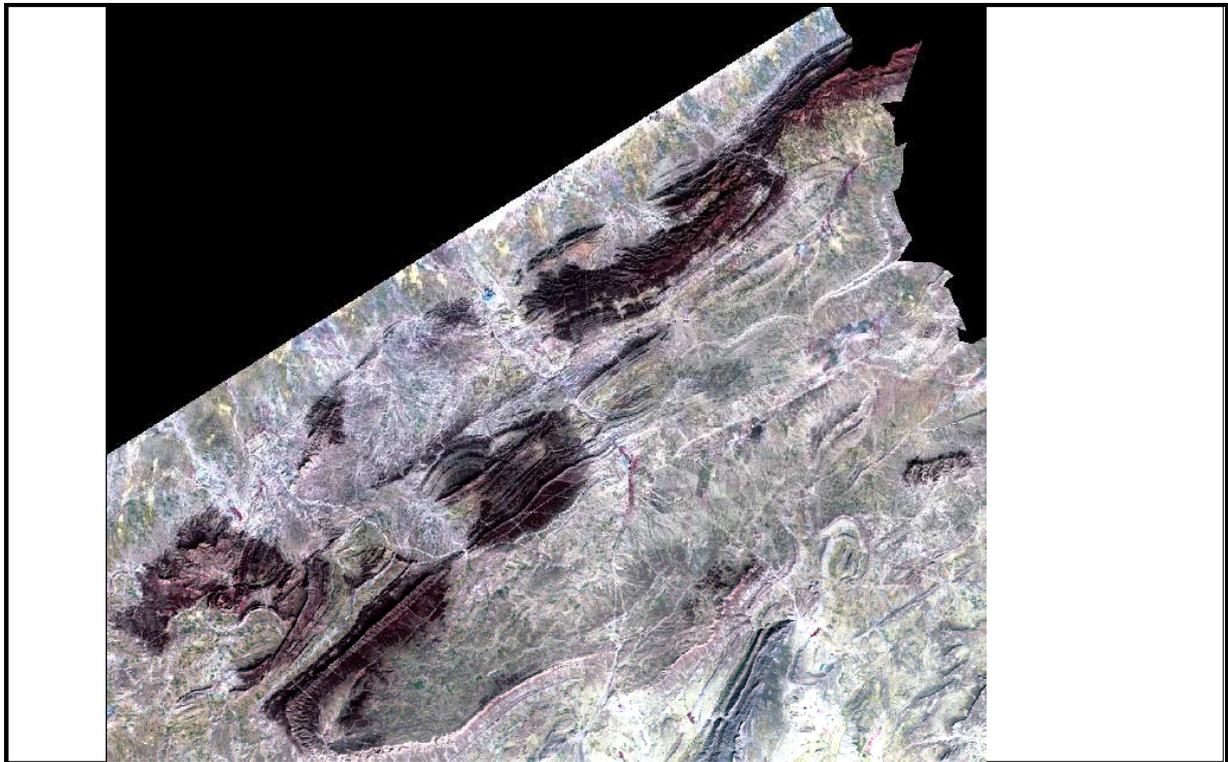


Figure 36. Image satellite corrigée représentant les massifs forestiers de la région de Djelfa en 1972.

1.4.1.1. Statistiques de l'image

Les statistiques calculées pour cette image sont présentés dans le tableau 17 contenant les l'ensemble des paramètres du traitement.

Tableau 17: Présentation des statistiques des bandes de l'image de l'année 1972.

• **Statistiques de base**

Basic Stats	Min	Max	Mean	Eigenvalue
Band 1	0	78	23,07	1222,61
Band 2	0	109	27,84	6,07
Band 3	0	127	26,34	2,37
Band 4	0	127	23,26	0,81

• **Matrice de covariance**

Covariance	Band 1			
Band 1	248,40			
Band 2	303,58	374,51		
Band 3	293,01	363,18	358,37	
Band 4	247,48	304,02	295,33	250,59

• **Matrice de corrélation**

Correlation	Band 1			
Band 1	1			
Band 2	0,99	1		
Band 3	0,98	0,99	1	
Band 4	0,99	0,99	0,98	1

• **Vecteur propre (Eigen vecteurs)**

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	0,44	0,55	0,53	0,45
Band 2	-0,51	-0,11	0,79	-0,29
Band 3	-0,33	-0,43	0,03	0,83
Band 4	-0,64	0,70	-0,28	0,11

Les résultats des statistiques de l'image de l'année 1972, englobent les valeurs des réflectance pour chaque bande, les corrélations et les covariances entre les bandes. Les

valeurs maximales de la réflectance varient entre 78 et 127. Les moyennes varient de 23,07 à 27,84. Une forte corrélation est enregistrée entre les bandes se qui traduit que l'information est plus significative.

1.4.1.2. Courbe et histogramme de l'image

La courbe et l'histogramme obtenus par les statistiques calculés de l'image 1972, sont représentés respectivement par les figures 37 et 38. La courbe révèle les valeurs (Min, Max et la Moyenne) des bandes. Les valeurs radiométriques des bandes varient de 0 à 127 pour les bandes 3 et 4, par contre la bande 1 varie de 0 à 78 et la bande 2 varie de 0 à 109.

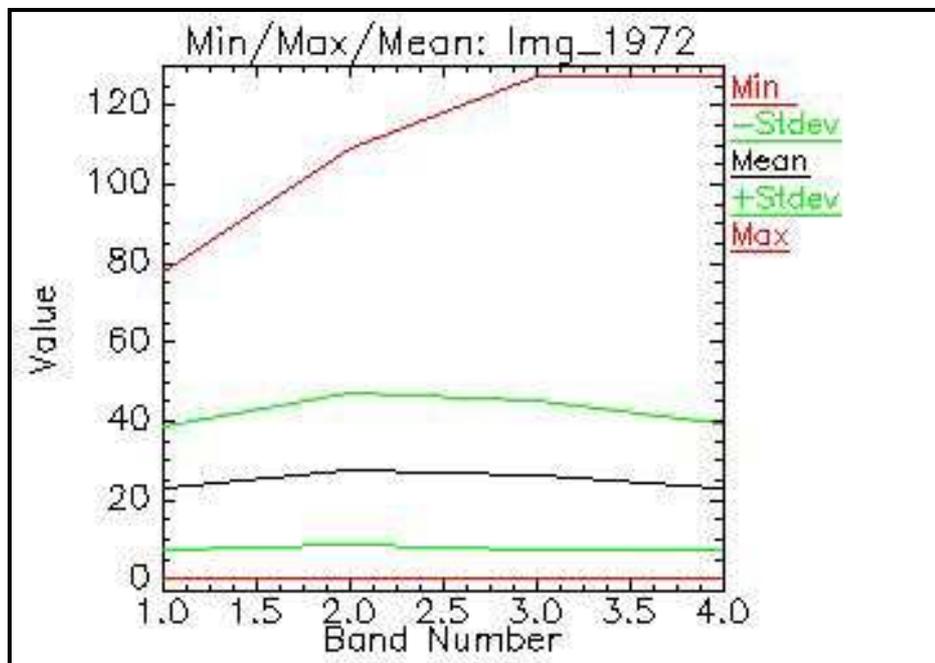


Figure 37. Variabilité des valeurs radiométriques des bandes (cas de l'image 1972).

La figure 38 illustre l'histogramme des canaux qui permet d'avoir de l'information sur la réflectance. Les plus fortes réflectance sont marquées par les bandes 1 et 4.

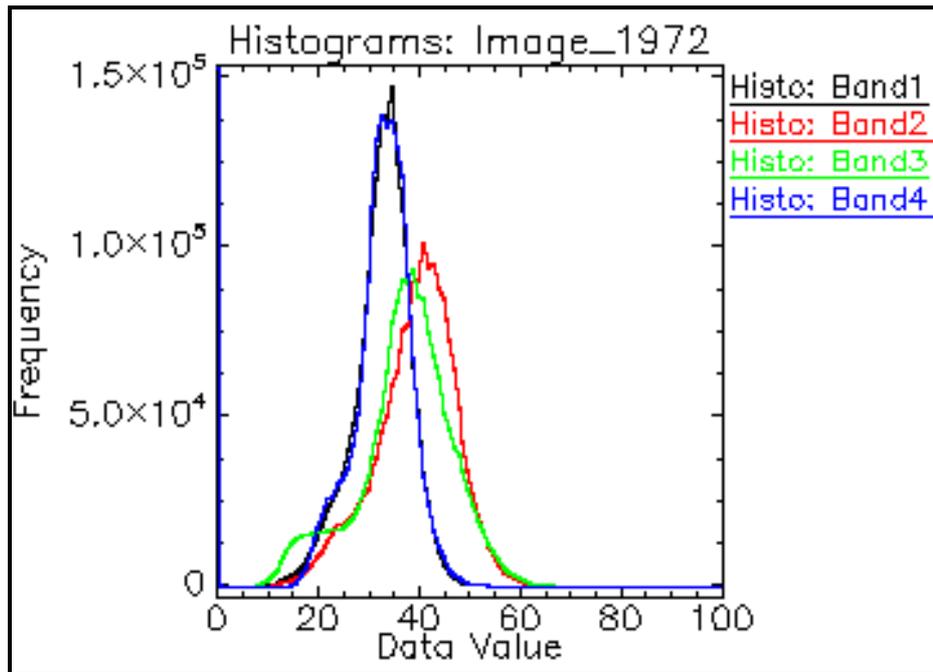


Figure 38. Histogramme des bandes de l'image de l'année 1972.

1.4.2. Images satellite de l'année 1987

Les dimensions de l'image satellite année 1987 sont de 3165 x 2965 x 4 [BSQ] de 37.536.900 byte. La résolution spatiale est de 28,5 mètres (Fig. 39). Cette représentation met en évidence un développement conséquent en termes de surface forestière, se qui traduit par l'installation de divers projets de reboisements le plus important est celui de Moudjebara. La partie Sud-ouest de la forêt de Sahary et à l'intérieur de la forêt de Senalba Chergui ont été aussi concerné par ces travaux de reboisements. Une coloration marron claire caractérise le reboisement de Moudjbara c'est des jeunes peuplements nouvellement installés, de même le reboisement de Sahary accède à la même coloration de boisement.

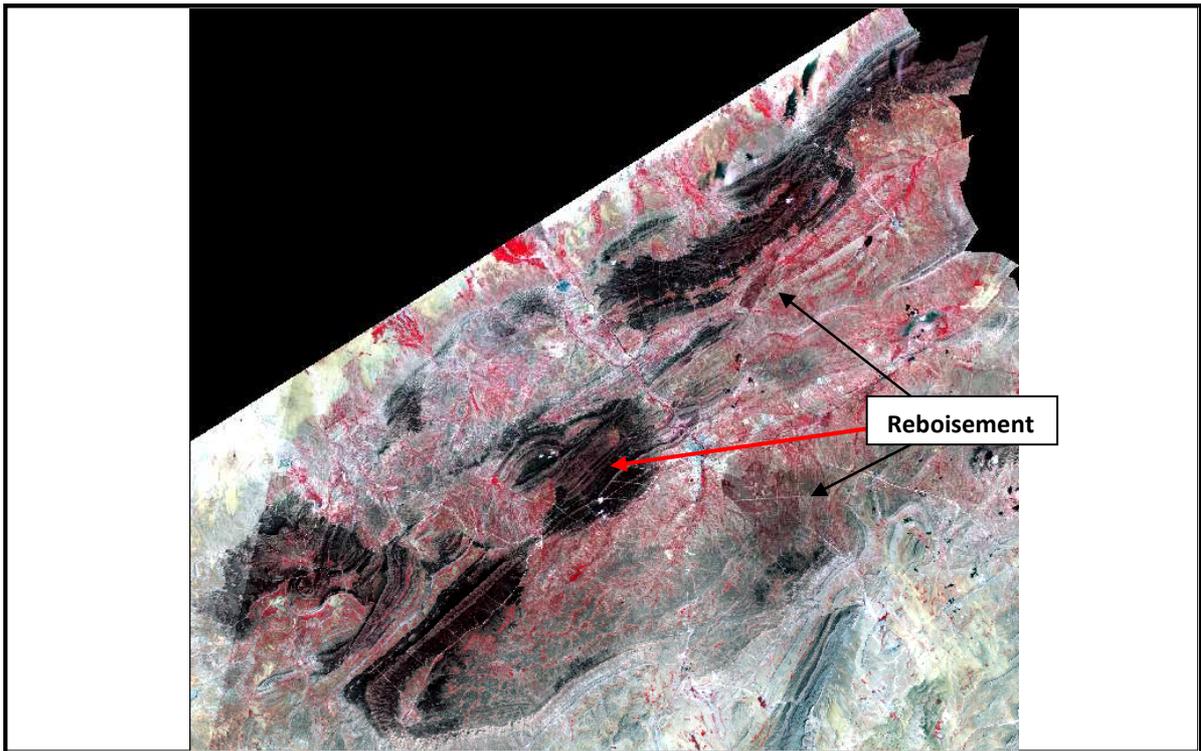


Figure 39. Présentation des massifs forestiers développés dans la région de Djelfa (1987).

1.4.2.1. Statistiques de l'image

Les statistiques calculées pour cette représentation sont regroupées dans le tableau 18, englobant les paramètres du traitement.

Tableau 18. Présentation des statistiques de base de l'image de l'année 1987.

- **Statistiques de Base**

Basic Stats	Min	Max	Mean	Eigenvalue
Band 1	0	254	82,16	9258,87
Band 2	0	254	45,85	101,76
Band 3	0	254	70,33	55,78
Band 4	0	254	75,20	1,47

- **Matrice de covariance**

Covariance	Band 1			
Band 1	3051,76			
Band 2	1757,71	1031,68		
Band 3	2760,12	1642,73	2656,94	
Band 4	2803,38	1631,09	2577,06	2677,50

- **Matrice de corrélation**

Corrélation	Band 1			
Band 1	1			
Band 2	0,99	1		
Band 3	0,96	0,99	1	
Band 4	0,98	0,98	0,96	1

- **Vecteur propre**

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	0,57	0,33	0,52	0,53
Band 2	-0,37	0,14	0,78	-0,47
Band 3	-0,69	-0,12	0,11	0,70
Band 4	-0,23	0,92	-0,29	-0,02

Les résultats des statistiques appliquées sur l'image de l'année 1987, présentent les valeurs radiométriques de chaque bande, les corrélations et les covariances entre les bandes. Les valeurs maximales des bandes varient dans une fourchette de 0 et 254, les moyennes varient de 45,85 à 82,6. Une forte corrélation est enregistrée entre les bandes (4 -2, 3-2 et 2-1) dont l'assemblage de ces trois bandes donne une bonne information.

1.4.2.2. Courbe et histogramme de l'image

La figure 40 révèle des valeurs (Min, Max et Moyenne) des canaux. La valeur radiométrique varie de 0 à 254 pour toutes les bandes. La moyenne varie dans une fourchette de 45 à 82.

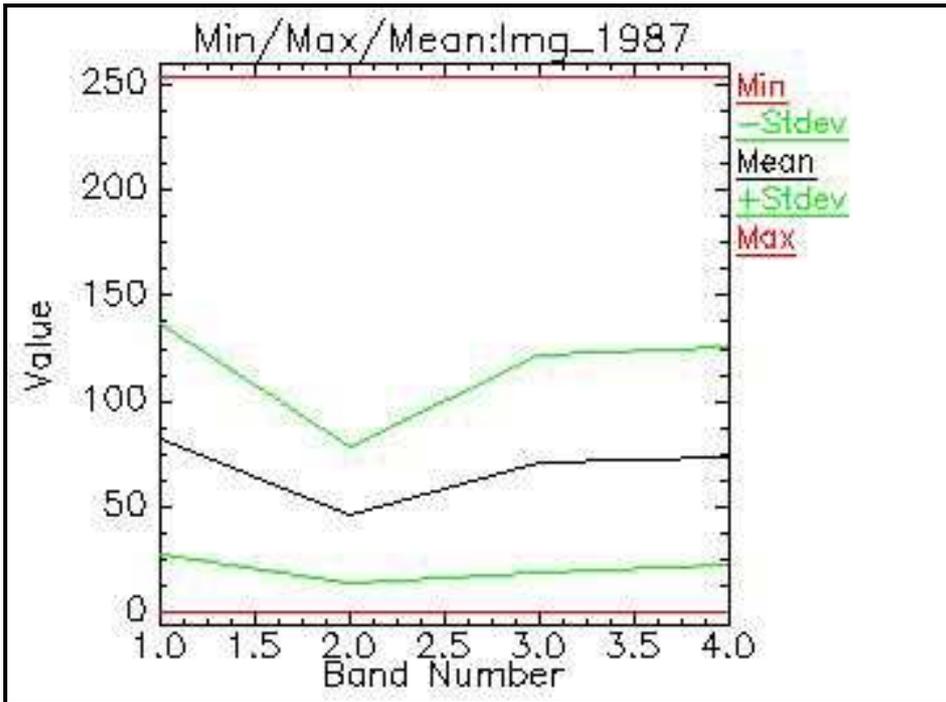


Figure 40. Variabilité des valeurs radiométriques des bandes (Image 1987).

L'histogramme des canaux fournit de l'information sur la fréquence des bandes (Fig.41). La plus faible fréquence est marquée par la bande 3, par contre la 1 ère et la 4^{ème} bande présentent les plus conséquentes fréquences. La luminosité de la bande 2 est la plus fréquente.

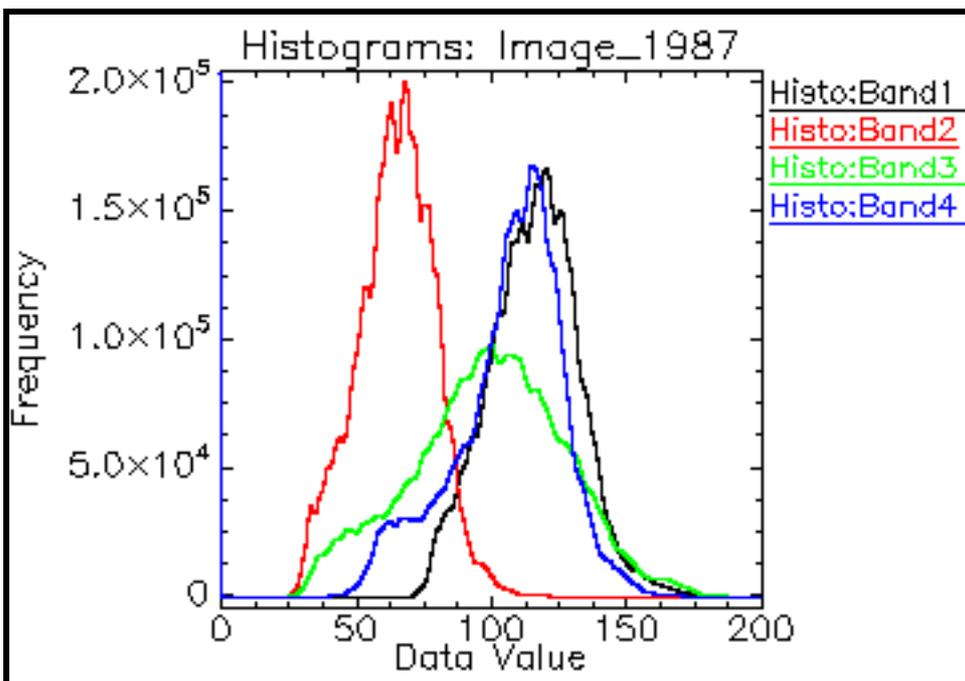


Figure 41. Histogramme des canaux de l'image (1987).

1.4.3. Image satellite de l'année 2001

L'image de l'année 2001 a une dimension de 2997 x 2788 x 4 [BSQ] et Size 33.422.544 [bytes]. L'ensemble de l'image caractérise deux types de colorations représentatives, le marron foncé détermine des zones précises dans les massifs comme la partie Sud Ouest de la forêt de Senalba Chergui et la partie Nord de Sahary. La coloration marron claire occupe la majorité de la surface restante (Fig.42)

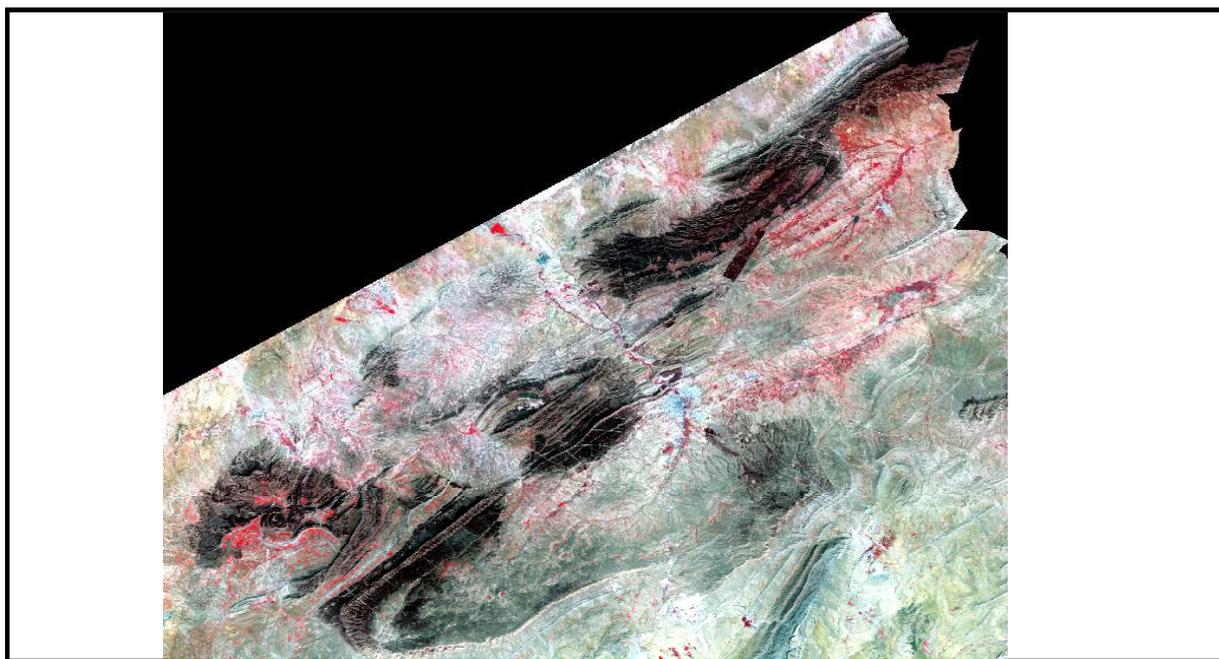


Figure 42. Présentation des massifs forestiers de la région de Djelfa (2001).

1.4.3.1. Statistiques de l'image de l'année

Les statistiques calculées pour l'image satellite de l'année 2001 sont présentées dans le tableau 19. Les paramètres du traitement sont calculés distinctement.

Tableau 19. Statistiques appliquées sur l'image de l'année 2001.

- **Statistiques de base**

Basic Stats	Min	Max	Mean	Eigenvalue
Band 1	0	211	48,6	6471,54
Band 2	0	218	51,84	42,91
Band 3	0	255	71,72	16,67
Band 4	0	209	67,25	1,14

- **Matrice de covariance**

Covariance	Band 1				
Band 1	988,33				
Band 2	1076,70	1185,50			
Band 3	1512,51	1678,63	2402,25		
Band 4	1374,40	1507,05	2127,57	1956,7	

- **Matrice de corrélation**

Corrélation	Band 1				
Band 1	1				
Band 2	0,99	1			
Band 3	0,98	0,9	1		
Band 4	0,98	0,98	0,98	1	

- **Vecteur propre**

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	0,38	0,42	0,60	0,54
Band 2	-0,27	0,08	0,70	-0,64
Band 3	-0,74	-0,32	0,22	0,53
Band 4	-0,45	0,84	-0,28	-0,01

Les tableaux précédemment présentés exposent des statistiques relatives aux bandes de l'image satellite de l'année 2001. Les valeurs radiométriques des bandes sont présentées sur le 1^{er} tableau dont les valeurs maximales de la réflectance varient de 0 et 255 et les moyennes de 48,56 à 71,72. La forte corrélation caractérise les bandes 2-1 et la bande 4 avec l'ensemble des bandes considérées. Les valeurs propres ont leurs nécessités dans la classification.

1.4.3.2. Courbes et histogramme de l'image

Les courbes et histogrammes illustrant ces traitements statistiques sont présentés par les figures 43 et 44.

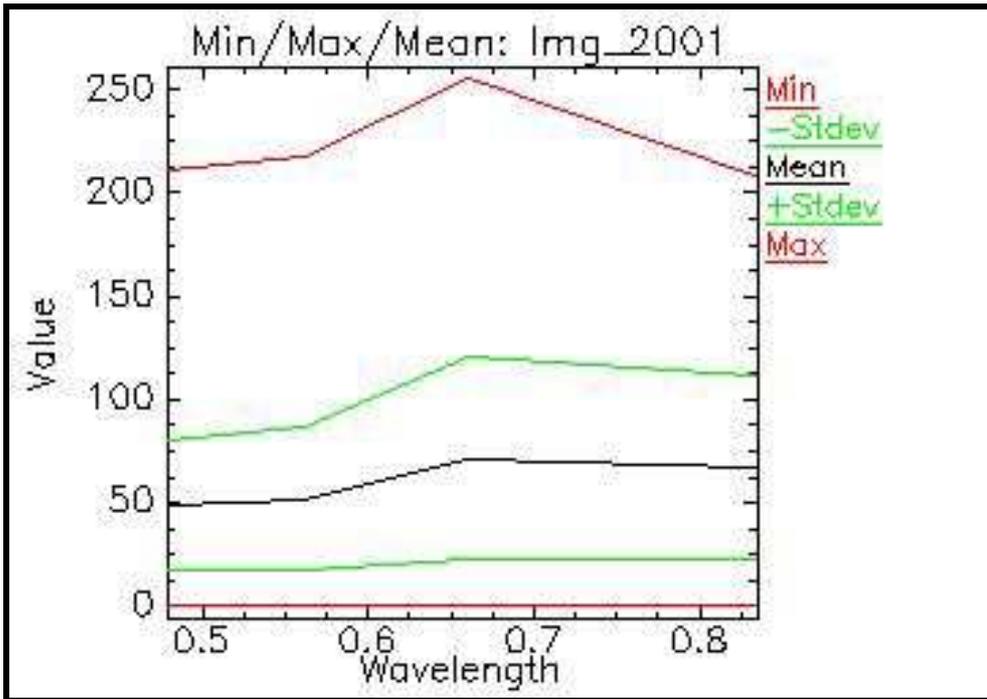


Figure 43 : Courbe des canaux de l'image de l'année 2001.

La figure 46 présente les extrêmes valeurs des fréquences dont la valeur maximale est de 210 . La plus forte réflectance est marquée par la bande 1. La 2^{ème} et la 4^{ème} bande ont des fréquences comparables proches de 2.10^5 . La plus faible réflectance est marquée par la bande 3 elle est de 1.10^5 (Fig.44).

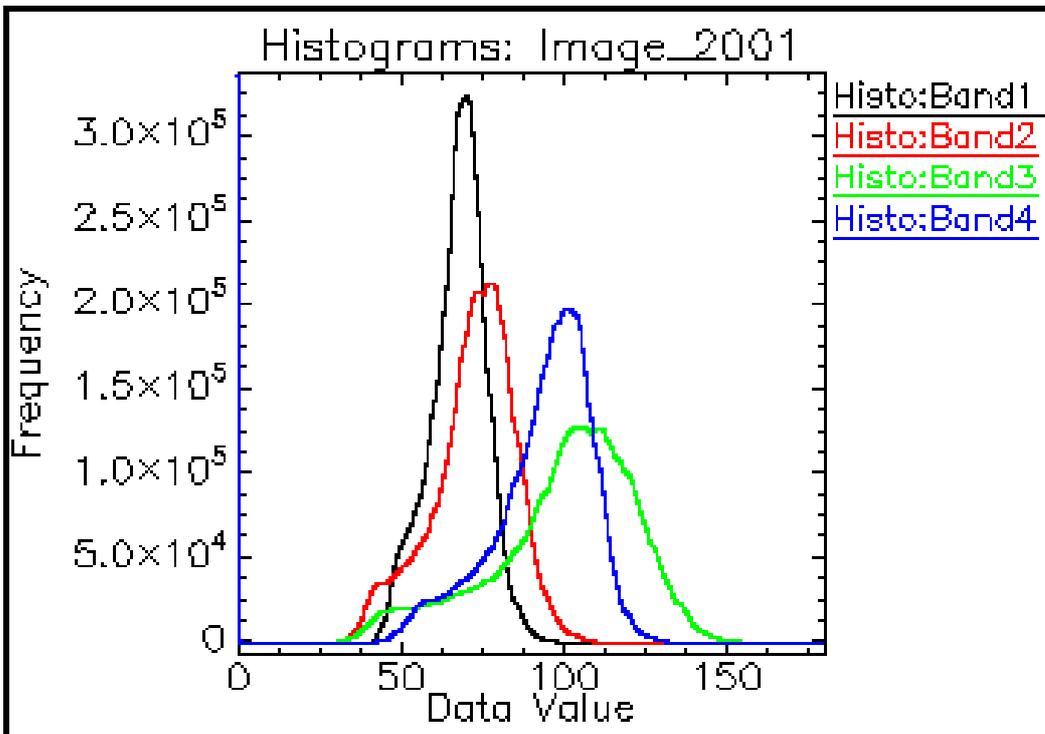


Figure 44: Histogramme des bandes de l'image de l'année 2001.

1.4.4. Image satellite de l'année 2009

L'image satellite de l'année 2009 a une dimension de 2929 x 2827 x 4 [BSQ], Size: 33.121.132 [Byte]. L'ensemble des massifs de l'image de cette année représente une coloration marron claire, le couvert forestier fragile et la faible densité caractérisent l'aspect global de cette image. Le reboisement de Moudjbara est en état régressif et apparaît comme des taches éparpillées dans l'aire consacrée à ce projet (Fig.45)

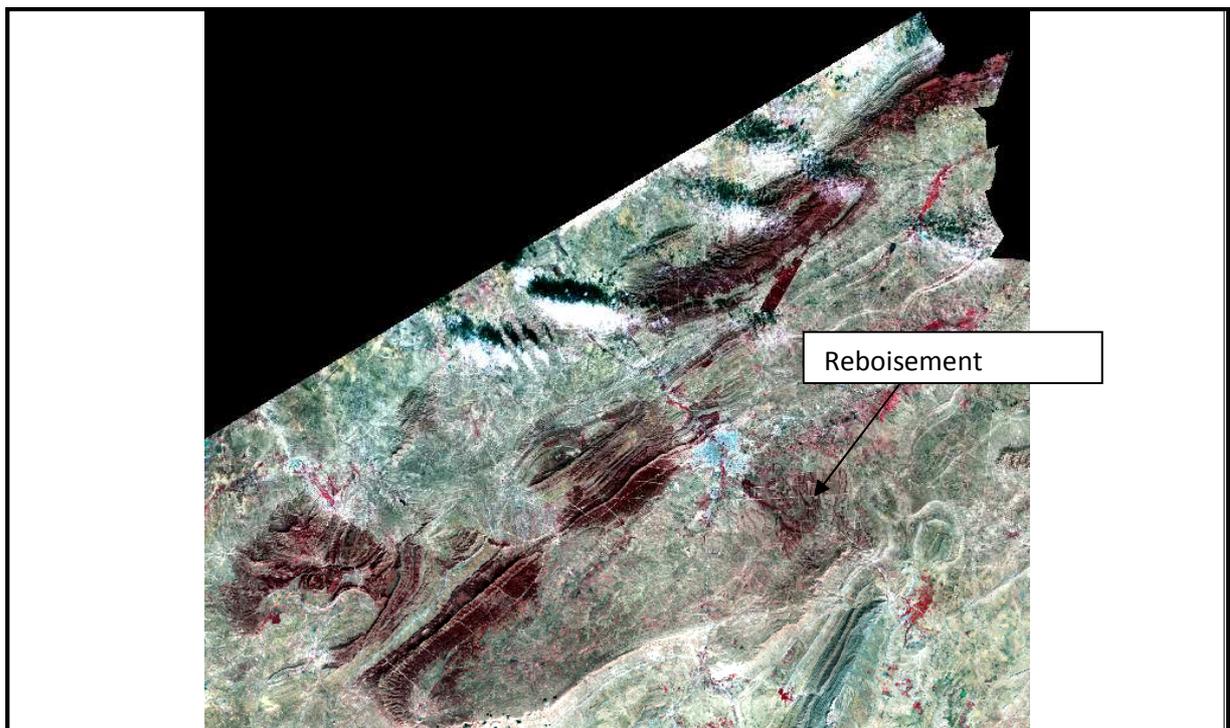


Figure 45: Image satellite corrigée représentant des massifs de la région de Djelfa (2009).

1.4.4.1. Statistiques de l'image

Les statistiques calculées pour cette image sont présentés dans le tableau 20, englobant les paramètres du traitement.

- **Tableau 20: Présentation des statistiques de l'image de l'année 2009.**

Basic Stats	Min	Max	Mean	Eigenvalue
Band 1	0	255	62,68	5186,04
Band 2	0	189	37,38	31,09
Band 3	0	229	51,08	26,31

Band 4	0	255	58,77	0,68
--------	---	-----	-------	------

• **Matrice de covariance**

Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	1768,38	1064,95	1473,77	1625,46
Band 2	1064,95	648,55	905,49	990,65
Band 3	1473,77	905,49	1279,68	1381,55
Band 4	1625,46	990,65	1381,55	1547,50

• **Matrice de Correlation**

Correlation	Band 1			
Band 1	1			
Band 2	0,99	1		
Band 3	0,97	0,99	1	
Band 4	0,98	0,98	0,98	1

• **vecteur propre**

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	0,58	0,35	0,49	0,54
Band 2	0,76	0,02	-0,53	-0,35
Band 3	0,07	0,17	0,61	-0,76
Band 4	0,26	-0,91	0,29	0,05

Les résultats des statistiques appliquées sur l'image de l'année 2009, présentent les valeurs des réflectances pour chaque bande et les corrélations existantes entre ces bandes. Les valeurs maximales varient dans la tranche allant de 0 et 255 et les moyennes varient de 37,38 à 58,77.

1.4.4.2. Courbe et histogramme de l'image

Les traitements statistiques de l'image 2009 sont illustrés sur les courbes et l'historgramme des figures (46 et 47).

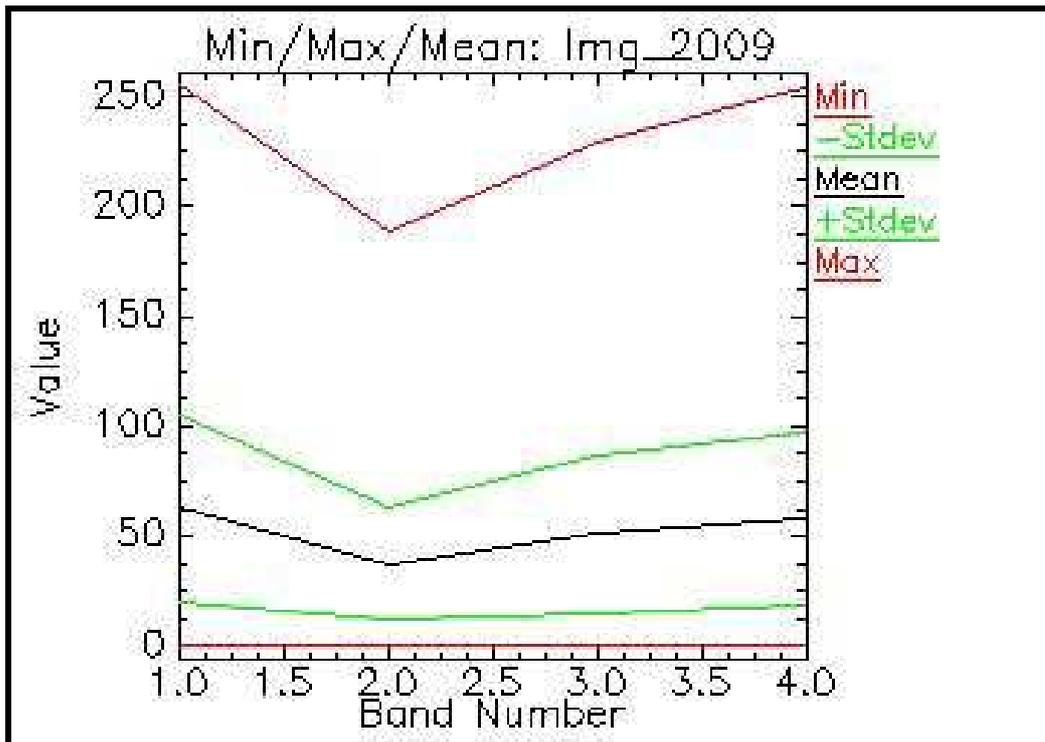


Figure 46: Courbe des canaux de l'image de l'année 2009.

Des valeurs variable est de faible fréquence sont abouti par les bande 1, 3 et 4 dans un intervalle de valeur radiométriques entre 20 et 120 (Fig.49). L'histogramme des canaux de cette image présente la plus forte réflectance qui caractérise la bande 2 (Fig. 47).

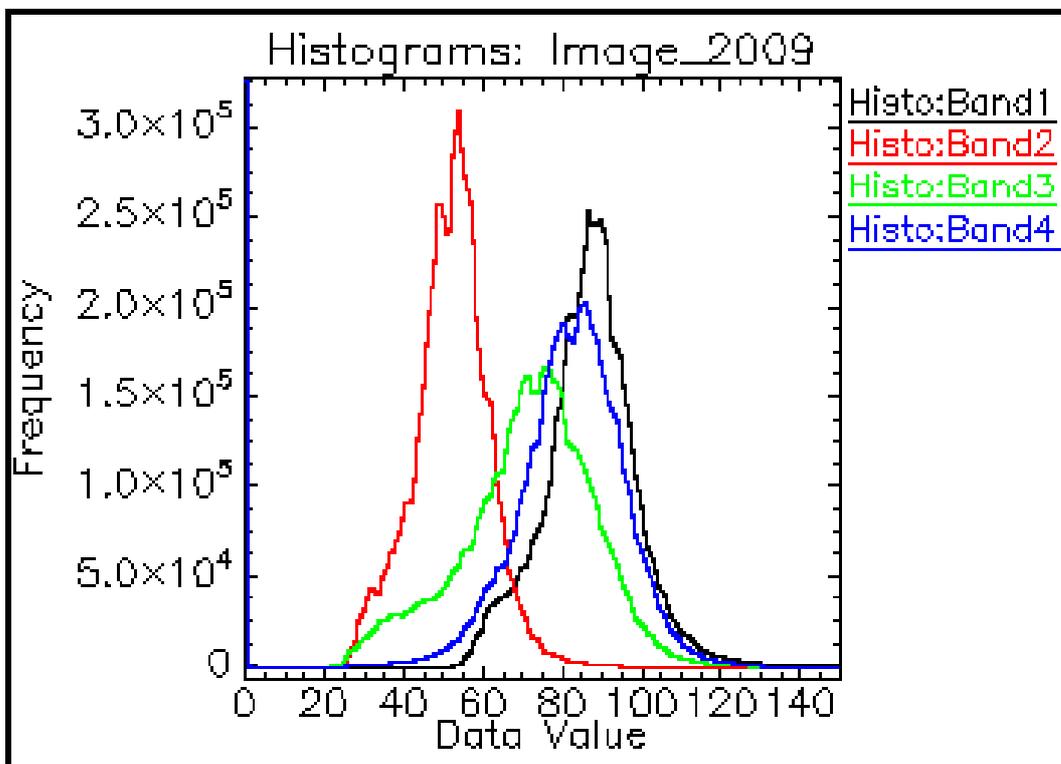


Figure 47. Histogramme des bandes de l'image de l'année 2009.

1.5. Présentation des images satellites classifiées

1.5.1. Classification non supervisé par ISO-DATA

Le choix du nombre de classes pour une cartographie de l'occupation du sol à partir de l'examen de l'image permet de détecter et regrouper les classes de forêt denses, de forêt claires, du matorral et de l'alfa, des parcours dégradés et des sols nus.

1.5.1.1. Image 1972 et statistiques des classes

Pour ce mode de classification non supervisé, l'image satellite de 1972 présente un nombre de classes qui peut être confondu, les classes rencontrées plusieurs fois vont subir une combinaison par post classification. Les classes semblables seront combinées. La classification par ISO-DATA doit être prouvée par des traitements statistiques des classes (Fig.48).

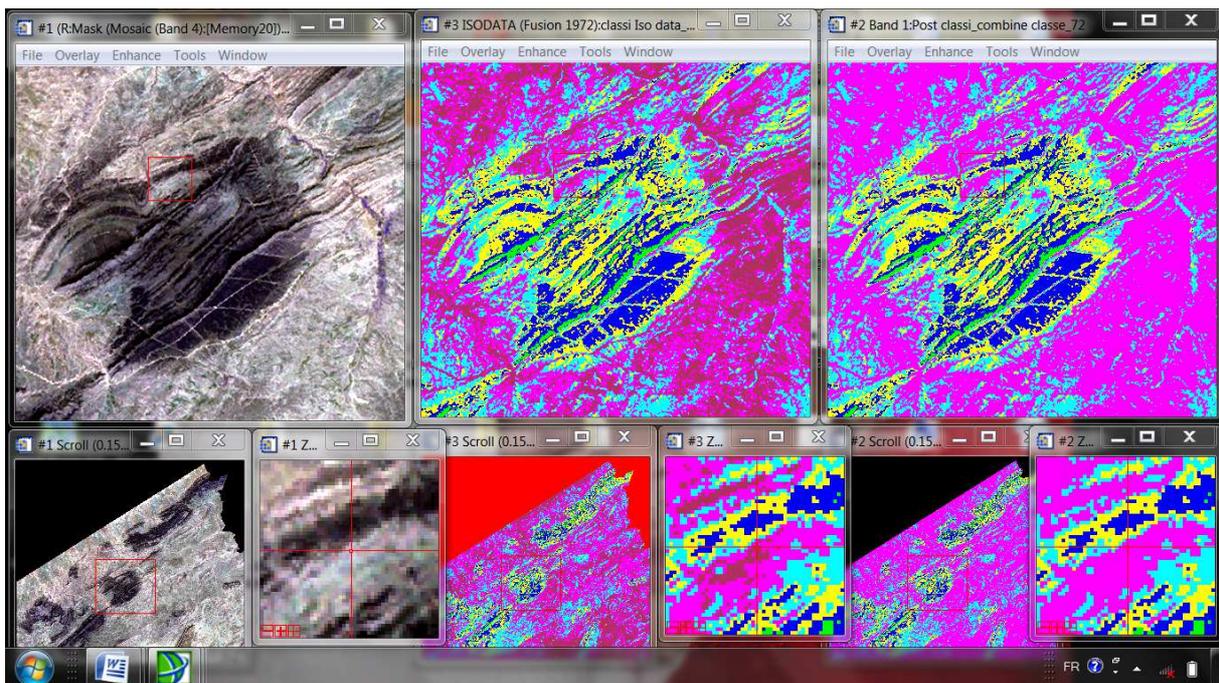


Figure 48. Image satellite classifiée par ISO-DATA avant et après combinaison des classes.

Cette nouvelle classification sera présentée avec légende sur la figure (49).

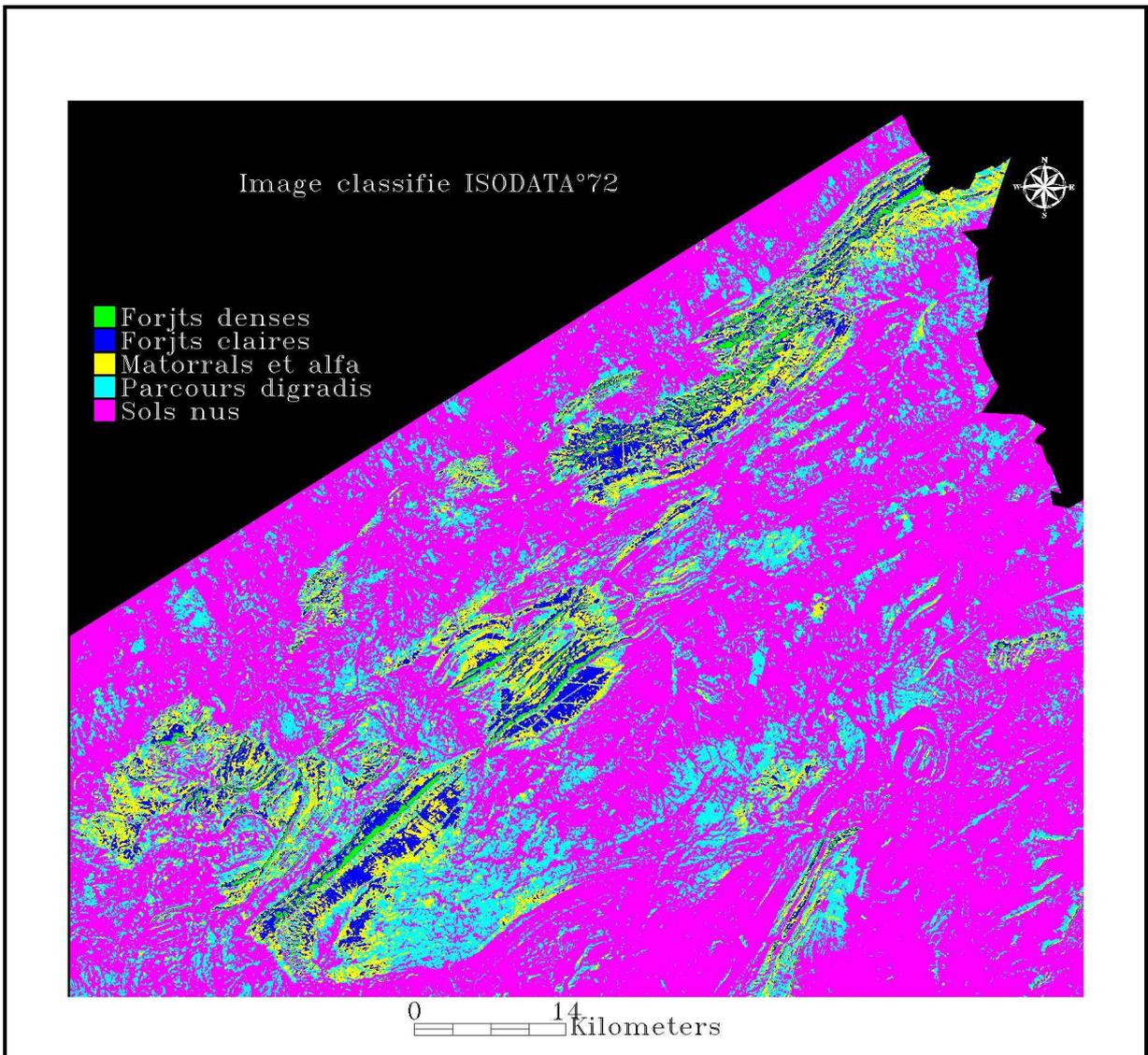


Figure 49. Présentation globale de l'image satellite classifiee par ISO-DATA (1972).

Les classes distinguées selon la classification non supervisée par ISO-DATA, nécessitent une analyse statistique des classes attributaires, dont l'intérêt d'avoir les surfaces forestières des classes introduites. Le traitement résume d'un diagramme représentatif des moyennes des classes établies (Fig.50).

Les classes accordées à cette classification présentent des valeurs moyennes varient de 2 à 6 relatives aux classes choisies.

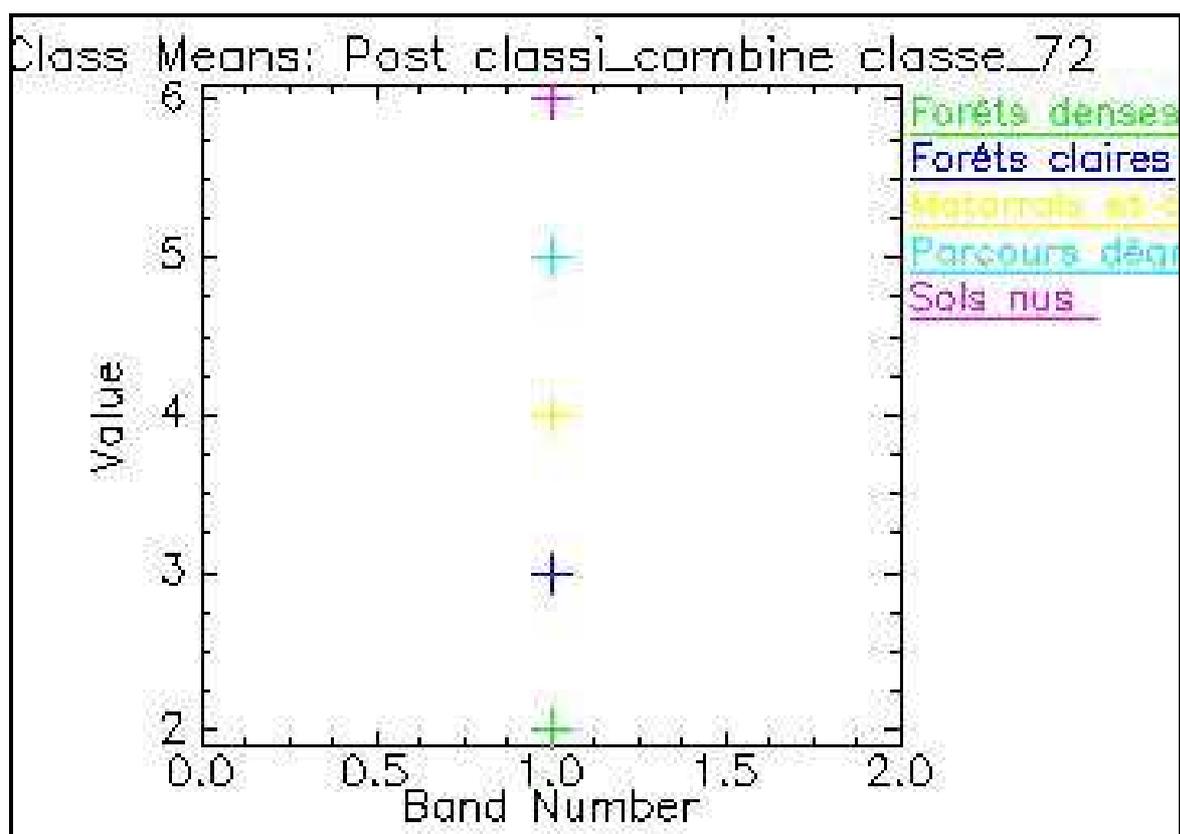


Figure 50. Présentation de la valeur moyenne des classes introduites par ISO-DATA.

Les résultats des surfaces obtenus par cette analyse offrent un répertoire de comparaison pour détecter le changement.

1.5.1.2. Image 1987 et statistiques des classes

Le même travail est appliqué sur les scènes prises en considération dont on procède à classifiée par ISO-DATA l'image de l'année 1987 (Fig.51). Le nombre de classes pour une cartographie de l'occupation du sol sur cette image est le suivant :

1. Forêt denses (couleur bleu)
2. Forêts claires (jaune)
3. Matorrals et alfa (bleu-vert)
4. Parcours dégradées (vert)
5. Sols nus (rose).

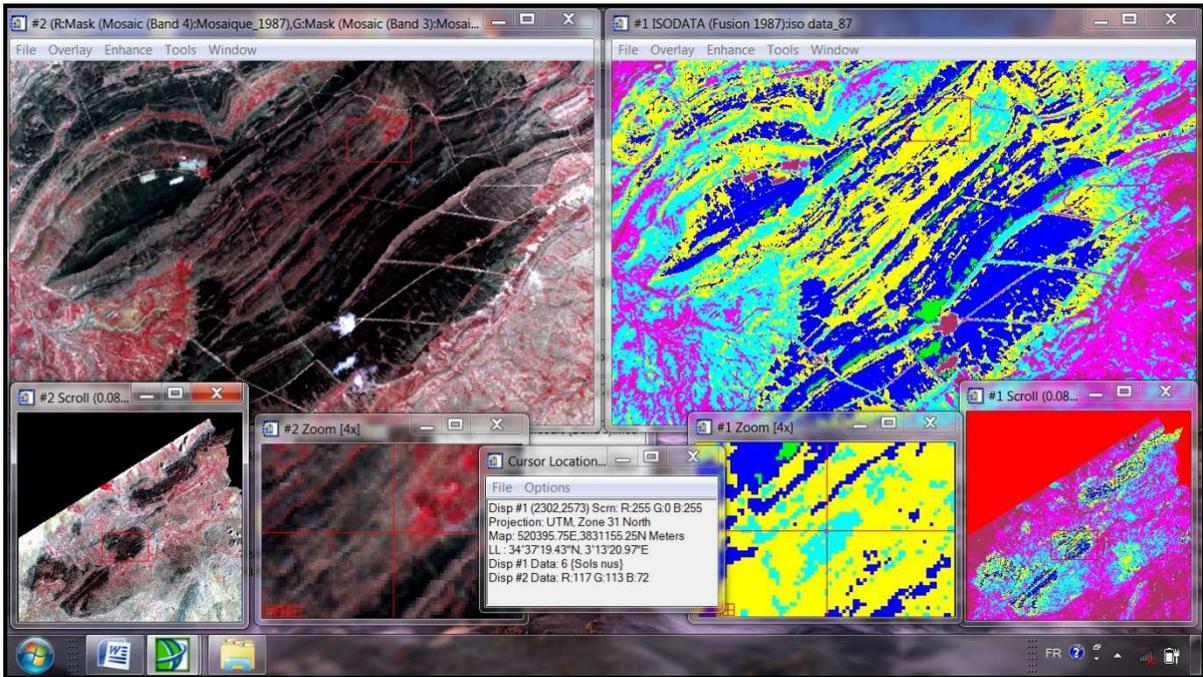


Figure 51. Présentation de l'image satellite de l'année 1987 classifiée par la méthode ISO-DATA.

La présentation globale de l'image satellite classifiée par cette méthode est présentée par la figure 49. Les colorations attributaires aux classes sont introduites automatiquement par le logiciel de l'ENVI.

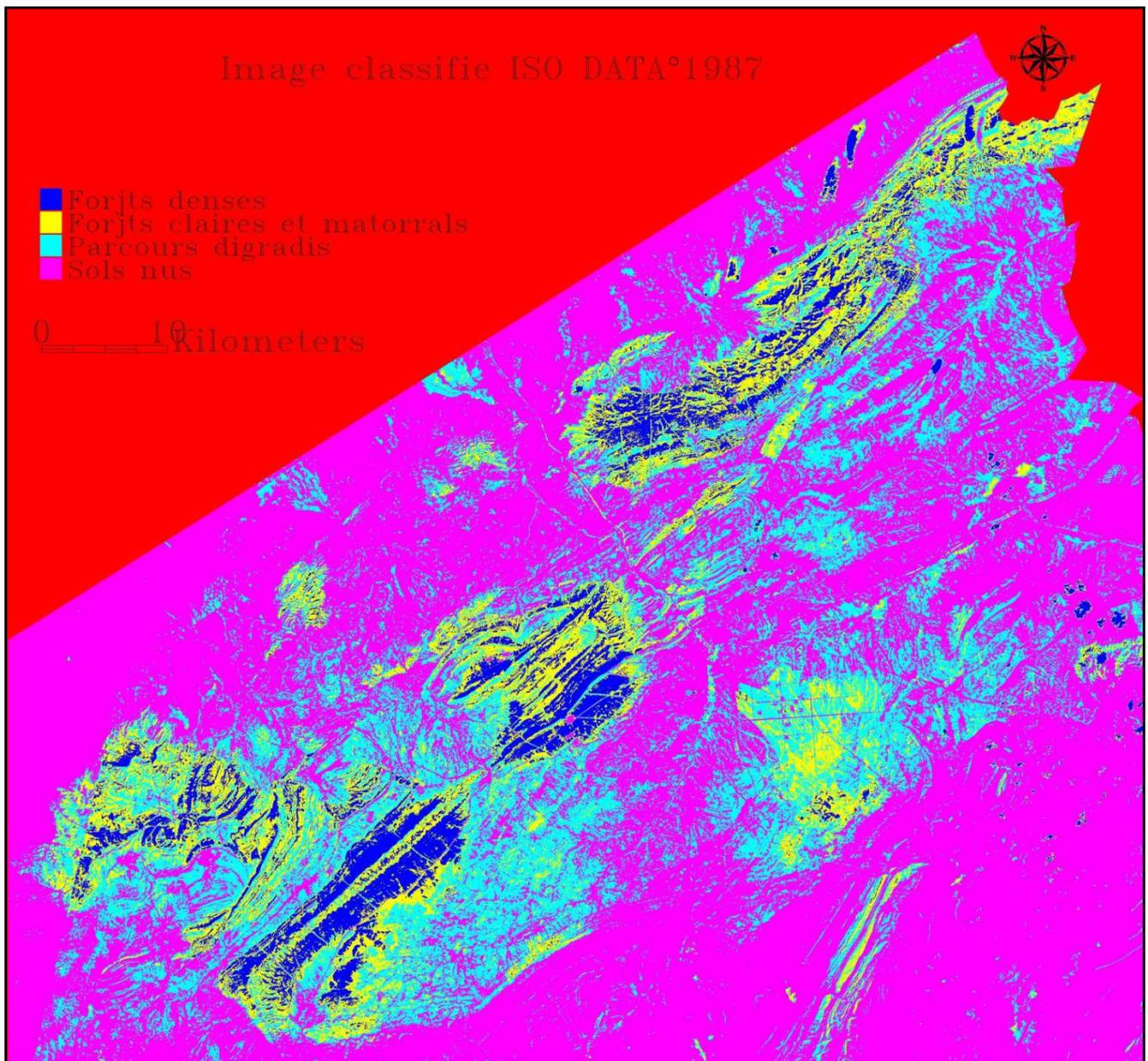


Figure 52 : Présentation de l'image de l'année 1987 classifiée par la méthode ISO-DATA.

Les moyennes des classes établies dans cette classification sont présentées par la figure 53. Les moyennes varient de 2 à 5 pour les classes choisies.

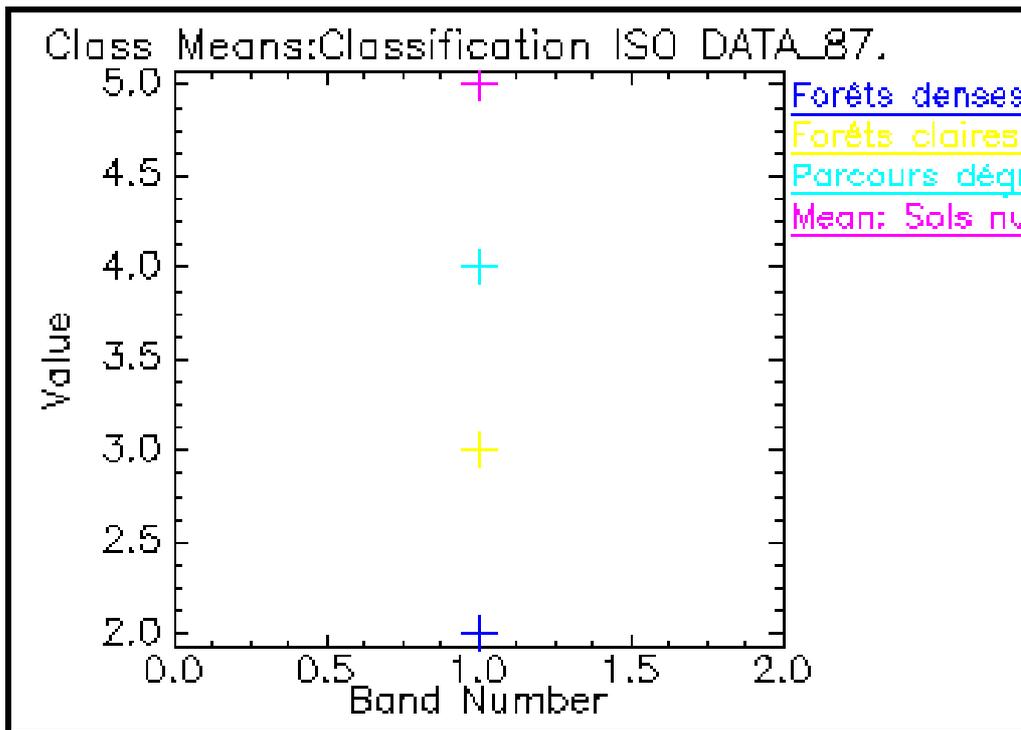


Figure 53. Moyennes des classes de l'image classifiée par ISO-DATA.

1.5.1.3. Image 2001 et statistiques des classes

La figure 54, présente l'image satellite de l'année 2001 classifiée par la méthode ISO-DATA. Les classes semblables en leur réalité thématique sont combinées en fin de classification (A. avant combinaison- B. après combinaison).

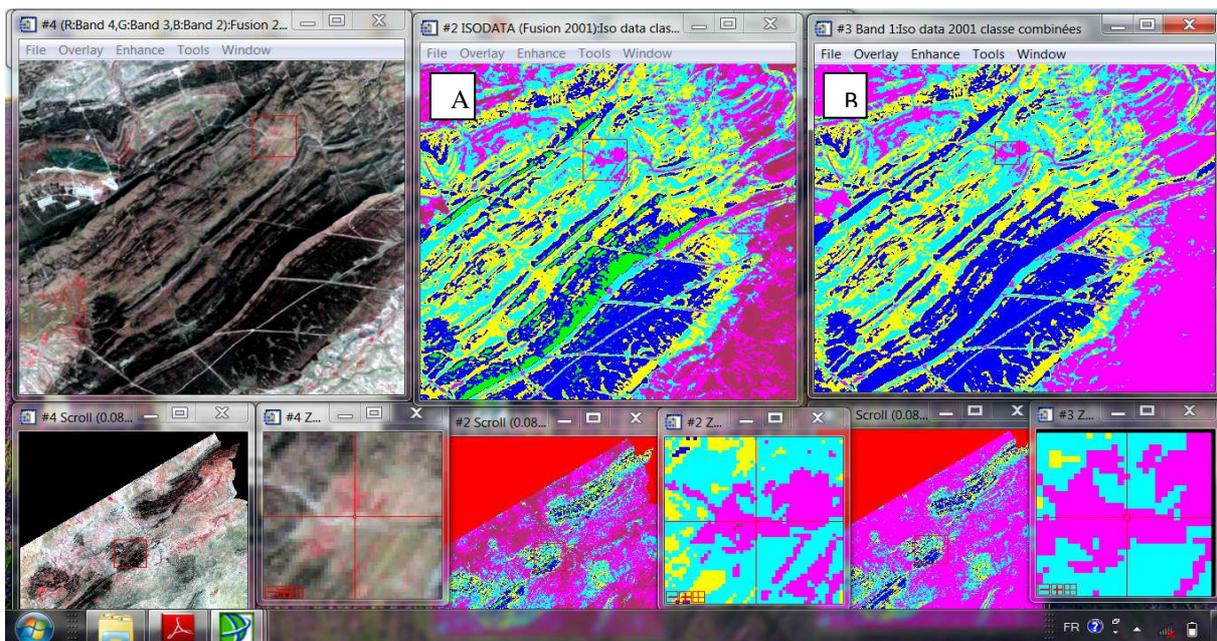


Figure 54. Présentation des l'image classifiée avec combinaison des classes (2001).

L'image globale de cette classification est présentée par la figure 55.

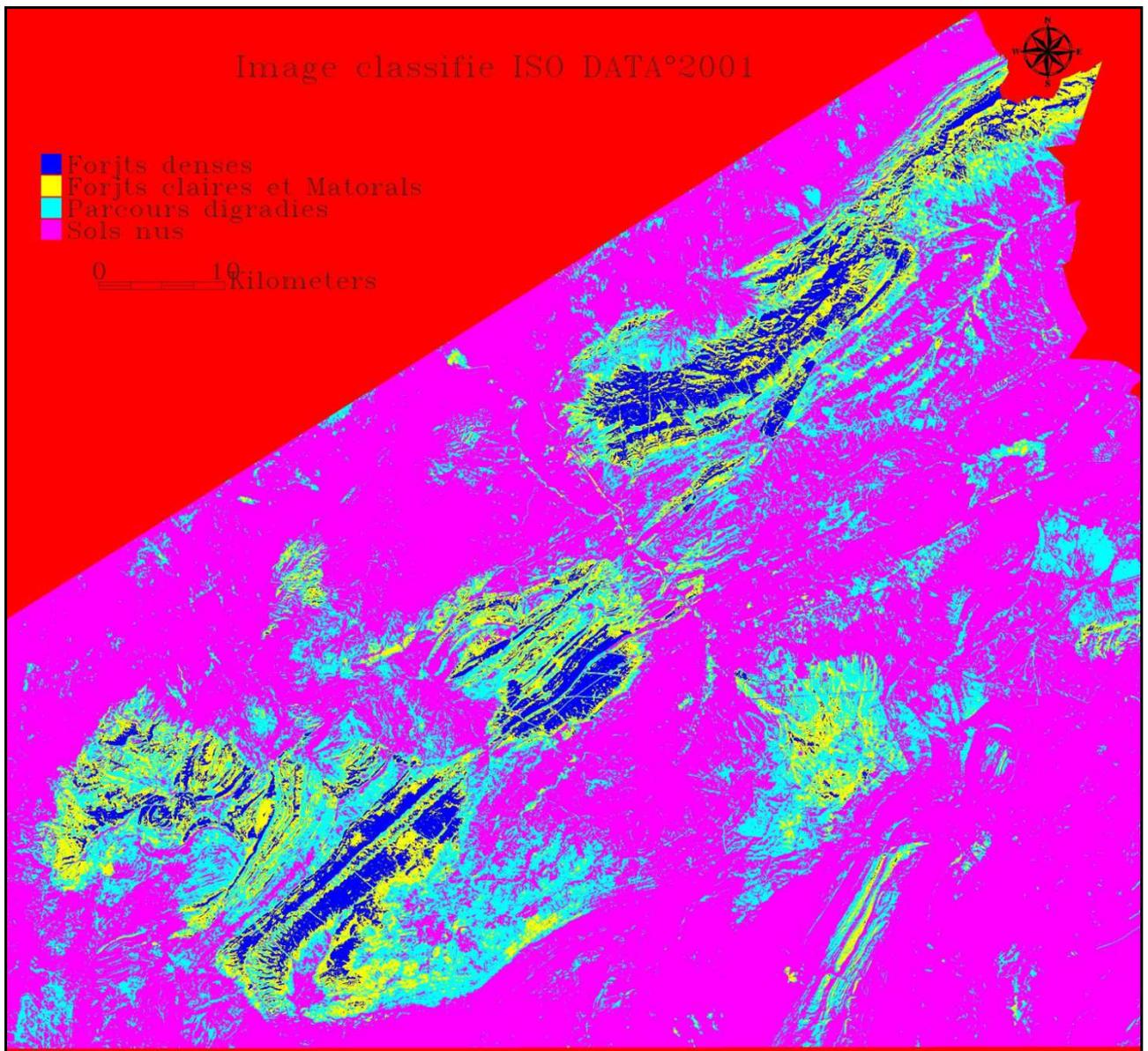


Figure 55. Classification non supervisée de l'image de l'année 2001 (ISO-DATA).

Pour les statistiques des classes de l'image classifiée par ISO-DATA de 2001, les moyennes calculées à partir des classes établies sont présentées par la figure 53. Pour l'ensemble des classes la moyenne calculée des bandes varie de 2 à 5 attributaires aux classes choisis dans cette classification (Fig.56).

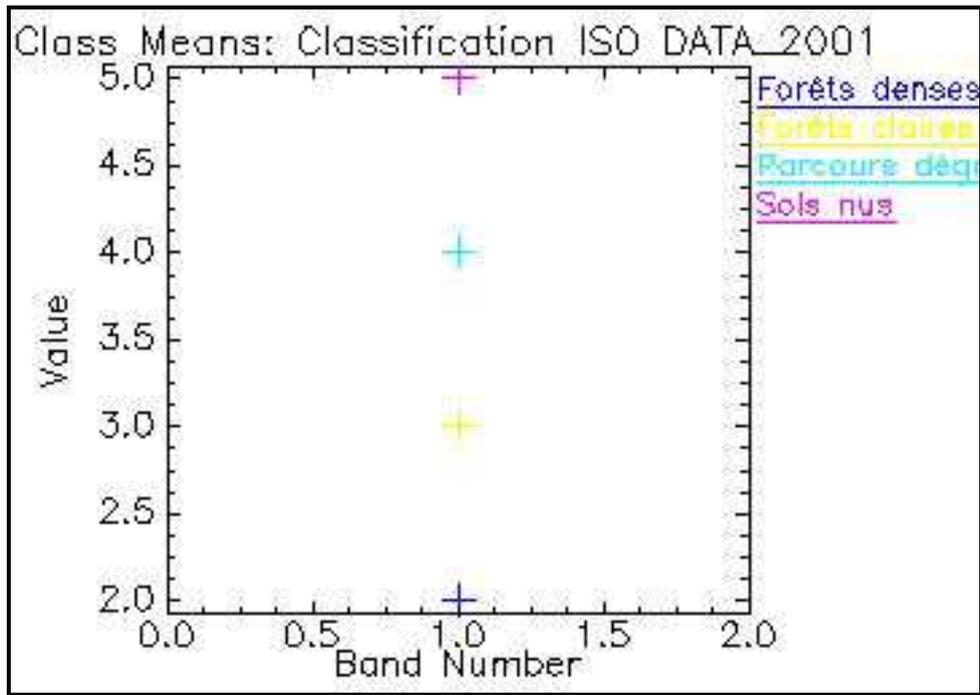


Figure 56. Moyenne des classes étudiées dans la classification non supervisée de l'image 2001 (ISO-DATA).

1.5.1.4. Image 2009 et statistiques des classes

Après combinaison des classes semblables, une nouvelle classification s'affiche est présentée par la figure 57.

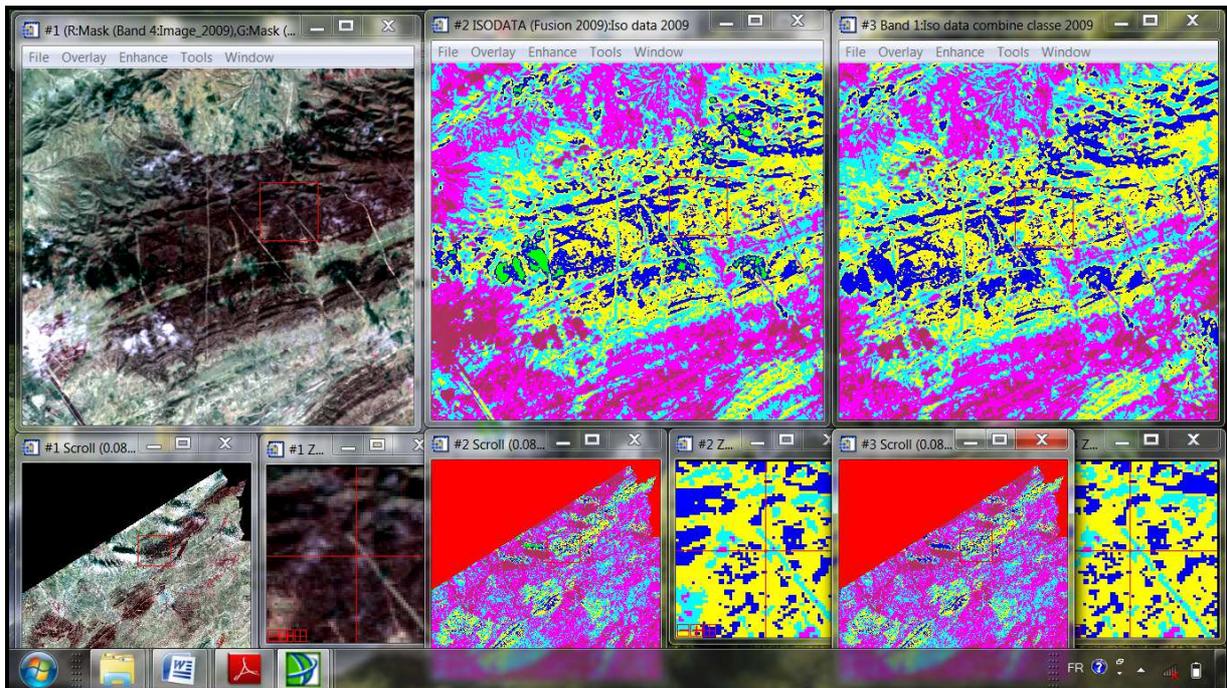


Figure 57. Image classifiée par la méthode ISO-DATA (2009).

Les classes distinguées sont attribuées aux colorations convenables, les forêts claires sont représentées par la couleur jaune (Fig. 58).

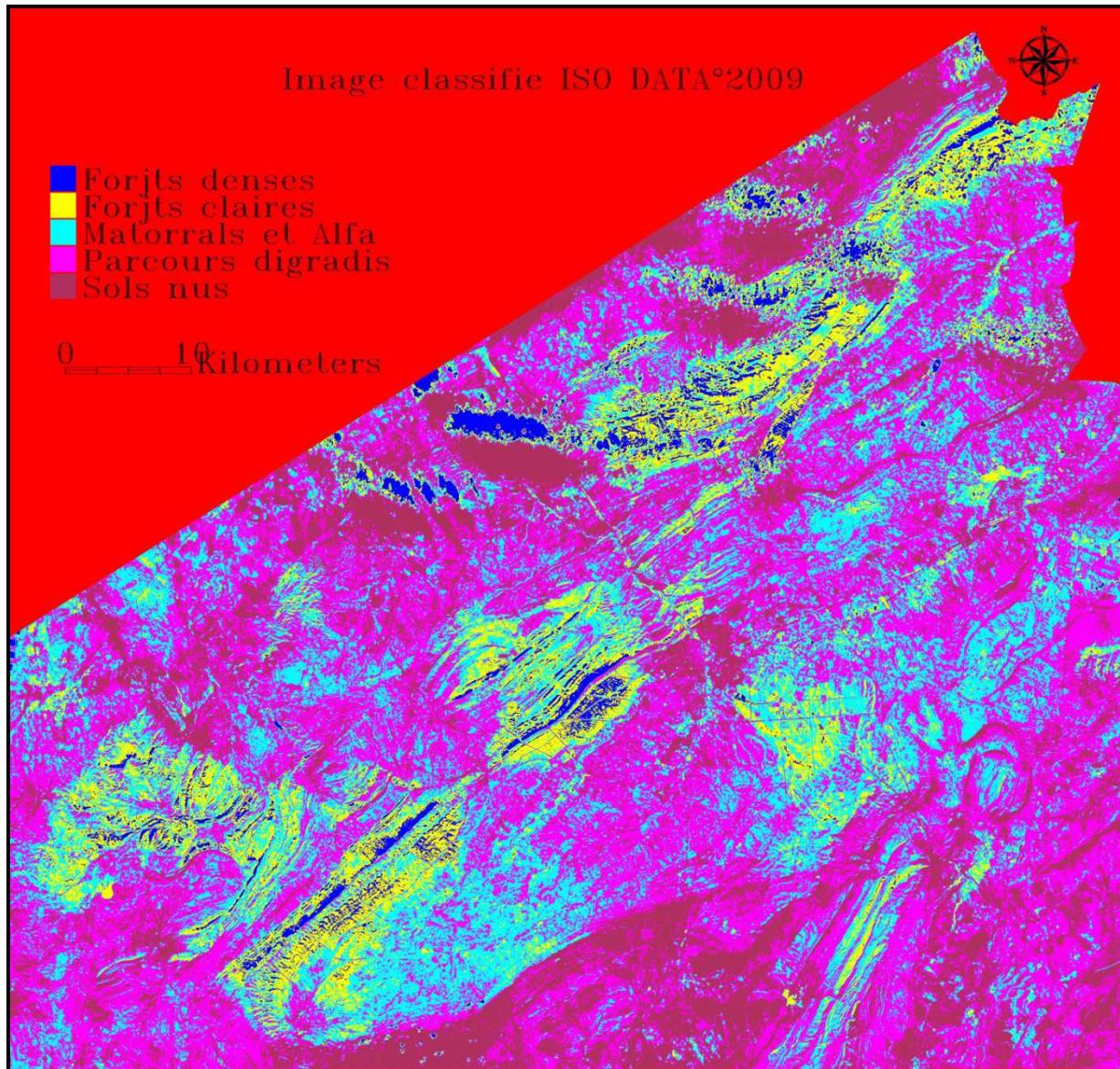


Figure 58. Image classifiée par ISO-DATA (2009).

La valeur moyenne des classes varie entre 2 et 6. Les moyennes des classes de cette image sont présentées par la figure 59. Les forêts claires caractérisent une moyenne de 5.

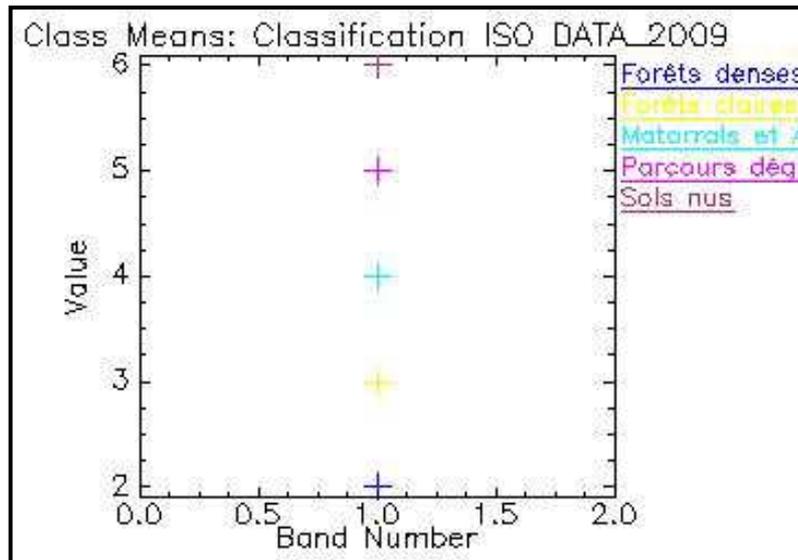


Figure 59. Moyennes des classes de l'image classifiée par ISO-DATA (2009).

1.5.2. Classification supervisée par la méthode de Maximum de Vraisemblance

La classification supervisée consiste à sélectionner des zones de l'image dont on connaît la vraie occupation du sol.

1.5.2.1. Cas de l'image classifiée de l'année 1972

L'image satellite classifiée de l'année 1972 comprend plusieurs classes d'occupation du sol dans la région de Djelfa. Chaque classe correspond à une coloration spécifique. Les classes sont en nombre de cinq, forêts denses caractérisée par une coloration noire, forêts claires par le marron, matorral et alfa représente le vert, parcours dégradés prend la couleur rose et les sols nus sont présentés par le vert claire (Fig.60).

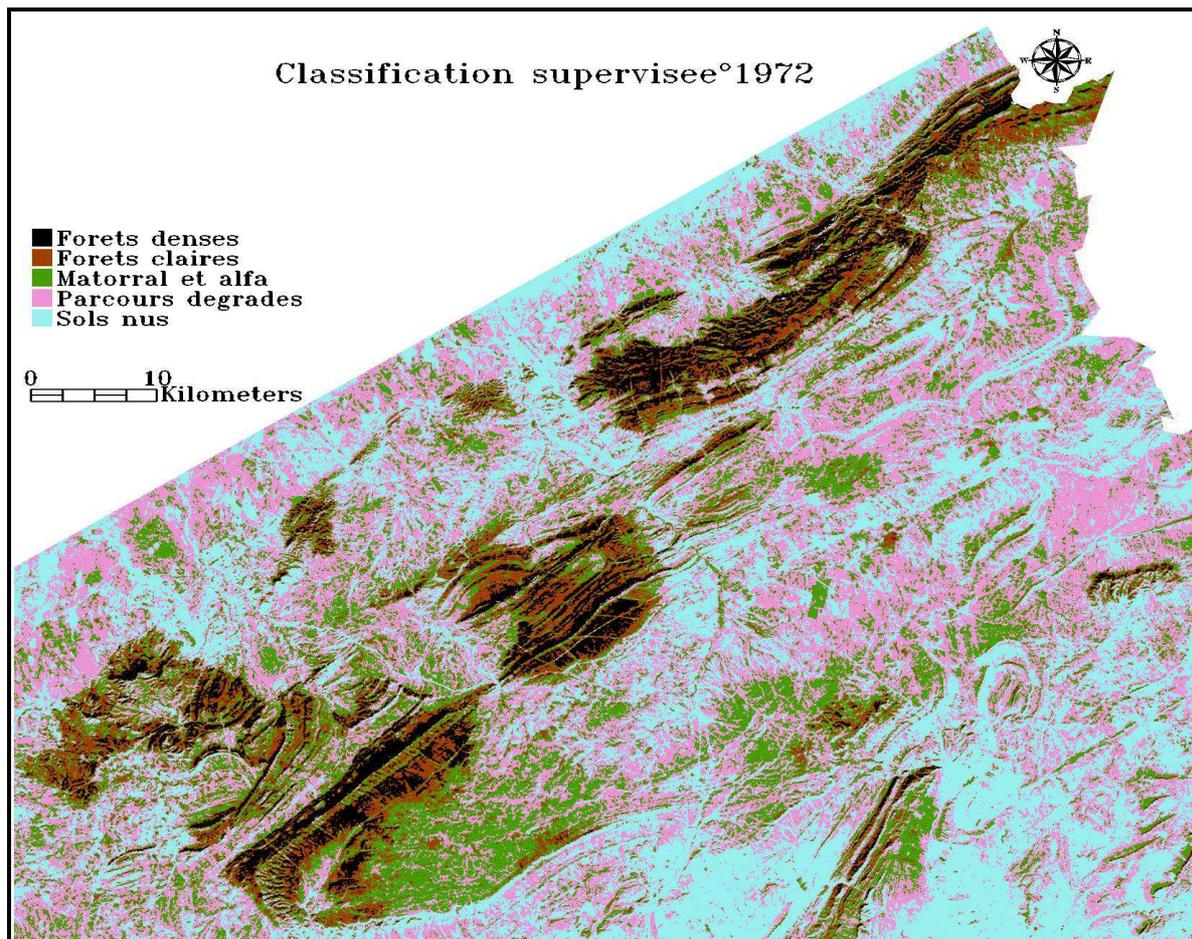


Figure 60. Image satellite classifiée présentant l’occupation du sol en 1972.

1.5.2.1.1. Statistiques des classes

Cette image présente des classes ordonnées dans le fichier ROIs sous l’ENVI, les analyses statistiques de cette classification supervisée sont relevées dans le tableau 21.

Tableau 21. Statistiques de base des classes étudiées.

Basic Stats	Min	Max	Mean
Band 1	18	22	20,50
Band 2	19	24	21,50
Band 3	12	17	14,37
Band 4	19	21	20,12

Chaque bande est limitée par une valeur maximale et minimale et caractérisée par une valeur moyenne, la tranche des valeurs minimales varie de 12 à 19, les maximas varient de 17 à 24 dont les moyennes calculées varient de 14 à 21.

1.5.2.1.2. Statistiques sur les ROIs

- **Signatures spectrales des ROIs**

Les profils spectraux de l'image classifiée de l'année 1972 sont représentés par la figure 61. La composition colorée sur les images traduit le comportement spectral de chaque classe dans un intervalle de bandes. Les valeurs de la réflectance des classes choisies sont variables selon les classes, dont chaque classe présente un tau de réflectance dans chaque bande. Les valeurs radiométriques varient de 0 à 60. Les valeurs entre 20 et 30 donnent une faible réflectance pour les forêts denses et claires et même pour les matorrals, une faible réflectance est signalée lorsqu'elle se rapproche de zéro dans la bande 3. Par contre les sols nus présentent une forte réflectance lorsqu'elle se rapproche de la valeur radiométrique 55 dans les bandes 3 et 4.

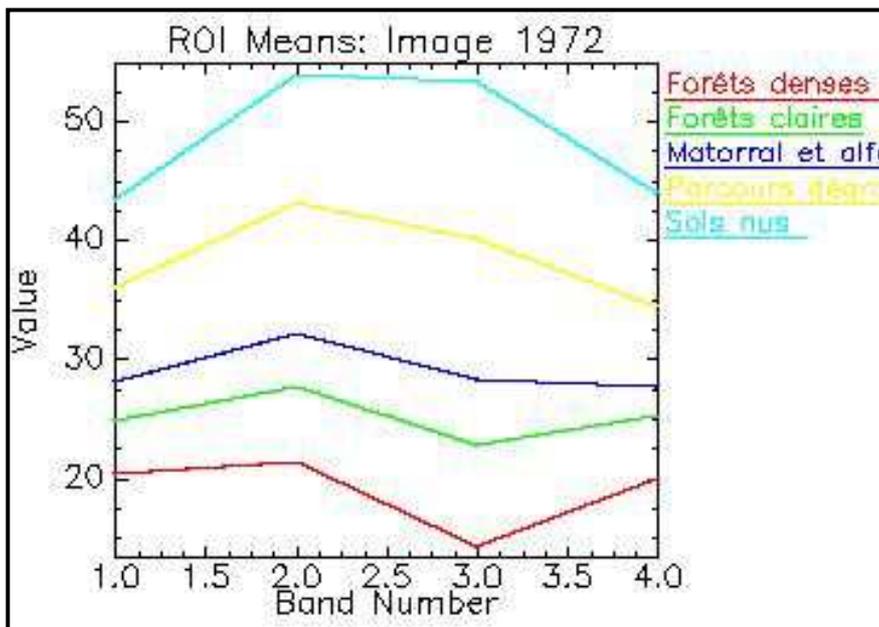


Figure 61: Profils spectraux des classes de l'image classifiée (1972).

- **Séparabilité des ROIs**

Les résultats du test de la séparabilité entre les classes de l'image classifiée par le mode de Vraisemblance de l'année 1972 sont montrés sur le tableau suivant :

Tableau 22. Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 1972.

Classes	Forêts denses	Forêts claires	Matorral et alfa	Parcours dégradés	Sols nus
Forêts denses	/	1,97-1,99	1,99-1,99	1,99- 2	1,99- 2
Forêts claires	1,97-1,99	/	1,51- 1,88	1,92- 1,99	1,99-2
Matorral et alfa	1,99-1,99	1,51-1,88	/	1,68- 1,94	1,97-1,99
Parcours dégradés	1,99-2	1,92- 1,99	1,68- 1,94	/	1,09-1,48
Sols nus	1,99- 2	1,99 -2	1,7-1,99	1,09- 1,48	/

- **Pair Séparation**

Pour déterminer la significativité de notre classification on procède à un test complémentaire de séparabilité c'est le (Pair Séparabilité). La séparabilité doit être proche de 2 pour avoir une classification significative. (Tab.23).

Tableau 23 . Séparabilité entre les classes.

Classes	Séparabilité
Forêts denses et forêts claires	1,97
Forêts denses et Matorral et alfa	1,99
Forêts denses et Parcours dégradés	1,99
Forêts claires et Matorral et alfa	1,51
Forêts claires et Sols nus	1,99
Forêts denses et Sols nus	1,99
Forêts claires et Parcours dégradés	1,92
Matorral et alfa et Parcours dégradés	1,68
Matorral et alfa et Sols nus	1,97
Parcours dégradés et Sols nus	1,09

Cette analyse présente une forte séparabilité entre classes, à l'exception des parcours dégradés avec la classe des sols nus qui sont peu confondus, due à la similarité de l'apparence des deux classes.

1.5.2.2. Cas de l'image classifiée de l'année 1987

Les mêmes classes définies précédemment sont représentées sur l'image classifiée de l'année 1987 (Fig.62).

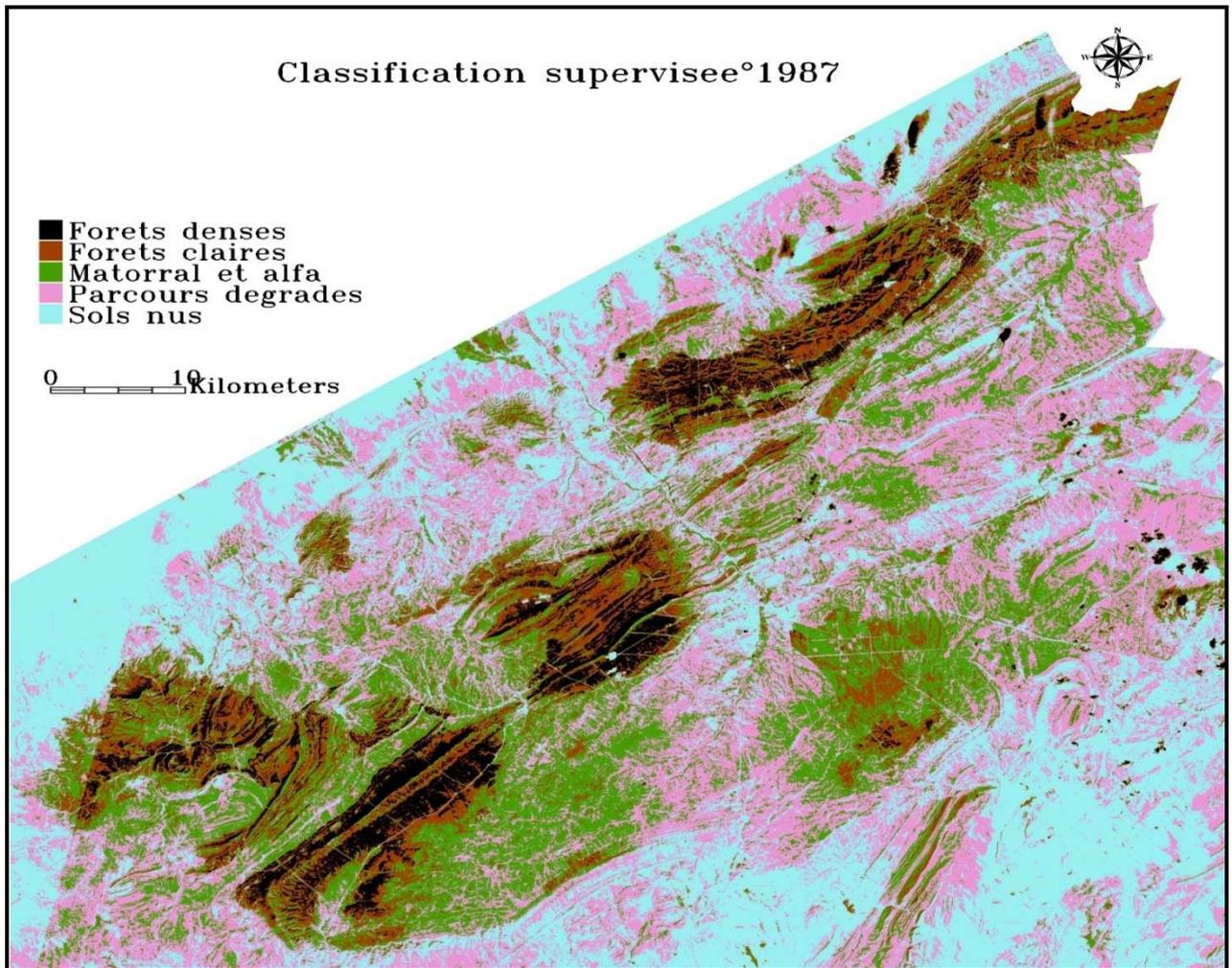


Figure 62. Image satellite classifiée présentant l'occupation du sol forestier dans la région de Djelfa (1987).

1.5.2.2. 1. Statistiques des classes

Le tableau 24 présenté ci-dessous, englobe les caractéristiques des bandes utilisées, dont les moyennes varient de 30 à 75, tandis que la fourchette des minimums est notée entre 25 et 71. Les valeurs maximales notées sont de 60 à 109.

Tableau 24. Statistiques de base de l'image classifiée (1987).

Basic Stats	Min	Max	Mean
Band 1	71	109	75,94
Band 2	26	60	30,58
Band 3	25	84	32,48
Band 4	42	88	48,33

1.5.2.2.2. Statistiques sur les ROIs

- **Signatures spectrales des ROIs**

Les courbes de la figure 63, présentent une variabilité du taux de réflectance entre les classes, dont les sols nus ont une forte réflectance lorsque la valeur radiométrique atteint le pic (145) et ceci dans les bandes 1, 3 et 4. Par contre une faible réflectance est signalée pour les matorrals, forêts denses et claires lorsqu'elles se rapprochent de zéro dans les bandes 2 et 3. Ces classes présentent des valeurs radiométriques variables entre 80 et 100 pour une bonne réflectance signalée dans la bande 1 et 4.

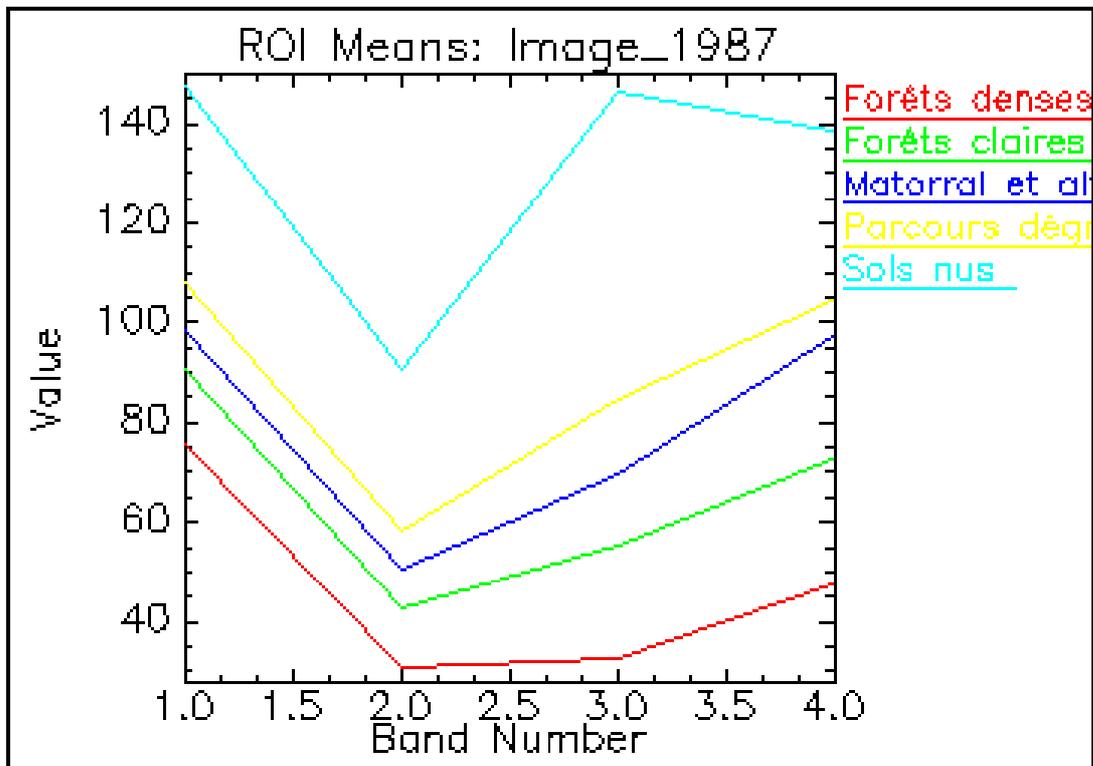


Figure 63. Profils spectraux des classes identifiées par la classification de Vraisemblance.

- **Séparabilité des ROIS**

Les résultats des traitements de séparabilité entre les classes de l'image classifiée de 1972 par la Vraisemblance sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 25: Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 1987.

	Forêts denses	Forêts claires	Matorral et alfa	Parcours dégradés	Sols nus
Forêts denses	/	1,89-1,91	1,71 - 1,99	1,99-1,99	1,99- 2
Forêts claires	1,89 -1,91	/	1,8- 1,73	1,98- 1,99	1,99- 2
Matorral et alfa	1,71- 1,99	1,18- 1,73	/	1,47- 1,51	1,99- 1,99
Parcours dégradés	1,99-1,99	1,98-1,99	1,47- 1,51	/	1,62- 1,91
Sols nus	1,99- 2	1,99- 2	1,99- 1,99	1,62-1,91	/

- **Pair Separation**

Pour l'image classifiée de l'année 1987 le test de séparabilité entre les classes est présenté par le tableau 26.

Tableau 26. Séparabilité entre les classes.

Classes	Séparabilité
Forêts denses et forêts claires	1,89
Forêts denses et Matorral et alfa	1,71
Forêts denses et Parcours dégradés	1,99
Forêts claires et Matorral et alfa	1,18
Forêts claires et Sols nus	1,99
Forêts denses et Sols nus	1,99
Forêts claires et Parcours dégradés	1,98
Matorral et alfa et Parcours dégradés	1,47
Matorral et alfa et Sols nus	1,99
Parcours dégradés et Sols nus	1,62

Une forte séparabilité entre classes est marquée sur les résultats des statistiques de l'image classifiée de l'année 1987. La classification est réalisée avec succès à l'exception d'une moyenne séparabilité signalée entre les matorrals et les parcours dégradés.

1.5.2.3. Cas de l'image classifiée de l'année 2001

La classification supervisée de l'image de l'année 2001 donne naissance à une nouvelle configuration de l'image, elle englobe un ensemble de classes qui déterminent l'occupation du sol dans la zone de Djelfa. Ces classes correspondent à des colorations indicatives (Fig.64).

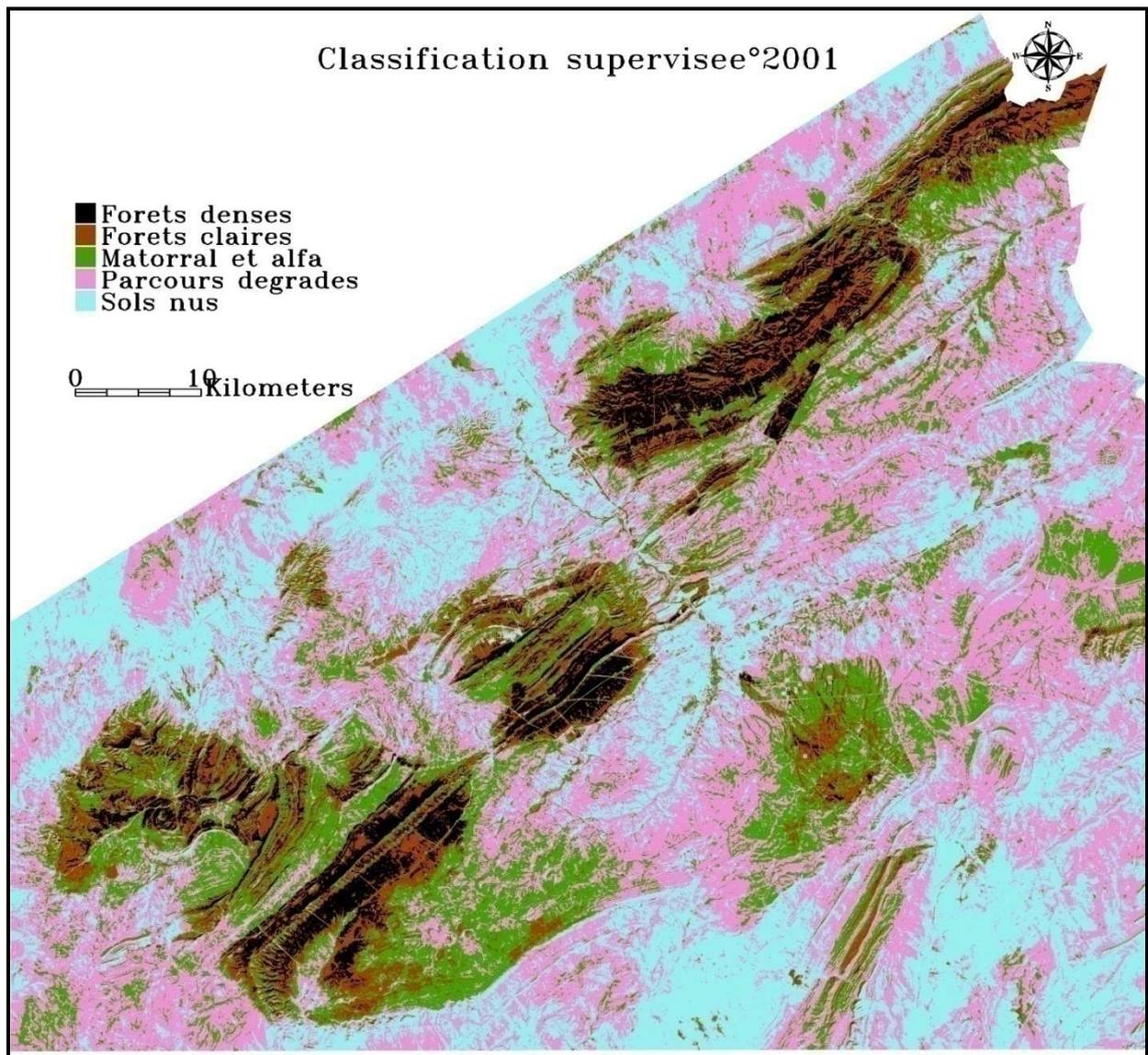


Figure 64. Image classifiée par la méthode de Vraisemblance (2001).

1.5.2.3.1. Statistiques des classes

Les classes présentent une fourchette de valeur varie de 29 à 42 pour les minimas et de 41 à 49 pour les maximas et varient en moyennes de 35 à 46 (Tab.27).

Tableau 27. Présentation des Statistiques de base des classes de l'image classifiee.

Basic Stats	Min	Max	Mean
Band 1	42	49	44,83
Band 2	32	41	35,75
Band 3	29	44	35,33
Band 4	41	55	46,58

1.5.2.3.2. Statistiques sur les ROIs

- **Signatures spectrales des ROIs**

La radiométrie pour les classes choisies est variable d'une classe à l'autre selon la réflectance des classes dans les bandes. Les sols nus sont sensibles à la bande 3, cette classe caractérise une conséquente réflectance lorsqu'elle se proche de la valeur 150. Les classes des forêts denses claires ont une faible réflectance en se rapprochant de zéro (Fig.65).

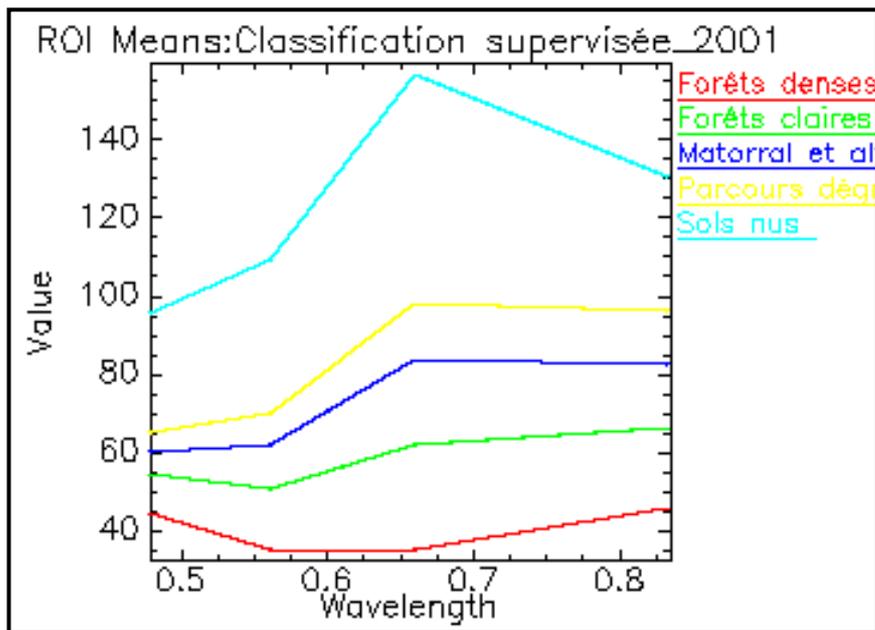


Figure 65. Profils spectraux des classes de l'image classifiée par la Vraisemblance (2001).

- **Séparabilité des ROIs**

Les résultats de traitements de séparabilité entre les classes de l'image classifiée de 2001 par la méthode de maximum de Vraisemblance sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 28. Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 2001.

	Forêts denses	Forêts claires	Matorral et alfa	Parcours dégradés	Sols nus
Forêts denses	/	1,99 - 1,99	1,99 - 2	1,99 - 1,99	2-2
Forêts claires	1,99 - 1,99	/	1,99 - 1,99	1,99 - 2	2-2
Matorral et alfa	1,99 - 2	1,99 - 1,99	/	1,75 - 1,91	1,99-2
Parcours dégradés	1,99 - 1,99	1,99 - 2	1,75 - 1,91	/	1,99-1,99
Sols nus	2 - 2	2-2	1,99 - 2	1,99-1,99	/

- **Pair Séparation**

La séparabilité pour l'image classifiée de l'année 2001 est présentée par des couples de classes sur le tableau 29.

Tableau 29. Séparabilité entre les classes.

Classes	Séparabilité
Forêts denses et forêts claires	1,99
Forêts denses et Matorral et alfa	1,99
Forêts denses et Parcours dégradés	1,99
Forêts claires et Matorral et alfa	1,99
Forêts claires et Sols nus	2
Forêts denses et Sols nus	2
Forêts claires et Parcours dégradés	1,99
Matorral et alfa et Parcours dégradés	1,75
Matorral et alfa et Sols nus	1,99
Parcours dégradés et Sols nus	1,99

Une bonne séparabilité s'assemble sur les résultats du traitement de la séparabilité, elle est forte entre l'ensemble des classes se qui rend la classification proposée significative.

1.5.2.4. Cas de l'image classifiée de l'année 2009

La classification de l'image de l'année 2009, rendre l'image classifiée regroupée en 4 classes (Forêts denses, Matorral et alfa, parcours dégradés et les sols nus) (Fig.66).

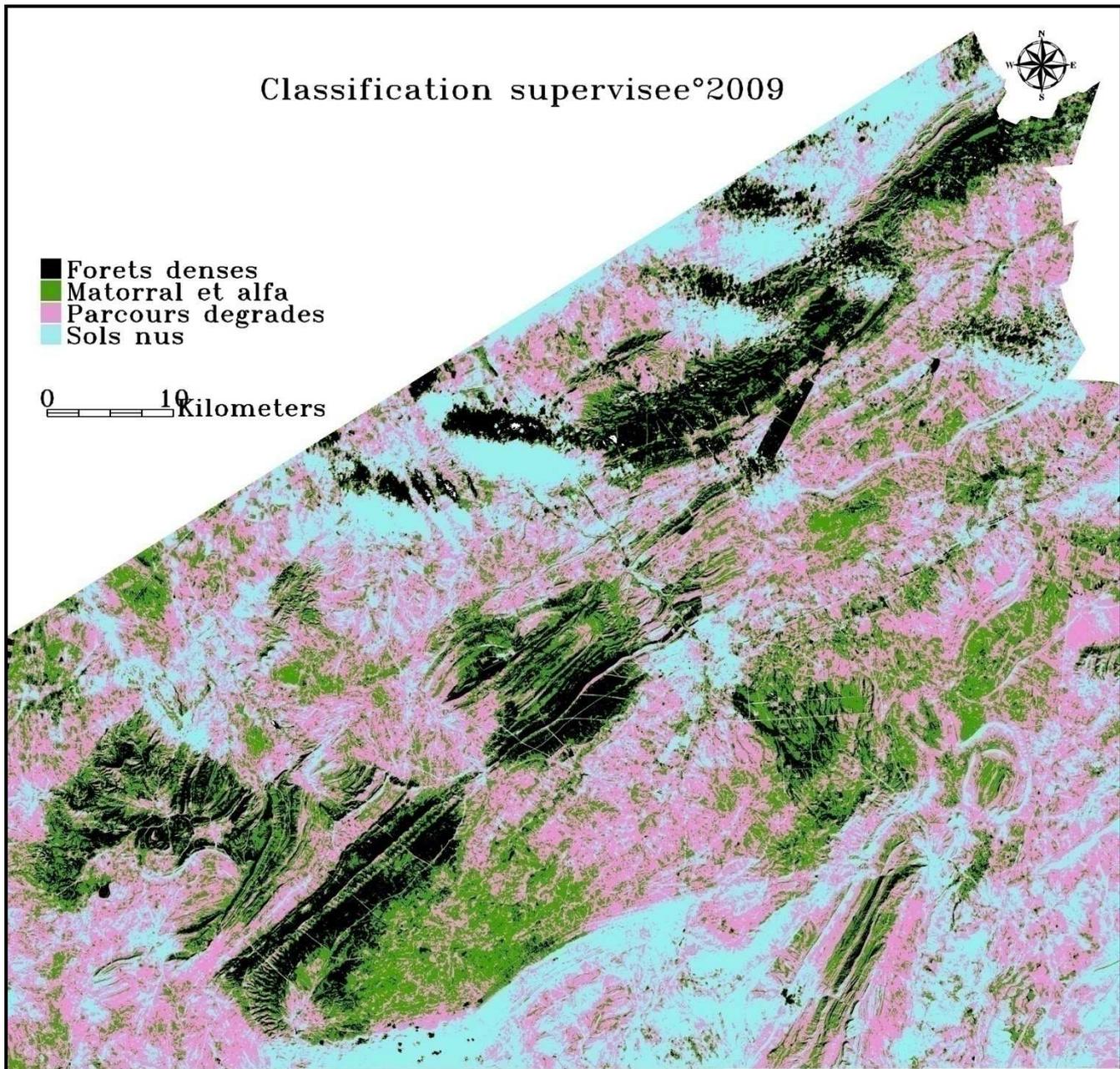


Figure 66: Image satellite classifiée par la méthode de Vraisemblance présentant l'occupation du sol dans la région de Djelfa (2009).

1.5.2.4.1 Statistiques des classes

Dans le cas de l'image satellite classifiée (2009), un intervalle de 31 à 63 pour les maximas, les minimas varie de 22 à 53, la moyenne varie de 25 à 56 (Tab.30).

Tableau 30. Statistiques de base pour les bandes de 1 à 4.

Basic Stats	Min	Max	Mean
Band 1	53	63	56,15
Band 2	24	31	26,98
Band 3	22	34	25,73
Band 4	42	61	49,57

1.5.2.4.1. Statistiques sur les ROIs

- **Signatures spectrales des ROIs**

Les classes choisies dans la classification supervisée ont subi des statistiques sur leur comportement spectral, la figure (67) illustre les réflectance des différentes classes.

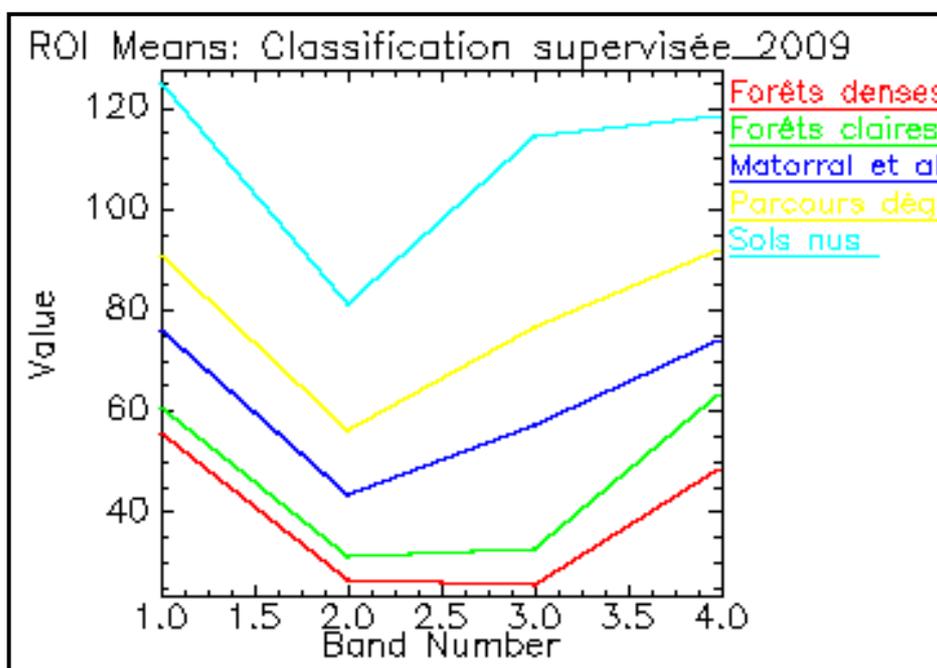


Figure 67. Profils spectraux des classes de l'image satellite classifiée (2009).

L'analyse des fréquences des bandes présente une sensibilité importante des forêts denses dans la bande 1 et 4, dont elle représente une forte réflectance avec la valeur radiométrique (71), tandis que les sols nus agissent et présente une bonne réflectance dans les bandes 1, 3 et 4 lorsqu'elle se rapproche de la valeur numérique 125.

Séparabilité des ROIs

Les intervalles de séparabilité entre les classes de l'image classifiée de l'année 2009 sont présentés sur le tableau 31.

Tableau 31. Seuil de séparabilité entre les classes de l'image classifiée 2009.

	Forêts denses	Forêts claires	Matorral et alfa	Parcours dégradés	Sols nus
Forêts denses	/	1.88 -1.96	1,99- 1,99	2- 2	1.99- 2
Forêts claires	1.87- 1.96	/	1.98- 1.99	1.99- 2	1.99- 2
Matorral et alfa	1.99- 1.99	1.98- 1.99	/	1.92- 1.97	1.90- 2
Parcours dégradés	2- 2	1.99-2	1.92- 1.97	/	1.59-1.98
Sols nus	1.99- 2	1.99- 2	1.90- 2	1.59- 1.98	/

- **Pair Séparation**

Le test de séparabilité accède à chaque binômes de classes une valeur correspondante, Le résultat de traitement est présenté sur le tableau 32.

Tableau 32. Séparabilité entre l'ensemble des classes.

Classes	Séparabilité
Forêts denses et forêts claires	1,87
Forêts denses et Matorral et alfa	1,99
Forêts denses et Parcours dégradés	2
Forêts claires et Matorral et alfa	1,98
Forêts claires et Sols nus	1,99
Forêts denses et Sols nus	1,99
Forêts claires et Parcours dégradés	1,99
Matorral et alfa et Parcours dégradés	1,92
Matorral et alfa et Sols nus	1,90
Parcours dégradés et Sols nus	1,59

Une forte séparabilité entre les classes signifie une bonne classification. Une séparabilité moyenne est marquée entre les parcours dégradés et les sols nus.

1.5.3. Validation des résultats de la classification supervisée

La fiabilité des résultats obtenue de la classification supervisée est vérifiée par une matrice appelée matrice de confusion. Cette dernière est basée sur une comparaison entre les zones d'entraînement, classées par l'utilisateur grâce à sa connaissance du

terrain et entre ces mêmes zones reclassées par le logiciel. Les résultats de cette comparaison sont exprimés en pourcentage et sont regroupés sur le tableau 33.

Tableau 33: Résultats de l'évaluation de la classification.

Années Paramètres	1972	1987	2001	2009
K	0,7550	0,7810	0,9129	0,7521
Pe (%)	82,14	83,13	93,18	81,50
N	46/56	207/249	82/88	282/346

K : Indice de Kappa

Pe : Pourcentage d'exactitude.

N : Nombre total des pixels de l'analyste et celle calculée par le logiciel.

Les résultats de cette matrice de validation, nous confirme que le pourcentage de précision globale pour les quatre images classifie par la méthode de vraisemblance dépassent les 80%, le coefficient de Kappa est supérieur à 0,70 ce qui permet de conclure que notre classification adoptée reste fiable et exploitable.

1.5.4 .Evaluation des surfaces de l'occupation du sol dans la région de Djelfa par les deux méthodes de classification

Les résultats de surfaces calculées par les deux méthodes de classification proposées sont présentés sur le tableau 34. L'ensemble des classes données montrent une variabilité modérée entre les résultats des surfaces et les pourcentages correspondants. Tandis que les surfaces élémentaires des classes présentent une fluctuation importante durant la période considérée. Les forêts denses et les forêts claires montrent un état de dégradation conséquent du couvert végétal analysé.

Tableau 34: Présentation comparative entre les méthodes de classification dans l'évaluation superficielle de l'occupation du sol dans la région de Djelfa (1972 - 2009).

1. Classification non supervisé par ISO-DATA								
Classes d'occupation du sol	1972		1987		2001		2009	
	%	Surfaces en hectares	%	Surface en hectares	%	Surface en hectares	%	Surface en hectare
Forêts denses	0,77	6046,71	3,90	29732,50	3,99	30012,57	1,91	14253,75
Forêts claires et Matorrals	9,47	74126,26	6,64	50621,37	6,23	46872,54	6,50	48435,12
Parcours dégradés	14,73	115336,58	16,41	125105,99	14,39	108166,59	17,87	133165,62
Sols nus	45,33	354937,33	43,52	331752,47	47,02	353596,05	44,47	331364,79
Non classifie	29,70	232537,75	29,52	225021,37	28,37	213359,49	29,25	218006,19
Total	100	782984,63	100	762233,69	100	752007,24	100	745225,47
2. Classification supervisée par la méthode de Maximum de Vraisemblance								
Classe d'occupation du sol	1972		1987		2001		2009	
	%	Surfaces en hectares	%	Surface en hectares	%	Surface en hectares	%	Surface en hectare
Forêts denses	3,90	30541,90	3,3	25183,41	3,63	27306,81	7,38	55007,43
Forêts claires	5,86	45854,76	6,72	51180,28	6,02	45281,88	0,47	3511,11
Matorrals et alfa	14,11	110488,74	16,17	123306,37	13,81	103871,07	17,58	130994,73
Parcours dégradés	26,28	205788,09	24,37	185749,07	29,01	218101,41	29,41	219188,07
Sols nus	20,14	157705,48	19,92	151792,96	19,16	144086,58	16,1	119978,28
Non classifie	29,71	232605,66	29,52	225021,60	28,37	213359,49	29,06	216545,85
Total	100	782984,63	100	762233,69	100	752007,24	100	745225,47

Les figures 68 et 69 illustre davantage l'évaluation temporelle des surfaces analysées est présentée respectivement pour les méthodes non supervisée et supervisée.

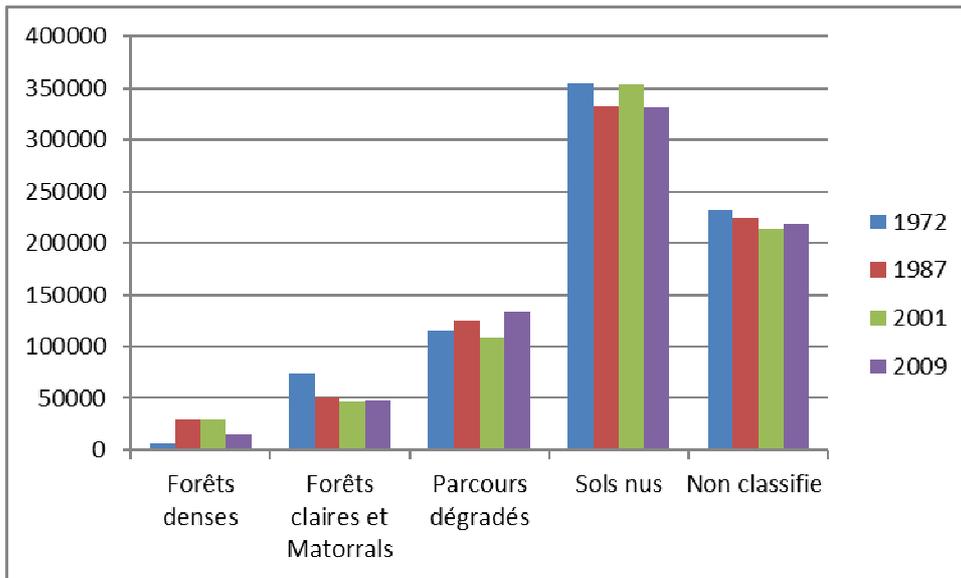


Figure 68. Evaluation des surfaces par classification non supervisé (ISO-DATA).

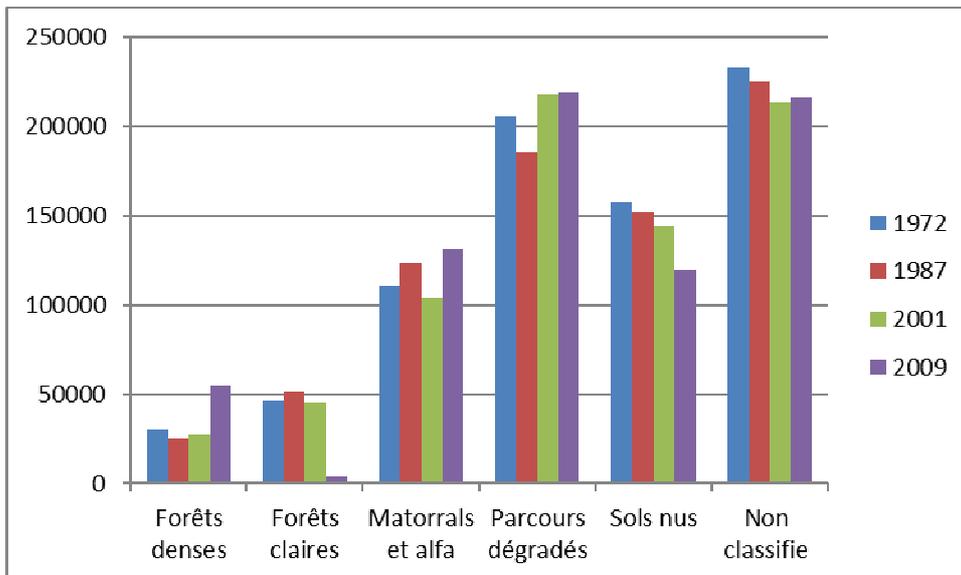


Figure 69. Evaluation des surfaces par classification supervisé (Vraisemblance).

Les deux méthodes présentent des superficies totales comparables dans l'ensemble, à l'exception de l'image de l'année 1972 qui présente une différence considérable entre les méthodes adoptées.

1.6. Synthèse des images satellites digitalisées

Image de l'année 1972

La digitalisation des surfaces forestières de l'image satellite de l'année 1972, représente une série des massifs forestiers distribuée sur le Monts de Ouled Nails. Dans la partie Nord-est se localise les forêts naturelle de Sahary occupant une superficie importante, la partie Sud-ouest engendre les séries de la forêt naturelle de Senalba Chergui et Gharbi et représentent le patrimoine forestier le plus important dans la région (Fig.70).

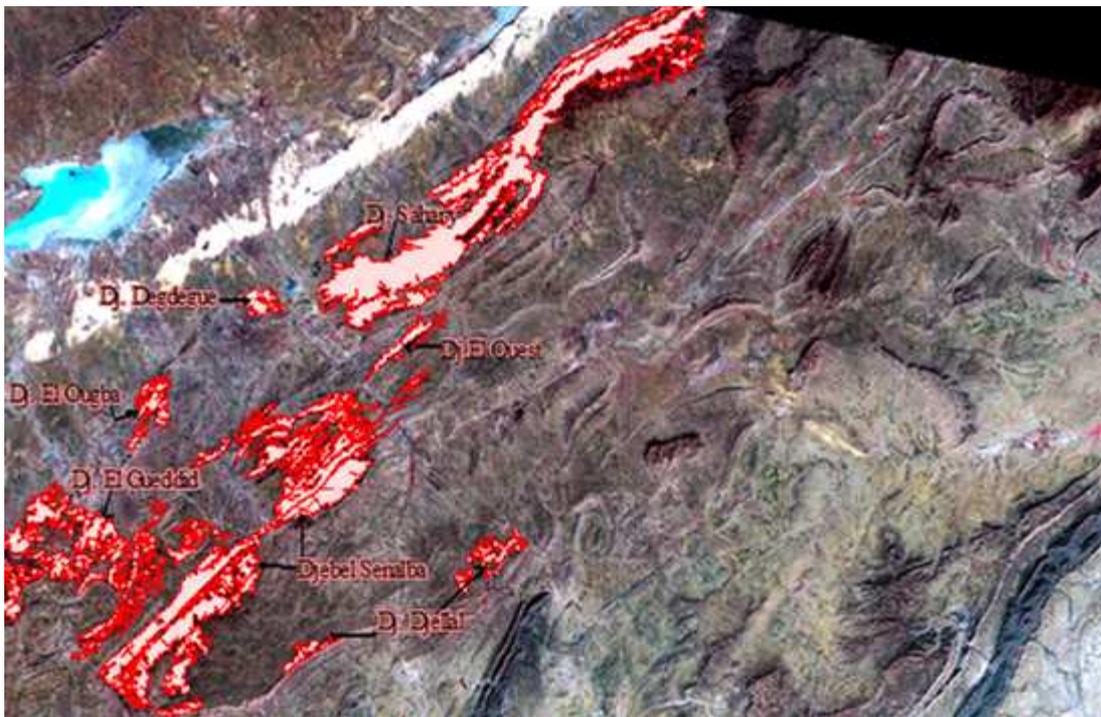


Figure 70. Présentation de l'image satellite digitalisée (1972).

Image de l'année 1987

L'image digitalisée de l'année 1987 se caractérise par les peuplements nouvellement installés, les projets de reboisements de Moudjbara et Sahary sont des exemples de la surface reboisée (Fig.71).

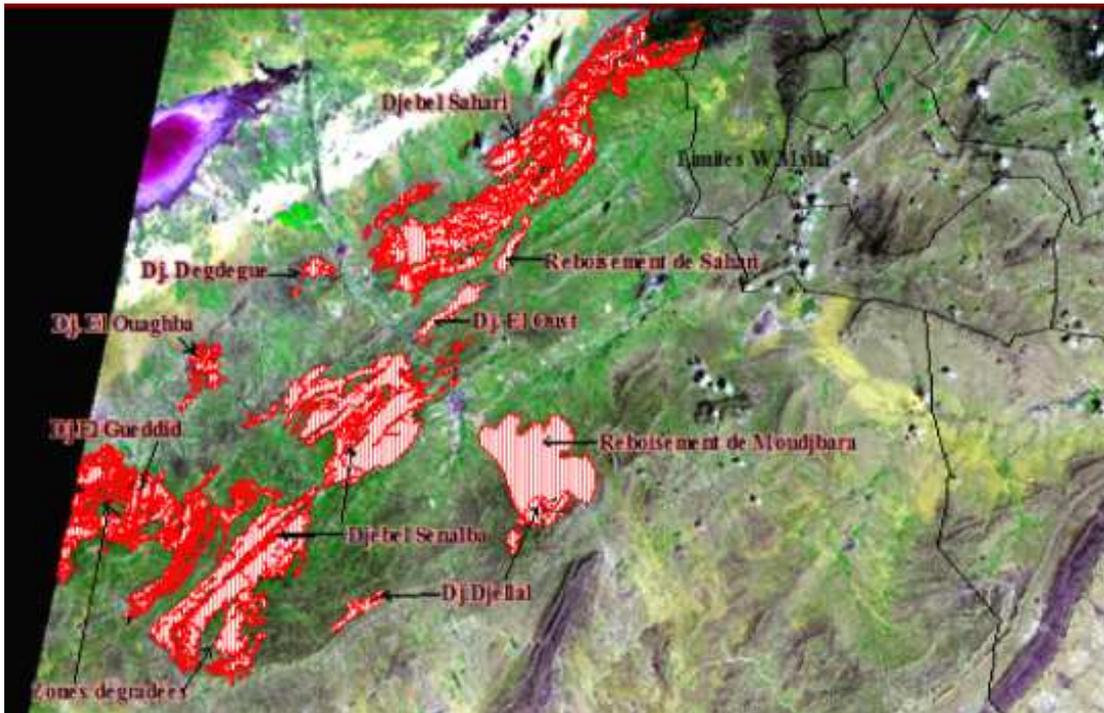


Figure 71. Présentation de l'image satellite digitalisée (1987).

Image de l'année 2001

Les surfaces digitalisées sur l'image de l'année 2001, représente clairement la régression de la surface du reboisement de Moudjbara, se qui reflète l'aspect dégradé de ce projet reboisé. Le massif forestier de Senalba Chergui présente des plages vides à l'intérieur, se qui traduit clairement l'état régressif de ces peuplements (Fig.72).

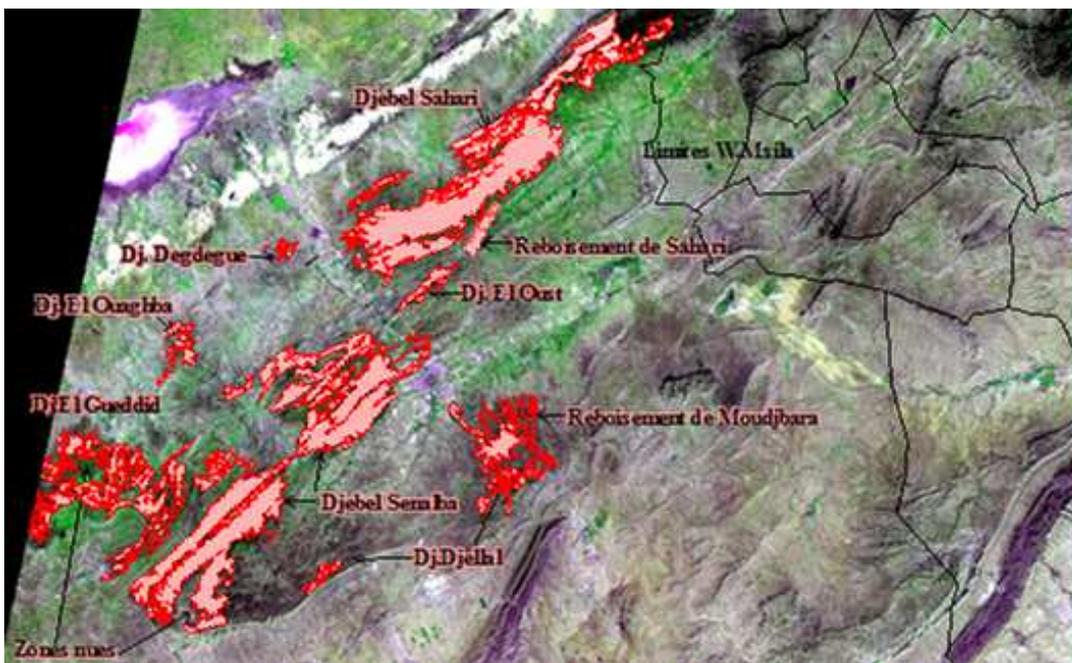


Figure 72. Présentation de l'image satellite digitalisée (2001).

Image de l'année 2009

L'image digitalisée de l'année 2009 caractérise un aspect dégradé qui se manifeste par des zones claires et des lacunes sur le territoire forestier régional (Fig.73)

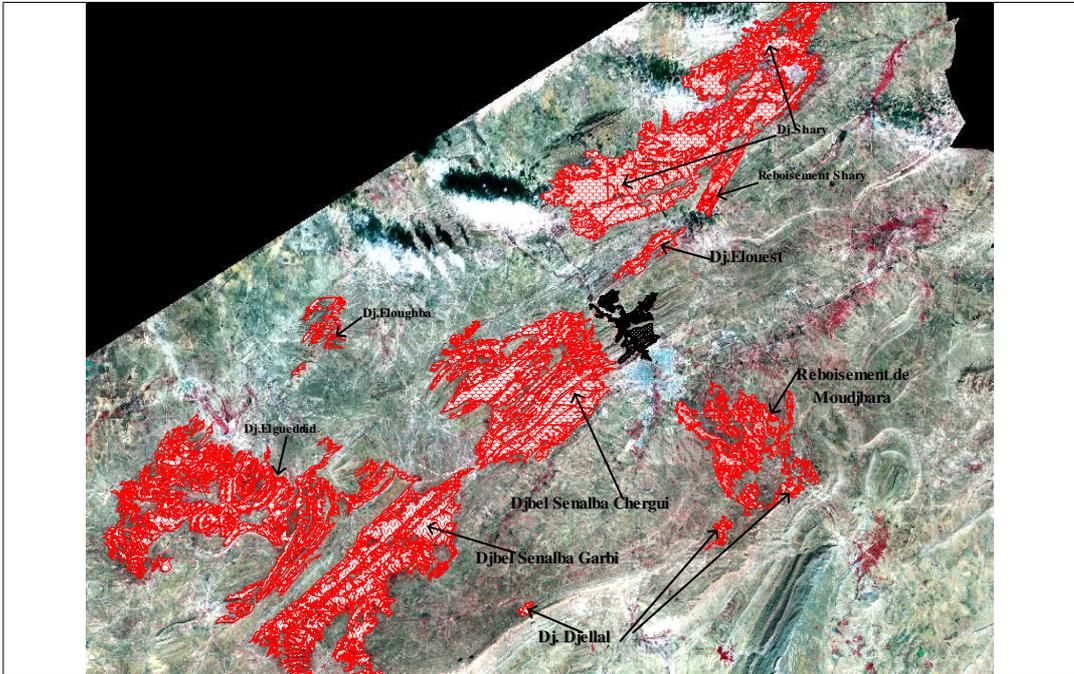


Figure 73. Présentation de l'image satellite digitalisée (2009).

2. Evaluation temporelle des surfaces forestières

Pour analyser cette dynamique des résultats sont obtenus à partir des digitalisations sur les images de la période considérée. Le calcul des superficies et le pourcentage des unités d'occupation du sol par les forêts sont présentées dans le tableau 27. Cette application sera finalisée par un diagramme présentant la chronologie du changement superficiel de ces formations forestières. Les résultats de surfaces des massifs digitalisés durant la période prise en considération (de 1972 à 2009) sont regroupés dans le tableau 35.

Tableau 35. Chronologie des surfaces forestières dans la région de Djelfa.

Unité d'occupation du sol	Occupation du sol en 1972		Occupation du sol en 1987		Occupation du sol en 2001		Occupation du sol en 2009	
	(S1)	%	(S2)	%	(S3)	%	(S4)	%
Dj Senalba Chergui	13180	24,17	13477,3	19,15	11263,15	19,08	10776,1	20,22
Dj Senalba Guarbi	12959	23,77	12838,8	18,24	12133	20,56	9572,98	17,97
Dj Sahary	16527	30,31	18516,7	26,30	20199,2	34,23	16782,1	31,49
Reboisement Sahary	-----	-----	780,3	1,11	808,4	1,37	789,14	1,48
Reboisement Moudjbara	-----	-----	9990	14,2	2498,5	4,23	2696,99	5,06
Dj Djellal Chergui	1250	2,3	1399	1,99	1042,4	1,77	822,9	1,54
Dj Djellal guarbi	550	1	660,6	0,9	398,5	0,67	90,99	0,2
Dj El Oust	1000	1,83	1175,3	1,67	810,9	1,37	540,6	1,01
Dj El Guedid	7589,9	13,92	10031,8	14,25	8863,8	15,02	10679,1	20,04
Dj El.Oughba	980,8	1,8	1012,3	1,44	796,9	1,35	483,33	0,9
Dj Degdegue	487,5	0,9	509,1	0,7	200	0,34	49,47	0,09
Total (ha)	54524,2		70391,2		59014,75		53283,7	
Equilibre écologique (%)	16,89%		21,80%		18,28%		16,50%	
Surface totale de la région de Djelfa : 322800 ha								

S1: Superficie en hectares durant l'année 1972 (S2; 1987, S3; 2001, S4; 2009).

%: Pourcentage de la surface unitaire par rapport à la surface forestière totale successivement en (1972, 1987, 2001 et 2009).

L'équilibre écologique est le rapport de la superficie du couvert forestier sur la superficie totale de la région. Un équilibre écologique normal doit être égal ou supérieur à 25%. D'emblée l'équilibre écologique calculé à un taux inférieur à 25% entre les années 1972 et 2009, néanmoins ce taux a progressé sensiblement entre 1972 et 1987. La régression successive de l'équilibre écologique entre les années 1987 et 2009 est due à la conjoncture marquée par un dépérissement causé par plusieurs facteurs.

Le résultat obtenu de la digitalisation du couvert forestier à différentes dates, montre une variabilité irrégulière des surfaces forestières. En 1972 la surface forestière calculée est de 54524,2 ha. Une augmentation de la surface forestière est marquée durant les années quatre-vingts, la remontée du couvert forestier durant cette période se traduit par l'installation des différents projets de reboisements, à Moudjbara, à Sahary et l'ensemble des travaux de plantations à l'intérieur des forêts naturelles de Senalba Chergui et de Sahary. A partir de l'année 1987 à 2009 nous assistons à une réduction de 17107,5 ha environ 25% de la surface forestière occupée en 1987. Cette régression de couvert forestier est justifiée par plusieurs facteurs le plus important est marqué par l'action combinée de sécheresse prolongée et l'attaque des insectes xylophages qui ont contribué à la dégradation des peuplements au cours du temps.

3. Exploration du changement des surfaces

L'évaluation des surfaces unitaires et totales durant la période allant de 1972 à 2009 est consignée dans le tableau 36.

Tableau 36. Différence des surfaces occupées par les différentes classes d'occupation du sol (1972-2009).

Unité d'occupation du sol	S2-S1 (ha)	S3-S2 (ha)	S4-S3 (ha)	S4-S1 (ha)
Dj Senalba Chergui	297,3	-2214,15	-487,05	-2403,9
Dj Senalba Guarbi	-120,2	-705,8	-2560,02	-3386,02
Dj Sahary	1989,7	1682,5	-3417,1	255,1
Reboisement Sahary	/	28,1	-19,26	789,14
Reboisement Moudjbara	/	-7491,5	198,49	2696,99
Dj Djellal Chergui	149	-356,6	-219,5	-427,1
Dj Djellal guarbi	110,6	-262,1	-307,51	-459,01
Dj El Ouest	175,3	-364,4	-270,3	-459,4
Dj El Guedid	2441,9	-1168	1815,3	3089,2
Dj El.Oughba	31,5	-215,4	-313,57	-497,47
Dj Degdegue	21,6	-309,1	-150,53	-438,03
Total des surfaces (Ha)	15867	-11376,45	-5731,05	-1240,5

S2-S1 : Différence de surfaces forestières entre 1987 et 1972 exprimé en hectares.

S3-S2 : Différence de surfaces forestières entre 2001 et 1987 exprimé en hectares.

S4-S3 : Différence de surfaces forestières entre 2009 et 2001 exprimé en hectares.

S4-S1 : Différence de surfaces forestières entre 2009 et 1972 exprimé en hectares.

La figure 74, illustre davantage les résultats des différences de surface au cours du temps

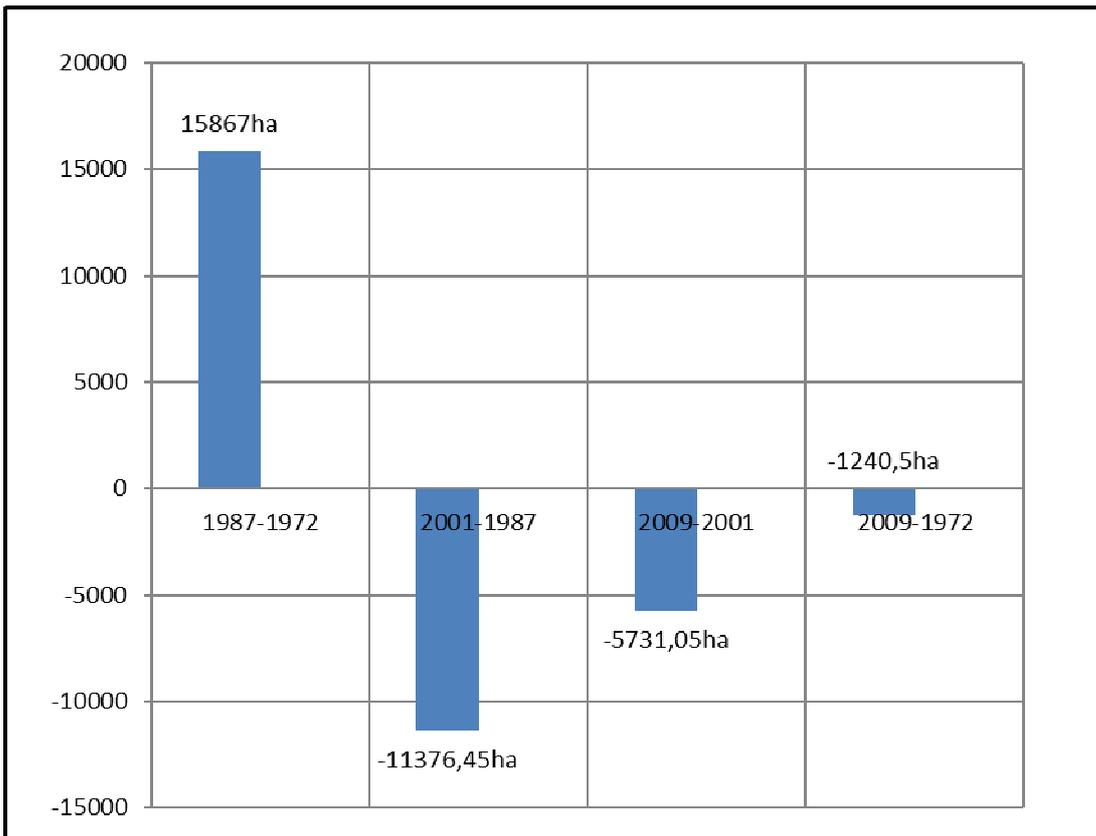


Figure 74 . Evaluation de changements en surface durant la priode (1972 à 2009).

Durant toute la période considéré allant de 1972 à 2009, deux phases évolutionnaires ont été remarquées. Entre 1987 et 1972 la progression est considérable ajustée par les projets de reboisements et le renouvellement du couvet forestier. La progression enregistrée en 1987 a subit un recul, dont la différence de surface enregistrée entre 1987 et 2001 présente une diminution significative de surface. Cette régression s'élève à un chiffre de 11376.45ha. La régression est plus conséquente jusqu'au 2009 avec une valeur de différence de 5731.05ha

Le taux annuel de la déforestation calculé sur la base des résultats des surfaces chronologiques est : $(14901,36/54524,2)/37*100= 0,73\%$.

4. Comparaison des foyers dépéris dans la forêt naturelle de Senalba Chergui (2001 et 2009)

L'analyse cartographique des foyers dépéris présenté par la figure 75 illustre une présentation comparative du massif de Senalba chergui entre 2001 et 2009, représentant les foyers les plus concernés par le déclin.

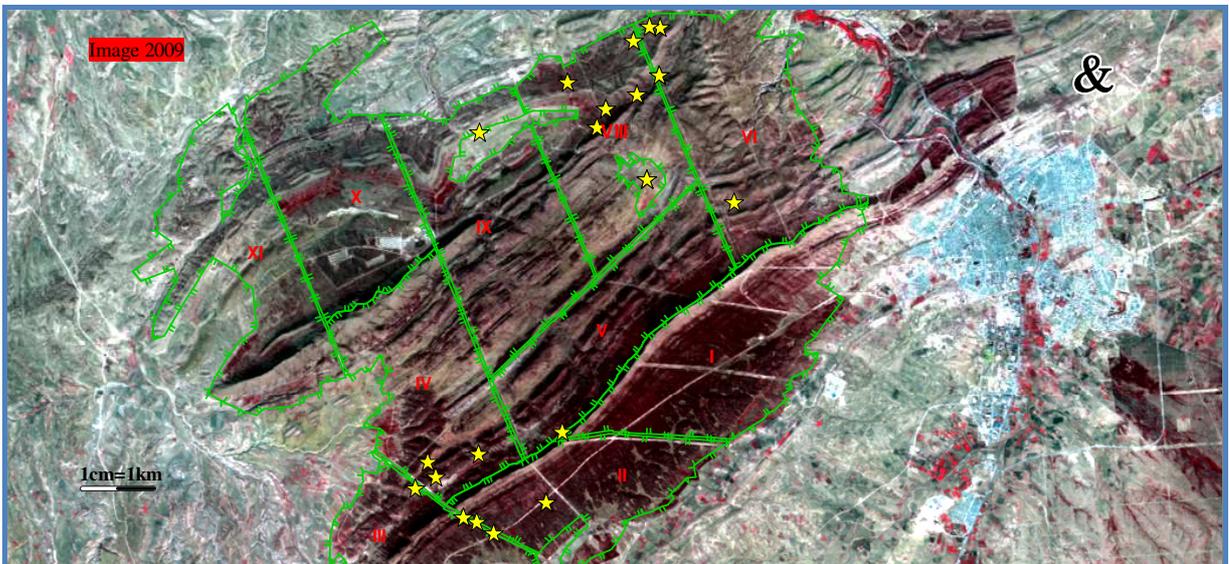
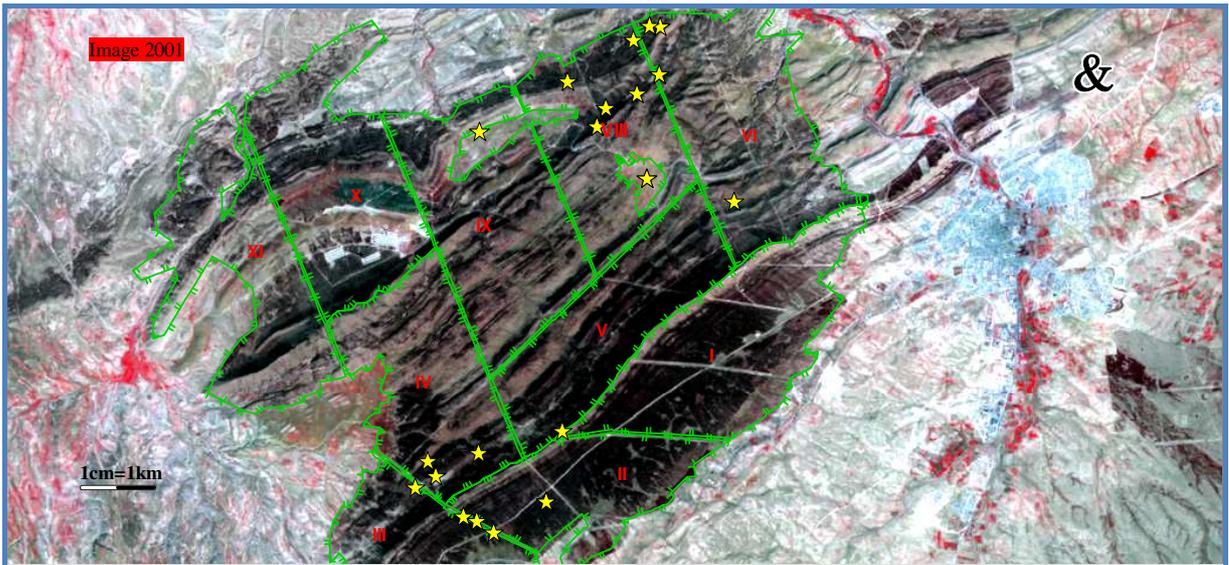


Figure 75. Présentation comparative des images satellites illustrant les foyers les plus déprés dans la forêt de Senalba Chergui (2001 et 2009).

Ces deux documents de synthèse englobent les foyers déprés représentés par des relevés des coordonnées géographiques.

5. Indice de végétation normalisé entre 1972 et 2009

L'importance de l'indice de végétation (NDVI) dans notre étude est de sélectionner les meilleures bandes spectrales d'une part, et d'augmenter le contraste sol-végétation d'autre part. Les figures 76 et 77 présentent les résultats de l'NDVI.

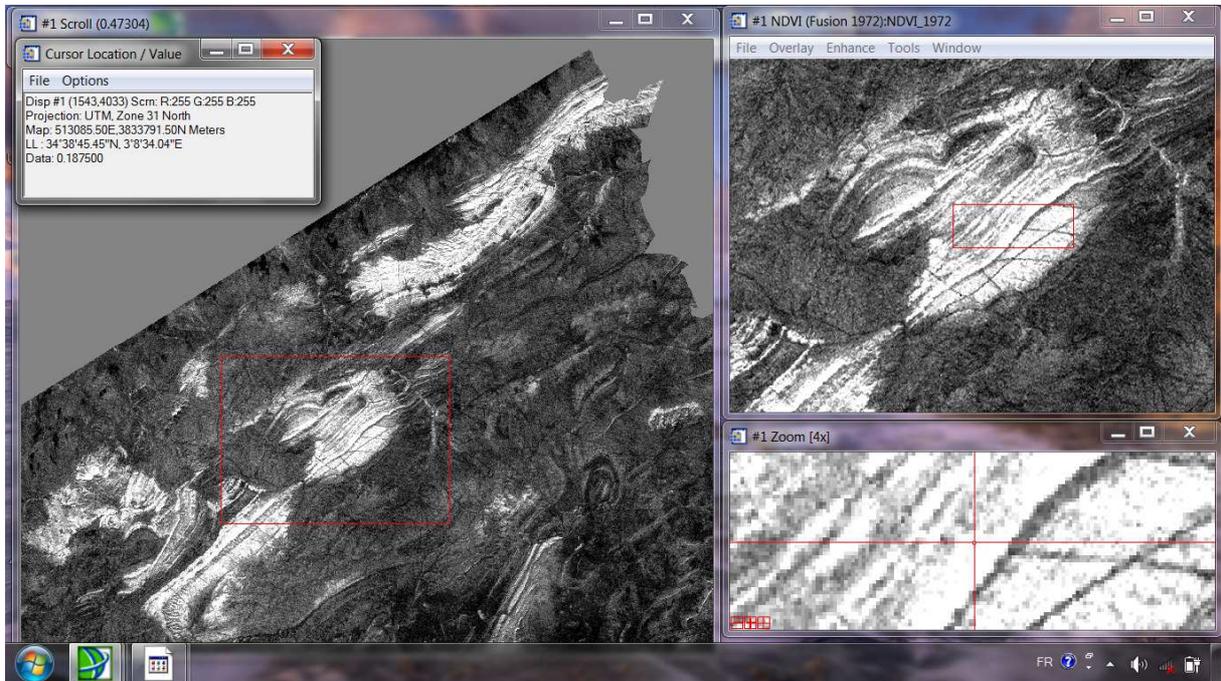


Figure 80. Présentation de l' NDVI sur image de l'année 1972.

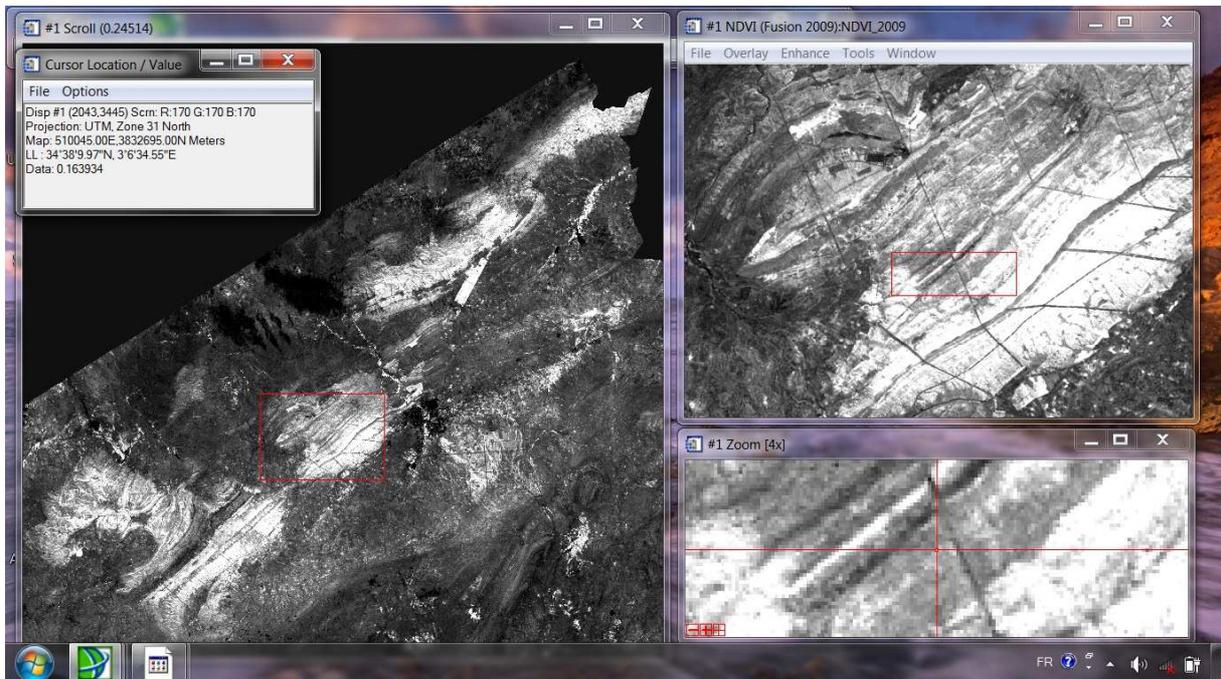


Figure 76. Présentation de l'NDVI de l'image satellite de l'année 2009.

L'application de l'indice de végétation sur la totalité des surfaces forestières des images satellites de l'année 1972 et 2009 met en évidence la présentation du couvert forestier par la coloration blanche.

Cette indice réduit les effets d'éclairage ou de pente sur la réflectance des couverts végétaux (Bonn, 1996; Lau, 1997) et permet de mieux séparer la végétation (forêts, cultures) des sols nus et des surfaces urbanisées.

5.1. Indice de végétation NDVI_1987

Les nuages, l'eau et la neige ont un indice de réflexion plus élevé dans le visible que dans le proche infrarouge, si bien que ces surfaces ont un faible NDVI. Les roches et le sol nu ont elles-aussi des indices de réflexion proches de zéro. Dans les zones avec végétation l'NDVI est plus élevé et varie en moyenne entre 0,8 et 1. Les valeurs les plus élevées sont associées à une forte densité de feuillage des plantes.

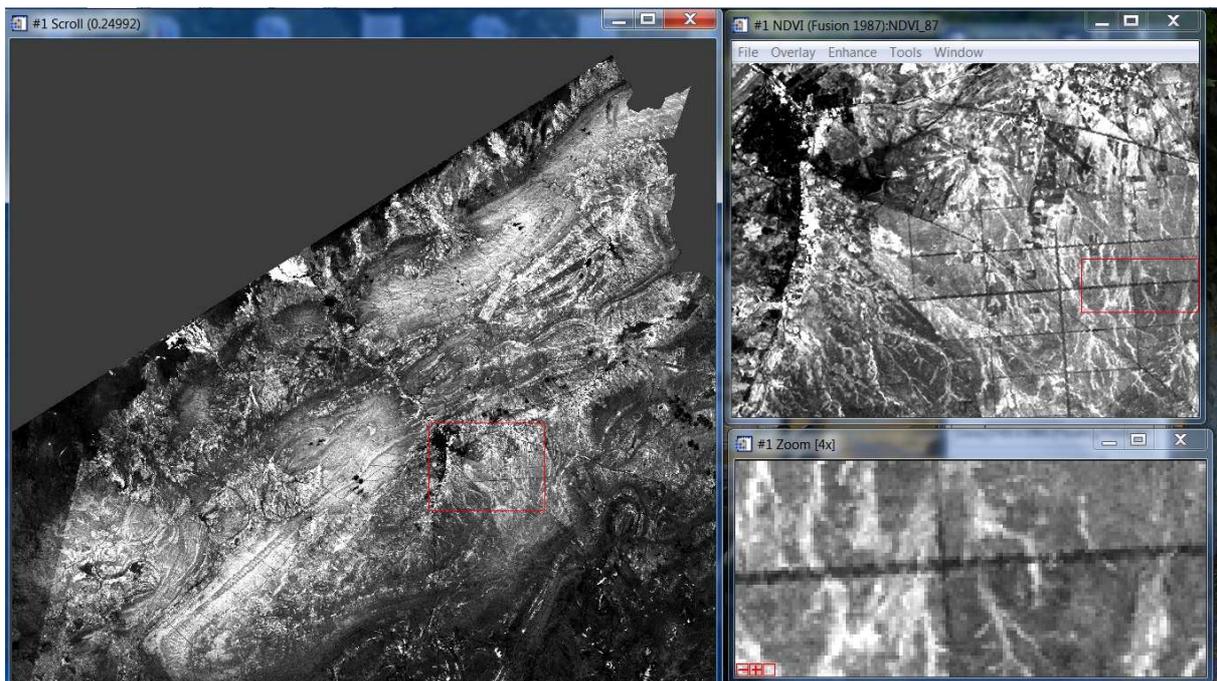


Figure 77. Présentation de l' NDVI de l'image de l'année 1987.

Cette exposition comparative entre les NDVI est appliquée sur les images des années (1972, 1987 et 2009). Les images normalisées et transférées en NDVI sont géographiquement superposées se qui aboutit à une bonne comparaison qui se base sur la coloration noire et blanche qui indiquent la présence ou l'absence de la végétation.

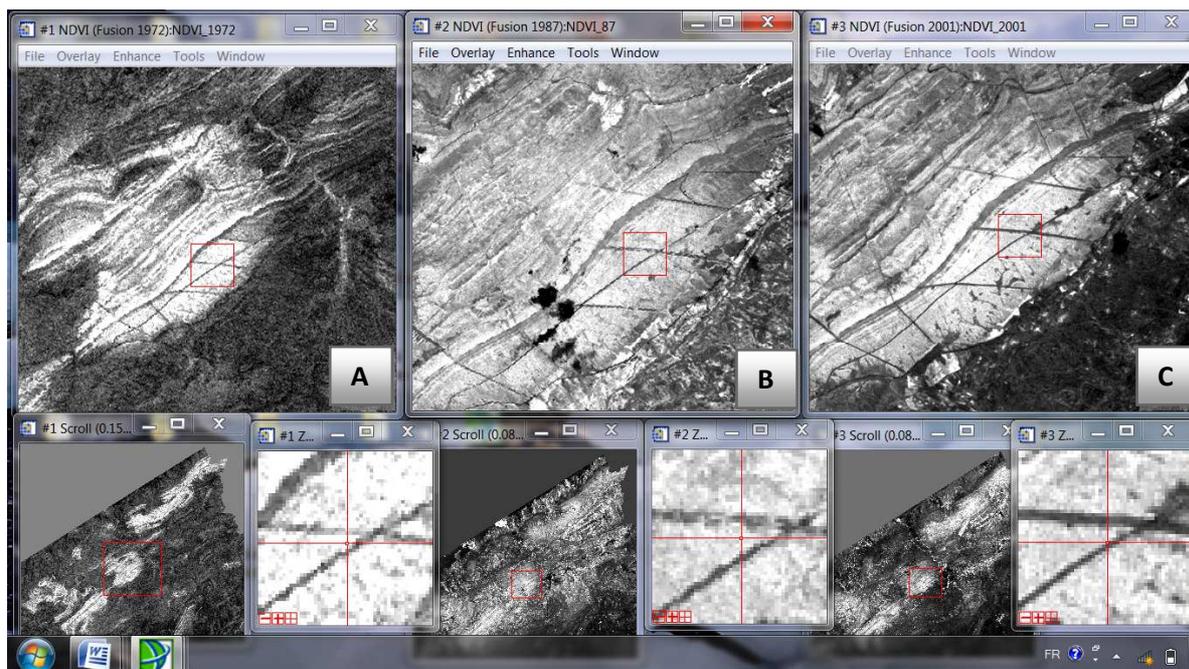


Figure 78. NDVI des images ETM 1972 (A), TM 1987 (B) et ETM+ 2001 (C).

La couleur blanche dans un trame de coloration du clair vers le foncé depuis l'année 1972 à 2009 montre des valeurs radiométriques variable de -1 à 1 (Fig.77 et 78). Se qui traduit une évaluation variable des couverts forestiers durant la période concernée. L'état observé est un révélateur d'une régression de la couverture forestière et végétale entre les deux dates A et C. Le noir et les nuances de gris sont des couleurs définissent les surfaces où le couvert végétal est absent. Cette approche met en évidence un état inquiétant du couvert végétal et tout particulièrement dans la partie nord et Sud-Ouest de la forêt de Senalba Chergui.

6. Application de l'NDVI sur la forêt de Senalba Chergui

Sur la zone d'intérêt l'NDVI appliqué présente une forte biomasse des formations forestières et des végétaux steppiques en 1972 (réflectance importante). Les valeurs radiométriques des parcours steppiques et des peuplements forestiers en (RGB) respectivement sont de 224 et 90 pour les années 1972 et 2009. En 2009 le couvert végétal a perdu 60% de sa biomasse enregistré en 1972, se qui traduit un faible couvert forestier d'une dégradation conséquente (Fig.79).

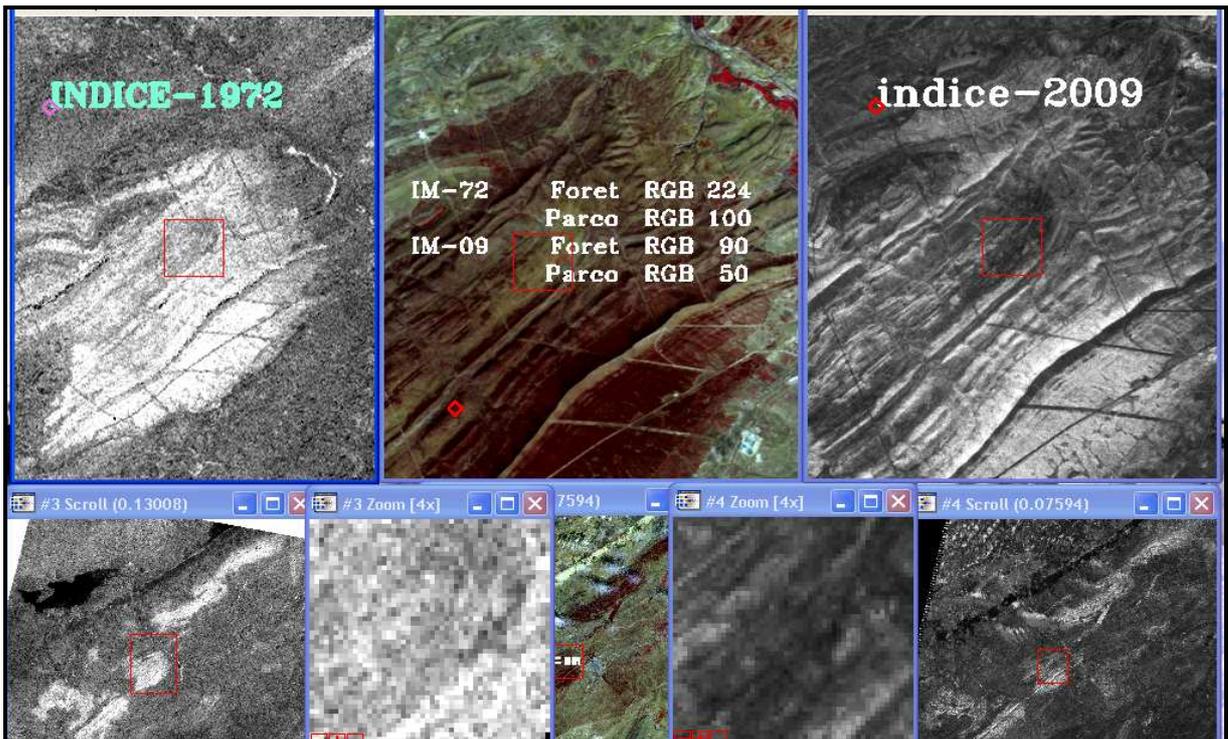


Figure 79. Présentation comparative de la forêt naturelle de Senalba Chergui entre 1972 et 2009, par le calcul de NDVI

Une autre zone a été choisie en partie Nord-est, l'NDVI appliqué est basée sur la table colorée. Le vert clair au blanc correspond à la forte activité chlorophyllienne, Le vert foncé au noir correspond aux sols nus, urbain, chott, eau. (Fig.80)

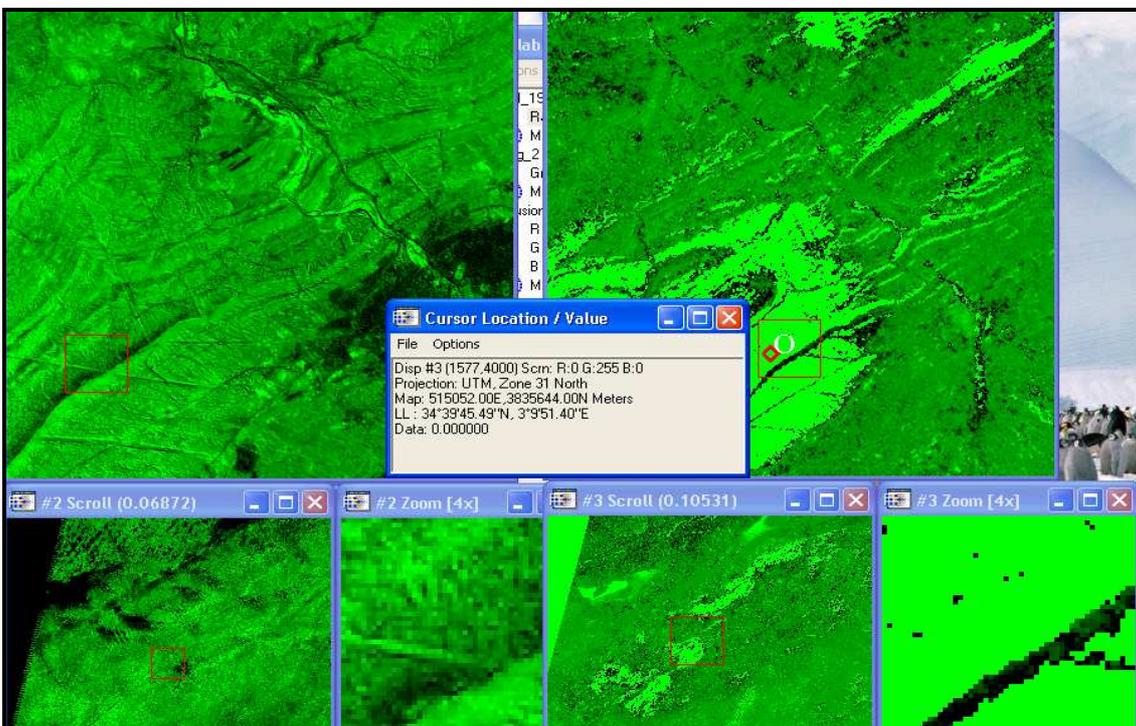


Figure 80. Contrôle de (RGB) sur l'image 2009 (Forêt de Senalba Chergui).

Les indices de végétation appliquée sur les deux images de 1972 et 2009 au niveau du même point « O » dans la forêt naturelle de Senalba Chergui, est déterminé par les coordonnées géographiques (34°39'45.49''N, 3°9'51.40''E). Le point O introduit sur les deux images superposable relève des chiffres très différents dans les valeurs radiométriques (compte numérique).

Image 1972	R 0 - G 255 - B 0	} Ce qui montre un niveau de régression de la
Image 2009	R 0 - G 138 - B 0	

CHAPITRE II : Diversité des espèces de scolytes identifiées et leur importance

1. Analyse qualitative

Les espèces de scolytes répertoriées dans les peuplements prospectés sont présentées dans le tableau 37. Il est connu que les scolytes sont surtout inféodés aux résineux qui souffrent régulièrement de leur pullulation.

Tableau 37. Biodiversité et répartition des espèces de scolytes sur *Pinus halepensis* Mill.

Espèces	Organes attaqués			
	Racines	Tronc		Jeunes pousses
		Ecorce épaisse	Ecorce fine	
<i>Tomicus destruens</i> L.		+		+
<i>Orthotomicus proximus</i> E.		+	+	
<i>Orthotomicus erosus</i> W.		+	+	
<i>Crypturgus numidicus</i> F.		+		
<i>Crypturgus mediterraneus</i> E.		+		
<i>Crypturgus cribrellus</i> R.		+		
<i>Pityogenes bidentatus</i>			+	
<i>Hylurgus ligniperda</i> F.	+			
<i>Hylurgus micklitzi</i> W.	+			
<i>Hylastes apacus</i> E.	+			
<i>Hylastes cunicularius</i> E.	+			

2. Présentation et importance des espèces identifiées

2.1. *Tomicus destruens*

Les espèces appartenant au genre *Tomicus* sont classées parmi les ravageurs primaires dont on sait qu'elles attaquent des sujets en pleine vitalité (Chararas, 1962). De plus ce groupe d'insectes peuvent être secondaires lorsqu'ils sont sous corticale (Dajoz, 1980). Les espèces du genre *Tomicus* peuvent se reproduire en masse sur les arbres affaiblis par 5 années de déficit pluviométrique (DSF, 2008). Les températures conditionnent les populations chez le groupe de l'Hylésine qui possède une meilleure survie à 20°C (Horn, 2006).

Les espèces de *Tomicus* sont réparties dans toutes les régions paléarctique asiatiques, et certaines régions de l'Afrique du Nord, elles sont introduites en Amérique du Nord (Joly, 1975). En Algérie l'espèce *Tomicus destruens* se localise en zone sub humide sur *Pinus pinaster* et sur *Pinus halpensis* en zones semi-arides. (Fig. 81). C'est une espèce qui possède deux synonymies génériques *Blastophagus* et *Myelophilus* (Balachowsky, 1949). L'espèce est souvent confondue avec l'espèce voisine *Tomicus piniperda* qui reste la plus inféodée aux pinèdes en Europe et Amérique du nord, elle se développe dans les régions tempérées et nordiques, tandis que *T. destruens* se localise essentiellement dans des zones plus chaudes et sèches de la région méditerranéenne (Gallego *et al.*, 2004). La différence entre ces deux espèces est basée sur la couleur des masses antennaires des adultes, chez *T. pineperda*, la couleur de la masse antennaire est marron par contre chez le *T. destruens* elle possède une couleur rouge-jaune (Pfeffer, 1995). Très récemment la séparation des deux espèces a été effectuée sur la base de la structure génétique (Gallego et Gallian, 2001, Kolmojr *et al.*, 2002). Ce groupe d'insectes provoque des dégâts considérables sur les jeunes plantations au cours de leur phase nutritionnelle.



Figure 81. *Tomicus destruens* Woll (Original)

Le développement de l'espèce de *Tomicus destruens* se déroule dans des galeries creusées par les adultes et larves, ces galeries sont forées dans l'écorce ou au niveau du liber (Fig.83). Sur les arbres attequés ou dépérissants l'écorce présente de nombreux trous, au niveau desquels s'échappe la sciure (Ben jamâa, 2007). La figure 82 illustre l'écoulement de la résine.



Figure 82. Ecoulement de la résine correspond au trou d'entrée de l'insecte (Original).



Figure 83. Galeries maternelles et l'ensemble des tracés larvaires sur tronc et l'aubier (Original).

2.2. *Orthotomicus erosus*

Les espèces appartenant à ce genre, *Orthotomicus erosus* et *Orthotomicus proximus* sont moins redoutables que *T. destruens* puisqu'elles se développent particulièrement aux dépens d'arbres affaiblis. Notons que l'état physiologique des pins âgés offre un milieu favorable à la multiplication des espèces du genre *Orthotomicus* (Chakali, 1992). Néanmoins, avec de fortes densités elles deviennent menaçantes par le comportement de l'effet de groupe. L'espèce *Orthotomicus erosus* est facilement reconnaissable grâce au deuxième denticule très large de forme triangulaire au niveau de la déclivité élytrale (Fig.84). Elle est beaucoup plus développée que les autres, de même la forme largement recourbée de la massue antennaire qui caractérise l'espèce. Les vols de *O. erosus* ont lieu lorsque les températures atteignent 14°C et 10°C pour l'espèce de *Tomicus destruens* (Ben djemââ, 2007). Cette espèce évolue sur les pins de l'Europe centrale et méridionale y compris la région méditerranéenne où elle pullule dans les forêts et les bois de conifères. Elle se rencontre sur *Pinus halpensis* et *P. pinaster*, *P. sylvestris*, *P. leucodermi* et *P. lance*. Son hôte préférable est le pin maritime (Balachowsky, 1949).



Figure 84. *Orthotomicus erosus* Woll.

(Original)

2.3. *Pityogenes bidentatus*

Ce groupe d'insectes ne dépasse pas trois millimètres (Fig.85), il colonise les branches de pins à écorce fine. L'espèce de *Pityogenes bidentatus* se caractérise par deux dents développées au niveau de la déclivité élytrale et possède une caractéristique sur la forme des galeries qu'elle confectionne en étoile (Balachowsky, 1949).



Figure 85. *Pityogenes bidentatus* (Original)

L'espèce *Pityogenes bidentatus* a été récoltée à partir des branches de petites dimensions sous les écorces fines des rameaux et des branches des arbres en difficulté physiologique.

2.4. Le genre *Crypturgus*

Le genre *Crypturgus* est représenté par les espèces sympatriques voisines *Crypturgus numidicus* et *Crypturgus mediteranus* (Fig.86), la deuxième espèce est moins fréquente que la première et se distingue de la précédente par un corselet plus long que large à côtés parallèles au-delà du milieu, puis progressivement rejeté en forme trapézoïdale en avant (Balachowsky, 1949).



Figure 86. *Crypturgus numidicus* F.

2.5. Le genre *Hylurgus* et *Hylastes*

A la base des troncs et au niveau des racines des pins dépéris quatre espèces ont été récoltées. Il s'agit d'*Hylurgus ligniiperda* et *Hylurgus micklitzi* qui vivent sympathiquement avec les espèces *Hylastes cunicularius* et *Hylastes opacus* (Fig.87).



Figure 87. Récolte des espèces racinaires dans les massifs de Senalba Chergui.



Figure 88. *Hylurgus ligniperda* F

(Original)

Les espèces répertoriées forent des galeries de différentes formes sur l'écorce et l'aubier. Des exemples de galeries imprimées par la colonisation des espèces des scolytes sont présentés sur la figure (89).



Figure 89. Empreintes laissées sur les écorces par diverses espèces de scolytes.

2. Analyse quantitative

2.1. Répartition de l'espèce de *Pityogenes bidentatus*

Les résultats de mesures et de quantifications effectuées sur les différents paramètres de l'hôte (diamètre et épaisseur de l'écorce) et de l'insecte (Densité d'attaque et longueurs des galeries) sont représentés en annexe (Tab.3 et 4).

L'analyse de la distribution de cette population en fonction de diamètre des rondins est représentée dans le graphique de la figure 90.

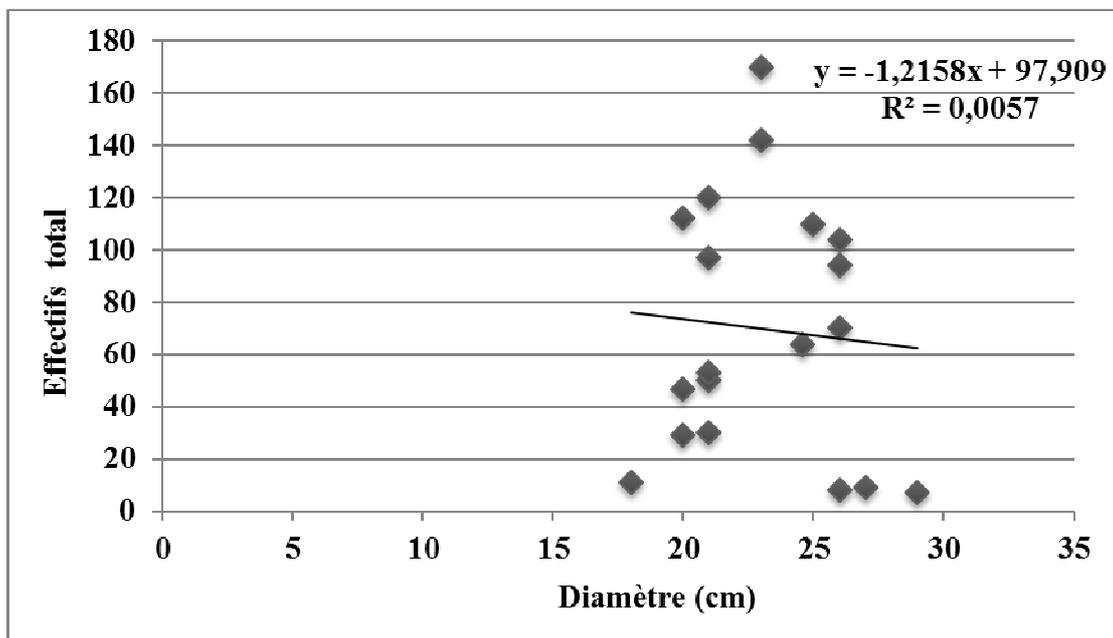


Figure 90. Répartition du nombre total des individus de *Pityogenes bidentatus* en fonction du diamètre des rondins.

L'analyse de la distribution des effectifs en fonction de diamètre des rondins est représentée dans le graphique de la figure 91.

La population de *Pityogenes bidentatus* dénombrée a une distribution variable en fonction de l'épaisseur de l'écorce et de diamètre de rondin. Le nombre total des individus est conséquent à des diamètres de rondins variables entre 20 et 27cm, atteint 170 individus pour 22,5 cm de diamètre (Fig.92).

Les effectifs sont plus faibles lorsque le diamètre des rondins est inférieur à 20cm, et ont tendance à diminuer lorsque le diamètre est supérieur à 27cm.

Pour l'épaisseur de l'écorce et à 1 mm d'épaisseur, l'effectif atteint une valeur maximale environ 50 individus par rondin de 1 mètre. De 1 à 1,5mm d'épaisseur, le nombre total des individus de *Pityogenes bidentatus* varie de 25 à 120 individus. Pour une épaisseur autour de 2 mm les effectifs démontrés sont très variables allant de 5 à 170 individus par rondins. A partir de 2,5 mm d'épaisseur le nombre d'individus a tendance à diminuer. L'espèce recherche les sujets d'une épaisseur comprise entre 1 et 2 mm.

L'espèce recherche les sujets d'une épaisseur comprise entre 1 et 2 mm.

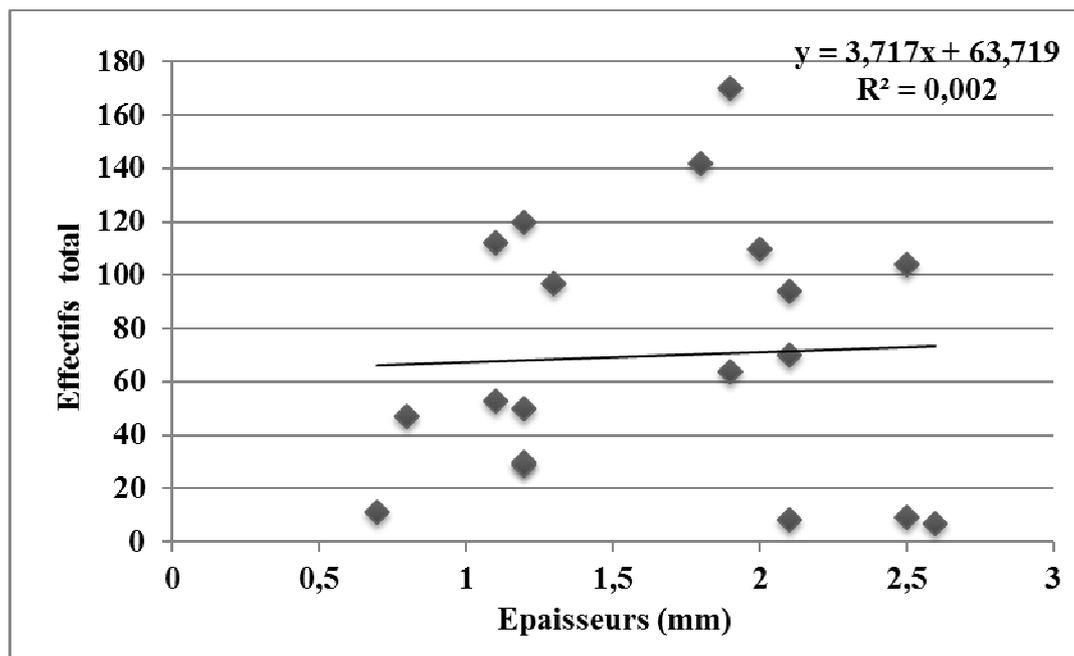


Figure 91. Répartition du nombre total du *Pityogenes bidentatus* en fonction de l'épaisseur de l'écorce.

2.2 Répartition de l'espèce de *Tomicus destruens*

L'espèce de *Tomicus destruens* présente une distribution irrégulière en fonction du diamètre des rondins mesurés (Fig. 92). Lorsque le diamètre des troncs est inférieur à 20 cm la densité d'attaque varie entre 50 et 200 individus par mètre carré. De 20 à 30 cm de diamètre, la population atteint une importante densité d'attaque, elle est de 180 individus par mètre carré. De 30 à 40 cm, la population de *Tomicus destruens* atteint la valeur de 200 individus. Au-delà de 40 cm de diamètre l'espèce a tendance à diminuer.

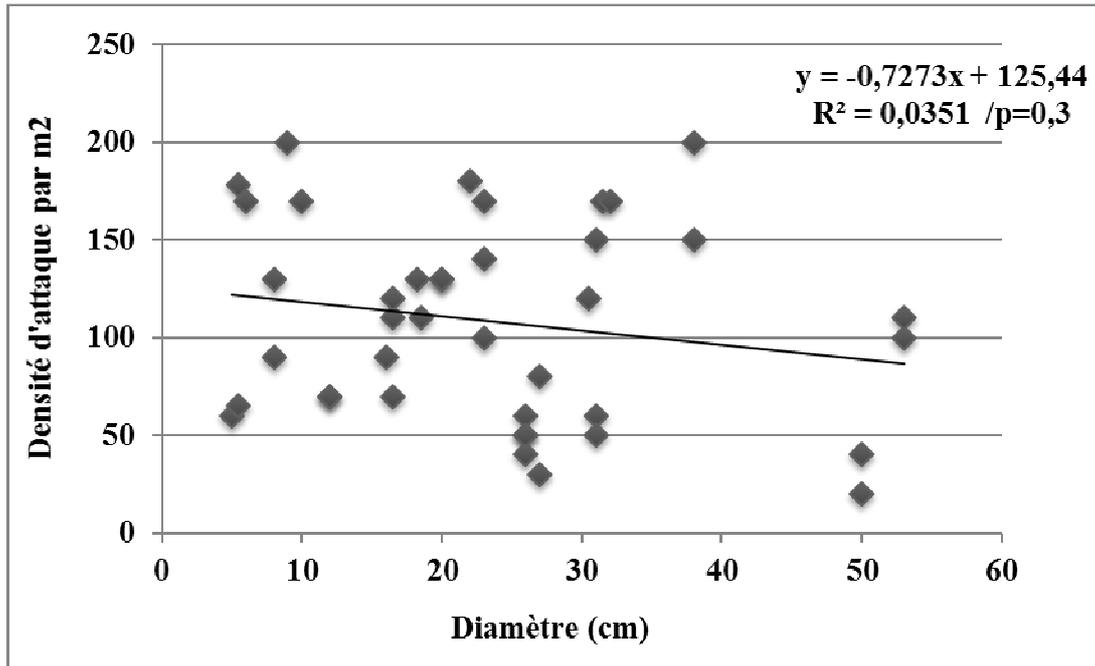


Figure 92. Répartition du nombre total des individus de *Tomicus destruens* en fonction du diamètre du rondin.

Les populations de *Tomicus destruens* se concentrent d'avantage dans la classe de diamètre de 15 à 30 centimètres. Malgré cette répartition, la probabilité calculée ne montre pas une signification.

L'espèce de *Tomicus destruens* à une distribution variable en fonction de l'épaisseur de l'écorce des sujets attaqués (Fig. 93). La densité d'attaque varie entre 50 et 200 individus par mètre carré pour la classe d'épaisseur inférieure à 1 centimètre. Entre 2 et 3 centimètres d'épaisseur, la population dénombrée reste conséquente. Au-delà de 3 cm d'épaisseur, le nombre des individus de *Tomicus destruens* est plus limité. Contrairement au diamètre, l'épaisseur de l'écorce joue un rôle de prédilection pour l'installation de l'espèce en question (p= 0,0008).

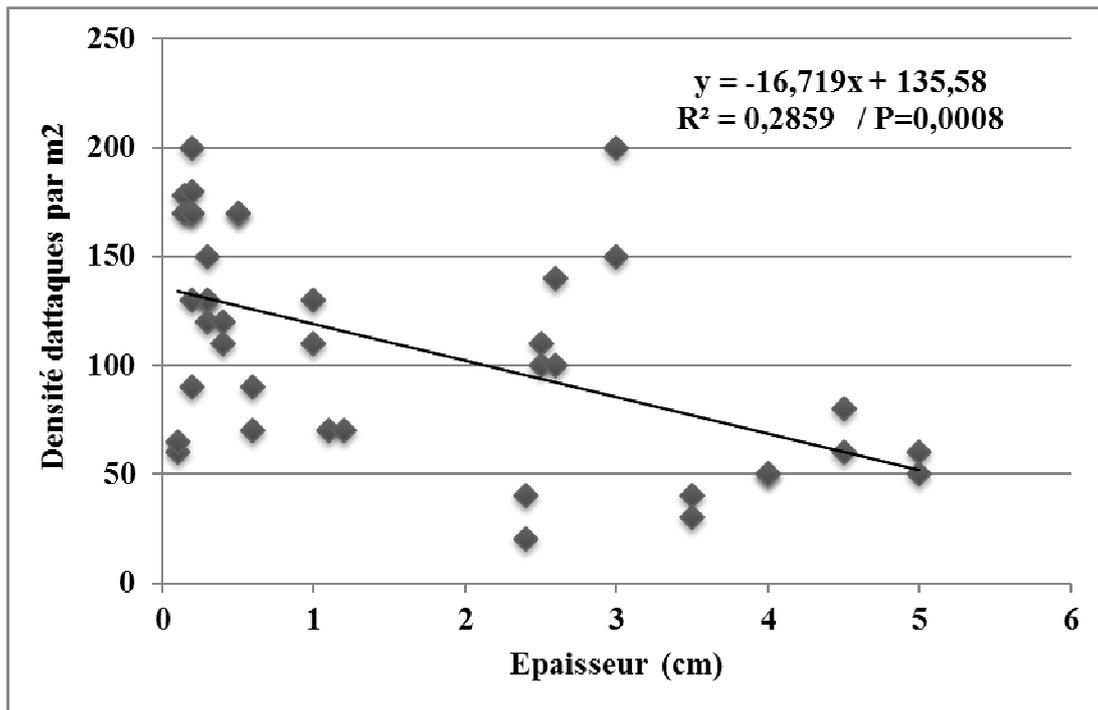


Figure 93. Répartition du nombre total des individus du *Tomicus destruens* en fonction de l'épaisseur de l'écorce.

- **Longueurs des galeries de reproduction de l'espèce de *Tomicus destruens***

Les résultats de calculs des moyennes des longueurs des galeries de reproduction à l'exposition nord et sud de l'arbre, à 1 et à 4 mètres de hauteur sont reportés dans les figure 94-102.

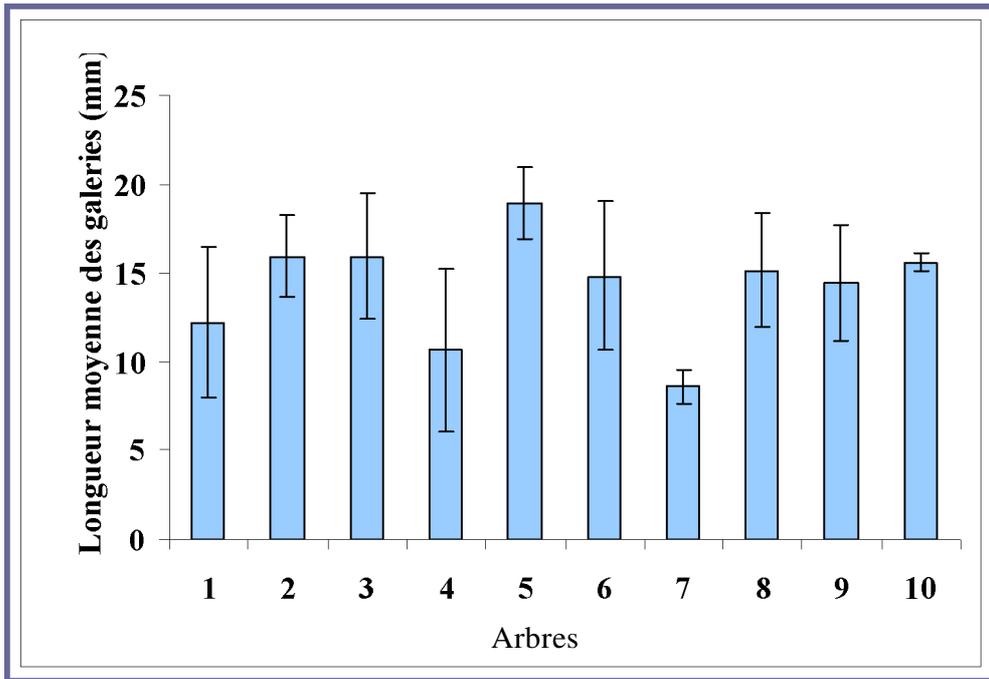


Figure 94. Longueurs moyennes des galeries à 1 mètre de hauteur de l'arbre (exposition Nord).

A 4 mètres de hauteur, les moyennes des longueurs des galeries calculées pour les dix arbres varient de 9,7 cm à 15,9 cm avec des écarts types variables de 2 à 7cm (Fig.95).

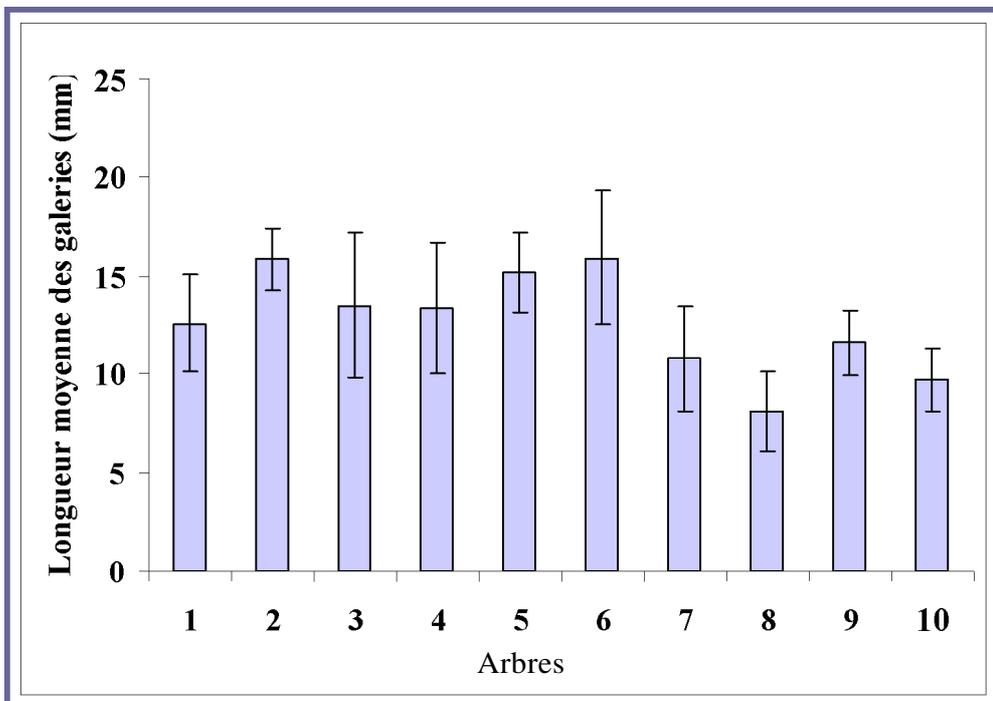


Figure 95. Variabilité des moyennes des longueurs des galeries à 4 mètres de hauteur

de l'arbre (exposition Nord).

A partir de 4 mètres, les longueurs des galeries ont tendance à se limiter relativement à celle mesurées à 1 mètre de hauteur de l'arbre. Vraisemblablement la morphologie de l'arbre joue un rôle important sur la distribution et la dynamique de la colonisation de l'arbre hôte. Ceci rentre dans la stratégie d'occupation et de répartition de la population des espèces du genre *Tomicus*.

Si nous considérons, l'exposition Sud de l'arbre, à 1 mètre de hauteur, les arbres examinés présentent des longueurs moyennes des galeries variables de 8 à 19 cm (Fig.96). Les écarts types varient de 1 à 6,47cm respectivement pour les arbres 8 et 5.

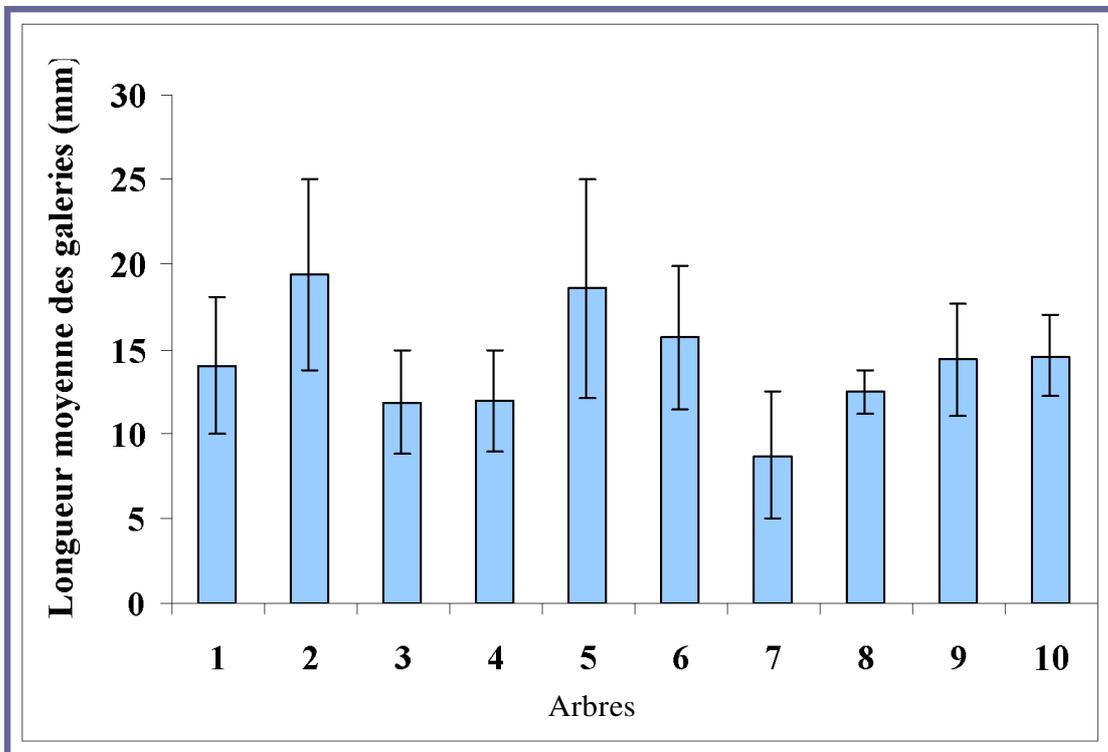


Figure 96. Longueurs moyennes des galeries a 1mètre d'hauteur (exposition sud).

Les moyennes des longueurs des galeries de reproduction sont relativement plus importantes à l'exposition Nord de l'arbre.

A 4 mètres d'hauteur, les moyennes calculées sont variables allant de 7,4 à 14,1 cm (Fig.97).

A l'exposition Sud, les longueurs moyennes des galeries confectionnées à 1 mètre sont plus importantes, les femelles ont tendance à effectuer des galeries plus complètes au premier mètre qu'à quatre mètres. La hauteur de l'arbre rentre dans le choix des femelles pour pondre leurs œufs.

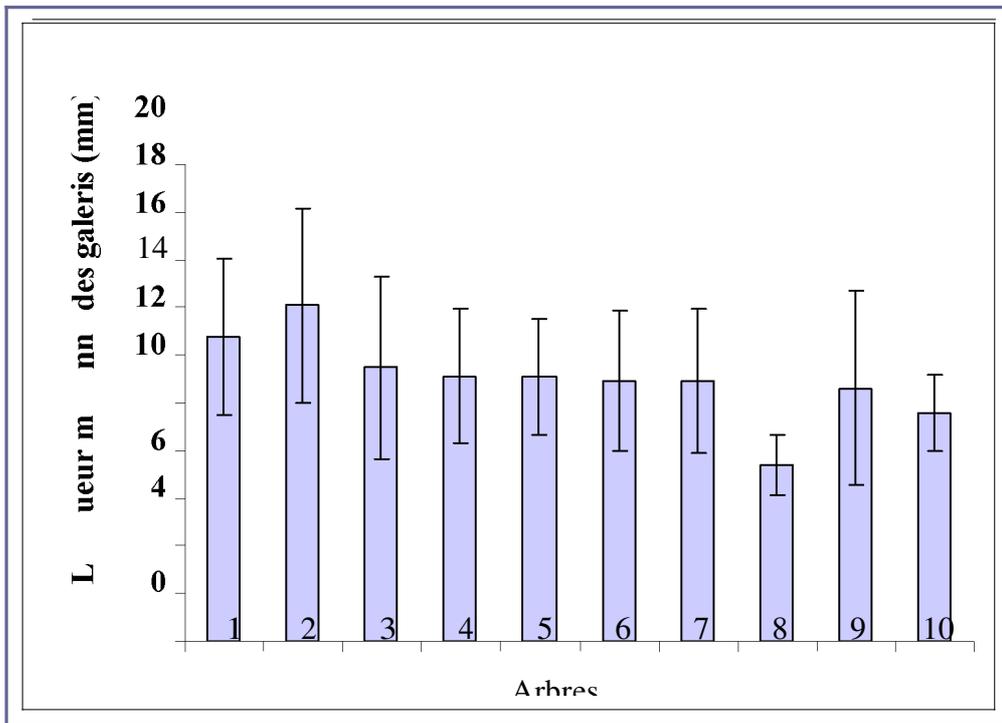


Figure 97. Variabilité des moyennes des longueurs des galeries à 4 mètre de hauteur de l'arbre (Exposition sud).

3. Importance des dégâts

Dans le cadre de l'assainissement vis-à-vis des scolytes et particulièrement à l'espèce *Tomicus destruens*, les pertes de 1999 à 2010 ont été évaluées et présentées dans le tableau 38, et les données de base ont été recueillies des fiches de martelage de la conservation des forêts de la région de Djelfa. La série sept à l'intérieur de la forêt de Senalba Chergui n'a pas subi de travaux d'assainissement.

Tableau 38. Volume du bois exploité dans le cadre d'assainissement contre les scolytes à Senalba chergui (1999- 2010).

Années	Bois d'industrie (m3)	Bois de chauffage (stères)	Volumes (m3)
1999	465	133	558,1
2000	505	228.5	664,95
2001	0	0	0
2002	61	228.5	220.95
2003	314	1021.5	1029.05
2004	278.86	839.31	866.377
2005	275.94	10743.69	7796.523
2006	45.2	289.5	247.85
2007	0	517	361.9
2008	0	200	140
2009	200	0	200
2010	0	0	0
Total	2145	14201	12085.7

Le même bilan a été effectué sur la totalité des surfaces forestières de la région de Djelfa, les résultats des assainissements sont présentés dans le tableau 39.

Tableau 39. Volume du bois exploité dans le cadre d'assainissement contre les scolytes dans les massifs forestiers de Djelfa (1999- 2010).

Année	Bois d'industrie (m3)	Bois de chauffage (stères)	Volume (m3)
1999	1367	1004	2069,8
2000	14	1384	2401,8
2001	0	0	0
2002	61	228,5	220,95
2003	779	2351,5	2425,05
2004	791,86	2526,31	2560,277
2005	331,94	10857,19	7931,973
2006	151,2	19289	13653,5
2007	0	13717	9601,9
2008	0	7879	5515,3
2009	150	0	1950
2010	0	0	150
Total	7015	59236,5	48480,55

Ces pertes sont relativement très importantes et significatives pour les formations forestières fragiles en zone semi-aride. Sur la masse forestière exploitée dans le cadre de l'assainissement, 25% de pertes sont notées dans le seul massif de Senalba Chergui. La disparition au cours du temps de ces sites forestiers se traduit aussi par la dégradation irréversible des sols ce qui aboutit à la désertification. De même il est important de

noter que les peuplements de divers séries localisés dans des reliefs accidentés non pas fait l'objet d'assainissement, ce qui permet de dire que les dommages en réalité sont plus conséquent.

4. Analyses statistiques des dommages de reproduction de l'Hylèsine, *Tomicus destruens*

4.1. Synthèse des données des variables étudiées

Le tableau présenté ci-dessous regroupe l'analyse descriptive des résultats présentés en annexe (Tab.40). Ces paramètres sont étudiés sur 40 échantillons.

Tableau 40: Présentation des variables considérées.

Variables	Moyenne	Min	Max
Age (ans)	57,50±21	30	90
Diamètre (cm)	23,57±13	5,50	53
Épaisseur (mm)	1,63±1	0,10	5
Densité d'attaque/m ²	111±56	20	270
Longueur de la galerie (cm)	13,10±3	7,42	19,37

4.2. Matrice de corrélations des paramètres étudiés

Le tableau 41 regroupe les résultats des données des corrélations.

Tableau 41. Matrice de corrélation des variables étudiés.

Variables	Age(ans)	Diamètre de tronc (cm)	Epaisseur de l'écorce (mm)	Densité d'attaque/m ²
Diamètre de tronc (cm)	0,817 p=0,0001			
Epaisseur de l'écorce(mm)	0,123 p=0,449	0,571 p=,001		
Densité d'attaque/m ²	0,11 p=0,498	-0,143 p=0,378	-0,512 p=0,001	
Longueur des galeries(cm)	-0,270 p=0,092	-0,53 p=0,746	0,177 p=0,273	-0,352 p=0,026

Les résultats des variables liées à l'arbre et à l'insecte étudié confirment les significations possibles, une première corrélation est montrée entre le diamètre des sujets dépéris et l'âge de l'arbre avec une probabilité très hautement significative et une corrélation de $r=0,817$. Une deuxième corrélation négative entre l'épaisseur de l'écorce et la densité d'attaque ($r=-0,512$ / $p=0,1\%$). De même la longueur des galeries de reproduction marque une faible corrélation négative avec la densité d'attaque ($r=-0,352$ / $p=0,02$).

4.3. Classification des variables étudiées

La longueur des galeries de reproduction est liée à l'épaisseur de l'écorce de l'arbre. Ces deux paramètres sont en relation avec le diamètre des sujets attaqués. L'âge et l'exposition des arbres sont liés à la densité d'attaque. La relation entre les variables étudiées est représentée dans la figure 98.

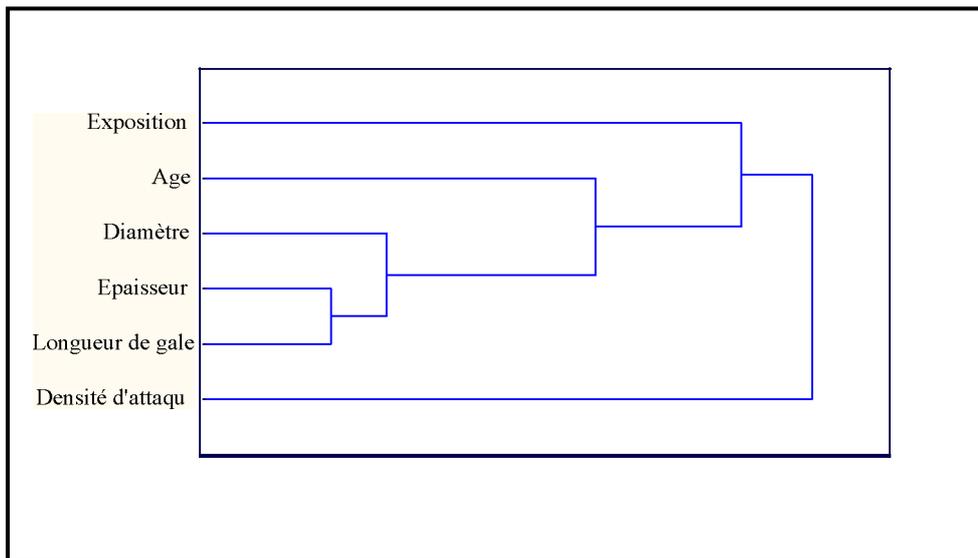


Figure 98: Arbre relationnelle des paramètres étudiés.

QUATRIEME PARTIE

DISCUSSION

QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION

CHAPITRE I : Interprétations des traitements satellitaires

L'approche suivie dans cette étude est basée sur l'utilisation des méthodes de la télédétection, avec l'interprétation des images satellitaires multi dates LANDSAT TM des années ; 1972 en tant qu'image historique de référence, et des années 2009 considérées comme images récentes. Ce procédé permet l'évaluation de ce couvert forestier qui aboutit à constater le taux annuel de la dégradation des forêts dans les massifs prospectés. Les sites choisis sont considérés représentatifs des écosystèmes forestiers de la région de Djelfa. Les scènes des images LANDSAT MSS de 1972 et TM 1987 et ETM 2001 et de ETM+ de 2009 ont été analysées interpréter visuellement et par divers méthodes d'analyses.

1. Interprétation visuelle des images satellites

L'œil humain n'étant sensible qu'au rayonnement visible, on ne peut présenter par le jeu des couleurs qu'au plus trois séries d'informations complètes que le cerveau pourra tenter de déchiffrer (Bonn et Rochon, 1992).

La composition colorée a été obtenue à partir de la superposition de trois canaux, en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales (rouge, vert, bleu) en fonction de leur longueur d'onde (soit respectivement le proche infrarouge, le rouge et le bleu), notant que chaque cible thématique est caractérisée par une signature spectrale et ne réagissant pas de la même façon dans les différents canaux (Bensaid, 1997). L'utilisation de trois canaux représentatifs du couvert forestier donne naissance à une nouvelle représentation en RGB. L'image de l'année 1972 présente des massifs forestiers distribués sur la totalité de la surface de la région dont les plus importants sont ceux de Senalba Chergui. En 1987, les peuplements denses occupent un territoire assez conséquent à l'intérieur des forêts, et l'apparition des projets de reboisement nouvellement installés. Les images de 2001 et 2009 traduisent la régression remarquable au cours de ces scènes, particulièrement la forêt de Senalba Chergui entre la période de 1972 et de 2009 (Fig.99).

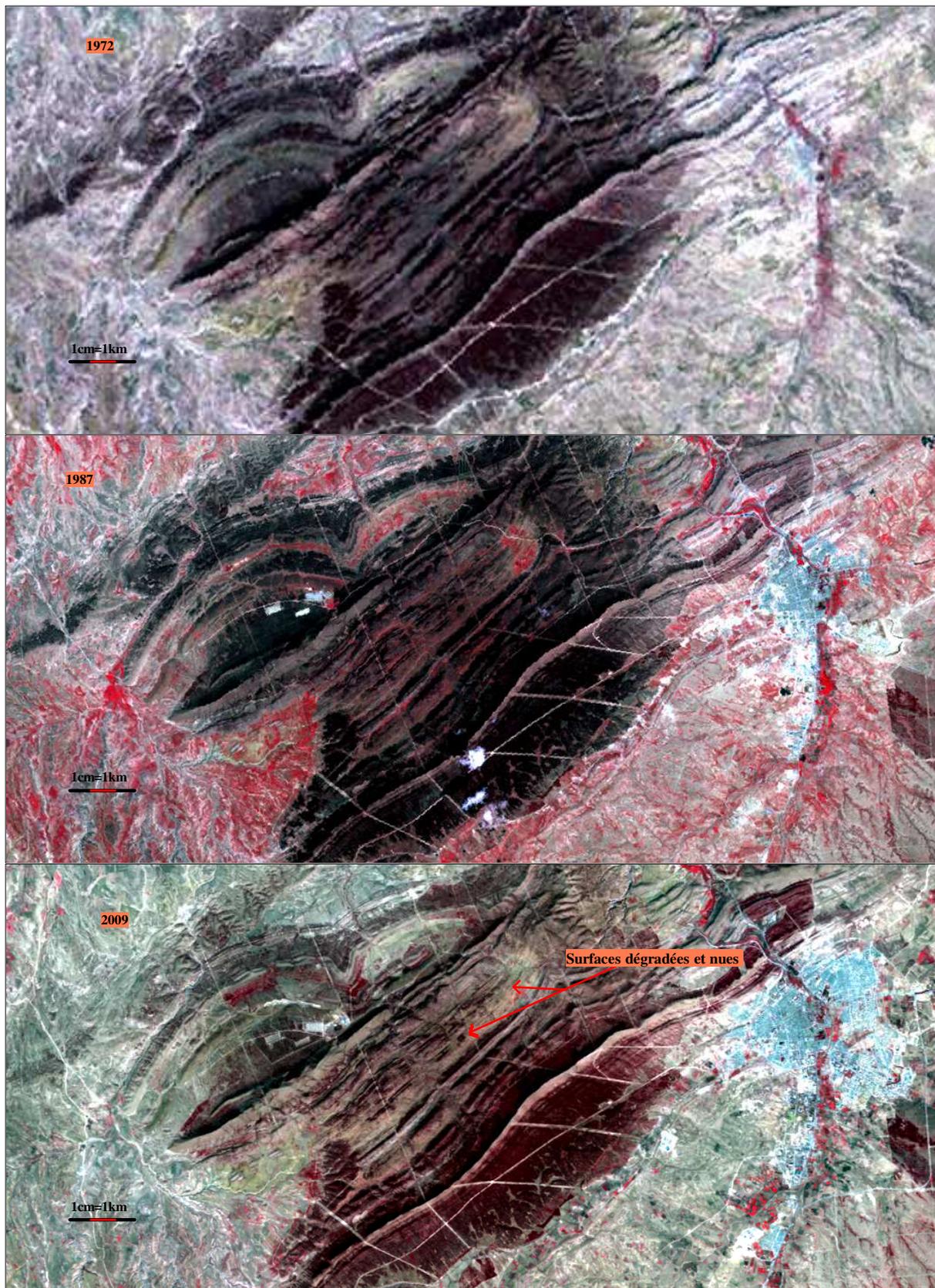


Figure 99. Comparaison visuelle des massifs de Senalba Chergui entre 1972 et 2009.

2. Analyse de la dynamique de l'occupation du sol en fonction de NDVI

Le néo-canal résultant du rouge et de l'infrarouge présente un gradient croissant d'activité végétale allant du noir (absence de couverture) au blanc (activité chlorophyllienne très élevée). Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image. La valeur de chaque pixel est comprise entre 0 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal). C'est l'analyse de la palette de nuances s'étendant entre ces valeurs extrêmes (très peu fréquentes) qui renseigne l'observateur sur la densité du couvert végétal et la quantité de la biomasse verte.

Les applications des indices, se basent sur la classification et les colorations qui sont fournies par les tables de l'ENVI. Cette dernière est basée sur l'interprétation des comptes numériques qui sont fournis par chaque classe. Les valeurs radiométriques d'un pixel dépendent de ses propriétés optiques. Ainsi, dans le cas d'un pixel de végétation, la réponse dans les canaux du visible pour le LANDSAT est fonction de la teneur en pigments foliaires des végétaux alors qu'elle dépend surtout de la structure des feuilles dans le proche infrarouge (PIR). Chaque domaine spectral apporte une information bien particulière sur la nature du corps observé. Les valeurs d'un pixel dans les différents canaux permettent de caractériser sa nature. La classification en mode supervisée a montré une évolution importante des forêts denses des massifs forestiers en 1987. Cette progression est notée surtout dans la partie Nord de la forêt de Senalba Chergui, la partie nord de Sahary, et les pinèdes de Senalba Guarbi avec ces deux versants nord et sud. La valeur radiométrique calculée par l'NDVI dans la forêt de Senalba Chergui a confirmé cette évolution. En 2009 les valeurs calculées en RGB sont de 150 mais en 1972 elles présentent le chiffre de 200 en (RGB), expliquant que cette zone de la partie Nord Est des pinèdes de Senalba Chergui est caractérisée par une faible densité et des peuplements dégradés (Fig.100). La forte activité chlorophyllienne est identifiée par l'application de l'NDVI. La zone choisie au centre de la forêt de Senalba Chergui identifiée par les valeurs de (R 0, G 255, B 0) dont la coloration vert claire désigne une forte biomasse avec une végétation touffue, le noir foncé caractérise la faible couverture et la végétation basse avec des peuplements dégradés (Fig. 101). Une autre procédure de détection de Changement par l'NDVI sur la même zone en partie Nord de la forêt de Senaba Chergui, démontre que la biomasse forestière en 2009 a perdu presque 50% de la valeur enregistrée en 1972.

- Evolution de l'NDVI Entre 1972 et 2009

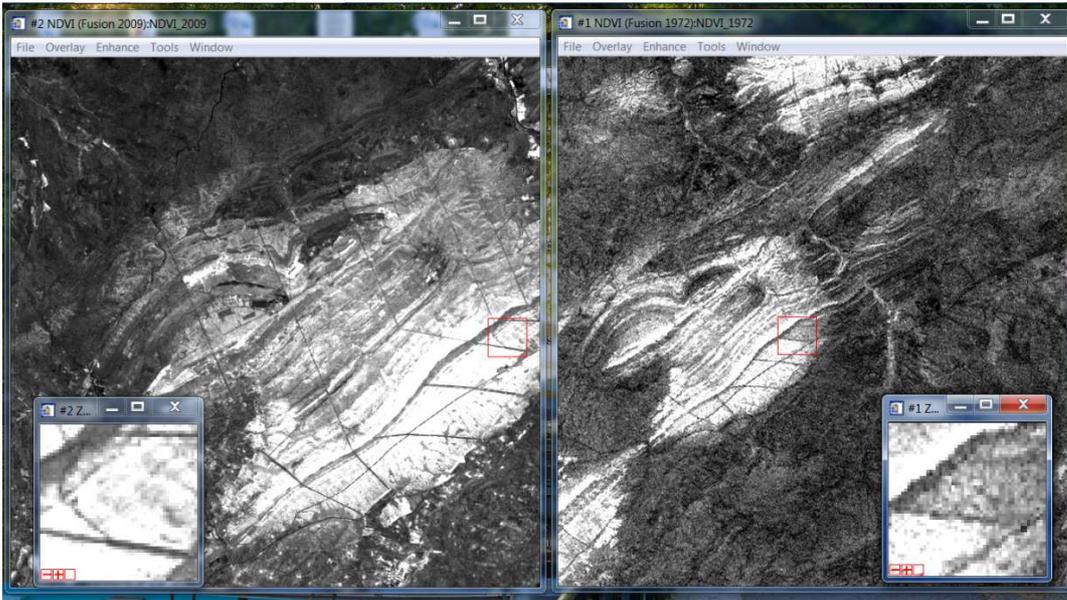
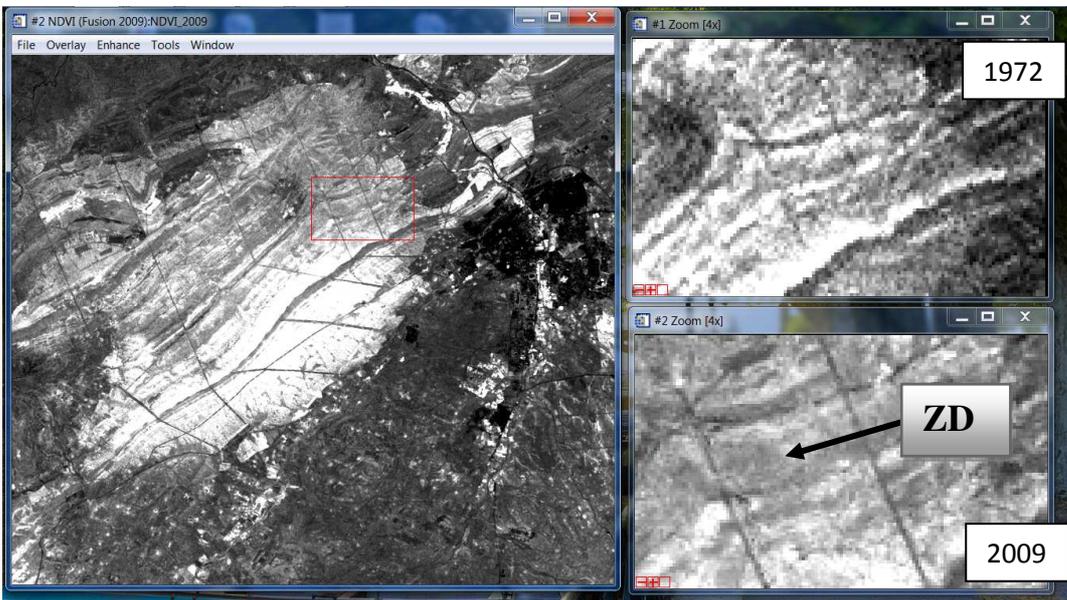
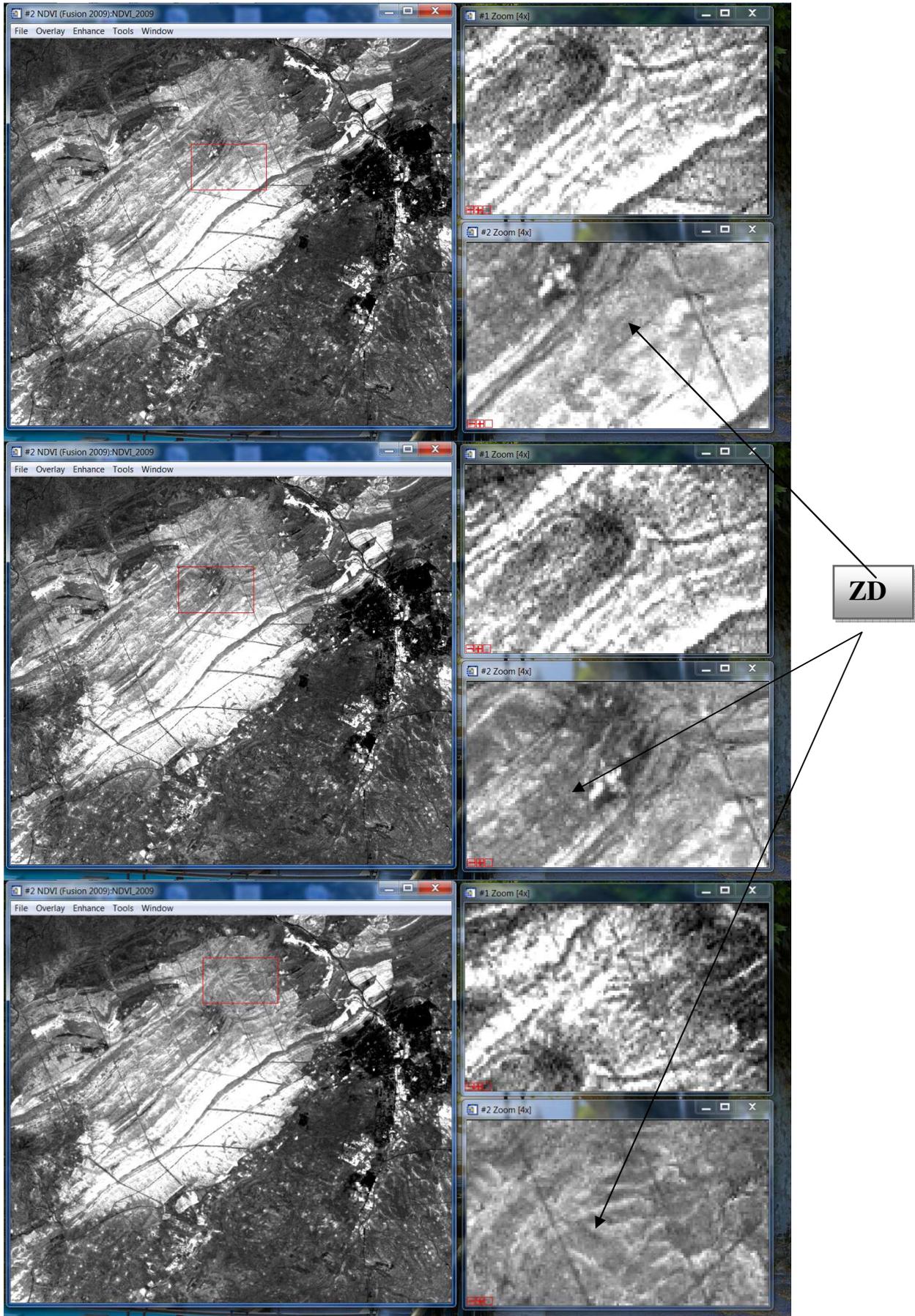
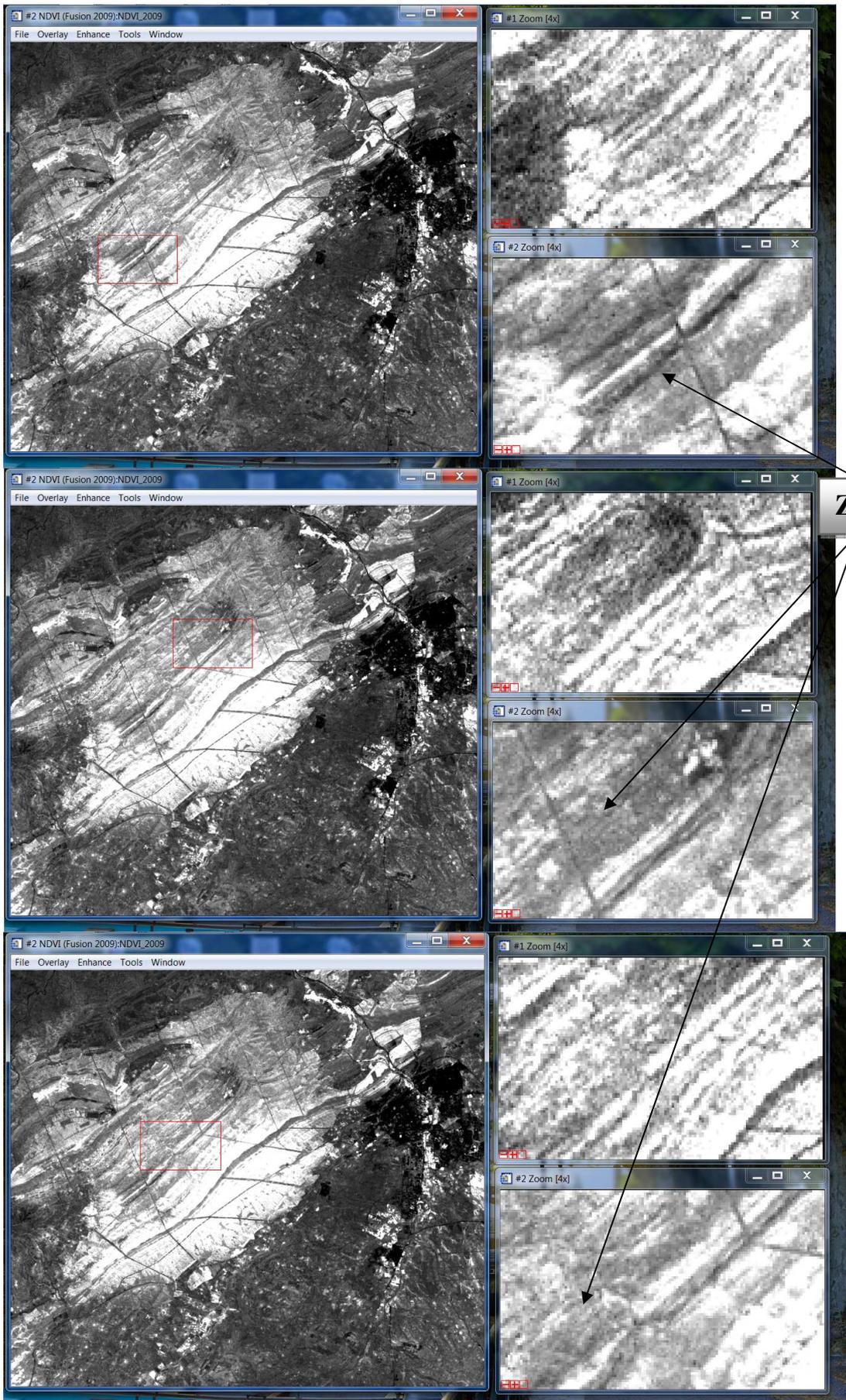


Figure 100. Exemple d'une zone développée dans la partie Sud Est de la forêt de Senalba.

Une configuration plus détaillée en NDVI résume les zones les plus touchées par la dégradation et la déforestation (Fig.101)







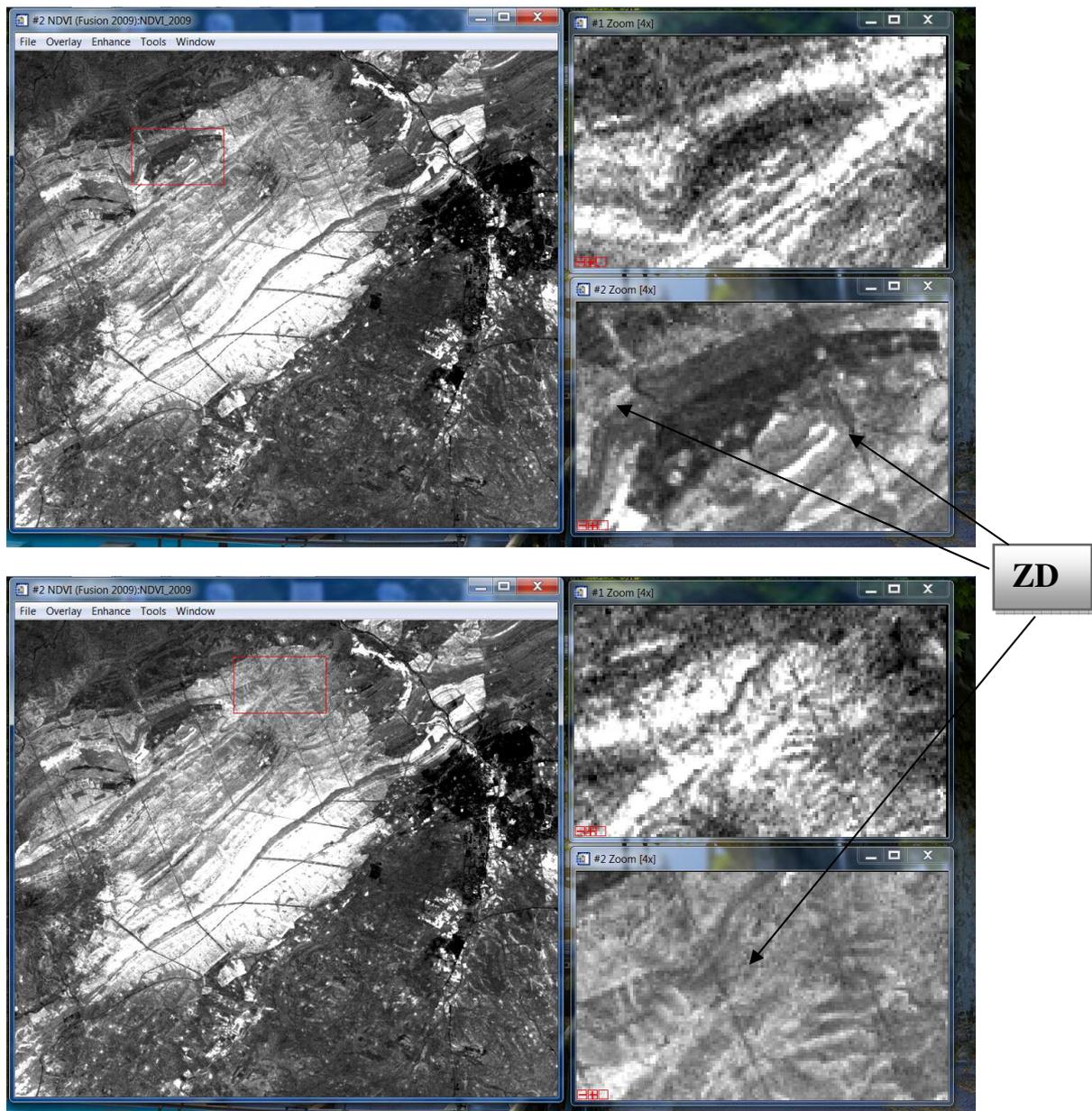


Figure 101. Détails des zones réellement dégradées dans les massifs de Senalba Chergui entre 1972 et 2009. (**ZD** : zones dégradées).

Durant la période considérée, la forêt de Senalba Chergui représente entre 20 et 24% de la surface forestière totale enregistré au cours de 72, de 87, de 2001 et de 2009. La nouvelle classification permet d'attribuer les unités d'occupation du sol à un intervalle des valeurs radiométriques. L'analyse en NDVI démontre que les forêts denses n'occupent qu'un couloir limitrophe des séries I, II, III du versant sud de la forêt de Senalba. Les séries représentant le versant nord sont plus dégradées cas des série VI, VII et IX (Fig.106)

Les figures de 107 à 110 présentées ci-dessous présentent les séries qui ont subi une meilleure reprise en 2009, traduit par la coloration blanc foncée dont la valeur radiométrique est de 185 en 2009 et de 86 en RGB en 1987, ce qui signifie la bonne reprise en densité du peuplement dans ces zones.

- **Evolution de l'NDVI Entre 1987 et 2009**

Sur les données de base de la radiométrie identifiée (de 255 en 1987 et en 2009 elle de 65) la série VII localisée dans la partie sud de la forêt de Senalba a subi une forte régression (Fig.102)

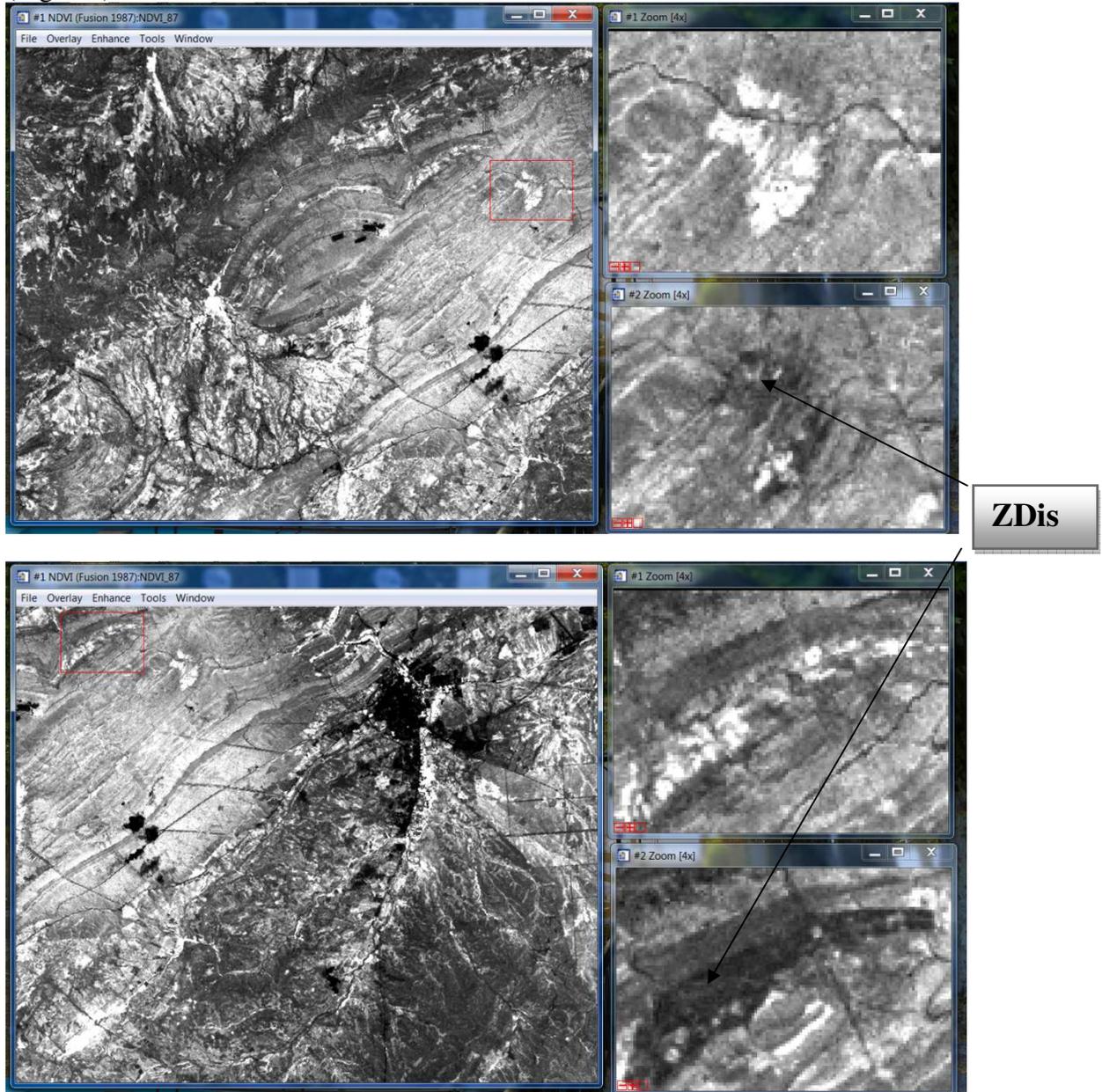


Figure 102. Zones disparues à l'intérieure de la forêt de Senalba Chergui (ZDis : Zones disparues).

Une reprise modérée dans la série I de la forêt de Senalba Chergui, est marqué par la valeur radiométrique en 1987 est de 96 et de 224 en RGB en 2009 (Fig.103)

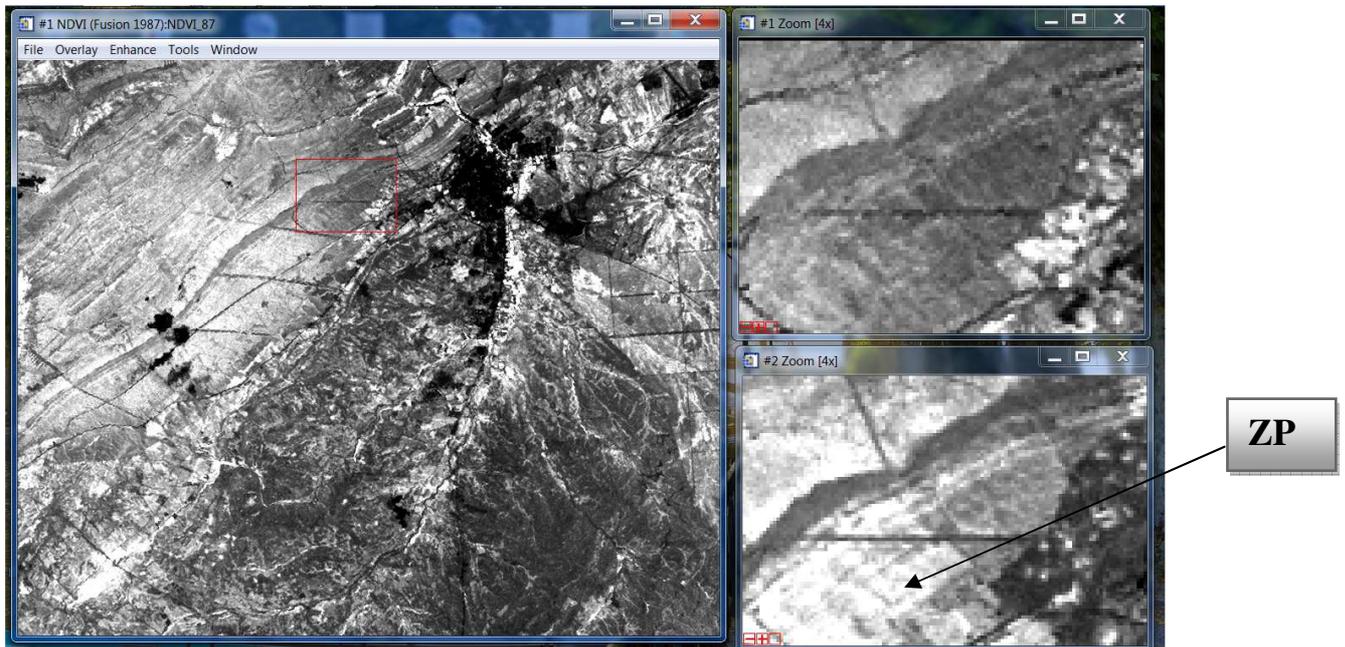


Figure 103. Zone progressée dans les massifs de Senalba Chergui. (ZP : Zones progressées)

Une très bonne reprise en 2009 de la série I a été notée, la radiométrie a progressée 96 en 1987 à une valeur de 255 en RGB en 2009(Fig.104).

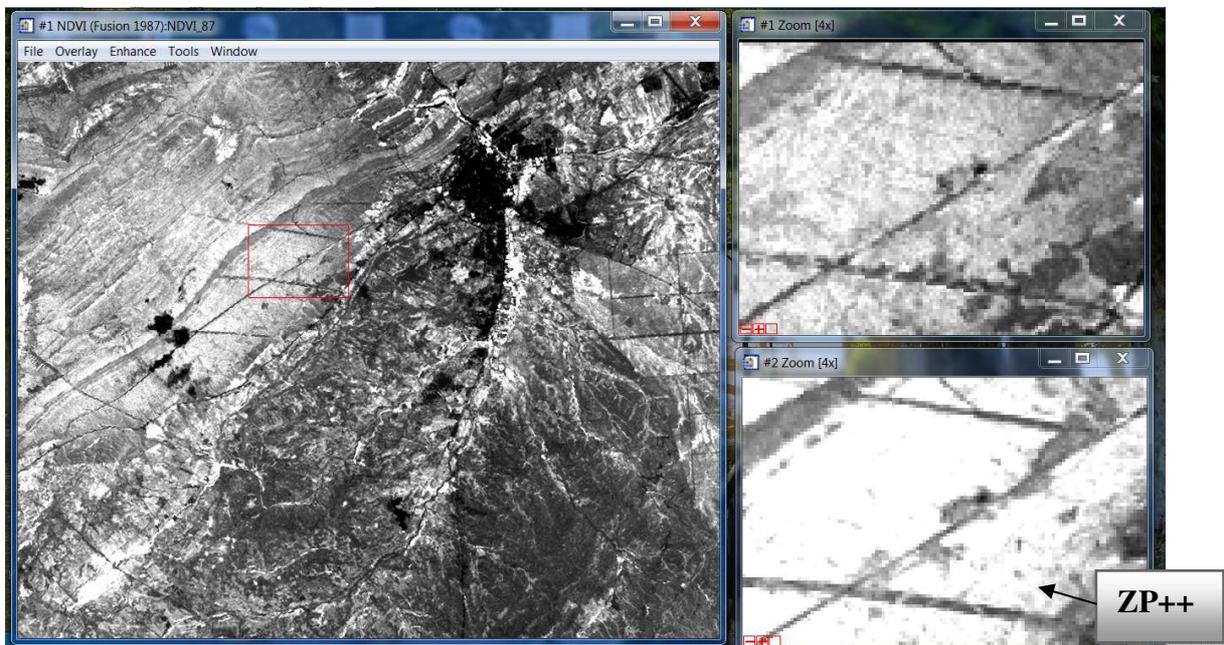


Figure 104. Zone progressée davantage dans les massifs de Senalba Chergui (ZP++ : zone d'une progression considérable).

De même des zones stables qui n'ont pas évolué sont notées dans la partie centrale de la série IX, dont la valeur radiométrique est de 224 en 1987 et de 241 en 2009 (Fig.105).

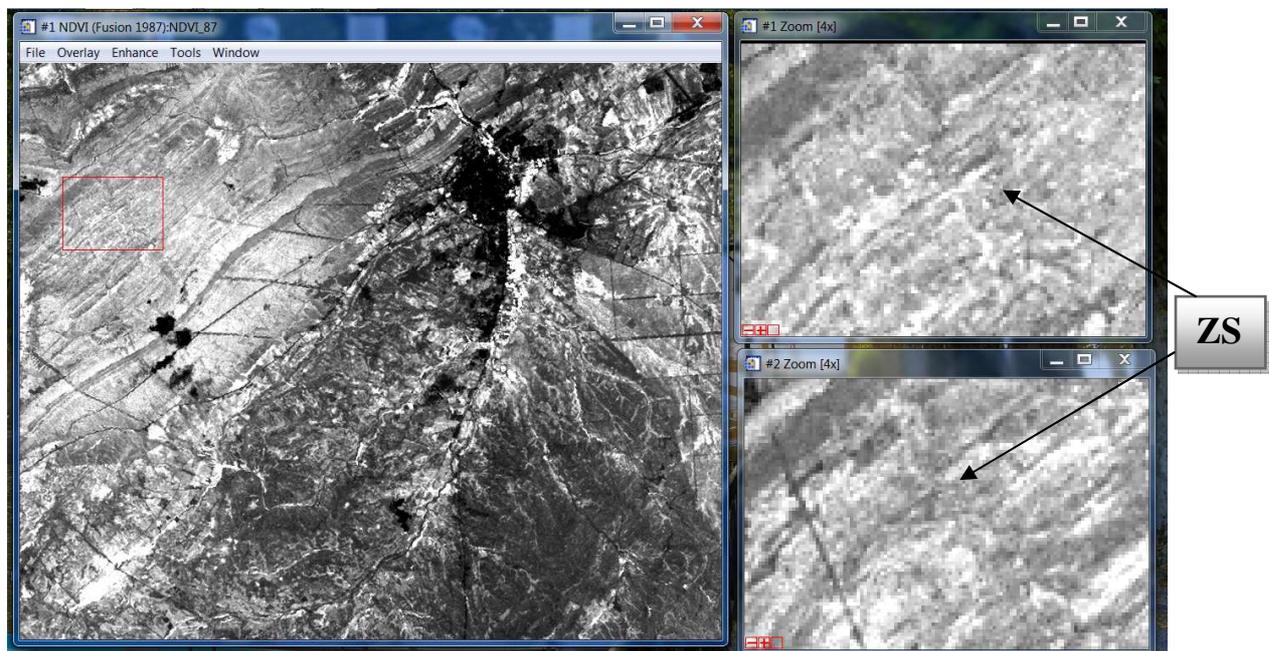


Figure 105. Zones stables dans les massifs de Senalba Chergui. (ZS : Zones stables)

- **Application de l'NDVI dans les reboisements (1987- 2009)**

La dynamique d'évolution du couvert forestier dans la région de Djelfa durant la période d'étude est attribué a une phase de **progression, déterminée par une densité importante des peuplements forestiers et une surface considérable durant les années quatre-vingts associée par les projets de reboisements de Moudjbara et de Sahary**. Une seconde phase de **régression du couvert forestiers est remarquée depuis les années 2001** Ce projet de reboisement a subi un changement en surface et un recule en état sanitaire, se qui confirme la mal adaptation de se patrimoine forestier. Pour le reboisement de Sahary, un développement très important en termes de densité traduit par la valeur radiométrique enregistré en 2009, elle est de 255, et de 205 en 1987. Se qui traduit une évolution de 25% de densité (Fig. ZD1). Ce projet reste l'exemple du reboisement réussit.

Par contre la partie limitrophe de la forêt naturelle de Sahary a subi un ravage rationnel dans sa surface, dont la radiométrie en 1987 est de 145 et en 2009 a régressé à 52 (Fig.106/ ZS2).

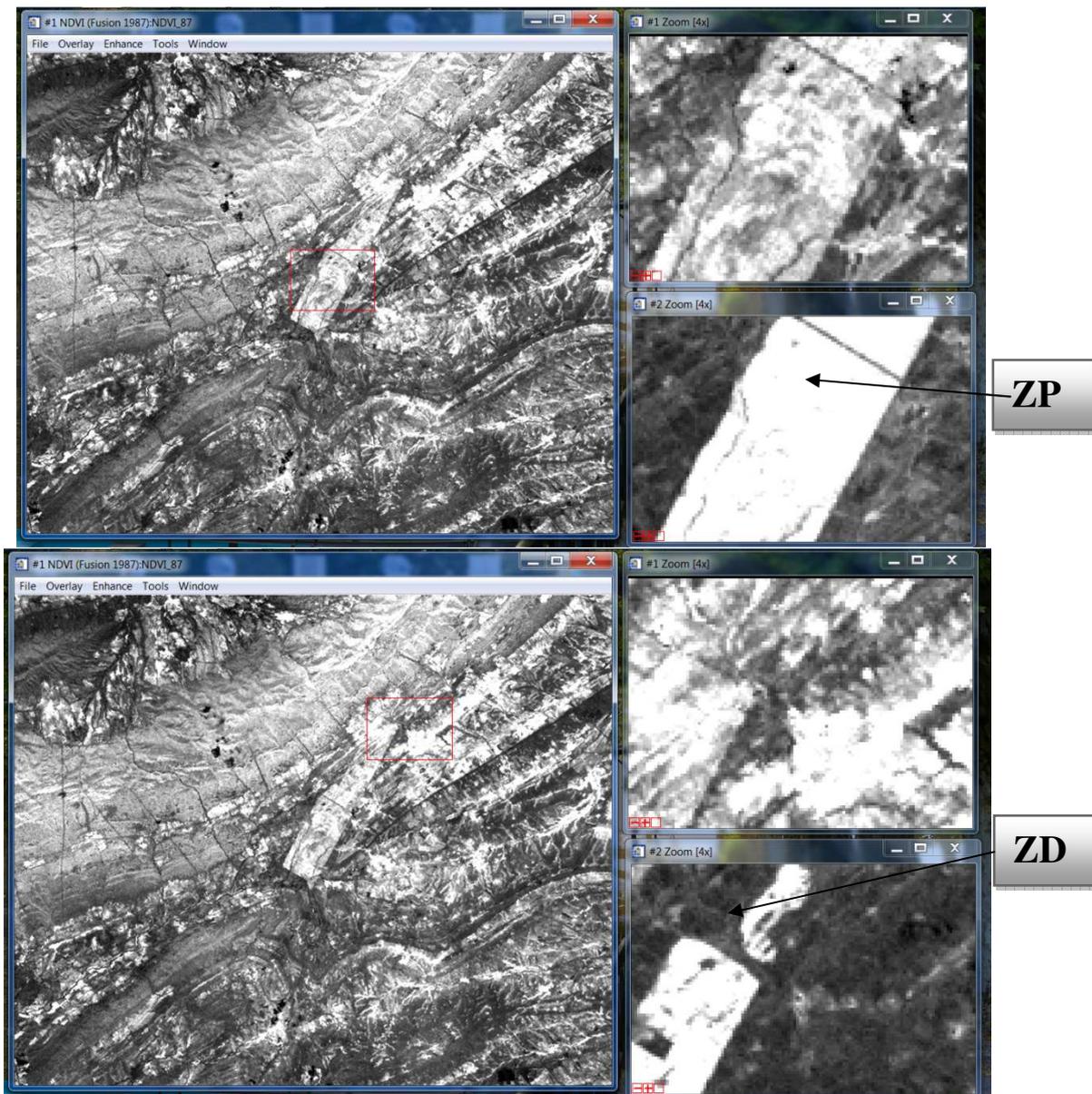


Figure 106: Evolution des massifs forstiers de Sahary.

Le reboisement de Moudjbara a connu une régression conséquente durant la dernière décennie, les zones sont totalement blanche avec des valeurs radiométriques proche de 255. Le couvert forestier est dégradé avec une densité réduite (fig.107)

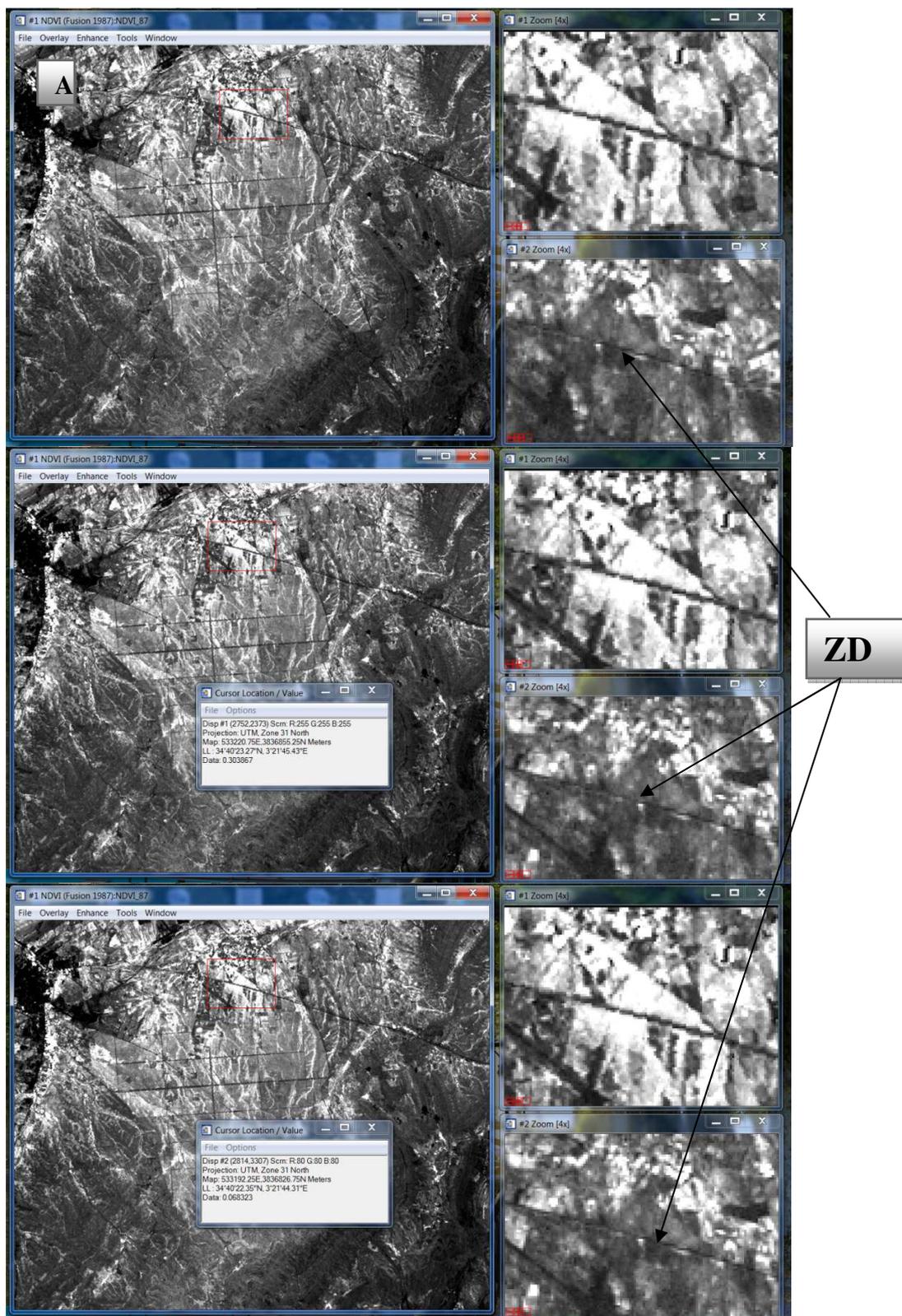


Figure 107: Zones dégradées dans le reboisement de Moudjbara (1987 - 2009).

Dans la partie centrale du reboisement de Moudjebara, la densité du peuplement est peu remarquable en valeur RGB, elle s'élève à 167 en 1987 et à 179 en 2009 (Fig.108).

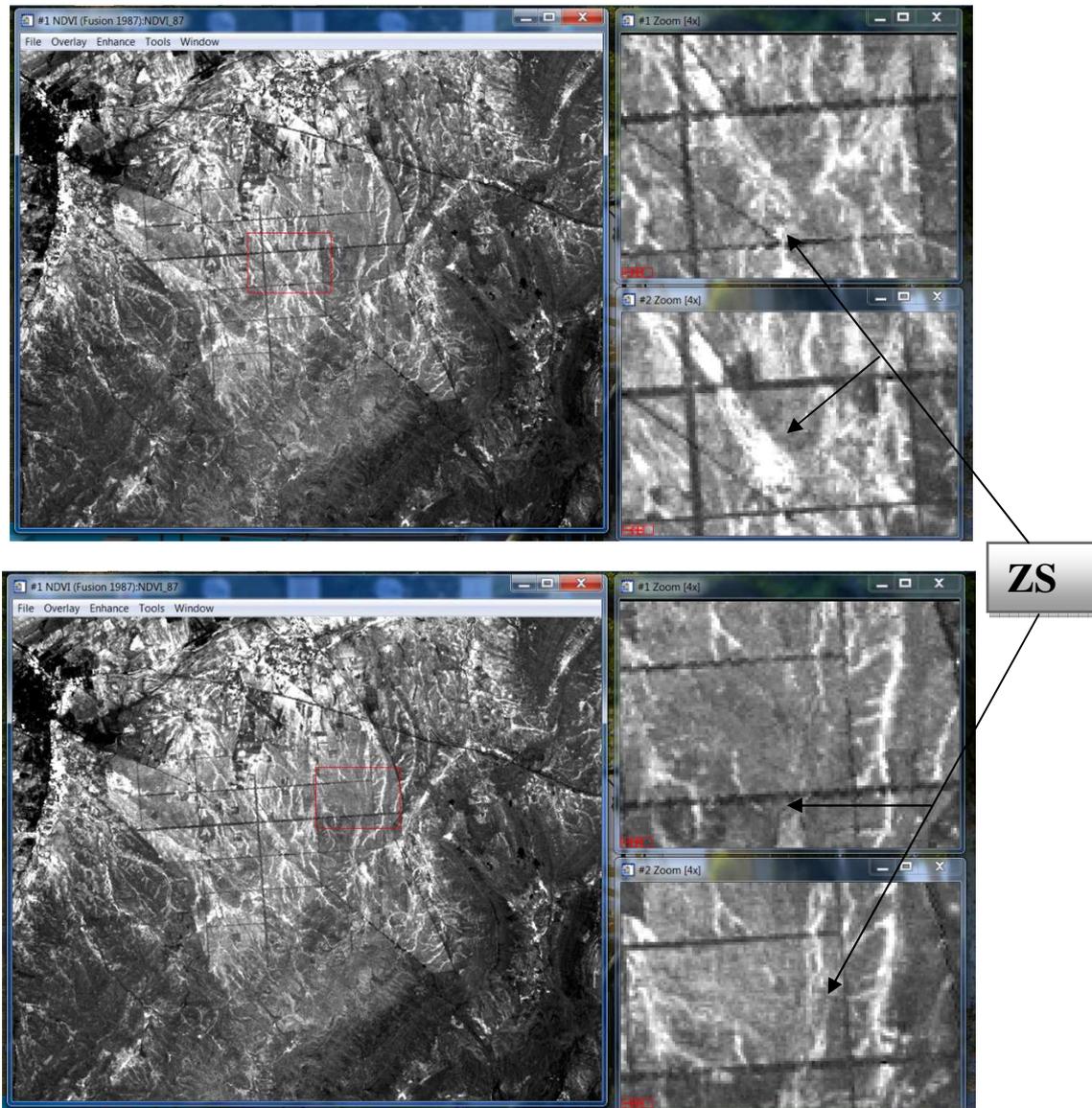


Figure 108. Zone stable dans le reboisement de Moudjbara.

Une représentation plus explicative de l'évolution du reboisement en 1987 et en 2009 est représentée par la figure 109. La coloration blanche traduit la bonne densité par contre se qui est en noir c'est des peuplements dégradés et rabougris.

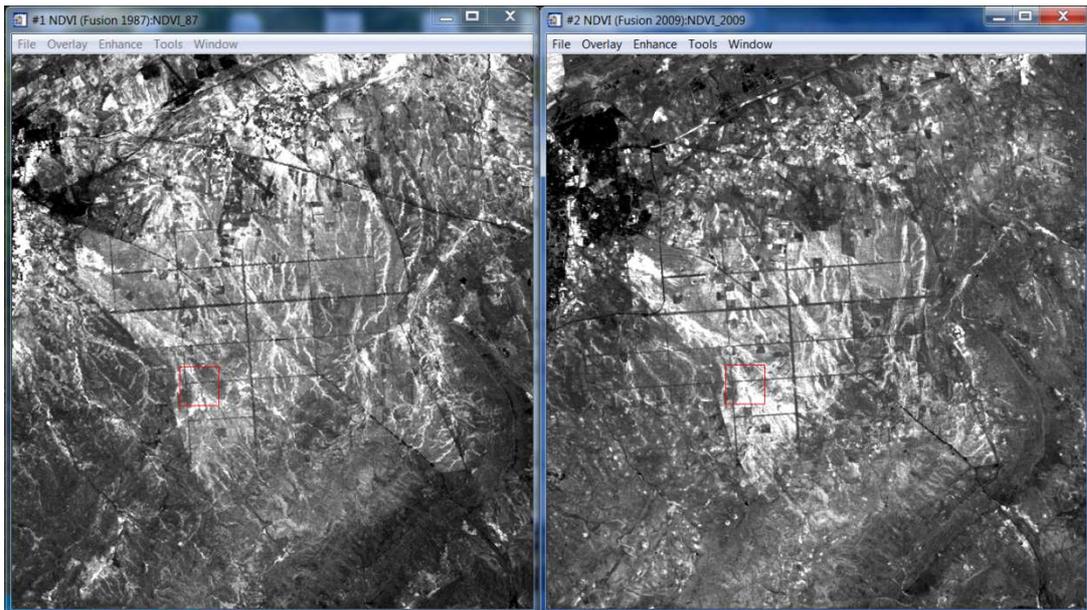


Figure 109. Présentation du reboisement de Moudjbara en NDVI entre 1987 et 2009.

Le recul que les forêts de la zone semi aride ont vécu ces dernières décennies ne se présente pas de la même façon sur son territoire régionale. Un deuxième constat montre que le taux de déforestation demeure toujours élevé à travers tous les sites, Cette classification nécessite des études appropriées de plusieurs années.

Les images satellites analysées et les photos prises dans les pinèdes de région forestière de Djelfa témoignent de la forte dégradation du patrimoine forestier.

Les différentes mesures sylvicoles conduites doivent être revues et combinées avec les nouvelles technologies spatiales pour une gestion durable des ressources forestières.

Les difficultés d'identification des zones de changement sont liées à la résolution limitée du satellite LANDSAT ETM.

3. Etude de la dynamique des forêts classées

La dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol de la zone d'étude à l'aide des images satellitaires, occupant les forêts d'étude s'est produite en deux phases ; la première consiste à évaluer les superficies des unités d'occupation du sol et la seconde à faire la détection des changements enregistrés sur les images considérées.

Sur la base du diagramme de changement on préconise à une meilleure interprétation des différences des superficies des unités d'occupation du sol, le cas des forêts de la région de Djelfa de la période de 1972 à 2009.

3.1. Analyse spatiotemporelle des formations forestières de la région de Djelfa

Les méthodes préconisées de traitements et d'analyses comportent trois principales étapes ; prétraitements des images, une classification numérique et la mise en évidence des changements d'occupation du sol par l'estimation des surfaces occupées dans la réserve forestière. Une première approche de cette dynamique spatiotemporelle peut se faire par un affichage successif des compositions colorées des images étudiées, selon les dates d'acquisition des images satellites considérées, afin d'avoir des stades phénologiques comparables des paysages étudiés.

Pour cette période de trente sept ans, les quatre images satellites exposent trois états évolutionnaires, la première image présente un critère de comparaison et la base d'interpréter les images qui se succèdent. La seconde image se caractérise par une reprise végétative et une relance du couvert forestier, les deux dernières images illustrent une régression significative du couvert forestier. L'ensemble des formations forestières cartographiées et leur surface calculée à partir des digitalisations effectuées, nous a permis d'appréhender les grandes tendances de l'évolution des éléments de ce couvert forestier.

3.1.1. Cas de la forêt de Senalba Chergui

Dans le massif forestier de Senalba Chergui la plus forte densité forestière est enregistrée en 1987, représentée par une coloration foncée ce qui indique un taux de recouvrement conséquent. Ce patrimoine forestier est réparti en séries avec l'ouverture de routes à l'intérieur de la forêt, et l'installation des riverains en bordure des massifs, ce qui n'a pas été considéré sur l'image initiale de l'année 1972.

En 2001 et 2009, la forêt de Senalba Chergui, particulièrement le versant Nord a connu une forte dégradation comparativement à l'image de 1987. Cette régression prend l'ampleur de l'est vert l'ouest touchant même les jeunes peuplements et les sujets stressés et les reboisements des forêts. Les prospections conduites dans la forêt de Senalba montrent que les peuplements âgés de plus de 60 ans sont davantage concernés par le déclin. En 2009, la digitalisation superficielle montre que la surface évaluée est de 10776,1 hectares. Un taux de 20,4% de la surface forestière enregistrée en 1987 a disparu, soit une perte de 2701,12 hectares. En réalité cette estimation ne reflète pas la

surface réellement dégradée, car la digitalisation ne peut pas éliminer les sujets dépéris qui sont distribués à l'intérieur des zones forestières, et qui sont considérés sur l'image satellite comme des peuplements denses avec des sujets sains.

3.1.2. Cas de la forêt de Senalba Gharbi

A l'échelle du temps, les formations forestières de Senalba Gharbi n'ont pas subi une régression importante. La forêt garde un rythme plus stable occupant une superficie de l'ordre de 12838,8 hectares en 1987. L'analyse diachronique de cette formation forestière a montré que plus de 700 hectares ont disparu en 2001. En 2009 la perte est plus considérable dont la surface dégradée est estimée à 9572,98 hectares, soit 22% de la surface enregistré en 2001. La partie Sud-est de la forêt est la plus concernée par la dégradation, de plus les peuplements qui limitent le contour de la forêt ainsi que les bordures des routes sont les zones les plus dégradées par diverses espèces de xylophages.

Ce patrimoine forestier, présente une coloration sombre sur l'image satellite de l'année 2009, ce qui indique que cette formation englobe des peuplements denses qui apparaissent en bon état mais en réalité sont dégradés. Ce constat a été confirmé par les prospections menées sur le terrain particulièrement à l'intérieur de ces peuplements.

3.1.3. Cas de la forêt de Sahary

La comparaison entre les images occupant les massifs de Sahary aux différentes périodes, met en évidence une reprise estimée à 2000 hectares en 1987, en comparaison avec l'image satellite initiale de l'année 1972 dont la surface occupée à cette période est de 16527 hectares. En 2001, la surface calculée est de 20199,2ha, notant que les bordures Nord de la forêt sont les plus dégradées. En 2009, on note une régression de l'ordre de 3417,1 hectares, représentant environ 17% de la surface enregistrée en 1987 a disparu.

3.1.4. Reboisement de Sahary

Le reboisement de Sahary est un projet installé depuis les années quatre-vingts, l'image satellite de l'année 1987 présente une coloration verte, avec une réalité thématique d'une végétation jeune nouvellement installée, elle occupe une surface estimée à 780,3 hectares. En 2001, la coloration noire est répartie d'une façon

irrégulière dans la totalité de la surface forestière, elle compte environ 808,4 hectares soit un taux de croissance de 2%. En 2009 la surface enregistrée précédemment a diminué de 20 hectares. Malgré le choix de l'essence de pin d'Alep dans les reboisements, cette espèce n'est pas épargnée par les maladies phytopathologiques et les attaques des insectes, particulièrement les infestations de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pytiocampa* Schiff. en phase dégradation.

3.1.5. Reboisement de Moudjbara

Des projets de protection et d'aménagement ont été lancés à partir des années quatre-vingts. Cette période a connu des décisions dans le but de revigorer les espaces forestiers, le plus important était le projet du programme du barrage vert (3 millions d'hectares) dont l'objectif essentiel était de lutter contre la Désertification par le reboisement sur plus de 160.000 hectares de plantations prévus. Cette politique de classification des terres et d'aménagement des zones dégradées et stressées, a permis de reconstituer des massifs forestiers mais les résultats ont montré des échecs conséquents localisés.

L'analyse des images satellites montre que celle de l'année 1987 révèle les premiers stades de développement du reboisement à Moudjbara, occupant une surface calculée de l'ordre de 9990 hectares. En 2001, cette masse forestière a diminué à 2498 hectares, ce qui représente environ 25% de la surface enregistrée en 1987. En 2009 une reprise est remarquable dans la digitalisation, mais à l'intérieur du reboisement une très faible densité avec une distribution aléatoire des sujets rabougris et chétifs. Cette dégradation est confirmée par les observations et les prospections effectuées à l'intérieur de la surface reboisée. Ajoutant que la dégradation touche surtout la partie Est du reboisement dont 75% de la surface arborée. Ce recul est due à plusieurs facteurs anthropozoïques et aux périodes de sécheresses au cours du temps

- **Action de l'homme**

Un arrachage massif est noté dans les forêts à proximité de la ville de Djelfa, surtout de la forêt de Senalba Chergui qui est exposé à des contraintes de dégradation, surtout pour le bois de chauffages (Fig.110).



Figure 110. Série dégradée dans la forêt de Senalba Chergui (Novembre-2014).

- **Les incendies**

Dans la majorité des forêts de la région de Djelfa, les incendies jouent un rôle très important dans la dégradation forestière. ces dernières années le feu a ravagé des surfaces considérables, la figure présentée ci-dessus reflète l'effet de feux de l'été de l'année 2014 dans le reboisement de Moudjbara.



Figure 111. Série incendiée dans les massifs reboisés de Moudjbara (Juillet-2014).

La surface ravagée par les incendies durant les quatorze dernières années est estimée à 1418,77hectares (Tab.42).

Tableau 42. Bilan des incendies dans la région de Djelfa (2000_2014)

Année	Superficie incendiée (Ha)	Année	Superficie incendiée (Ha)
2000	135,5	2008	13,89
2001	5,81	2009	654,82
2002	1,65	2010	449,05
2003	0,34	2011	0,58
2004	8	2012	52,23
2005	0,36	2013	24,93
2006	6,31	2014	38,8
2007	26,5		
Total	1418,77		

- **Le surpâturage**

En général les forêts de la région connaissent un surpâturage ovin. Les éleveurs se rabattent sur les forêts au cours des périodes de sécheresse afin d'assurer leur alimentation. Les troupeaux souvent très conséquents inhibent le renouvellement naturel des jeunes peuplements par l'arrachage des jeunes pousses par ces troupeaux et le tassement du sol (Fig.112 et 113).



Figure 112. Zones dégradées par le pâturage intense dans la forêt de Senalba Chergui (Octobre-2014)



Figure 113. Surpâturage dans le reboisement de Moudjbara (Novembre-2014).

La succession d'années de sécheresse a conduit à une régression de ce couvert ce qui a rendu les sols très sensibles favorisant ainsi le ruissellement et la formation d'une croûte de battance.

- **L'érosion hydrique**

Les phénomènes d'érosion sont favorisés par les incendies, le surpâturage, le piétinement des troupeaux et les défrichements, ces facteurs vont accentués la dégradation des écosystèmes forestiers. Les pentes très fortes, dépassent parfois 30 % et l'érosion hydrique est très active (Benabdeli, 1998). Les terrains particulièrement touchés par l'érosion sont plus signifiants sur la partie centrale du versant Sud-Ouest des massifs de Senalba Chergui (Fig.114).



Figure 114. Erosion hydrique sur le coté Sud Ouest de la forêt de Senalba Chergui (cas de la série III, Octobre-2014).

4. Analyse des foyers dépéris dans la forêt de Senalba Chergui

L'observation analytique de deux images prises en considération (Fig.79), portant les coordonnées géographiques des foyers les plus dégradés sur le site de la forêt de Senalba Chergui, montrent que ces points sont des sujets occupant les bordures de la forêt (Fig.115).



Figure 115. Partie déperis dans les massifs de Senalba Chergui (Mars-2013).

Ces foyers dégradés se concentrent particulièrement sur la partie Sud Ouest de cette formation forestière, ce qui confirme que cette partie reste la plus menacée par le déperissement. Ces sites ont été sélectionnés pour avoir une idée précise sur les causes conduisant à la déforestation et à la dégradation des forêts sur des échantillons représentatifs des principaux massifs forestiers de la région de Djelfa.

Sur l'image de l'année 2001, la partie Sud-ouest de la forêt porte un nombre important des sujets déperis qui sont les résultats des relevés des coordonnées géographiques effectués aux cours de l'année 2010, l'image de l'année 2009 présente un contour dégradé plus spacieux autour de ces points. La dégradation est orientée vers plusieurs directions de la réserve forestière et touche une bonne partie de la surface forestière. Des zones découvertes sont présentées particulièrement à la partie Nord. L'état sanitaire de chaque sujet ne se manifeste pas réellement sur l'image satellite qui détermine les masses forestières déperies. En général la dégradation est le résultat ultérieur des prospections sur terrain, elle nous informe que le déperissement s'accroît dans l'espace et dans le temps et nécessite plus d'attention dans le cadre de la gestion forestière.

5. Analyse du diagramme de détection de changement

La lecture de ce diagramme (Fig.74) nous permet d'affirmer qu'il y a eu au cours de 15 ans enregistrées de 1972 à 1987, une augmentation significative des surfaces forestières dans la région de Djelfa. Une dégradation accrue de ce couvert forestier est notée à partir de 2001 jusqu'à 2009. Cette régression est attribuée à une diminution de la superficie forestière, évaluée à 10% de la surface enregistrée en 2001.

Cette dégradation est remplacée par des touffes étendues d'Alfa, (*Stippa tenacissima*) (Fig.116).



Figure 116. Développement de l'Alfa dans les pinèdes de Senalba Chergui (Novembre-2014).

L'identification de petites superficies qui ont subi une régression moins importante est difficile à déterminer, étant donné la grande échelle des images. Les petites zones peuvent passer imperceptibles lors de l'analyse. La quantification de la régression de la forêt et la détermination du pourcentage de la dégradation intervenue entre la forêt et l'agriculture posent des problèmes de lecture des images malgré la surface limitée.

Depuis 1987 à nos jours le déclin est de plus en plus significatif, cette situation constitue d'une manière ou d'autre, un grand souci environnemental.

Pour pallier à cette dégradation, des programmes de reboisements selon les concepts sylvicoles sont à prévoir. Les reboisements conduits sur les bordures des forêts naturelles restent un exemple (Fig.117).



Figure 117.Reboisement installé dans les frontières de la forêt de Senalba Chergui (Nevembre-2015).

CHAPITRE II: Interprétation sur les populations de scolytes

1. Analyse globale de la diversité spécifique

Au total 11 espèces de scolytes appartenant à 6 genres ont été identifiées dans les peuplements de pin d'Alep de la région de Djelfa. Les agressions massives de scolytes risquent de faire disparaître des peuplements en entier. Les populations de ce groupe d'insectes sont conditionnées en général par le climat méditerranéen de tendance xérothermique et par le régime irrégulier des pluies. Les retombées économiques des dégâts sont très importantes. La diversité et l'abondance de certaines espèces entraînent généralement le dépérissement des peuplements forestiers. Ces insectes interviennent, soit comme agresseurs primaires, soit le plus souvent comme agresseurs secondaires, profitant du moindre affaiblissement pour s'y installer et de tenter d'y proliférer. Ils sont considérés comme des ravageurs de faiblesses, réussissant leur installation que sur arbres déficients. Il existe sur chaque arbre un seuil de densité d'attaque minimum pour assurer la réussite de l'installation des agresseurs (Chakali, 2005).

Parmi les scolytes répertoriés sur pin d'Alep en zone semi-aride, l'espèce *Tomicus destruens* contribue massivement au dépérissement actuel des pinèdes de la forêt de Senalba Chergui.

À l'échelle de l'arbre, l'étude de la distribution des attaques a montré une grande variabilité entre les arbres et même sur un arbre. Les femelles ont tendance à rechercher préférentiellement le versant nord du massif forestier et la face sud de l'arbre hôte pour confectionner leur galerie maternelle. L'âge et l'épaisseur de l'écorce jouent un rôle significatif dans le choix et la stratégie d'attaque de *l'hylésine destruteur* des pins.

La population de *Tomicus destruens* a une faible densité d'attaque à 1 mètre de hauteur avec des longueurs plus conséquentes et une plus forte densité avec des galeries plus limitées à 4 mètres de hauteur. La partie de l'arbre exposée au sud est plus recherchée par l'insecte que la partie exposée au Nord. On compte jusqu'à 270 galeries /m² au niveau des 4 mètres.

2. Stratégie de la colonisation des espèces étudiées

Les espèces répertoriées se distribuent selon une stratégie d'attaque liée à la morphologie de l'arbre hôte. Les espèces de *Tomicus destruens* préfèrent et cherchent les sujets d'un diamètre important avec des écorces épaisses. Elles se trouvent en forte densité sur les arbres d'une épaisseur d'écorce variant de 10 à 30 mm. Elles sont très présentes sur les sujets à exposition sud et s'activent en faible densité sur la partie basse de l'arbre. Les attaques des scolytes passent généralement inaperçues relativement aux différentes zones d'installation. Au sein d'un même arbre toute une diversité spécifique de scolytes peut se manifester d'une manière stratégique sur chaque niveau de l'arbre hôte. L'effet de groupe a un effet important sur la dynamique de l'infestation. Les conditions climatiques dont la séquence des périodes sèches, qui se caractérisent par des températures élevées et des pluviosités mal réparties s'avèrent un facteur aggravant les pullulations des scolytes.

3. Analyse de l'épidémie

Les peuplements de pin d'Alep sont exposés à diverses contraintes biotiques et abiotiques, particulièrement aux variations des températures et des précipitations qui favorisent plusieurs espèces de scolytes, prêts à pulluler dès que les conditions leurs sont réunies. Les pertes dues aux scolytes est l'un des premiers effets apparents du changement climatique. Les forêts sont sujettes aux agressions massives de scolytes qui risquent de causer des dommages importants aux arbres et disparaître des peuplements en entier au cours du temps. Au cours de ces dernières décennies on se trouve en présence d'un peuplement affaibli dont une grande partie des arbres possèdent un seuil critique qui présente un milieu favorable à la multiplication de divers agresseurs primaires et secondaires.

D'importants mouvements de population de xylophages se produisent au cours de ces dernières années. L'épidémiologie des attaques de scolytes a tendance à se généraliser sous les conditions climatiques favorables à leur multiplication.

4. Importance des pertes et conséquences

Des volumes de bois déperis en fonction des séries et des années ont été exploités au cours de la période allant de 1988 à 2000, où les pertes sont évaluées à environ 40000 m³ pour une surface de pin d'Alep à Senalba Chergui (Chakali, 2007). Au cours de la période allant de 1999 à 2010, le volume total de bois exploité dans toutes les forêts de la région de Djelfa est de 48480 m³. Si nous considérons uniquement le massif de Senalba Chergui, les pertes s'élève à 12086 m³. Les volumes exploités ont une répercussion sur l'environnement forestier fragile. Les zones déperies se traduisent généralement par une dégradation irréversible du milieu.

Les variations de température et particulièrement les déficits hydriques calculés au cours du temps expliquent en partie l'extension des attaques des scolytes particulièrement *Tomicus destruens* qui prend de l'ampleur depuis l'année 2001 à des degrés élevés à travers les peuplements de pin d'Alep. L'alternance des périodes de sécheresse a accentué la prolifération des populations de scolytes en zone semi-aride.

Conclusion

Conclusion

L'analyse diachronique des espaces forestiers et la détermination de ces contraintes physiologiques sont estimées à partir des images satellites, cette recherche se base sur la cartographie des images satellites couvrant le paysage de la région semi-aride de Djelfa sur une période de trente sept ans (1972 à 2009). L'étude met en évidence une identification des dynamiques spatio-temporelle de cette aire forestière. La méthodologie adoptée se base sur la détermination des extensions forestières à différentes dates et par différentes méthodes. La détection des changements est précédée par des prétraitements de corrections géométriques des images. La comparaison de l'indice de végétation normalisé (NDVI) généré pour les différentes dates, a permis d'établir des images qui présentent les différents changements dans ce cortège forestier. Les évolutions radiométriques progressives concernent essentiellement les nouveaux reboisements introduits dans certaines parties. Les changements régressifs de radiométrie montrent l'importance du dépérissement dans ces milieux naturels. Les évolutions constatées sont classées selon des zones de changements, les interprétations des causes de ces évolutions sont diverses les plus importantes sont les périodes alternatives de sécheresse.

Le suivi de l'évolution de ce couvert forestier dans les zones semi arides, particulièrement la région de Djelfa, a montré une évolution significativement positive par son développement floristique conséquent au cours des années quatre-vingt. Les données recueillies des images satellites, montrent que la dégradation est préoccupante depuis l'année 2001, et demeurent inquiétante au cours du temps. La comparaison des données prélevées au terrain, et les résultats fournis par des images satellites ont montré une régression des surfaces forestières. Entre 1987 et 2001, les pertes calculées sont de 11376 hectares. En 2009, les pertes ont évolué à 17107 hectares soit 24% de la surface enregistrée en 1987. Les méthodes de classification appliquées pour l'étude chronologique des pineraies de la zone semi aride ont montré des résultats variables de chaque classe. La comparaison entre les deux méthodes de classification, non supervisée par ISO-DATA et supervisée par la vraisemblance révèle une différence de surface de 4000 hectares entre l'ensemble des classes, pour le groupe des forêts denses

et claires la différence est conséquente entre les années. L'information obtenue des pixels porteurs de l'information diachronique présente l'intérêt majeur dans la classification, le pixel constitue alors la source réelle de l'information complète lorsqu'il est associé d'une bonne connaissance du terrain, ce qui est confirmé par la classification supervisée. La méthode non supervisée par ISO-DATA reste limitée à cause des erreurs et les lacunes présentée dans la classification.

Les prospections sur terrain témoignent que les massifs forestiers de Senalba Chergui restent les plus menacés, et le versant Nord est le plus exposé à la dégradation. En réalité les foyers réellement détériorées restent plus considérables car les peuplements touchés à l'intérieur des forêts ne peuvent pas être éliminés de la surface digitalisée. Il est important de souligner que les prospections sur terrains ont montré que les sujets les plus dégradés sont les arbres en bordure des forêts et même les jeunes sujets isolés, qui sont les proies aux ravageurs et aux maladies.

Le dépérissement des massifs forestiers prospectés a diverses causes; l'action des insectes a son importance, l'étude effectuée à partir des prélèvements réalisés sur des arbres dépérissants, montre que les arbres jaunissants ont une croissance plus faible que les arbres sains, notant que tous les sujets de pin sont colonisés par les scolytes mais avec des degrés très variables. Les caractéristiques d'attaques des espèces analysées ont des stratégies d'attaques selon l'exposition de l'arbre. La principale espèce de xylophage et l'hylésine destructeur (*Tomicus destruens*).

La quantification et la mensuration des galeries de reproduction de l'espèce de *Tomicus destruens* ont permis de mettre une étroite relation entre la densité d'attaque et la longueur des galeries. Plus l'effectif est important, plus la longueur de la galerie diminue. L'âge et l'exposition de l'arbre jouent un rôle dans le choix de l'hôte de l'insecte. Les populations se multiplient activement dans les faces sud de l'arbre. Les densités d'attaques diminuent progressivement du bas vers le haut de l'arbre et inversement se présentent les longueurs des galeries. L'ampleur des dégâts a été ressentie et une extension des espèces répertoriées commence à se généraliser.

Les données climatologiques notamment les précipitations irrégulières avec des périodes de sécheresses ont vraisemblablement contribué à la dégradation des peuplements forestiers. Le dépérissement des arbres paraît être lié aux conditions écologiques défavorables exprimées par des expositions plus chaudes, des sols superficiels sur des pentes fortes et dont la capacité de retenir l'eau est limitée,

prédisposées à des conditions stressantes contrairement au niveau du versant Nord, se qui rend l'attaque plus conséquente.

D'importants mouvements de population se produisent au cours de ces dernières années. L'épidémiologie des attaques de scolytes a tendance à s'étendre sous les conditions climatiques favorables à leur multiplication.

Le choix des provenances des essences forestières utilisées dans les programmes de reforestation doit être pris en considération. L'utilisation des graines des arbres sains qui ont résisté aux périodes de sécheresses, seraient d'un grand intérêt pour les repeuplements des zones concernées par le dépérissement. Une recherche fondamentale doit être conduite et développée pour une réponse au dépérissement en forêts et d'accompagner le forestier à adopter des solutions adéquates pour la conservation et la gestion rationnelle des ressources forestières. Cette stratégie de réponse reste significative dans la perspective d'un éventuel changement global du climat qui se traduirait par une augmentation de la température et une diminution des précipitations.

En perspective, une surveillance et des précautions sont nécessaires pour le maintien de la santé forestière. La télédétection apparaît comme un outil efficace pour l'accès à des informations synoptiques et à mettre à la disposition des gestionnaires des aires protégées avant que les dégâts ne soient plus étendus. La méthodologie adoptée nécessite plus de connaissance en analyse spatiale pour fournir des informations plus fiables et propres à la mise en œuvre de tactiques appropriées, avec une meilleure gestion pour l'aménagement des ressources forestières. Néanmoins la détection par les satellites à haute résolution spatiale peut apporter plus d'informations sur la répartition spatio-temporelle des dépérissements, afin d'envisager une meilleure gestion sylvicole.

Il serait opportun de considérer le problème dans sa globalité à l'échelle méditerranéenne afin d'élaborer en commun des stratégies d'actions concertées de recherches sur l'avenir de la gestion forestière.

References

bibliographiques

References bibliographiques

1. Abgrall, J.F & Schvester, D. 1987. Observation sur le piégeage de *Ips typografus* L. après chablis. R.F.F., XXXIX 4. pp353-376.
2. Allen C.D., 2009. Le Dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant. *Unasylva* 60231/232, pp 43-49.
3. Allen C.D. *et al*, 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259, p.660–684.
4. André. M., 2012. Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery a review.P87.
5. Badraoui M & Assali F., 2007. Les changements climatiques : ont-ils des impacts sur le dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas? Résumé de la communication a la célébration de la journée mondiale de la terre. *changements climatiques et impacte écologiques et économiques*. Université Al Khawayn Ifran, 27 Avril 2007. 3p.
6. BAGNOULS F et GAUSSEN H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bull.soc.Hist.Nat.Toulouse*,t,88,Pp193–239.
7. Bakry M & Abourouh M., 1996. Nouvelles données sur le dépérissement du chêne liège *Quercus suber* L. au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*. T 29. Pp: 24-39.
8. Balachowsky, A.S., 1949. Faune de France, Coléoptères *Scolytidae*, Vol. 50. Ed : Le chevalier, Paris. p 320.
9. Bardinet C., 1994. Télédétection de l'aridité et de l'environnement en Afrique du Sahara au Sahel. *Revue de géomorphologie dynamique*, Paris, XLIII, no 1, pp 09-22.
10. Baret F & Guyot G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and PAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, pp 161-173.
11. Barima Y. S. S., 2009. *Dynamique, fragmentation et diversité végétale des paysages forestiers en milieux de transition forêt-savane dans le Département de Tanda Côte d'Ivoire*. Thèse. Doct. Université Libre de Bruxelles.

12. Bariteau M., 2003. Les ressources génétiques forestières dans le bassin méditerranéen. *Forêt méditerranéenne*. XXIV, n°2.
13. Bastien Y & Aussenac G & Frochot H., 2000. Les changements climatiques : conséquences pour la sylviculture. *Rev. For. Fr.* 1.II.
14. Beaudoin, A & Vidal, A & Desbois, N & Deboux- Ros, C. 1995. Monitoring the water status of Mediterranean forests using ERS-1 to support fire risk prevention. In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications'*, (pp. 963–966). Firenze, Italy.
15. Ben jamâa M.L., 2007. *Relation Scolitynae-champignons- pin d'Alep Pinus Halpensis Mill. dans quelques régions forestières de la Tunisie*. Thèse. Doct. en science Agronomiques. Unive 7 nov. Cartage .Tunisie. p175.
16. Benabdeli K., 1996. *Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Dhaya. Algérie occidentale*. Doct. Es-sci. Univ. Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés. 356p + annexes.
17. Benabdeli K., 1998. *Protection de l'environnement, quelques bases fondamentales, appliquées et réglementaire présentation d'une expérience réussie*. Édité. Graphi Pub, Sidi-Bel-Abbès, 243 p.
18. Benabid A., 1994. Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'atlas *cedrus atlantica manetti*. In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. *Ann. Rech. For. Maroc*. T 27 pp : 61-76.
19. Bencherif K., 2010. Carte des unités physionomiques de la forêt de Senalba Chergui Djelfa- Atlas saharien, Algérie. *Sécheresse* 21 3 pp179-186.
20. Benoit T., 2005. Problématique du dépérissement du bouleau blanc en Estrie : *revue de la littérature et avenues possibles pour son aménagement futur*. Association forestière des Cantons de l'Est. P : 1-42.
21. Bensaïd A. 1997 - *Traitement des données multisources et conception d'une base de données dans un SIG en vue de la caractérisation d'un milieu physique: application à une zone steppique au nord de Laghouat*. Thèse. Mag, Centre National des Techniques Spatiales, Arzew, 122 p.

22. Bentouati A., 2007. La situation du cèdre de l'Atlas en Algérie, forêt méditerranéenne ; *journées d'études changements climatiques et forêt méditerranéenne*. 9Nov2007.
23. Bentouati A., 2008. La situation du cèdre de l'atlas dans les Aurès Algérie forêt méditerranéenne tome XXIX 2. Pp : 203-208.
24. Bentouati, A & Bariteau M., 2005. Une sylviculture pour le pin d'Alep des Aurès Algérie. *Forêt Méditerranéenne*, 264. Pp315-321.
25. Bert G.D., 1992. *Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du sapin pectiné Abies alba Mill. dans e Jura. Etude phytoécologique et dendroécologique*. Doctorat de l'Université de Nancy1 en Sciences du Bois, Biologie Végétale et Forestière. Pp : 1-110.
26. BFH., EFI., 2007. Étude de faisabilité sur les moyens de lutte contre le dépérissement forestier dans l'Union Européenne Rapport Technique. DG ENV, Contrat d'étude No: 070102110004/2006/449050/MAR/B1. Sous la direction de : Dr. Aljoscha Requardt, Dr. Jutta Poker, Prof. Dr. Michael Köhl, Andreas Schuck, Dr. Gerben Janse, Robert Mavsar, Prof. Dr. Risto Päivinen
27. Blandford H. 1924. The aero-photo survey and mapping of the Irrawaddy delta. *Indian Forester*, 50 : Pp 605-616.
28. Bonn F & Rochon G., 1992. Précis de Télédétection : Principe et méthodes. Press Universitaire du Quebec/ AUPELF. Volume, 485p.
29. Bonn F. 1996. Précis de télédétection. volume 2 : applications thématiques : presses de l'université du Québec/AUPELF, 633p.
30. Boudy P. 1955. Economie Forestière Nord Africaine, *Description forestière de l'Algérie étude de milieu de Senalba*. Éd. Larose, T (4), Paris, 483 p
31. Bouiadjra SED.B & El Zerey W & Benabdelli K., 2011. « Etude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala.Algérie occidentale, *Physio-Géo*, Volume, 5-2011.
32. Boutte B., 2007. Les dépérissements observés sont-ils tous dus au changement climatique? Journées d'études. (Changements climatiques et forêt méditerranéenne). *Forêt Méditerranéenne*.

33. Bréda N & Soudani K & Bergonzini J-C., 2003. Mesure de l'indice foliaire en forêt. - Edition ECOFOR. 157 p.
34. Caloz R & Collet C., 2001. *Précis de Télédétection, III - Traitement numériques d'image de télédétection*. Presses de l'Université du Québec/AUPELF, Sainte-Foy, 386 p.
35. Carerras J & Carillo E & Massales R.M & Ninot J.M & Vigo, J. 1990. A propos de la carte végétation des Pyrénées. IV: Vallées de barravés et des castanesa haute ribagorça. Quelques réflexions générales sur la cartographie de la végétation : *Botanica Pirénaico catabricaz*, 609-15.
36. Carle P., 1973. *le dépérissement du pin Mésogéen en provenance. Rôle des insectes dans les modifications d'équilibres biologiques des forêts envahies par Matsucoccus feyteudi Duc. Coccoidea, Margarodidea*. Thèse. Doct. Es Science Naturelles, Uni. Bordeaux I, 174p.
37. Cazaux J-C., 1990. Les systèmes spatiaux d'observation de la terre. *Options Méditerranéennes*, Sér. A I n4, - *La Télédétection en Agriculture*. Scot Conseil, Toulouse (France). P8.
38. CCT 2008. Centre Canadien de Télédétection. Tutoriels, Notions fondamentales de télédétection.
39. Chakali G., 1985. *Etude de la bio-écologie de la tordeuse du Pin, Rhyacionia buoliana Schiff. Lepidoptera, Tortricidae dans la région de Djelfa Moudjbara*. Thèse Mag., Inst. Nat. Agr., El Harrach. Alger 95pp.
40. Chakali G., 1992. Les insectes ravageurs du Pin d'Alep, *Pinus halepensis* Mill., en Algérie. Mem. Soc. r. beige Ent., 35, 505-509.
41. Chakali G., 2003. Influence climatique sur les populations de scolytes dans les peuplements de pin d'Alep en zones semi-arides Djelfa. GREDUR, Rabat, *Sem. Impact des changements climatiques sur l'écologie des espèces animales, la santé et la population humaine Maghrébine*. 10p.
42. Chakali G. 2005. L'Hylésine des Pins, *Tomicus destruens* Wollaston 1865 (Coleoptera-Scolytidae) en zone semi-aride (Algérie). *Silva Lusitana*, Lisboa Portugal 13(1). Pp 113-124.
43. Chakali G., 2007. Stratégie d'attaque de l'hylésine *Tomicus destruens* Wollaston, 1865 *Coleoptera: Scolytidae* sur le pin d'Alep en zone semi-aride Djelfa-Algérie. *Ann. soc. entomol. France*, 43 2 : Pp129-137.

44. Chararas C., 1962. Etude biologique des scolytidae des conifères. Le chevalier Paris, 556p. Encyclopédie entomologique, XXXVIII,
45. Cherak, I., 2010. *Facteurs d'échec et de réussite des reboisements de pin d'Alep dans trois stations : Ain-Touta, Tazoult et Bouilef*, Thèse. Mag. Gestion durable des écosystèmes forestiers, Univ. El Hadj Lakhdar Batna. P107.
46. Chevrou R.B., 2005. Pourquoi les incendies de forêts sont-ils si meurtriers?, EDP Sciences, Accession No: 414240, Call No: 634.94 C42 (FOL), / Paris (France). 201 p.
47. Ciesla W.M., 1993. Qu'arrive t-il au Neem sahélien ? Unasyuva. N°172 : sécurité des ouvriers forestiers. Archives des documents de la F.A.O. Département des forêts.
48. Close R., 2008. Normalisation d'une série temporelle satellitaire. Très haute résolution et application.
49. Congalton R. G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
50. Dajoz R., 1980. *Ecologie des insectes forestiers*. Gauthier-Villars Paris, pp 331-333.
51. De Joinville O., 2011. Traitements appliqués à la photo-interprétation. Doc. Traitement numériques des images de télédétection.
52. Delatour C., 1983. Les dépérissements de chênes en Europe. *Rev.For.Fr.*, 35(4). Pp255-281.
53. Delatour C., 1990. Les Dépérissements de Chênes en Europe. *Revue forestière française* vol XXXV, n°4. Pp: 265-282.
54. Dentand F., 2008. Dépérissement forestier des alpes maritimes. Actions déjà entreprise par les communes forestières et l'office national des forêts. *Forêt méditerranéenne*, T. XXIX, n°2, Pp : 195-200.
55. Deshayes M & Stach N., 2009. Estimation des dégâts de tempêtes, l'œil l'avion et le satellite. La forêt face aux tempêtes.
56. Deshayes, M & Maurel, P. 1990. L'image spatiale et son contenu ; la Télédétection en Agriculture. Laboratoire Commun de Télédétection. : CEMAGREF-ENGREF, Montpellier France. Options Méditerranéennes, SérieA/n°4. P10.

57. DGF, 2010. Orientations pour une stratégie d'élaboration d'un programme à moyen et long terme de renouveau rural. Rapport, 21 p.
58. Dizier J & Leo O. 1986. Télédétection ; Techniques et applications cartographiques. Edition Forhom, Paris, p275.
59. DMF 2014. Bulletin des derniers recensements réalisés pour le classement mondial des régions forestières. Direction mondiale des forêts.
60. DPAT, 2003. Monographie de la wilaya de Djelfa - Edition 2003. 65 p.
61. DSF., 2008. Département de la santé des forêts. Dégâts d'hylésine destructeur, coléoptère sous-cortical, sur les pins d'Alep en région méditerranéenne Diagnostic, Prévention et lutte. Information technique N° 58 Echelon technique Sud - Est Juin 2008.p4.
62. Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., & Mayaux, P., 2007. Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts, *Remote Sensing of Environment*, in press.
63. Eastaugh, C., 2008. Adaptations of forests to climate change: a multidisciplinary review. *IUFRO Occasional Paper 21*. International Union of Forest Research Organizations Vienna, Austria, p89.
64. El Hadraoui Y., 2013. Étude diachronique de l'occupation du sol et de modélisation des processus érosifs du bassin versant du Bouregreg (Maroc) à partir des données de l'Observation de la Terre. Ing. CNAM. En Géomètre et Topographe. CNAM. E.S.G.T.88p.
65. EMBERGER L., 1932. Sur une formule climatique et ses applications en botanique. Rev. Soc. Météorolog. France, Paris, nov.-déc. 1932. P 423.
66. Fiot, J-L & Carouille F & Lucas S., 2007. Dépérissement et mortalité de quelques essences. L'IFN° 16, 3° trimestre.
67. Fiston. J & Mikwa N., 2010. *Evaluation par télédétection des effets de la déforestation et de la dégradation des forêts à Kisangani cas de la région forestière de Masako*. Thèse. Université de Kisangani RDC - Diplôme d'études approfondies en aménagement durable des forêts congolaises. p53
68. FOSA., 2000 : L'étude prospective du secteur forestier en Afrique nommée FOSA. Cas de l'Algérie.

69. Gallego D & Canovas F & Esteve M & Galian J., 2004. Descriptive biogeography of *Tomicus* (Coleoptera: Scolytidae) species in Spain. *J. Biogeogr.*, 31. Pp2011-2024.
70. Gallego D., Galian J., 2001 - The internal transcriber spacers (ITS1 and ITS2) of the rDNA differentiates the bark beetle forest pests *Tomicus destruens* and *T. piniperda*. *Ins. Mol. Biol.*, 10 (5). Pp 415-420.
71. Garrigue J & Magdalou J. A & Hurson C., 2008. Les effets de la canicule et de la sécheresse sur la forêt de la Massane (Pyrénées Orientales). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXIX, (2) : 183-188.
72. Gartner E., 1988. Maladie des forêts : un premier bilan Sylviculture.p:30-38.
73. Giacobbo., 2000. Le principe des images et leur exploitation, G.D.T.A. pp2-3-33.
74. Girard et Girard., 2004. Traitements des données de télédétection. Ed. Dunod-Paris, 2004.P529.
75. Girard G., 1999. Climatologie des environnements. Cours et exercices corrigées. Ed, dunod, paris. P482.
76. Girard M.C & Girard C.M. (1989). Télédétection appliquée : zones tempéréeset intertropicales. Collection Sciences agronomiques, Masson, Paris, 260 p.
77. Godard V., 2005. Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. Évaluation des dégâts forestiers à l'aide d'un semis de points et d'imagerie satellitale optique. *Revue Internationale de Géomatique*, 15 3 : pp281-302.
78. Goley F., 2007. Télédétection et image numériques cours, laboratoire de système d'information géographiques (SIG) p12.
79. Guyon J.P., 1991. Dépérissement du pin maritime *Pinus pinaster* en Vendée. *Les causes écologiques. Ann. Sci. For.*48. Pp : 333-346.
80. Guyot & Gérard 1989: Signatures spectrales des surfaces naturelles. Collection «Télédétection satellitaire n°5», Paradigme, Caen.ISBN-2-86878-03206. 178 p.
81. Guyot G & Guyon D & Riom J., 1989. Factors affecting the spectral responses of forest canopies: A review. *Geocarto International*, 3. Pp3-17.
82. Guyot G., 1989. Signatures spectrales des surfaces naturelles. Collection télédétection N°5, 178 p.

83. Hartman G & Nienhaus F & Butin H & Winter K., 1991. Les symptômes de dépérissement des arbres forestiers. Ed5Atlas de reconnaissance en couleurs des maladies, insectes et divers. . Française institut pour le développement forestier IDF. 256 p.
84. Hoang Kim H & Bernier .M & Villeneuve J.P., 2008. Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière au Viêtname. Essai sur une approche diachronique. Institut National de la Recherche Scientifique INRS, Centre Eau, *Terre et Environnement ETE*. Canada *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 4, p 227-236.
85. Holdridge L., 1971. Forest environments in tropical life zones: a pilot study. Pergamon Press.
86. Horn A., 2006. *Comparaison des distributions passées et présentes de deux espèces proches de scolytes, Tomicus piniperda et T. destruens (Coleoptera: Scolytinae)*. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France.
87. IPCC., 2013. Summary for Policymakers In Climate Change, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin,G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley eds.]. Cambridge University Press Cambridge, UK and New York, USA.
88. Jacquemoud S & Ustin S.L., 2001. Leaf optical properties: A state of the art, in Proc. 8th Int. Symp. Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing, Aussois France, 8-12 January 2001, CNES, pp 223-232.
89. Jensen J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing-A remote sensing perspective, 2nd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River N.J., 316 p.
90. Jensen J.R., 2004. Introductory digital image processing - a remote sensing perspective. 3e ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
91. Joly R., 1975. Les insectes ennemis de pins. I - II. Ecole Nationale de génie rural des eaux et des forêts. Centre de Nancy. Vol. I 207p.
92. Jusoff K & Setiawan I., 2003. Quantifying deforestation in a permanent forest reserve using vectorised Landsat TM. *Journal of Tropical Forest Science*, 15: pp570-82.

93. Kadik B., 1985. Aperçu sur les sols et la végétation des pineraies d'Eghti (Sidi Bel Abbas). *Ann. Recherche Forestière en Algérie*. Ed : INRF. Volume 1. Pp 7-22.
94. Kadik B., 1986. Les arbres et les arbustes dans la lutte contre la désertification. Acte du séminaire international « La stratégie de développement de la steppe et des zones arides ». Tebessa (Algérie), 26-30 novembre 1986. Pp16-48.
95. Kadik B., 1987. Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Office des publications universitaires (Alger). P585.
96. Kohlmayr B., Riegler M., Wegensteiner R., Stauffer C., 2002. Morphological and genetic identification of the three pine pests of the genus *Tomicus* (Coleoptera, Scolytidae) in Europe. *Agric. For. Entomol.*, 4, 151-157.
97. Lacombe J.P & Sheeren D., 2007. La télédétection principes et applications. Cours de télédétection aérospatiale. *Département Agronomie & Environnement. E.N.S.A de Toulouse. ENSAT*. p81.
98. Laflamme G., 1992. Diagnostic des cas de dépérissement. Coll. Recherche sur le dépérissement. Un premier pas vers le monitoring de forêts. 1ère partie. Pp189-193.
99. Landmann G., 1994. Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. *Rev. For. Fr. XLVI - 5-* Pp : 405-415.
100. Landmann G & Bonneau, M & Adrian M., 1987. Le dépérissement du sapin pectiné et de l'épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements. *R.F.F. XXXIX -1-*. Pp : 5-11.
101. Lanier L., 1976. Mycologie et pathologie forestières. Tome II. Pathologie forestière. Edition. Masson. Paris. Pp : 16-26.
102. Lau C.C., 1997. Geomorphologic Distribution of Normalized Difference Vegetation Index. Proceedings online of the Asian Conference on Remote Sensing ACRS.
103. Laurent C & Lecomte H., 2006. La santé des forêts. RES. FOR 3.
104. Le Houerou H. N. 1969. La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Nat. Rech.Agron. Tunisie*, 42 (5), 624 p.

105. Le Meignen P & Micas L., 2008. Bilan des dépérissements forestiers dans les Alpes-de-Provence. *Forêt méditerranéenne*. T XXIX, n°2, Pp : 177-182.
106. Leckie, D.J & Walsworth, N & Dechka, J & Wulder, M. 2002. An investigation of two date unsupervised classification in the context of a national program for Landsat based forest change mapping. Toronto Remote sensing symposium, p24-28.
107. Léo Provencher & Dubois J.M., 2007. Précis de Télédétection, Méthode de Photo-interprétation et d'interprétation d'image. Volume4.Presses. Uni. Québec. Agence Universitaire de la francophonie. P506.
108. Leutrech Belarouci N., 1991. Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir, vol 1 et 2, OPU. 641p.
109. Lu D & Mausel P & Brondizio E & Moran E., 2004. Change détection technique. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, n012 Pp 2365-2407.
110. Lunetta R.S & Elvidge C.D., 1998. Remote sensing change detection, environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press, Ann Arbor Michigan. P318.
111. Manion D., 1981. Tree Disease Concepts. Prentice-Hall Englewood Cliffs, USA. P399.
112. Manion P., 1981. Forest decline concept. An overview. In. Manion P, Lachance D., Éd. Forest decline concept. Minnesita : PDS Press, 1992. Pp : 90-181.
113. Marc Robin, 2002. Télédétection, des satellites aux SIG. Nathan.
114. Mas J.F., 2000. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. *Journal canadien de télédétection*, vol. 26, no4, p. 349-362.
115. Mezali M., 2003. Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3e session du forum des Nations Unis sur les forêts. P9.
116. Moisselin J.M & Schneider M & Canellas C., 2002. Les changements climatiques en France au XXè siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie* 38, pp45-56.
117. Mouna M., 1982. *Recherches écologiques sur le peuplement frondicole des insectes du cèdre Cedrus Atlantica M. dans le moyen Atlas Marocain*. Thèse Doct. Spécialité Universitaire D'Aix Marseille p121.

118. Nageleisen LM., 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. For. Sci.* 63 Pp 613–624.
119. Nguyen A., Lamant A., 1989a. Effect of water stress on potassium distribution in young seedlings of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Ann. Sci. For.*, 46 (suppl). Pp379-383.
120. Nguyen R & Bennett F.D., 1994. Biological control of miscellaneous pests: Tea scale. Pp. 123-128 in *Pest management in the subtropics: biological control*, D. Rosen, F.D. Bennett & J.L. Capinera Eds. A Florida perspective. Intercept Limited, Andover, UK.
121. Pesson P & Chararas C., 1969. Les scolytides, insectes ravageurs mondiaux des forêts des conifères. *L'année biol*-8, pp683-733.
122. Pesson P., 1974. *Ecologie Forestière; la forêt son climat, son sol, ses arbres, sa faune*. Ed Ghauthier villard. Pp 193-218.
123. Pfeffer A., 1995. Zentralund westpalaarktische Borkenund Kernkafer Coleoptera. Scolytidae, Platypodidae. *Pro Entomologica*, c/o Naturhistorisches Museum Basel, 310 p.
124. Piou D & Lieutier F., 1989. Observation symptomathologiques et rôle possibles d'*Ophiomyia minus hedg.* Ascomycète. *Ophiostomatales* et de *Tomicus piniperda* I coléoptera scolytidae dans le dépérissement du pin sylvestre en forêt d'Orléans. *Ann. Sci. For.*46. 39-53 p. Primordiales de déficits d'alimentation en eau. *Ann. Sci. For.* 44. Pp 403-416.
125. Pouchain. T, 1984. *Cours de télédétection (3espaces)* 45p.
126. Pouchin T., 2001. *Elaboration d'un observatoire paysager, Application à l'estuaire de Seine*. Centre Interdisciplinaire de Recherche en Transports et Affaires Internationales, Le Havre, Thèse. Doct. P316.
127. Quattrochi D.A. et Pelletier R.E., 1990. Remote sensing for analysis of landscapes: an introduction. In *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity* Ecological Studies. Eds: Turner M.G. & Gardner R.H. Pp 51-76. *Springer-Verlag*, New York.
128. Rakotoniaina I.S, Rakotomandrindra P, Ranaivoarimanana S, Rakotondraompian S, 2013. La cartographie et la teledetection comme systeme de suivi evaluation des tgrnr. Exemple de site d'application : la commune de didy, region d'alaotra-

- mangoro, madagascar. Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et Télédétection, IOGA, Antananarivo, Madagascar. Cirad-00935064, version 1 - 23 Jan 2014.
129. Ramade F., 2003. *Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale*. 3ème édition, Ed. Dunod, Paris, 690 p.
 130. Requardt A & Köhl M & Schuck A & Poker J & Janse G & Masvar R & Päivinen R., 2007. Feasibility study on means of combating forest dieback in the european Union. EC DG ENV. Brussels, Belgium, pp. 79 + Annex I, II, III.
 131. Richard E., 1992. Teledetection de la surface des sols arides: concept et application de l'aridité, une contrainte au développement. ORSTOM, Paris, pp 105-108.
 132. Richards J.A., 1986. "Remote Sensing Digital Image Analysis". Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, pp 206-225.
 133. Rigolot E., 2008. Impact du changement climatique sur les feux de forêt. Forêt méditerranéenne. T.XXIX, n°2. Pp : 167-176.
 134. Rosenfield G & Fitzpatrick-Lins K., 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 522. Pp 223-227.
 135. Roy G., 1998. *Rôle des facteurs climatique dans le mécanisme du dépérissement des érablières appalachiennes*. Thèse. Doc. Université Sherbrooke Canada.
 136. Saley A., 2006. *Utilisation des nouvelles techniques de cartographie pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans la commune rurale de Namaro*. Mémoire de DESS, CRESA de Niamey. P82.
 137. Sauvage C., 1963. Etages bioclimatiques comité National de géographie du Maroc.
 138. Sauvage Ch., 1961. Recherches sur les subéraies marocaines .trav.Inst.Sc. Cherifien, Série. Bot., 2.1.P462.
 139. Seigue A., 1985. *La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes*. Maison neuve et Larose Edition. Paris. P502.

140. Serradj A., 2004. Travaux pratiques de Télédétection. , Formation CMEP/CMCU Université Louis Pasteur_1. Strasbourg, UMR CNRS/ULP 7011 Image et Ville.
141. Serradj A., 1985. *Traitements d'images satellitaires d'Alger et de Strasbourg*. Strasbourg, Université, Thèse de géographie. P195.
142. Sfea., 2008. Que peut faire le forestier par rapport à ces changements ? Fiche n° 2.5.
143. Sinclair WA., 1964. Comparisons of recent decline of white ash and, sugar maple in northeastern woodland. *Cornell plants*. Vol 20. 1964. Pp: 62-67.
144. Sinclair WA., 1967. Decline of hardwoods: possible causes. *International shade tree conference proceeding*, 42. 1967. Pp: 17-32.
145. Singh A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data: Review article. *International Journal Remote Sensing*, vol. 10, no6. Pp 989-1003.
146. Slocombe D.S., 1993. Implementing 43, 612 Based Management Bio. Sci. P622.
147. Soudani K., 1999. *Etude de la structure et de la dynamique spatiale et temporelle des canopées forestières : approche par méthodes optiques indirectes et par télédétection*. Thèse. Doct. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1999. Pp 227.
148. Soudani K., 2005a. *Rôles potentiels de la télédétection pour des applications environnementales*. Université de Paris-sud, 30p. Southern range edge of *fagus sylvatica*. *Global change Biology*, 12. Pp 2163-2174.
149. Soudani K., 2005b. *Rôles potentiels de la télédétection pour des applications télédétection satellitaire de la végétation ligneuse en région soudano sahélienne*. Thèse. Doct. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. P270.
150. Soudani K., 2006. Module Géomatique. Faculté des Sciences d'Orsay. Laboratoire Ecologie Systématique et Evolution UMR 8079 CNRS-Université Paris-Sud XI.

151. Stewart P., 1969. Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. *Bull. Int. Nati. Agro.* El Harrach. Pp24-25.
152. Taore M.L. *et al.*, 2006. Synthèse des études de vulnérabilité adaptation du secteur forestier aux changements climatiques en guinée. Projet plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques pana-cc gui. 03. 37p.
153. Tremblay V., 1999. Dendroécologie du dépérissement du bouleau blanc (*Betula papyrifera Marsh*) après coupe forestière dans la réserve faunique des Laurentides.
154. Vannini A., 1990. Susceptibility of *Quercus cerris* to *Hypoxylon mediterraneum* at different levels of water stress. In Proceedings. In International Symposium Oak Decline in Europe. Kórnik, Poland, pp. 165-172.
155. Varela M.C., 2008. Dépérissement des peuplements chêne-liège et changement climatique. *Forêt méditerranéenne* T.XXIX, n°2, pp 209-212.
156. Vorovencii I., 2005. *Researches Concerning the Possibilities of Using Satellite Images in Forest Planning Works*. Doctor's degree paper. Transilvania. University of Brasov, p294.
157. Zhan, Q & Wang, J & Peng, X & Gong P & Shi P., 2002. Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp3057-3078.
158. Zhou J, 2012. *Application de l'identification d'objets sur images a l'étude de canopées de peuplements forestiers tropicaux : cas des plantations d'eucalyptus et des mangroves*. Thèse Doc. Université de Montpellier ii, sciences et techniques du Languedoc. Version 1. P191.
159. Zine El Abidine., 2003. Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse des causes et stratégie de lutte. *Sécheresse* 14 4. John Libbey Eurotext. pp 209-218.

Annexes :

Tableau 1: Coordonnées géographiques des foyers dépéris dans les massifs de Senalba

Points	Altitude(m)	Latitude(N)	Longitude(E)
P1	1320	34°37'08.1"	03°08'20.6"
P2	1325	34°36'41.1"	03°07'26.2"
P3	1327	34°36'25.4"	03°06'17.0"
P4	1343	34°36'28.8"	03°06'03.6"
P5	1328	34°36'15.5"	03°06'34"
P6	1339	34°36'53.3"	03°05'15.1"
P7	1324	34°37'15.2"	03°05'27.7"
P8	1350	34°37'21.8"	03°06'18.9"
P9	1351	34°37'03.2"	03°05'35.8"
P10	1366	34°37'40.1"	03°07'42.0"
P12	1153	34°43'17.7"	03°09'21.1"
P13	1154	34°43'18.2"	03°09'10.3"
P14	1164	34°42'37.4"	03°09'20.0"
P15	1134	34°43'06.8"	03°08'54.11"
P16	1160	34°42'31.8"	03°07'48.4"
P17	1201	34°42'21.3"	03°08'57.5"
P18	1213	34°41'54.5"	03°08'17.3"
P19	1219	34°42'09.8"	03°08'26.4"
P20	1214	34°41'10.48"	03°09'7.0992"
P21	1214	34°41'49.71"	03°06'19.8756"
P22		34° 40' 51,834"	3° 10' 34,77"

Tableau 2 : Coordonnées géographiques des arbres pièges installée dans les séries de la forêt naturelle de Senalba Chergui.

Points GPS	Longitudes	Altitudes (m)
Série 10/s1	N34 41 26 2/E003 04 00 5	1171
Série 10/s2	N34 40 39 6 /E003 03 30 0	1167
Série 10/s3	N34 41 16 5/E 003 03 55 7	1161
Série 10/s4	N34 40 50 4 /E 003 03 27 4	1149
Série 11/s1	N34 38 50 9/E003 02 25 2	1218
Série 11/s2	N34 38 50 1/ E003 02 26 1	1150
Série 11/s3	N34 38 28 2 / E003 02 12 0	1244
Série 11/s4	N34 38 49 5 /E 003 02 25 6	1219
Série 2/s1	N34 62 417/E003 14 60 5	1313
Série 2/s2	N34 62 4 55/E 15 339 003	1286
Série 2/s3	N34 62 2 25/E 003 15 7 33	1279
Série 2/s4	N34 62 2 29 /E 003 15 7 21	1276
Série 3/s1	N 34 60 5 87 / E 003 10 56 1	1327
Série 3/s2	N34 60 55 4 / E003 10 5 18	1322
Série 3/s3	N34 60 5 54 / E 003 105 21	1323
Série 3/s4	N34 605 63/ E 003 105 10	1321
Série 3/s5	N34 60 562/E 003 10 5 18	1322
Série 1/s1	N34 65 576 /E003 18135	1283
Série 1/s2	N34 65 535/E00318003	1282
Série 1/s3	N34 65 326/ E003 176 87	1290
Série 1/s4	N34 64227/E00318719	1253
Série 1/s5	N3463887/E003 18132	1259
Série 6/s1	N34 61039 /E003 08112	1306
Série 6/s2	N34 61033/E003 08125	1314
Série 6/s3	N34 61025/E003 08123	1313
Série 4/s1	N34 61737/E003 10842	1385
Série 4/s2	N34 62271/E003 11115	1342
Série 4/s3	N34 61734/E003 10852	1411
Série 5/s1	N34 62790/ E003 12825	1354
Série 5/s1	N34 63379/ 003 12483	1320
Série 5/s1	N34 65230/ E003 14398	1314

Tableau 3: Présentations des paramètres dendrométriques des arbres abattus.

Nombre de rondins	Diamètre	Epaisseur	Effectifs
R1	29	2,6	7
R2	27	2,5	9
R3	26	2,1	8
R4	21	1,2	30
R5	20	1,2	29
R6	18	0,7	11
R7	24,6	1,9	64
R8	26	2,5	104
R9	25	2	110
R10	26	2,1	70
R11	23	1,9	170
R12	23	1,8	142
R13	21	1,2	120
R14	20	1,1	112
R15	21	1,3	97
R16	26	2,1	94
R17	21	1,2	50
R18	21	1,1	53
R19	20	0,8	47

Tableau 4: Présentation des paramètres de l'insecte calculée pour *T.Destruens*

Nombre de galeries maternelles	Moyennes des longueurs de galeries (cm)
3	16,66
4	20,25
5	14,4
4	21,25
7	14,28
3	20,33
7	17,85
5	16,8
4	16
3	18,33

Tableau 5 : Moyennes mensuelles des températures pour la période de 1980 à 2010.

MOIS Moy Temper, (°)	Jan	Fev	Ma	Av	My	Jui	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
1980	4,9	7	8,3	10,8	13,9	22,5	25,2	36,5	21,4	13,3	9,4	2,3
1981	2,9	5,4	11,8	12,8	14,8	23,4	25,6	23,8	20,4	16,6	9	7,8
1982	5,9	6,1	8,6	10,9	16,8	24,7	27,6	26,2	21,3	13,9	8,3	3,7
1983	3,6	5,5	8,9	13,9	17,2	22,9	26,8	25,8	21,4	15,3	11,3	5,3
1984	4,77	4,8	7,4	13,9	13,9	22,9	26,9	25,1	20,6	13,6	8,9	5
1985	3,8	9,3	6,8	13,7	15,5	24,9	27,6	25,9	20,1	14,5	11,1	5,6
1986	4,5	6,6	7,7	10,8	20	22,1	24,7	26,3	20,6	14,9	8,1	4,6
1987	4,1	6,2	9,4	15,2	17	23,7	26,2	27,2	22,9	17,1	8,5	7,7
1988	6,6	6,2	9	13,5	17,9	21,6	27,4	26,5	19,6	15,9	10,5	4,1
1989	3,8	6,2	10,3	10,9	17,4	20,9	26,1	25,8	21,5	15,7	11,4	8,9
1990	4,8	8,7	9,9	11,3	16,9	24,5	25,5	24,5	23,9	16,2	9,5	4,2
1991	3,9	4,6	9,1	10,1	13,9	22,5	26,8	25,4	21,5	13,6	8,4	4,2
1992	3,3	5	7,2	10,5	15,8	18,6	23,8	25,4	21,6	14,8	9,2	5,8
1993	3,6	4,3	8,6	11,4	17,4	24,5	27,2	26,3	19,7	16,2	9,3	5,8
1994	5,3	7,5	10,9	10,8	10,4	16	28,2	28	19,8	14,6	10,3	6,1
1995	5	8,6	8,3	10,8	19,1	22,3	27,1	25,4	19,6	15	10,7	8,3
1996	6,7	4,3	8	10,9	15,2	19,1	24,6	25,4	18,4	13	9,6	7
1997	5,4	7,6	8,4	11,1	17,7	23,3	26,3	25,8	19,1	14,5	9,5	6,3
1998	4,8	6,4	8,8	12,4	15,1	23,2	27,6	28,5	22	12,4	9	4
1999	4,6	3,8	8,4	13,4	20,4	25,1	26,4	28,4	21,5	17,5	7,5	4,9
2000	2,2	6,5	10,5	13,3	19,3	22,5	27,4	25,2	20,5	13,2	9,7	6,8
2001	5,3	5,6	12,7	12,4	16,9	25,3	28	26,9	21,6	19,2	8,9	5,3
2002	4,5	7,2	10,4	12,5	17,6	24,2	25,6	24,5	20	15,8	9,9	7,2
2003	4,3	4,6	9,8	13,1	18	24,6	28,4	26,2	20,9	16,6	9,3	4,6
2004	5,3	8	10	11,2	13,2	22,9	26,3	26,7	20,6	17,5	7,8	5,1
2005	2,5	3,1	10,3	13,6	21,1	23,7	28,9	26,5	20,1	16,3	9,1	4,7
2006	2,7	4,5	10,5	15,5	19,9	24,5	27,4	26,1	19,5	18,4	10,7	5,9
2007	6,6	8,3	7,5	12,3	17,4	24,5	27,6	26,9	21,6	15,7	8,6	4,9
2008	6,2	7,9	9,8	14,3	17,3	22,2	27,9	26,6	21,3	14,2	7,3	4,2
2009	4,5	5,1	9,3	9,3	17,9	24,3	28,4	27,3	18,9	14,9	10,3	8,1
2010	6,6	8	10,4	13,9	15,5	22,3	28,9	26,9	20,9	15,2	9,7	7,5
MOIS	Jan	Fev	Ma	Av	My	Jui	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Température	4,61 193	6,222 58	9,258 06	16,07 74	16,78 70	22,89 35	26,85 16	34,12 25	26,80 32	15,34 19	9,380 64	55

Tableau 6: Moyennes mensuelles des précipitations pour la période de 1980 à 2010.

Mois Années	Jan	Fev	Ma	Av	My	Jui	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
1980	28,7	32,5	68,5	34,8	18,6	4,6	0	3,4	34,6	7,4	56,7	97,1
1981	6,2	45,2	36,4	67,4	5,3	6,1	10,6	33	73,3	12	1	33,5
1982	44,9	42,1	20,3	72,7	48	17,3	4,6	7	10,5	60,1	75,1	31,8
1983	0	15,5	15,2	19,6	25,6	15,5	8,6	45,7	0,7	2	17,6	11,3
1984	30,3	5	38	0,6	8,7	19	0,9	4,2	4,2	66,3	29,7	36,7
1985	48,1	12	65,1	1,3	59,4	13,3	9,7	0,5	39,6	31,7	30,8	51,9
1986	23,3	46,9	75,1	12,8	36,3	12,6	5,5	11,8	18,9	34,9	80,5	34,7
1987	58,5	34,4	13,6	22,7	12,4	21,8	41,4	3,1	3,7	8,6	55,1	23,4
1988	18,3	38	13,8	32,4	62,2	54,8	1,4	21,5	25,6	8,6	19,5	37,4
1989	13,6	8	9,1	36,1	50,4	52,6	6,5	72,4	10,6	17,5	41,2	18,1
1990	117	0,3	30	65,4	84,4	61	12,6	10,3	14,2	4	13,6	34,6
1991	23,5	51,7	74,2	38,8	34,5	15,7	9,4	13,1	32,5	117	19,5	21,6
1992	59,5	10,6	56,7	48,6	122	5,6	10,6	1,1	18,7	1,4	23,8	21,4
1993	8	71,1	40,2	13,5	39	12	16	27,6	25	5	19	15
1994	50	52	20	7	10	1	4	17	96	78	28	8
1995	46	13	50	11	6	46	0	13	13,2	49	3,9	30
1996	91,8	74	58	57	51	27	5	28	16	3	1	27
1997	39	5	1	87	43	9	2	45	77	11	55	17
1998	7	26	5	35	38	2	0	19	28	5	3	9
1999	7	26	5	35	38	2	0	19	28	5	3	9
2000	0	0	1	10	27	3,2	0,4	1,5	63	8	15	23,1
2001	60	12	2	3,7	3	0	0,4	22,8	78	28	12	17
2002	11	5,3	2	38,2	4,9	5,9	13	35,6	7,6	15,3	37,9	36,1
2003	53,3	45,3	13	17,8	14,8	2,8	5	0,3	6,3	41,4	41,3	54
2004	6	0,5	29,2	33	97,4	3,7	7,3	51,4	38,1	28	39,4	42
2005	6	0,5	29,2	33	97,4	3,7	7,3	51,4	38,1	28	39,4	42
2006	49,6	43,4	3,1	47,3	36,5	1,1	19,2	9,9	17,3	0,7	18,9	41
2007	4,8	26,6	72,6	28,8	31	16,3	12,8	18,2	32,2	38,3	70	3,5
2008	6,1	3,4	5,3	0,4	33,8	33,4	24,1	77,8	44,8	74,4	9,8	24
2009	72,2	44	47,6	54,5	12,3	10,7	15,3	0,9	68,7	4,5	27,4	29,8
2010	16,2	60,6	18,6	34,6	44,8	28,8	5,3	19,3	10	52,5	11,4	9,1
Mois	Jan	Fev	Ma	Av	My	Jui	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
P(mm)	32,448	27,448 3	29,638 7	32,258	38,570	16,403	8,351	22,090	31,432	27,309	29,016	28,712
Ecart type	28,926	22,224	24,875	22,558	29,687	17,012 8	8,689	20,768	25,409	28,464	22,117	18,212

Résumé. Télédétection et analyse des dépérissements des forêts naturelles en zone semi-aride (Djelfa).

L'étude de l'évolution spatio-temporelle des massifs forestiers de la région de Djelfa a été conduite par les méthodes de classification des images satellitaires au cours de la période allant de 1972 à 2009. Cette analyse diachronique relative aux espaces forestiers de la région de Djelfa sur une durée de 37 ans, a montré une régression de 24% au cours du temps. Les informations par pixels restent les plus significatifs. L'analyse des images satellites et les prospections régulières au terrain nous ont permis de noter un déclin très prononcé dans certains sites que dans d'autres. Le massif forestier du Senalba Chergui reste le plus menacé de dégradation. Parmi les causes des dépérissements enregistrées, les scolytes, particulièrement l'hylésine destructeur de pins, *Tomicus destruens* a un rôle conséquent sur la mortalité des arbres de pin d'Alep. Une stratégie d'attaque et de répartition s'effectue au cours du temps en relation avec les conditions environnementales.

Mots clés. Télédétection, Dépérissement, Scolytes, Pin d'Alep, Djelfa.

Abstract. Teledetection and decline analysis of natural Aleppo pine forests in semi-arid area (Djelfa).

The study of spatial and temporal evolution of the semi-arid Djelfa forests was conducted by the classification methods of satellite images over the period 1972 to 2009. This diachronic analysis on the forest areas of the Djelfa region on a 37 years has shown regression of 24% over time. The information per pixel are the most significant. Analysis of satellite images and regular visits to the field have enabled us to note a pronounced decline in some places than in others. The forest in the Senalba Chergui remains the most threatened to degradation. Among the causes of recorded dieback, bark beetles, particularly pine shoot beetle, *Tomicus destruens* therefore has a role on the mortality of Aleppo pine trees. A strategy of attack and allocation is made over time in relation to environmental conditions.

Keywords. Teledetection, Decline, Scolyts, Aleppo pine, Djelfa.

المخلص. الاستشعار عن بعد وتحليل اضمحلال الغابات الطبيعية في المنطقة الشبه الجافة (الجلفة)

تم دراسة التطور المكاني والزمني في الغابات الطبيعية لمنطقة الجلفة بواسطة أساليب حديثة و هي صور الأقمار الصناعية ذلك خلال الفترة ما بين 1972 و 2009. هذا التحليل المرحلي على مناطق الغابات في منطقة الجلفة أظهر خلال 37 عاما تراجعاً بنسبة 24% مع مرور الوقت. المعلومات المأخوذة لكل وحدة هي الأكثر أهمية وقد مكنتنا تحليل صور الأقمار الصناعية والزيارات المنتالية في الميدان من ملاحظة تدهور وتراجع كثافة الغابات. الانخفاض واضح في بعض الأماكن من غيرها. تبقى الغابات الأكثر عرضة للتدهور هي غابات سن الباء، من بين أسباب السقم المسجلة الخنافس. الخنفساء مدمرة الصنوبر حيث لديها استراتيجية الهجوم بما يلائم الظروف البيئية، بالتالي أكلات العشب المتلفة لها دور في التراجع الغابي لأشجار الصنوبر الحلبي.

الكلمات الرئيسية. الاستشعار عن بعد، تدهور الغابات، الخنفساء، الصنوبر الحلبي، الجلفة.